



فيزيك

برای سال ششم طبیعی

توانا پوهنسه که وانا پوه
وزارت آموزش پرورش



بهرادر تمام کشور ۳۶ ریال

توانا بود هر که دانا بود

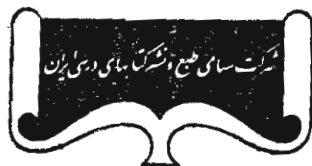
وزارت آموزش و پرورش

فیزیک

برای سال ششم طبیعی

حق چاپ محفوظ

چاپ و توزیع از :



۱۳۴۷

نیک
ست
روز
گاه

ل

ک

ل

ل

ل



فهرست هندرجات

صفحه	عنوان
	بخش اول - مكانيك
۲	فصل اول - سينماتيك
۱۲	فصل دوم - سقوط اجسام در خلا و در هوا
۲۰	فصل سوم - ديناميك
۲۲	وزن و جرم
۳۰	تحقيق در اصول ديناميك
۳۷	سطح شيبدار گاليله
۴۵	حرکت سقوطی اجسام در هوا - وزن ظاهری اجسام
۴۶	مقاومت هوا
۴۸	تأثير مقاومت هوا در حرکت سقوطی اجسام
۵۰	هواپیما
۵۳	موشك
۵۷	فصل چهارم - حرکت دورانی متشابه
۶۴	حرکت نوسانی بر روی يك خط مستقیم
۷۱	فصل پنجم - آونگ (پاندول)
۷۷	قانون جاذبه عمومی
۷۹	موارد استعمال آونگ مرکب در اندازه گیری g
۸۶	فصل ششم - دستگاه واحدها
۹۷	فصل هفتم - کار و انرژی
۱۱۰	فصل هشتم - اشكال مختلف انرژی
۱۱۶	فصل نهم - انرژی مکانیکی و گرما

بخش دوم - فیزیک

فصل اول - آثار تناوبی	۱۲۶
فصل دوم - تداخل امواج	۱۴۶
فصل سوم - انعکاس امواج	۱۵۱
فصل چهارم - صوت	۱۶۰
انتشار صوت	۱۶۲
سرعت صوت	۱۶۳
اندازه گیری سرعت صوت	۱۶۳
تحقیق تجربی نتایج بالا	۱۶۷
انعکاس صوت	۱۶۹
فصل پنجم - خواص فیزیولوژیکی صوت	۱۷۴
ماورای صوت	۱۸۲
فصل ششم - صوتهای موسیقی	۱۸۳
فصل هفتم - تارهای مرتعش	۱۹۴
وضعیت ارتعاشی و فرمول تارهای مرتعش	۱۹۴
تحقیق تجربی قوانین تارهای مرتعش	۱۹۷
فصل هشتم - لولههای صوتی	۲۰۲
ارتعاش لولههای صوتی	۲۰۳
تحقیق تجربی قوانین لولههای صوتی باز	۲۰۶
مقایسه لولههای صوتی باز و بسته	۲۱۰
موارد استعمال تارهای مرتعش و لولههای صوتی در	
ادوات موسیقی	۲۱۱
فصل نهم - تشدید (Resonance)	۲۱۷
تشدید در صوت	۲۱۸
فصل دهم - نور	۲۲۳
فرضیه موجی نور	۲۲۵
فصل یازدهم - تداخل امواج نوری	۲۲۷
فصل دوازدهم - طیفنما (اسپکتروسکوپ)	۲۳۵
انواع طیفها	۲۳۸
اشعه مرئی و نامرئی	

فصل سیزدهم - الکتریسته	۲۴۹
جریان القایی	۲۵۰
سوی جریان القایی - قانون لنز	۲۵۲
مقدار نیروی محرکه القایی	۲۵۳
روشهای مختلف ایجاد جریان القایی	۲۵۶
فصل چهاردهم - جریان متناوب	۲۵۹
آثار جریان متناوب	۲۶۰
اختلاف پتانسیل مؤثر و نیروی محرکه مؤثر	۲۶۵
خودالقای	۲۶۶
فصل پانزدهم - خازنها	۲۷۰
اتصال خازنها	۲۷۶
فصل شانزدهم - قوانین اهم	۲۸۱
توان جریان متناوب	۲۸۹
فصل هفدهم - مولد جریان متناوب - آلترناتور	۲۹۴
جریانهای چند فاز	۲۹۸
فصل هجدهم - مولد جریانهای يك طرفه - دینامو	۳۰۱
ماشین گرام	۳۰۵
فصل نوزدهم - انتقال انرژی الکتریکی - مبدلها	۳۱۲
قوة القا - بوبین رومکورف	۳۱۸
فصل بیستم - نوسانات الکتریکی - جریان باتواتر زیاد (پرتواتر)	۳۲۳
تولید نوسانهای الکتریکی	۳۲۵
امواج الکترومغناطیسی یا امواج هرتز	۳۳۰
خواص امواج الکترومغناطیسی	۳۳۲
اثر ادیسون	۳۳۴
فصل بیست و یکم - طرق تبدیل جریان متناوب به جریان يك طرفه	۳۳۸
فصل بیست و دوم - تلگراف و تلفن بی سیم - تلگراف بی سیم	۳۴۱
تلفن بی سیم	۳۴۳
فصل بیست و سوم - فتو الکتریسته	۳۴۴
فصل بیست و چهارم - تخلیه الکتریکی در گازها	۳۵۱
اشعه کاتدیک و اشعه X	۳۵۶

PARVIN

پاروین دانی

پاروین دانی

PARVIN

بخش اول

مکانیک

صفحه	عنوان
۳۶۷	فصل بیست و پنجم - ساختمان اتم
۳۷۵	فصل بیست و ششم - رادیو اکتیویته (Radio - activité)
۳۸۴	موارد استعمال مواد رادیو اکتیو
۳۸۵	شکافت اتم و استفاده از انرژی اتمی
۳۸۷	پیل اتمی
۳۹۱	فصل بیست و هفتم - فیزیک در زندگی جدید
۳۹۱	دستگاه تقویت صوت - بلندگو
	دستگاه ثبت صوت
	سرعت سنج اتوموبیل
	تلفن
	تلفن خودکار
	تواتر سنج (فرکانس متر) - نوسان سنج (اسیلوگراف)
۴۰۶	رادار
۴۰۸	ارسال تلگرافی تصاویر
۴۱۰	تلویزیون
۴۱۴	فصل ضمیمه - ماه مصنوعی - سفینه فضایی
۴۲۱	مسائل امتحانات نهایی

فصل اول

سینماتیک

در مکانیک مبحثی را که در آن فقط حرکت اجسام مورد بررسی قرار می گیرد ، بی آنکه علت حرکت (نیرو) در نظر گرفته شود ، سینماتیک می نامند .

۱- تعریف حرکت - جسمی را در حال حرکت نامند که وضع آن در فضا نسبت به جسم دیگر با زمان تغییر کند . ممکن است جسمی نسبت به جسمی در حال حرکت ولی نسبت به جسمی دیگر در حال سکون باشد . مثلاً در قطاری که حرکت می کند ، یک واگون نسبت به درختهای اطراف در حال حرکت ، ولی نسبت به لوکوموتیو در حال سکون است . پس حرکت همیشه نسبی است و همواره باید دستگاهی به عنوان مقایسه در نظر گرفته شود .

۲- مسیر حرکت - مسیر یک حرکت مکان هندسی مواضع مختلفی است که متحرك ، ضمن حرکت ، در فضا اختیار می کند .

اگر مسیر خط مستقیم باشد ، حرکت را مستقیم الخط ، و اگر منحنی باشد حرکت را منحنی الخط نامند . مثلاً مسیر جسمی که آزادانه رها شود خطی است مستقیم و مسیر حرکت یک آتشگردان منحنی (دایره) است .

۳- معادله حرکت - رابطه بین وضع جسم متحرك و زمان را

معادله حرکت نامند .

حرکت بر دو قسم است : حرکت یکنواخت و حرکت متغیر یا نایکنواخت .

I - حرکت مستقیم الخط یکنواخت

در این حرکت متحرك مسافتهای متساوی را در مدت زمانهای متساوی می پیماید ، به عبارت دیگر مسافتهای طی شده متناسب با زمان است .

۴- سرعت در حرکت یکنواخت - در اینگونه حرکت مسافت

طی شده در واحد زمان را بزرگی سرعت می نامند . اگر مسافت را به x و بزرگی سرعت را به v و مدت زمانی را که در آن متحرك مسافت x را پیموده است به t نمایش دهیم ، سرعت چنین می شود :

$$v = \frac{x}{t}$$

مطابق تعریف : سرعت در حرکت یکنواخت مقداری است ثابت .

۵- معادله حرکت یکنواخت - رابطه بالا را به صورت

$x = vt$ (۱) نیز می توان نوشت . این رابطه معادله حرکت یکنواخت است ، چه x وضع متحرك را در هر لحظه مشخص می کند .

اگر متحرك در مبدأ زمان ($t=0$) ، به جای آنکه از مبدأ مکان

یعنی نقطه O ($x=0$) شروع به حرکت کند ، از نقطه O_1 به فاصله



شکل ۱

$OO_1 = x_0$ شروع به حرکت کند ، چنین خواهیم داشت (شکل ۱) :

$$OM = OO_1 + O_1M \quad \text{یا} \quad x = x_0 + vt \quad (۲)$$

رابطه (۲) صورت کلی معادله حرکت یکنواخت است . چنانکه
ملاحظه می شود معادله حرکت یکنواخت تابعی است درجه اول نسبت به زمان.
تذکر - واحد سرعت در دستگاه C.G.S. ، سانتیمتر بر ثانیه
(cm/s) است .

II - حرکت مستقیم الخط متغیر

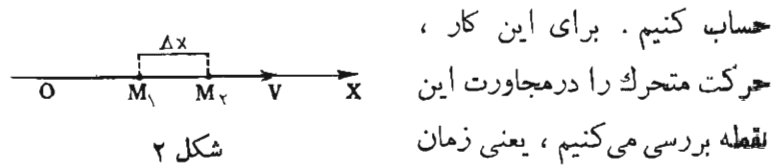
در اینگونه حرکت سرعت ثابت نیست و مسافت طی شده در مدت
زمانهای متساوی برابر نیستند . در حرکت متغیر ، معادله حرکت تابع
جبری از درجه دوم به بالا یا تابع مثلثاتی است ، مانند حرکت سقوطی که
تابع درجه دومی است از زمان و حرکت نوسانی که تابعی است مثلثاتی .
۶- سرعت متوسط - اگر متحرکی مسافت x را در مدت t
ثانیه با حرکتی متغیر پیموده باشد ، بطور متوسط در هر ثانیه مسافت $\frac{x}{t}$
را پیموده است . این مسافت را **سرعت متوسط** در این فاصله زمان
می نامند و آن را به v_m نمایش می دهند .

$$v_m = \frac{x}{t}$$

به عبارت دیگر سرعت متوسط متحرک M ، سرعت متحرکی است
مانند m که با حرکتی یکنواخت همان مسافت را پیماید که متحرک M در
همان مدت پیموده است .

۷- سرعت لحظه ای - متحرک M ، که معادله حرکت آن
 $x=f(t)$ است ، بر روی محور Ox از نقطه O شروع به حرکت کرده و
پس از مدت زمان t_1 ثانیه به نقطه M_1 به فاصله $OM_1 = x_1 = f(t_1)$

رسیده است (شکل ۲) . می خواهیم سرعت متحرک را در لحظه t_1



حساب کنیم . برای این کار ،
حرکت متحرک را در مجاورت این
نقطه بررسی می کنیم ، یعنی زمان
را اندکی تغییر می دهیم تا مساوی t_2 شود . در لحظه t_2 متحرک به نقطه
 M_2 رسیده و $OM_2 = x_2 = f(t_2)$ است . بنابراین متحرک M مسافت
 M_1M_2 را با حرکتی متغیر در مدت زمان $t_2 - t_1$ پیموده است و سرعت
متوسط متحرک بین دو لحظه t_1 و t_2 مساوی است با $v_m = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$.
اگر $x_2 - x_1$ را که نمو x است به Δx و $t_2 - t_1$ را که نمو t است به
 Δt نمایش دهیم ، v_m چنین می شود : $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. مقدار این سرعت
متوسط محصور است بین سرعت متحرک در لحظه t_2 و سرعت متحرک در
لحظه t_1 . پس هر قدر اختلاف بین t_1 و t_2 کمتر یعنی Δt کوچکتر شود ،
این مقدار به سرعت در لحظه t_1 نزدیکتر می شود . اگر Δt میل کند به سمت
صفر ، سرعت متوسط نیز میل می کند به سمت سرعت حقیقی متحرک در
لحظه t_1 که آن را **سرعت لحظه ای** می نامند . پس :

سرعت لحظه ای حد سرعت متوسط است وقتی که Δt به سمت صفر
میل کند .

یعنی : $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (v_m)_{\Delta t}$ یا $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)_{\Delta t}$ حد

می دانیم که این حد را مشتق تابع نسبت به متغیر زمان می نامند . پس :
سرعت لحظه ای مشتق مسافت است نسبت به زمان .

$$v = \frac{dx}{dt} = x' = f'(t)$$

۸ - شتاب در حرکت مستقیم الخط - در حرکت مستقیم الخط

اگر مقادیر سرعت متحرك M در لحظه t_1 مساوی v_1 و در لحظه t_2 مساوی v_2 باشد، بر حسب تعریف خارج قسمت $\frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ را شتاب متوسط متحرك M بین دو لحظه t_1 و t_2 می نامند. پس اگر شتاب متوسط را با γ_m نشان دهیم خواهیم داشت:

$$\gamma_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

شتاب در واقع شدت تغییرات سرعت را در فاصله زمان Δt نشان می دهد. هر قدر شتاب بزرگتر باشد، تغییرات سرعت شدیدتر است. در حرکت مستقیم الخط یکنواخت شتاب صفر است.

۹ - شتاب لحظه ای - در اینجا نیز، مانند سرعت لحظه ای، گوییم که شتاب لحظه ای حد شتاب متوسط است هنگامی که Δt میل کند به سمت صفر. بنابراین:

$$\gamma = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right) \quad \text{یا} \quad \gamma = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\gamma_m)$$

و چون این حد مشتق سرعت نسبت به زمان است، شتاب لحظه ای مشتق سرعت نسبت به زمان یا مشتق دوم مسافت نسبت به زمان است.

$$\gamma = v' = x'' = f''(t)$$

تذکر - واحد شتاب در دستگاه C.G.S. سانتیمتر بر ثانیه بر ثانیه (cm/s^2) و در دستگاه متریک، متر بر ثانیه بر ثانیه (m/s^2) است (s^2 در مخرج برای این است که شتاب، تغییرات سرعت، تقسیم بر تغییرات زمان است و چون خود سرعت، تغییرات مسافت تقسیم بر تغییرات زمان است

پس زمان درمخرج به صورت درجه دوم ظاهر می شود).

مثال - اگر معادله حرکت متحرکی $x = 3t^2 + 5t + 4$ باشد، سرعت آن از رابطه: $v = x' = 6t + 5$ و شتاب آن از رابطه: $\gamma = v' = 6$ بدست می آید.

۱۰ - حرکت مستقیم الخط متشابه تغییر - بر حسب تعریف،

حرکتی را متشابه تغییر نامند که در آن تغییرات سرعت یکنواخت باشد. معادله چنین حرکتی تابع درجه دومی است از زمان و شتاب آن مقداری است ثابت:

$$(۱) \quad x = at^2 + bt + c$$

$$(۲) \quad v = 2at + b$$

$$(۳) \quad \gamma = 2a$$

از رابطه (۳) نتیجه می شود که a (ضریب جمله درجه دوم) نصف

$$a = \frac{\gamma}{2} \quad \text{شتاب است:}$$

از رابطه (۲) نتیجه می شود که b سرعت متحرك است در لحظه

صفر ($t=0$). b را سرعت اولیه می نامند و به v_0 نمایش می دهند:

$$b = v_0$$

و از رابطه (۱) نتیجه می شود که c مسافت اولیه یعنی فاصله متحرك

است از مبدأ مکان در مبدأ زمان، یعنی در لحظه صفر ($t=0$). c را با

$$c = x_0 \quad \text{نمایش می دهند:}$$

می بینیم که معادلات حرکت متشابه تغییر به صورت کلی زیر در-

می آید:

$$x = \frac{1}{2} \gamma t^2 + v_0 t + x_0 \quad \text{و} \quad v = \gamma t + v_0$$

اگر مبدأ زمان را لحظه‌ای اختیار کنیم که در آن لحظه متحرك در مبدأ مکان باشد یعنی به ازای $t=0$ ، $x=0$ باشد ، معادله حرکت و سرعت به صورت ساده زیر درمی آیند :

$$x = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2 + v_0 t \quad \text{و} \quad v = \gamma t + v_0$$

از حذف t بین این دو رابطه نتیجه می شود :

$$v^2 - v_0^2 = 2\gamma x$$

در حرکت مستقیم الخط متشابه‌التغیر دو حالت اتفاق می افتد :

الف - شتاب و سرعت همسو هستند . در این صورت حرکت را **تند شونده** می نامند ، و چون معمولاً سوی مثبت را سوی حرکت که همان سوی سرعت است اختیار می کنند ، در حرکت تندشونده شتاب مثبت است و مقدار سرعت دائماً زیاد می شود . با این سوی مثبت ، معادلات حرکت تند شونده چنین می شود :

$$x = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2 + v_0 t$$

$$v = \gamma t + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = 2\gamma x$$

و اگر t را حذف کنیم :

و اگر سرعت اولیه صفر باشد ($v_0 = 0$) ، خواهیم داشت :

$$x = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2 , \quad v = \gamma t$$

$$v = \sqrt{2\gamma x}$$

یا

ب - شتاب و سرعت در يك سو نیستند و چون سوی مثبت را سوی سرعت اختیار کنیم ، در این حرکت شتاب منفی خواهد بود و مقدار سرعت کم می شود . این حرکت را **کند شونده** می نامند . بنا بر این معادلات حرکت و سرعت چنین می شود :

$$\begin{cases} x = -\frac{1}{\gamma} \gamma t^2 + v_0 t \quad \text{و} \quad v = -\gamma t + v_0 \\ v^2 - v_0^2 = -2\gamma x \end{cases}$$

در این حرکت ، پس از مدت زمان $t = \frac{v_0}{\gamma}$ سرعت صفر می شود .

مسافت طی شده در این مدت $x = \frac{v_0^2}{2\gamma}$ است که از قرار دادن $t = \frac{v_0}{\gamma}$ در رابطه مسافت بدست می آید .

در حرکت متشابه‌التغیر قضیه زیر صدق می کند :

۱۱ - در يك حرکت متشابه‌التغیر ، مسافت پیموده شده در فواصل زمان متساوی و متوالی يك تصاعد عددی (حسابی) تشکیل می دهند .

فرض کنیم که $x = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2$ مسافت پیموده شده در مدت زمان t باشد (در اینجا مبدأ زمان را همان آغاز حرکت اختیار کرده ایم) . پس از مدت زمان t ، مدت زمانهای متساوی θ را در نظر می گیریم و مسافت پیموده شده را در این مدت زمانها بدست می آوریم :

$$x = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2$$

$$x_1 = \frac{1}{\gamma} \gamma (t + \theta)^2 = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2 + \gamma t \theta + \frac{1}{\gamma} \gamma \theta^2$$

$$x_2 = \frac{1}{\gamma} \gamma (t + 2\theta)^2 = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2 + 2\gamma t \theta + 2\gamma \theta^2$$

$$x_3 = \frac{1}{\gamma} \gamma (t + 3\theta)^2 = \frac{1}{\gamma} \gamma t^2 + 3\gamma t \theta + \frac{9}{\gamma} \gamma \theta^2$$

پس مسافتات پیموده شده در مدت زمانهای متوالی θ چنین می شود :

$$x_1 - x = \gamma t \theta + \frac{1}{\gamma} \gamma \theta^2$$

$$x_2 - x_1 = \gamma t \theta + \frac{2}{\gamma} \gamma \theta^2$$

$$x_3 - x_2 = \gamma t \theta + \frac{5}{\gamma} \gamma \theta^2$$

مشاهده می شود که این مسافت تصاعدی حسابی تشکیل می دهند که قدر نسبت آن $\gamma \theta^2$ است. اگر فواصل زمانی θ برابر با واحد زمان اختیار شود، قدر نسبت این تصاعد γ خواهد شد.

تمرین

۱- معادله انتشار صوت به صورت $x = 340t$ است که در آن x بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است. سرعت صوت و مسافت طی شده را پس از $\frac{1}{10}$ ثانیه پیدا کنید، و نیز تعیین کنید که پس از چه مدت صوت مسافت ۱۷۰۰ متر را طی می کند؟
 ۱) $v = 340 \text{ m/s}$ ۲) $x = 34 \text{ m}$ ۳) $t = 5 \text{ s}$
 ۲- متحرکی با سرعت ثابت 12 m/s بر مسیری مستقیم حرکت می کند. این متحرک در لحظه $t = 2 \text{ s}$ در فاصله ۵- متری از مبدأ مکان است. تعیین کنید که این متحرک در لحظه $t = 20 \text{ s}$ به چه فاصله ای از مبدأ مکان می رسد.
 ۲۱۱ m
 ۳- معادله حرکت مستقیم الخط یکنواختی را بنویسید که در آن، متحرک در لحظه $t = 2 \text{ s}$ در ۶ متری از مبدأ مکان و در لحظه $t = 5 \text{ s}$ در ۱۸ متری از مبدأ مکان است. و نیز تعیین کنید که این متحرک در مبدأ زمان در چه فاصله ای از مبدأ مکان می باشد.

$$1) x = 4t - 2 \quad 2) - 2 \text{ m}$$

۴- در مبدأ زمان متحرکی از نقطه A برای می افتد، و مسیر مستقیم AB را که طول آن ۳۶ متر است در مدت ۶ ثانیه طی می کند. این متحرک قسمتی از مسیر را با سرعت ثابت 5 m/s و بقیه مسیر را با سرعت ثابت 8 m/s طی کرده است. تعیین کنید که چه مسافتی را با سرعت 5 m/s طی کرده است.
 ۲۰ m

۵- معادله حرکت متحرکی در دستگاه متریک $x = 5t^2 + 3t$ است. معین کنید: ۱- معادله سرعت را، ۲- شتاب حرکت را، ۳- سرعت اولیه را،

۴- مسافت طی شده در ثانیه سوم را، و ۵- پس از چه مدت متحرک مسافت ۲۶ متر را می پیماید، و سرعت آن در این لحظه چقدر است؟

$$1) v = 10t + 3 \quad 2) \gamma = 10 \text{ m/s}^2 \quad 3) v_0 = 3 \text{ m/s}$$

$$4) x = 28 \text{ m} \quad 5) t = 2 \text{ s} \text{ و } v = 23 \text{ m/s}$$

۶- جسمی با شتاب ثابت 50 cm/s^2 از حال سکون برآه می افتد. معین کنید: ۱- معادلات حرکت و سرعت متحرک را. ۲- پس از چه مدت سرعت به 8 m/s می رسد؟ ۳- مسافت طی شده در این مدت را.

$$1) x = 25t^2 \text{ و } v = 50t \quad 2) t = 16 \text{ s} \quad 3) x = 64 \text{ m}$$

۷- اتوموبیلی از حال سکون برآه می افتد و سرعت آن پس از ۲ دقیقه به 72 km/h می رسد. در صورتی که حرکت اتوموبیل متشابه تغییر تندشونده فرض شود، معین کنید: ۱- شتاب حرکت را، ۲- مسافت طی شده در این مدت زمان را، و ۳- پس از چه مدت سرعت اتوموبیل به 10 m/s می رسد؟

$$1) \gamma = \frac{1}{6} \text{ m/s}^2 \quad 2) x = 1200 \text{ m} \quad 3) t = 60 \text{ s}$$

۸- گلوله ای با سرعت 720 m/s از دهانه تفنگی خارج می شود. در صورتی که طول لوله تفنگ 80 cm و حرکت گلوله متشابه تغییر باشد، معین کنید مدت حرکت گلوله در لوله و شتاب حرکت را.

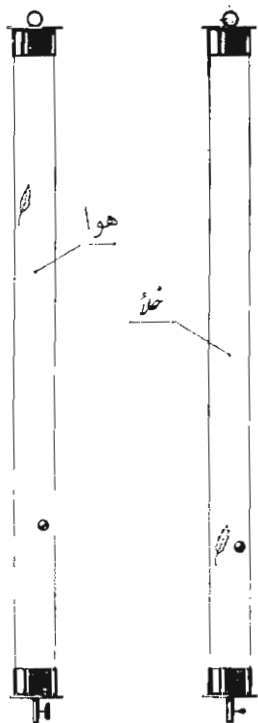
$$t = \frac{1}{450} \text{ s} \text{ و } \gamma = 324000 \text{ m/s}^2$$

۹- اتوموبیلی با سرعت 20 m/s بطور یکنواخت حرکت می کند. در یک لحظه راننده ترمز می کند و اتوموبیل پس از طی مسافت ۵ متری ایستد. معین کنید: ۱- شتاب حرکت را پس از ترمز شدن، ۲- معادلات حرکت و سرعت را در صورتی که حرکت پس از ترمز شدن متشابه تغییر کندشونده فرض شود.
 $\gamma = 40 \text{ m/s}^2$

نیروی مقاومی از طرف هوا بر آن وارد می شود که در سوی مخالف با جهت حرکت است و در نتیجه از شتاب حرکت می کاهد ، و بعداً به ذکر آن خواهیم پرداخت . هم اکنون خواهیم دید که بر اثر همین مقاومت هواست که اجسامی مانند پر مرغ ، و کاغذ در هوا آهسته تر از اجسامی مانند سنگ ، سقوط می کنند :

سقوط اجسام در خلأ و در هوا

آزمایش نیوتن - لوله نیوتن لوله ای است شیشه ای به طول



شکل ۴

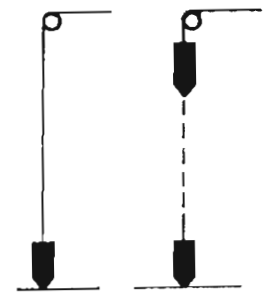
تقریباً ۲ متر که در آن می توان خلأ ایجاد کرد. این لوله محتوی چیزهای مختلفی از قبیل يك گلوله فلزی و يك پر مرغ است . اگر لوله را بر سر دست وارونه کنیم ، مشاهده می شود که گلوله با سرعت زیادتر و پس از آن پر مرغ فرو می افتند . اگر همین آزمایش را پس از تخلیه لوله از هوا تکرار کنیم ، می بینیم که همه این اجسام با يك سرعت سقوط می کنند و در يك زمان به انتهای لوله می رسند (شکل ۴) . از این آزمایش نتیجه می گیریم که :

قانون دوم : در خلأ تمام اجسام با هم سقوط می کنند ، یعنی سرعت سقوط در خلأ بستگی به جنس و جرم و شکل جسم ندارد .
قانون سوم : حرکت سقوطی در خلأ ، مشابه تغییر تندشونده است .

چون آزمایش در خلأ کمایش مشکل است ، برای تحقیق در قوانین سقوط در خلأ ، آزمایشها را در هوا صورت می دهند ولی جسم را مخروطی و ساین و کوچک اختیار می کنند تا تأثیر هوا بر روی آن ناچیز باشد .

۱۲- نیروی جاذبه زمین بر اجسام اثر می کند و آنها را به سوی

مرکز زمین می کشاند . وزن یا سنگینی اجسام همان نیروی جاذبه زمین است ، و در نتیجه تأثیر این نیروست که اجسام سقوط می کنند . از طرف دیگر آزمایش نشان می دهد که هر جسمی که آزادانه رها شود ، در امتداد قائم (شاقول) سقوط می کند (شکل ۳) . از این مشاهدات



شکل ۳

نتیجه می گیریم که :

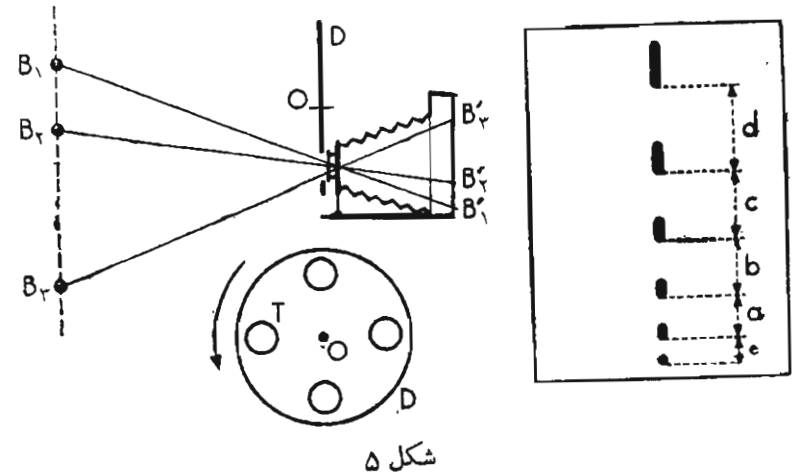
قانون اول : حرکت سقوطی اجسام ، در امتداد قائم و از بالا به

پایین است .

ولی گاهی مشاهده می شود که بعضی از اجسام ، مانند بالون ، به جای آنکه پس از رها شدن سقوط کنند ، بالا می روند . علت این امر وجود هواست ؛ زیرا اجسام غوطه ور در هوا ، تحت تأثیر نیرویی از پایین به بالا و برابر با وزن هوای هم حجم خود قرار می گیرند (قانون ارشمیدس) . پس اگر وزن جسمی از وزن هوای هم حجمش کمتر باشد ، پس از رها شدن صعود می کند . از طرف دیگر هر جسمی که در هوا حرکت می کند ،

یکی از روشهایی که در تحقیق قوانین سقوط بکار می رود ، روش عکسبرداری است .

۱۳- روش عکسبرداری (کرونوفتوگرافی)- قرص سوراخدار D حول محور O که از مرکز آن می گذرد حرکت دورانی یکنواخت می کند . در مقابل این قرص يك دوربین عکاسی چنان قرار داده شده که سوراخهای قرص به فواصل زمانی متساوی از برابر دریچه آن می گذرند (شکل ۵) . اگر در پشت این قرص گلوله ای را که به وسیله يك چراغ پرنور روشن شده آزادانه رها کنیم ، عکس گلوله ، هر بار که یکی از



سوراخهای قرص D از برابر دریچه دوربین می گذرد ، به فواصل زمانی متساوی در دوربین برداشته می شود .

به این ترتیب تصاویری مانند $B'_1, B'_2, B'_3, \dots$ که مربوط به مواضع $B_1, B_2, B_3, \dots$ گلوله است برداشته می شود . پس از ظاهر کردن فیلم خطوط کوتاهی تاریکی بر روی فیلم دیده می شود (علت اینکه عکس گلوله به جای نقطه خط می افتد این است که در مدت کوتاهی که

عکسبرداری انجام می گیرد ، گلوله این فرصت را داشته است که اندکی جابجا شود) ؛ ولی آغاز هر حرکت در فواصل زمانی متساوی بوده که مربوط است به مسافتات $a, b, c, \dots$ در عکس مشاهده می شود که $b-a=c-b=d-c=\dots$ یعنی طول قطعات $a, b, c, \dots$ يك تصاعد حسابی تشکیل می دهند ؛ و این از خواص حرکت متشابه التغییر است . پس : سقوط اجسام حرکت متشابه التغییر تندشونده است و بنابراین مسافتات پیموده شده متناسب است با مجذور زمان .

۱۴- معادله حرکت - چنانکه گفته شد ، معادله حرکت متشابه التغییر يك تابع درجه دوم است از زمان . پس معادله حرکت $x = Kt^2$ و معادله سرعت $v = 2Kt$ و معادله شتاب $\gamma = 2K$ خواهد بود ، و چون طبق آزمایش نیوتن همه اجسام با هم سقوط می کنند ، شتاب حرکت سقوطی برای تمام اجسام مقداری ثابت است . این مقدار ثابت را که شتاب ثقل می نامند ، به g نمایش می دهیم : $K = \frac{g}{2}$ و معادله های حرکت سقوطی اجسام بدون سرعت اولیه چنین می شود :

$$(۱) x = \frac{1}{2}gt^2 \quad (۲) v = gt \quad (۳) v = \sqrt{2gx}$$

خلاصه - قوانین سقوط آزاد به صورت زیر خلاصه می شود :

قانون ۱ - حرکت سقوطی آزاد اجسام در امتداد قائم است ؛

قانون ۲ - حرکت سقوطی آزاد اجسام بستگی با جنس و جرم جسم ندارد ؛

قانون ۳ - حرکت سقوطی آزاد اجسام متشابه التغییر تندشونده است . معادلات حرکت و سرعت چنین است :

$$v = \sqrt{2gx} \quad \text{و} \quad v = gt \quad \text{و} \quad x = \frac{1}{2}gt^2$$

مثال - از ارتفاع ۳۰۰ متری زمین سنگی را بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. چه مدت طول می‌کشد تا سنگ به زمین برسد؟ سرعت سنگ هنگام رسیدن به زمین بر حسب کیلومتر بر ساعت چقدر است؟ از مقاومت هوا صرف نظر می‌کنیم ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

حل - بر طبق فرمول $x = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t$ می‌توان نوشت:

$$300 = \frac{1}{2} \times 9.81 t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{600}{9.81}} \quad \text{و از آنجا}$$

$$t = 2.47 \text{ s}$$

سرعت سنگ هنگام رسیدن به زمین از فرمول $v = gt$ بدست می‌آید؛ ولی ممکن است آن را از فرمول $v = \sqrt{2gx}$ نیز بدست آورد. بر طبق فرمول اخیر:

$$v = \sqrt{2 \times 9.81 \times 300} \Rightarrow v = 24.4 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{24.4 \times 3600}{1000} = 87.84 \text{ km/h} \quad \text{با}$$

به علت مقاومت هوا سرعت سنگ هنگام رسیدن به زمین از این مقدار کمتر است.

۱۵ - حرکت سقوطی اجسام با سرعت اولیه v_0 - الف -

اگر جسمی با سرعت اولیه v_0 از بالا به پایین در امتداد قائم پرتاب شود، معادله‌های حرکت و سرعت چنین می‌شود:

$$x = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t \quad \text{و} \quad v = gt + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = 2gx$$

و بنا بر این

ب - اگر جهت سرعت اولیه از پایین به بالا باشد، شتاب حرکت

همان g است و چون سوی مثبت را سوی حرکت اختیار کنیم خواهیم داشت:

$$x = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t \quad \text{و} \quad v = -gt + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = -2gx \quad \text{و بنا بر این:}$$

در این حرکت سرعت در لحظه $t = \frac{v_0}{g}$ صفر می‌شود و مسافتی که

متحرک در این مدت پیموده $x = \frac{v_0^2}{2g}$ است. از این لحظه بد بعد حرکت

جسم از بالا به پایین و متشابه تغییر تندشونده می‌شود.

مثال - گلوله‌ای با سرعت اولیه 6 m/s در امتداد قائم به طرف بالا پرتاب می‌شود. پس از چه مدتی گلوله مجدداً به نقطه پرتاب می‌رسد؟ گلوله تا چه ارتفاعی از نقطه پرتاب بالا می‌رود؟ ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

حل - فرض می‌کنیم که در مبدأ زمان گلوله به طرف بالا پرتاب شود، پس معادله حرکت به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$x = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t$$

v_0 سرعت اولیه پرتاب و x فاصله گلوله از نقطه پرتاب در لحظه t است. هنگامی که گلوله مجدداً به نقطه پرتاب می‌رسد $x = 0$ است. بنا بر این:

$$-\frac{1}{2} \times 9.81 t^2 + 6t = 0$$

از حل این معادله دو جواب بدست می‌آید: $t = 0$ و $t = \frac{12}{9.81} = 1.22 \text{ s}$

$t = 0$ لحظه پرتاب گلوله است و $t = 1.22 \text{ s}$ لحظه‌ای است که گلوله مجدداً به نقطه پرتاب رسیده است. بنا بر این 1.22 ثانیه طول می‌کشد تا گلوله به نقطه پرتاب برسد.

هنگامی که گلوله به بالاترین نقطه خود می‌رسد، سرعتش صفر می‌شود.

پس:

$$v = -9.81t + 6 = 0 \Rightarrow t = \frac{1/22}{2} = 0.618$$

مقدار t را که از این معادله بدست می‌آید در معادله حرکت، یعنی معادله زیر می‌گذاریم:

$$x = -\frac{1}{2} \times 9.81t^2 + 6t$$

$$x = -\frac{1}{2} \times 9.81 \times (0.61)^2 + 6(0.61)$$

$$x = 1.83m$$

تمرین

۱ - جسمی را از ارتفاع $78/4$ متر در خلأ بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. در صورتی که سرعت متحرک پس از نیم ثانیه به $4/9m/s$ برسد، معین کنید: ۱ - شتاب ثقل را در آن نقطه؛ ۲ - معادلات حرکت و سرعت را؛ ۳ - سرعت پس از مدت یک ثانیه، و مسافت پیموده شده در همین مدت؛ ۴ - مسافت طی شده در ثانیه دوم، و سرعت متحرک در آخر ثانیه دوم و ۵ - مدت زمان سقوط و سرعت جسم در موقع رسیدن به زمین.

$$1) g = 9.8m/s^2 \quad 3) v = 9.8m/s \text{ و } x = 4.9m$$

$$4) x = 14.7m \text{ و } v = 19.6m/s \quad 5) 4s \text{ و } 39.2m/s$$

۲ - در امتداد قائم OAB و از نقطه O بدون سرعت اولیه گلوله‌ای را رها می‌کنیم. در صورتی که سقوط آزاد فرض شود و متحرک مسافت

$$AB = 19.6cm \text{ را در مدت } \frac{1}{50} \text{ ثانیه پیماید، معین کنید فاصله } OB \text{ و}$$

$$\text{سرعت جسم را در موقع رسیدن به زمین، در صورتی که } g = 9.8m/s^2 \text{ باشد.}$$

$$x = 5m \text{ و } v = 9.90m/s$$

۳ - سنگی را در چاهی می‌اندازیم و صدای برخورد آن را با ته چاه پس از $5/36$ ثانیه می‌شنویم. معین کنید در صورتی که سرعت صوت مساوی 340 متر در ثانیه باشد، عمق چاه چقدر است ($g = 9.8m/s^2$)؟

$$122/5m$$

۴ - جسمی از ارتفاع $30/6m$ با سرعت اولیه 5 متر در ثانیه از بالا به پایین و در امتداد قائم پرتاب می‌شود. در صورتی که متحرک پس از یک ثانیه مسافت $9/9$ متر را طی نموده باشد معین کنید:

۱ - شتاب ثقل را در آن محل؛ ۲ - سرعت را پس از یک ثانیه؛

۳ - سرعت جسم را در موقع برخورد با زمین.

$$1) g = 9.8m/s^2 \quad 2) v = 14.8m/s \quad 3) v = 25m/s$$

۵ - گلوله‌ای از دهانه تفنگی که لوله آن بطور قائم قرار گرفته با سرعت $200m/s$ خارج می‌شود، در صورتی که $g = 10m/s^2$ باشد معین کنید:

۱ - تا چه ارتفاعی گلوله بالا می‌رود، و زمان این حرکت چقدر است؟

۲ - در برگشت و در برخورد با زمین سرعت آن چقدر است؟

$$1) x = 2000m \text{ و } t = 20s \quad 2) v = 200m/s$$

۶ - گلوله‌ای بطور آزاد سقوط می‌کند، و در ثانیه دوم سقوط، مسافت

$14/7$ متر را طی می‌کند. معین کنید: ۱ - مقدار g را در آن محل.

۲ - سرعت را در آخر ثانیه دوم.

$$1) g = 9.8m/s^2 \quad 2) v = 19.6m/s$$

۷ - مطلوب است محاسبه زمان سقوط جسمی از ارتفاع 500 متری از

سطح سیاره‌ای که شتاب ثقل آن $400cm/s^2$ است.

$$t = 15/8s$$

۸ - جسمی به حالت آزاد سقوط می‌کند. مطلوب است: ۱ - مسافت

طی شده پس از 5 ثانیه؛ ۲ - سرعت در این لحظه؛ ۳ - سرعت متوسط در

مدت پنج ثانیه اول سقوط در صورتی که $g = 10m/s^2$ باشد.

$$1) x = 125m \quad 2) v = 50m/s \quad 3) v_m = 25m/s$$

دینامیک

۱۶ - دینامیک - در مکانیک مبحثی را که در آن از رابطه بین حرکت و نیرو گفتگو می شود دینامیک می نامند . علم دینامیک مبتنی بر پنج اصل زیر است :

I - اصل ماند یا اصل جبر - هرگاه نقطه ای مادی تحت تأثیر هیچ نیرویی واقع نشود ، اگر ساکن است همواره ساکن می ماند و اگر در حال حرکت است ، حرکتش مستقیم الخط و یکنواخت خواهد بود .
مثلاً اگر یک گلوله کوچک شیشه ای را بر روی سطح افقی نامحدود و بدون اصطکاک به وسیله ضربه ای بحرکت درآوریم ، گلوله حرکت خود را یکنواخت و در امتداد همان سرعت اولیه پیوسته ادامه خواهد داد .
تعریف نیرو را می توان بیان دیگری از اصل ماند دانست ، زیرا چنانکه می دانیم :

نیرو عاملی است که جسم ساکنی را متحرک یا جسم متحرکی را ساکن می کند ، یا در حرکت جسم تغییر می دهد .

II - اصل نیروی ثابت - هرگاه يك نقطه ای مادی از حال سکون ، تحت تأثیر نیروی ثابتی از حیث راستا ، سو ، و بزرگی واقع شود ، حرکتی خواهد داشت مستقیم الخط و متشابه تغییر تندشونده در امتداد نیرو .
مثال - در حرکت سقوطی اجسام چنانکه دیدیم نیرو در تمام طول مدت سقوط همان وزن جسم است که از حیث راستا ، سو ، و بزرگی ثابت می ماند و در نتیجه حرکت متشابه تغییر است .

III - اصل متناسب بودن نیرو با شتاب ، یا اصل اساسی دینامیک - در هر لحظه شتاب متناسب با نیرو و همسو با آن است .
یعنی اگر نیرویی مانند $\vec{f}$ بر نقطه ای مادی وارد شود ، شتاب ایجاد شده درجسم همسو با نیرو و متناسب با آن خواهد بود ، بطوری که اگر بزرگی نیرو ۲ یا ۳ یا ۴ برابر شود ، شتاب همان نقطه مادی ۲ یا ۳ یا ۴ برابر خواهد شد . بنا براین می توان گفت که :

خارج قسمت نیرو بر شتاب حاصل از آن در يك نقطه مادی مقداری است ثابت ، و این مقدار ثابت را ، برحسب تعریف ، جرم جسم می نامند .
اگر نیرو را به $\vec{f}$ و شتاب را به $\vec{\gamma}$ و جرم جسم را به m نشان دهیم ، این اصل به وسیله رابطه برداری $\vec{f} = m\vec{\gamma}$ (۱) بیان می شود .
تذکر - این اصل شامل دو اصل پیشین نیز هست ، چه اگر نیرو مساوی صفر باشد ($f=0$) ، شتاب نیز مساوی صفر ($\gamma=0$) و حرکت یکنواخت خواهد بود (اصل ماند) و اگر $\vec{f} = Cte$ ، یعنی نیرو ثابت باشد ، شتاب نیز ثابت و حرکت متشابه تغییر خواهد بود (اصل ۲) .

IV - اصل ترکیب چند نیرو - هرگاه نقطه ای مادی تحت تأثیر چند نیرو قرارگیرد ، شتاب حاصل درجسم برآیند شتابهایی است که هر يك از نیروها بتنهايي درجسم ایجاد می کنند .

یعنی اگر نقطه ای تحت تأثیر نیروی $\vec{f}_1$ شتاب $\vec{\gamma}_1$ و تحت تأثیر نیروی $\vec{f}_2$ شتاب $\vec{\gamma}_2$ را بدست آورد ، اگر نیروهای $\vec{f}_1$ و $\vec{f}_2$ باهم بر آن اثرکنند ، شتابی برابر با $\vec{\gamma}$ به آن خواهند داد که برآیند شتابهای $\vec{\gamma}_1$ و $\vec{\gamma}_2$ است . یعنی : $\vec{\gamma} = \vec{\gamma}_1 + \vec{\gamma}_2$.

V - اصل تساوی عمل و عکس العمل (کنش و واکنش) - هنگامی که جسمی بر جسم دیگر نیرو وارد می کند ، این اثر همواره متقابل است .

یعنی جسم دوم نیز بر جسم اول نیرو وارد می‌کند. در فیزیک یکی از این دو نیرو را **عمل** و دیگری را **عکس‌العمل** می‌نامند. اصل تساوی عمل و عکس‌العمل چنین می‌گوید: همواره عمل و عکس‌العمل مساوی و در سوی مخالف یکدیگرند (دو نیروی متقابل). در مثال گلوله، مربوط به اصل جبر، که بر سطح افقی دارای حرکت یکنواخت است، در حقیقت نیروی وزن که نیروی وارد از طرف جسم بر صفحه است با نیروی عکس‌العمل سطح خشی می‌شود و در نتیجه برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر است.

نقطه مادی - دستگاه مادی - نقطه مادی، که تا کنون از آن گفتگو کردیم، نقطه هندسی وزینی است که وجود خارجی ندارد و مفهومی کاملاً مجرد است که به منظور سهولت و امکان بررسی موضوعات مربوط به مکانیک در نظر گرفته می‌شود. هر جسم از مجموعه یا دستگاهی از نقاط مادی تشکیل شده است. اصول دینامیک برای هر یک از نقاط پذیرفتنی است؛ بنابراین چگونگی حرکت دستگاهی که تحت اثر نیروی خارجی قرار گرفته است، در صورتی که دستگاه تغییر شکل ندهد، کاملاً مشخص است. به همین دلیل در اینجا دستگاههایی را در نظر می‌گیریم که **صلب** یعنی جامد و تغییر شکل ناپذیر باشند.

وزن و جرم

۱۷ - چنانکه تعریف کردیم، جرم جسم عبارت از نسبت ثابتی است بین نیروی وارد بر جسم و شتاب حاصل از آن:

$$\frac{\vec{f}_1}{\gamma_1} = \frac{\vec{f}_2}{\gamma_2} = \frac{\vec{f}_r}{\gamma_r} = \text{Cte} = m$$

چون همین جسم تحت تأثیر نیروی ثقل یعنی وزن $\vec{P}$ قرار گیرد و به حالت آزاد سقوط کند، شتابی مساوی $\vec{g}$ در آن ایجاد می‌شود. پس نسبت $\frac{\vec{P}}{\vec{g}}$ نیز باید مثل نسبتهای سابق و مساوی جرم این جسم باشد،

$$\frac{\vec{f}_1}{\gamma_1} = \frac{\vec{f}_2}{\gamma_2} = \frac{\vec{f}_r}{\gamma_r} = \frac{\vec{P}}{\vec{g}} = m \quad \text{یعنی:}$$

از تصویر بردارهای $\vec{g}$ و $\vec{P}$ بر امتداد قائم رابطه بین بزرگی بردارهای وزن و شتاب ثقل را پیدا می‌کنیم:

$$P = mg$$

۱۸ - خواص جرم - در مکانیک کلاسیک جرم جسم مقداری است

ثابت و تغییرات سرعت و فشار و دما و حالات فیزیکی و شیمیایی تغییری در مقدار آن نمی‌دهد، در صورتی که ممکن است همین تغییرات در سایر مشخصات جسم از قبیل حجم و غیره مؤثر باشد.

جرم در حقیقت بستگی با مقدار ماده‌ای دارد که در جسم وجود دارد، در صورتی که وزن نیرویی است که از زمین بر این مقدار ماده وارد می‌شود. از فرمول $\vec{P} = m\vec{g}$ و اینکه طبق آزمایش نیوتن شتاب همه اجسام در سقوط آزاد یکسان است، نتایج زیر بدست می‌آید:

۱- در هر نقطه معین از زمین، وزن هر جسم متناسب با جرم آن است و ضریب تناسب، شتاب ثقل در آن نقطه از زمین است.

$$\frac{P_1}{m_1} = \frac{P_2}{m_2} = g \text{ پس } P_2 = m_2 g \text{ و } P_1 = m_1 g$$

۲- نسبت دو جرم برابر با نسبت وزن آنهاست و این نسبت بستگی به محل آزمایش ندارد :

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

از این رو در عمل برای اندازه گیری جرم از ترازو استفاده می کنند. ترازو که نسبت دو وزن را تعیین می کند ، نسبت دو جرم را نیز تعیین می کند . می دانیم که با ترازو نمی توان وزن جسمی را در نقاط مختلف زمین اندازه گیری کرد، چه وزن هر وزنه از یک نقطه زمین به نقطه دیگر فرق می کند (چون $\vec{g}$ تغییر می کند). اگر وزن جسمی را با نیروسنج اندازه بگیریم، مشاهده می کنیم که نیروسنج در نقاط مختلف زمین مقادیر مختلف نشان می دهد ، مثلاً اختلاف وزن هر جسم در قطب و استوا برابر با $\frac{1}{400}$ وزن آن است .

بر طبق نظریات جدید جرم جسم به سرعت حرکت جسم بستگی پیدا می کند . این بستگی بر طبق رابطه زیر است :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

که در آن m_0 جرم جسم را در حالت سکون نشان می دهد و m جرم جسم است هنگامی که با سرعت v حرکت می کند و c سرعت نور است که مقدار آن برابر است با $300000000 \text{ km/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

رابطه بالا نشان می دهد که وقتی که سرعت جسم از سرعت های معمولی

است جرم جسم نسبت به جرم آن در حالت سکون تفاوت زیادی نمی کند. مثلاً اگر سرعت جسم 30 km/s باشد جرم جسم :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{30^2}{10^8}}} \approx m_0 (1 + \frac{1}{2} \times 10^{-8})$$

تغییرات نسبی جرم :

$$\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{m - m_0}{m_0} = \frac{1}{2} \times 10^{-8}$$

این تغییر جرم بسیار کوچک است . به همین علت است که تغییرات جرم را در مکانیک کلاسیک ، تا قبل از اظهار نظریات جدید ، در نظر نمی گرفته اند .

در فیزیک اتمی خواهیم دید که بعضی از پرتابها دارای سرعتی فوق العاده زیاد هستند بطوری که سرعت آنها با سرعت نور قابل مقایسه است . مثلاً الکترون می تواند سرعتی در حدود $\frac{9}{10}$ سرعت نور بدست آورد . در چنین سرعت هایی نمی توان از تغییرات جرم صرف نظر کرد .

بنابراین قوانین مکانیک کلاسیک را فقط در سرعت های کم می توان تقریباً درست دانست .

۱۹- واحدهای جرم - واحد جرم کیلوگرم (kg) است . کیلوگرم عبارت از جرم استوانه ای است از آلیاژ پلاتین و ایریدیوم که در موزه سور محفوظ است .

گرم (0.001 کیلوگرم) و تن (1000 کیلوگرم) نیز از واحدهای جرم هستند .

واحدهای نیرو - اگر در فرمول $\vec{f} = m\vec{\gamma}$ داشته باشیم :

$m = ۱$ (واحد جرم) ، و $\gamma = ۱$ (واحد شتاب) ، در این صورت

$f = ۱$ (واحد نیرو) است .

اگر $m = ۱ \text{ kg}$ و $\gamma = ۱ \text{ m/s}^2$ باشد ، نیرو برابر است با یک

نیوتن : $f = ۱ \text{ N}$.

اگر $m = ۱ \text{ g}$ و $\gamma = ۱ \text{ cm/s}^2$ باشد ، نیرو برابر است با یک دین :

$f = ۱ \text{ dyn}$ پس : $۱ \text{ N} = ۱۰^۵ \text{ dyn}$

از واحدهای دیگر نیرو کیلو گرم نیرو (kgf) است و آن عبارت

از نیرویی است که زمین در شهر پاریس ، که در آنجا شتاب ثقل ۹۸۱ cm/s^2 است ، بزرگ کیلو گرم جرم وارد می کند . بنابراین :

$$\text{kgf} = ۹/۸۱ \text{ N} = ۹۸۱۰۰۰ \text{ dyn}$$

مثال ۱ - جرم جسمی ۵۰ kg است . وزن آن در قطب ، که

$g = ۹/۸۳ \text{ m/s}^2$ است ، چقدر است ؟ در استوا ، که $g = ۹/۷۸ \text{ m/s}^2$

است وزن آن چقدر است ؟

حل - وزن جسم در قطب :

$$P = m.g$$

$$P = ۵۰ \times ۹/۸۳ = ۴۹۱/۵ \quad \text{نیوتن}$$

وزن جسم در استوا :

$$P = ۵۰ \times ۹/۷۸ = ۴۸۹ \quad \text{نیوتن}$$

مثال ۲ - اتوموبیلی به جرم ۱۹۶۲ kg در جاده ای افقی از حال سکون

بحرکت درمی آید. موتور نیروی ثابتی وارد می کند و سرعت اتوموبیل پس از

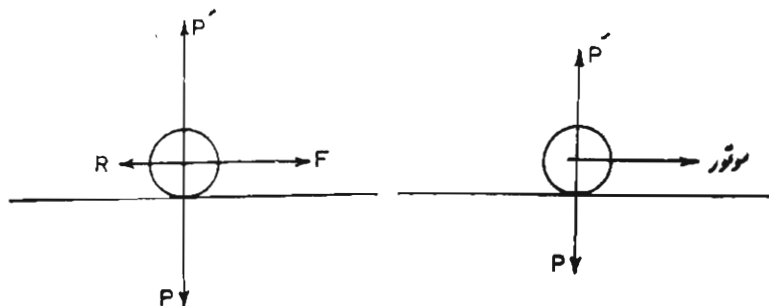
۱۰ ثانیه به ۷۲ km/h می رسد :

۱ - اگر از اصطکاک زمین صرف نظر شود ، معین کنید نیروی وارد از موتور را بر اتوموبیل .

۲ - اگر اصطکاک برابر ۲۰ kgf باشد ، نیروی وارد از موتور را در این حالت نیز حساب کنید. باید دانست که می توان جسم را چون نقطه ای مادی فرض کرد که در مرکز ثقل جسم قرار گرفته و جرم آن برابر با جرم جسم است و اصول دینامیک را در باره این نقطه بکار بست .

حل - سرعت جسم چنین است : $v = \frac{۷۲۰۰۰}{۳۶۰۰} = ۲۰ \text{ m/s}$. در حالت

اول اصطکاک قابل اغماض است و تنها نیرویی که در امتداد حرکت بر اتوموبیل وارد می شود نیروی موتور است ، زیرا وزن ، چون با عکس العمل خنثی می شود ، در حرکت افقی اثری ندارد (شکل ۶)



شکل ۶

شکل ۷

به موجب اصل اساسی دینامیک $f = m\gamma$ و چون حرکت اتوموبیل متشابه تغییر تندشونده است :

$$v = \gamma t \Rightarrow ۲۰ = \gamma \times ۱۰ \Rightarrow \gamma = ۲ \text{ m/s}^2$$

در دستگاه M.K.S. جرم جسم ۱۹۶۲ kg است ، پس :

$$f = ۱۹۶۲ \times ۲ \text{ N} = \frac{۱۹۶۲ \times ۲}{۹/۸۱} \text{ kgf} = ۴۰۰ \text{ kgf}$$

در حالت دوم چون اصطکاک همیشه در خلاف سوی حرکت اثر می کند (شکل ۷) ، اصل اساسی دینامیک در دستگاه M.K.S. چنین می شود :

$$F - R = m\gamma$$

پس :

$$F - 20 \times 9/81 = 1962 \times 2 \text{ و } F = 4120/2 \text{ N} = 2060 \text{ kgf}$$

تمرین

۱ - جسمی به جرم 294 kg تحت تأثیر نیروی ثابتی قرار گرفته است و سرعت آن پس از دو دقیقه به 72 km/h می‌رسد . معین کنید :

۱ - مقدار نیروی وارد بر جسم را ؛ ۲ - مسافت طی شده در این مدت را .

$$۱) 49 \text{ N} \quad ۲) 1200 \text{ m}$$

۲ - اتوموبیلی به جرم 1962 kg در جاده افقی از حال سکون بحرکت درآمده است (اصطکاک قابل اغماض) و سرعت آن پس از يك دقیقه به 20 m/s رسیده است . ۱ - معین کنید نیروی موتور را . ۲ - معادله حرکت و معادله سرعت اتوموبیل را بنویسید . ۳ - در این لحظه راننده موتور را خاموش می‌کند . چگونگی حرکت اتوموبیل را از این به بعد معین کنید ، و مسافت طی شده پس از ۲ ثانیه از خاموش کردن موتور را تعیین کنید .

$$۱) 654 \text{ N} \quad ۲) x = \frac{1}{6} t^2 \text{ و } v = \frac{1}{3} t \quad ۳) x = 20t \text{ و } x_1 = 40 \text{ m}$$

۳ - اتوموبیلی به جرم 1600 kg در جاده افقی که اصطکاک آن 500 نیوتن است با شتابی مساوی 50 cm/s^2 حرکت می‌کند . ۱ - معین کنید نیروی وارد از موتور را . ۲ - پس از چه مدت و طی چه مسافتی سرعت اتوموبیل به 8 m/s می‌رسد ؟ ۳ - در این لحظه موتور خاموش می‌شود ، معادلات حرکت و سرعت اتوموبیل را از این پس بنویسید و تعیین کنید پس از چه مدتی اتوموبیل خواهد ایستاد (بر اثر نیروی اصطکاک جاده) . ۴ - اگر علاوه بر خاموش کردن موتور، راننده ترمز می‌کند و اتوموبیل پس از مدتی برابر با يك چهارم زمان سابق می‌ایستاد ، نیروی وارد از ترمز بر اتوموبیل چقدر بود .

$$۱) 1300 \text{ N} \quad ۲) 168 \text{ و } 64 \text{ m} \quad ۳) 25/68 \quad ۴) 1500 \text{ N}$$

۴ - اتوموبیلی در جاده افقی با سرعت ثابت 20 m/s حرکت می‌کند . اصطکاک در مقابل حرکت 150 کیلوگرم نیروست . ۱ - معین کنید نیروی موتور را . ۲ - در يك لحظه راننده موتور را خاموش کرده و ترمز می‌کند .

اتوموبیل پس از طی مسافت 5 متر می‌ایستد . نیروی ترمز را حساب کنید ، جرم اتوموبیل 1962 kg است ($g = 9/81 \text{ m/s}^2$) .

$$۱) F = 150 \text{ kgf} \quad ۲) R = 7850 \text{ kgf}$$

۵ - اتوموبیلی به جرم 1500 kg در جاده افقی از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از طی مسافت 50 متر سرعت آن به 36 km/h می‌رسد .

اصطکاک $\frac{25}{100}$ نیروی موتور است . ۱ - معین کنید شتاب حرکت و نیروی وارد از موتور بر اتوموبیل را . ۲ - در این موقع راننده ترمز می‌کند بطریقی که این سرعت ثابت بماند . معین کنید نیروی وارد از ترمز را .

$$۱) \gamma = 1 \text{ m/s}^2, F = 2000 \text{ N} \quad ۲) R = 1500 \text{ N}$$

۶ - اتوموبیلی به جرم 1962 kg در جاده افقی از حال سکون بحرکت درمی‌آید . اصطکاک 50 kgf است و پس از طی مسافت 50 متر سرعت اتوموبیل به 10 m/s می‌رسد . معین کنید : ۱ - شتاب حرکت را ، ۲ - نیروی موتور را . ۳ - در این موقع راننده نیروی موتور را طوری تنظیم می‌کند که حرکت یکنواخت شود . معین کنید نیروی موتور و معادله حرکت را در این حالت . ۴ - در يك لحظه راننده موتور را خاموش می‌کند . معین کنید اتوموبیل تحت تأثیر نیروی اصطکاک زمین پس از چه مدت می‌ایستد .

$$(g = 9/81 \text{ m/s}^2)$$

$$۱) \gamma = 1 \text{ m/s}^2 \quad ۲) F = 250 \text{ kgf} \quad ۳) F = 50 \text{ kgf}, x = 10t$$

$$۴) t = 40 \text{ s}$$

۷ - اتوموبیلی به جرم يك تن بر روی جاده افقی با شتاب ثابت 50 cm/s^2 از حال سکون برآه می‌افتد . پس از 30 ثانیه حرکت ، موتور خاموش می‌شود و راننده ترمز می‌کند . معین کنید نیروی ترمز و زمان کل حرکت را ، در صورتی که مسافت کل پیموده شده از شروع حرکت تا توقف اتوموبیل $337/5$ متر باشد (از اصطکاک جاده صرف نظر می‌شود) .

$$R = 1000 \text{ N}, t = 45 \text{ s}$$

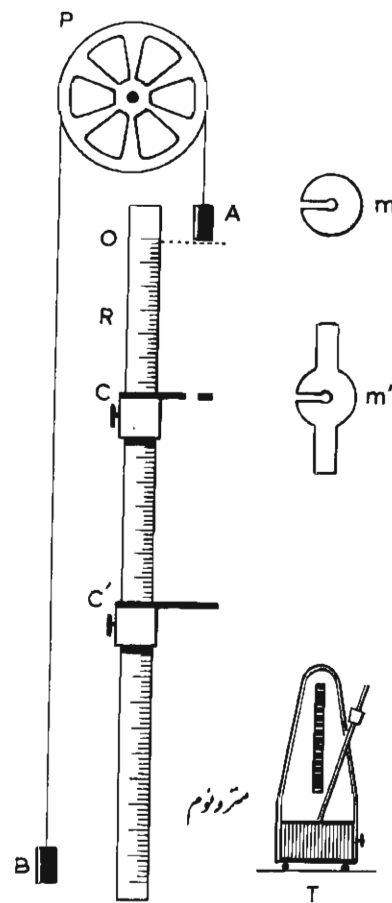
تحقیق در اصول دینامیک

I - ماشین آتوود

۲۰- ماشین آتوود (Atwood) - ماشین آتوود (شکل ۸)

تشکیل شده است از قرقره کوچکی که حول محوری افقی می تواند دوران کند . از روی قرقره آن نخ می گذرد که به دو انتهای آن دو وزنه هموزن A و B آویزان است (از وزن نخ صرف نظر می شود) ، و در نتیجه در هر وضعی که وزنه ها را قرار دهیم دستگاه به همان حالت قرار می گیرد . در مقابل یکی از وزنه ها خط کش مدرجی است که وزنه A برابر درجه صفر آن قرار گرفته است .

زمان را به وسیله مترونوم (Metronome) اندازه می گیرند (شکل ۸) . مترونوم آونگی است که فواصل ثابت زمان را با صدای ضربه اعلام می کند . این آونگ میله ای است که یک وزنه در طول آن می تواند بلغزد . با جابجا



شکل ۸

کردن این وزنه می توان مدت نوسان میله را تغییر داد .

بر روی خط کش يك صفحه C' و يك حلقه C سوار شده است که به وسیله پیچی می توان جای آنها را بدلیخواه در طول خط کش تغییر داد . اکنون اصول دینامیک را به وسیله این ماشین تحقیق می کنیم .

آزمایش ۱- بررسی اصل نیروی ثابت - يك سربار روی وزنه A می گذاریم ، دستگاه شروع به حرکت می کند و به صفحه C' رسیده متوقف می شود . با جستجو ، جای صفحه C' را چنان اختیار می کنیم که اگر وزنه A درست هنگام يك ضربه مترونوم شروع به حرکت کند ، در ضربه بعدی به صفحه C' برسد و بدین ترتیب راه پیموده شده در فاصله زمان دو یا سه یا چند ضربه برابر با طول OC' خواهد بود که آن را روی خط کش می خوانیم . این آزمایش نشان می دهد که اگر وزنه حامل سربار بدون سرعت اولیه از نقطه O (صفر خط کش) شروع به حرکت کند و مثلاً مسافت ۲۰ سانتیمتر را در مدت يك ضربه مترونوم پیماید (شکل ۹) در دو ضربه مترونوم مسافت ۸۰ سانتیمتر را طی می کند ، یعنی مسافت طی شده متناسب با مجذور زمان است . پس حرکت دستگاه متشابه تغییر تندشونده است :

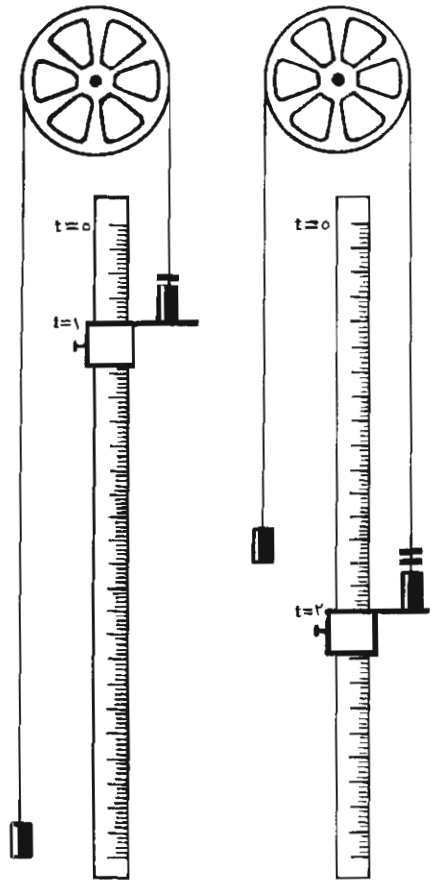
$$x = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{و} \quad v = gt$$

حرکت دستگاه در این آزمایشها بر اثر وزن سربار p است که در مدت سقوط ثابت می ماند و ایجاد يك حرکت متشابه تغییر تندشونده می کند (تحقیق اصل ۲) .

آزمایش ۲- تحقیق اصل ماند - در آزمایش قبلی ، بالای صفحه C' ، حلقه ای سر راه وزنه A قرار می دهیم . این حلقه طوری است که

وزنه **A** از آن می‌گذرد ولی سربار از آن نمی‌گذرد. وزنه حامل سربار

A در حین عبور از حلقه، سربار را بر روی آن جا می‌گذارد و بتنهایی رد می‌شود. مشاهده می‌کنیم که دستگاه به حرکت خود ادامه می‌دهد ولی حرکتش از این به بعد یکنواخت می‌شود (شکل ۱۰)، مثلاً اگر وزنه، مسافت ۳۰ cm را در یک ضربه پس از حذف سربار طی کند، مسافت ۶۰ cm را، که دو برابر آن است، در دو ضربه متروном طی خواهد نمود. در این آزمایش پس از حذف سربار دستگاه، که تحت تأثیر نیروهایی واقع شده است که برآیندشان



شکل ۹

صفر است، حرکت یکنواخت، انجام می‌دهد (تحقیق اصل ۱). سرعت این حرکت یکنواخت، سرعتی است که متحرك در حین حذف سربار در حرکت مشابه‌التغییر پیدا نموده است.

آزمایش ۳- متناسب بودن شتاب با نیرو - برای آنکه بتوان نیروی

مؤثر را تغییر داد، بی‌آنکه جرم کل دستگاه تغییر کند، روی وزنه **A** سه سربار و روی وزنه **B** دو سربار می‌گذاریم (شکل ۱۱-۱). دستگاه تحت تأثیر وزن یک سربار **p** شروع به حرکت می‌کند و شتابی می‌یابد (γ_1)

که دو برابر مسافت طی شده در ثانیه اول است، یعنی:

$$\gamma_1 = 2OC_1$$

$$OC_1 = \frac{1}{2} \gamma_1 t^2$$

و چون $t=1$ است،

$$\gamma_1 = 2OC_1$$

جرم هر یک از

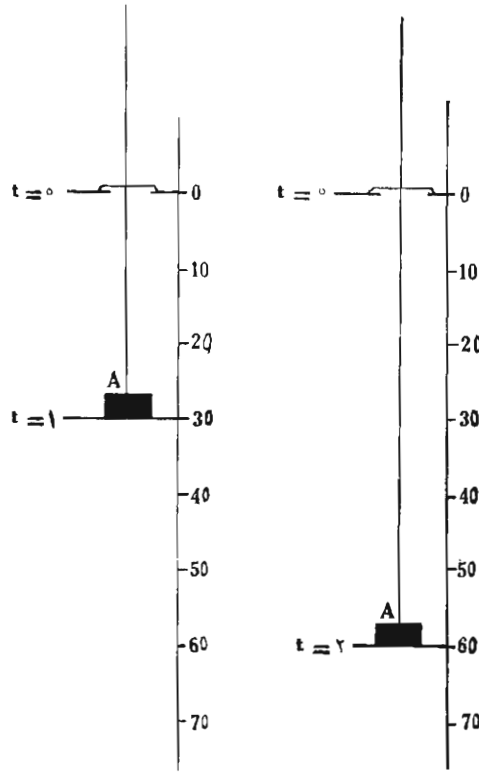
وزنه‌های **A** و **B** و **m**

جرم هر یک از سربارها

باشد، مشخصات

آزمایش اول عبارتند

از:



شکل ۱۰

$$f_1 = p \quad \text{جرم} = 2M + 5m \quad \gamma_1 = 2OC_1$$

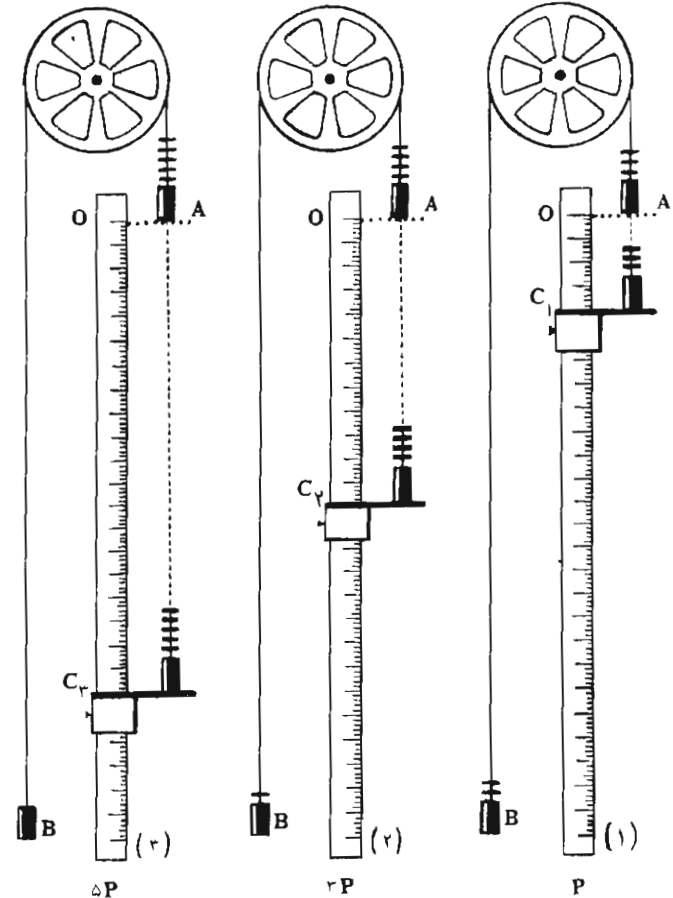
در آزمایش دیگر، یکی از سربارهای **B** را برداشته و روی **A**

می‌گذاریم. در این صورت نیروی مؤثر **۳p** می‌گردد و مشاهده می‌کنیم

که شتاب نیز سه برابر می‌شود (شکل ۱۱-۲). مشخصات این آزمایش

عبارتند از :

$$f_r = 2p \quad \text{جرم} = 2M + \Delta m \quad \gamma_r = 3\gamma_1$$



شکل ۱۱

و در آزمایش سوم، آخرین سربار B را هم روی A می گذاریم.
نیروی مؤثر $5p$ می شود و مشاهده می کنیم که شتاب نیز 5 برابر می گردد؛

مشخصات این آزمایش عبارتند از:

$$f_r = 5p \quad \text{جرم} = 2M + \Delta m \quad \gamma_r = 5\gamma_1$$

از مقایسه نتایج سه آزمایش بالا نتیجه می شود که :

$$\frac{f_1}{\gamma_1} = \frac{f_2}{\gamma_2} = \frac{f_3}{\gamma_3} = 2M + \Delta m = \text{ثابت}$$

یعنی شتاب متناسب است با نیروی مؤثر.

۲۱- محاسبه شتاب در ماشین آتوود - فرض کنیم که جرم سرباری که روی وزنه A گذاشته ایم m باشد. در این صورت نیروی مؤثر $p = mg$ و جرم دستگاه $(2M + m)$ خواهد بود. شتاب از رابطه:
 $mg = (2M + m)\gamma$ بدست می آید :

$$\gamma = \frac{mg}{2M + m}$$

تمرین

۱- جرم هر يك از دو وزنه ماشین آتوودی 220 گرم است. ۱- چه سرباری باید روی یکی از دو وزنه گذاشت تا سرعت دستگاه پس از دو ثانیه به $2m/s$ برسد ($g = 980 cm/s^2$)؟ ۲- مسافت طی شده در این مدت چقدر است؟ ۳- اگر در این لحظه سربار را به وسیله حلقه ای حذف کنیم، چه مسافتی را متحرك پس از يك ثانیه خواهد پیمود؟

$$۱) m = 50g \quad ۲) x = 2m \quad ۳) x = 2m$$

۲- جرم هر يك از دو وزنه ماشین آتوودی 100 گرم است. روی

وزنه A که مقابل صفر خطکش قرار گرفته سرباری به جرم ۴۵ گرم می‌گذاریم. معین کنید: ۱- مسافت طی شده و سرعت دستگاه را پس از ۲ ثانیه، ۲- مسافت طی شده در ثانیه دوم را. ۳- پس از دو ثانیه سربار دیگری برابر ۱۵ گرم روی B می‌گذاریم. معین کنید معادلات حرکت و سرعت دستگاه را از این به بعد ($g = 980 \text{ cm/s}^2$).

$$1) \quad x = 360 \text{ cm} \quad \text{و} \quad v = 360 \text{ cm/s} \quad 2) \quad x = 270 \text{ cm}$$

۳- در يك طرف مقتول ماشین آتوودی وزنه P را به جرم ۵۰ گرم و در طرف دیگر وزنه P' را به وزن ۴۸۰۶۹ دین آویزان می‌کنیم.

۱- معین کنید شتاب حرکت و سرعت را پس از يك ثانیه سقوط ($g = 981 \text{ cm/s}^2$). ۲- پس از آن، آزمایش را تکرار کرده و این دفعه سرباری به جرم ۱/۵ گرم روی P اضافه می‌کنیم. مطلوب است شتاب و سرعت دستگاه پس از يك ثانیه. ۳- فرض می‌کنیم که پس از يك ثانیه سقوط، سربار اضافی ۱/۵ گرم به وسیله حلقه‌ای حذف شود در حالی که P و P' به حرکت خود ادامه می‌دهند. معادلات حرکت و سرعت را در این مرحله از حرکت بنویسید و سرعت و مسافت طی شده را در ثانیه دوم از شروع حرکت حساب کنید. اگر وزنه‌های P و P' با یکدیگر مساوی بودند، حرکت پس از حذف سربار چگونه می‌شد؟

$$1) \quad \gamma_1 = \frac{981}{99} \text{ cm/s}^2 \quad \text{و} \quad v_1 = 9/91 \text{ cm/s}$$

$$2) \quad \gamma_2 = 24/4 \text{ cm/s}^2 \quad \text{و} \quad v_2 = 24/4 \text{ cm/s}$$

$$3) \quad x = 29/35 \text{ cm} \quad \text{و} \quad v = 34/31 \text{ cm/s} \quad \left\{ \begin{array}{l} x = 4/95 t^2 + 24/4 t \\ v = 9/91 t + 24/4 \end{array} \right.$$

۴- جرم هر يك از دو وزنه ماشین آتوودی ۴۵ گرم است. بر روی وزنه A سرباری به جرم ۱۰ گرم قرار می‌دهیم و پس از يك ثانیه، سرباری به جرم ۱۲ گرم روی وزنه B اضافه می‌کنیم، معین کنید چگونگی حرکت دستگاه را از این لحظه به بعد، معادلات حرکت را در مرحله‌های مختلف و

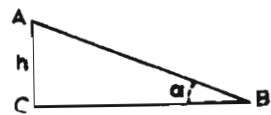
مدت زمانی که پس از آغاز حرکت، وزنه A مجدداً به صفر خطکش برمی‌گردد ($g = 980 \text{ cm/s}^2$) $t = 12/78$

۵- هر يك از دو وزنه ماشین آتوودی ۳۰ گرم جرم دارد. وزنه A در برابر صفر خطکش قرار گرفته و شامل دو سربار است که جرم هر يك مساوی ۴ گرم است. وزنه B شامل يك سربار به جرم ۴ گرم است. دستگاه را بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. حلقه در فاصله ۴۵ cm از صفر خطکش قرار گرفته است. حرکت دستگاه چگونه است؟ معادلات سرعت و مسافت را در مراحل مختلف حرکت تعیین کنید ($g = 980 \text{ cm/s}^2$).

$$\begin{array}{ll} \text{مرحله ۱} \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{245}{9} t^2 \\ v = \frac{490}{9} t \end{array} \right. & \text{مرحله ۲} \left\{ \begin{array}{l} x = -\frac{245}{8} t^2 + 70 t \\ v = -\frac{245}{4} t + 70 \end{array} \right. \\ \text{مرحله ۳} \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{245}{8} t^2 \\ v = \frac{245}{4} t \end{array} \right. & \text{مرحله ۴} \left\{ \begin{array}{l} x = -\frac{245}{9} t^2 + 70 t \\ v = -\frac{490}{9} t + 70 \end{array} \right. \end{array}$$

II - سطح شیب‌دار گاليله

تعریف - سطح شیب‌دار سطحی است که با سطح افقی زاویه‌ای



شکل ۱۲

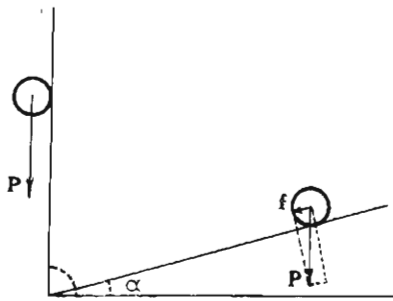
بسازد. شیب سطح سینوس زاویه‌ای را گویند که سطح شیب‌دار با سطح افقی می‌سازد (شکل ۱۲).

۲۲ - تحقیق در اصول دینامیک - الف - اصل نیروی ثابت -

ارابه کوچکی را بر روی سطح شیب‌داری بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. فرض کنیم که این ارابه مسافت e را در يك ضربه مترو نوم بپیماید (شکل ۱۳). مشاهده می‌کنیم که پس از ۲ و ۳ ضربه مترو نوم، متحرك

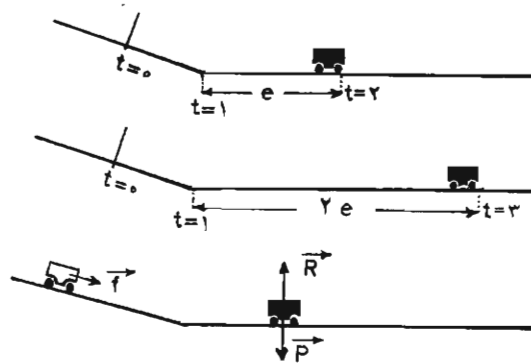
متشابه‌التغییر است. پس حرکت سقوطی ($\alpha = 90^\circ$) نیز متشابه‌التغییر است (شکل ۱۵).

ب - تحقیق اصل ماند - هر گاه جسم پس از طی مسافتی بر روی سطح شیبدار به سطح افقی برسد، آزمایش نشان می‌دهد که مسافت طی شده بر روی سطح افقی متناسب با زمان خواهد بود. یعنی پس از حذف شدن نیروی مؤثر، حرکت بطور یکنواخت ادامه می‌یابد (شکل ۱۶).



شکل ۱۵

ج - تحقیق متناسب بودن شتاب و نیرو - سطح شیبدار را اختیار می‌کنیم که بتوان شیب آن را تغییر داد. اکنون اگر مطابق شکل ۱۷ ارتفاع را

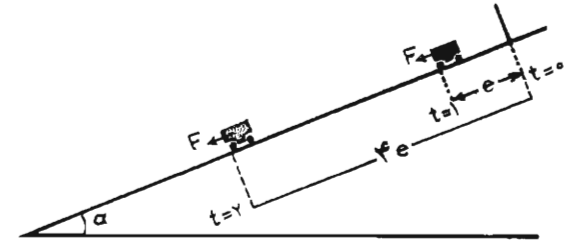


شکل ۱۶

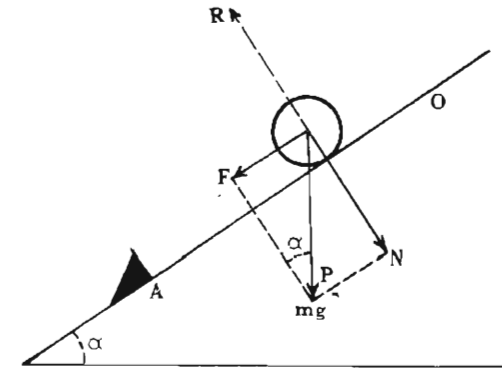
دو یا سه برابر کنیم، در نتیجه شیب دو یا سه برابر شده و بزرگی نیروی مؤثر $\vec{F}$ نیز دو یا سه برابر می‌شود. آزمایش نشان می‌دهد که شتاب (دو

مسافت $4e$ و $9e$ را می‌پیماید. پس مسافت طی شده متناسب با مجذور زمان است، یعنی

حرکت بر روی سطح شیبدار متشابه‌التغییر تندشونده است. وزن جسمی که بر سطح شیبدار قرار گرفته است به دو مؤلفه تجزیه می‌شود: یکی $\vec{F}$ در امتداد سطح شیبدار و دیگری $\vec{N}$ عمود بر سطح شیبدار (فشار جسم بر سطح). نیروی $\vec{F}$ که بزرگیش برابر



شکل ۱۳



شکل ۱۴

با $mg \sin \alpha$ است سبب حرکت جسم می‌شود (شکل ۱۴). نیروی $\vec{N}$ که بزرگیش $mg \cos \alpha$ است با عکس العمل سطح ($\vec{R}$) خنثی می‌شود. نیروی $\vec{F}$ ، چنانکه گفته شد، سبب حرکت جسم می‌شود و اگر شیب را ثابت نگاه داریم، چون $\vec{P}$ نیز ثابت است، $\vec{F}$ نیز ثابت خواهد بود و به این نتیجه می‌رسیم که جسم تحت تأثیر نیروی ثابتی (از حیث راستا و سو و بزرگی) حرکت متشابه‌التغییر تندشونده انجام می‌دهد.

تذکر - شیب سطح شیبدار هر اندازه باشد، همیشه حرکت

برابر مسافت طی شده در ثانیه اول) نیز دو یا سه برابر می شود. پس شتاب متناسب است با نیرو.

۲۳ - شتاب بر سطح شیبدار - شتاب حرکت يك جسم بر روی

سطح شیبدار، در همه

حال، از فرمول

$$\vec{f} = m\vec{\gamma}$$

می آید که در آن $\vec{f}$

برآیند تصویر همه

نیروهای است که به

جسم وارد می شود.

این نیروها معمولاً

عبارتند از نیرویی که

از طرف اجسام دیگر

(از قبیل موتور) وارد

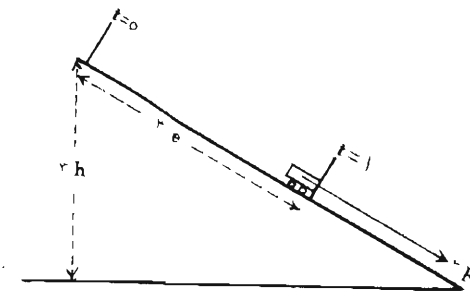
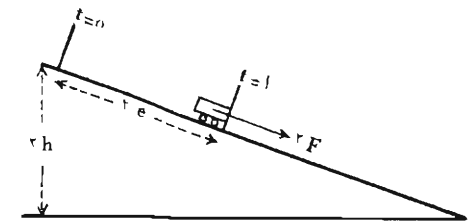
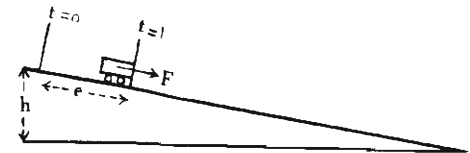
می شود، نیروی

اصطكاك سطح، و

نیروی ثقل $\vec{P}$ که

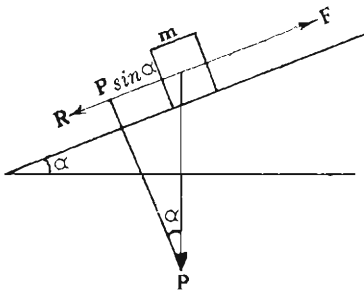
همواره وارد می شود

و تصویر آن بر روی سطح $P \sin \alpha$ است. نیروی اصطكاك همواره يك نیروی مقاوم و در سوی عكس حرکت است. نیروی $P \sin \alpha$ در حالتی که جسم رو به پایین حرکت کند، يك نیروی محرك و در حالتی که رو به بالا حرکت کند، يك نیروی مقاوم خواهد بود.

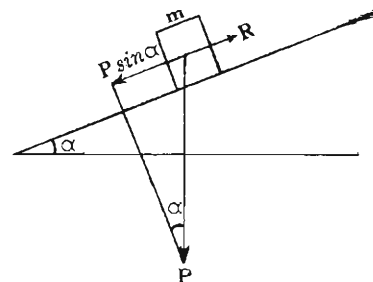


شكل ۱۷

مثلاً اگر جسم فقط تحت تأثیر نیرویی به بزرگی $P \sin \alpha$ واقع شود، شتاب حرکت $\gamma = g \sin \alpha$ است، زیرا طبق فرمول اساسی دیناميك $P \sin \alpha = m\gamma$ یا $m g \sin \alpha = m\gamma$ و بنا بر این $\gamma = g \sin \alpha$ است. در حالتی که جسم رو به پایین حرکت کند و سطح دارای اصطكاك باشد، بزرگی شتاب از رابطه $P \sin \alpha - R = m\gamma$ بدست می آید (شكل ۱۸ - الف).



شكل ۱۸ - ب



شكل ۱۸ - الف

اگر جسم از سطح شیبدار، تحت تأثیر نیروی موتور $\vec{F}$ ، بالا رود (شكل ۱۸ - ب) بزرگی شتاب از رابطه $F - (P \sin \alpha + R) = m\gamma$ بدست می آید.

تمرین

۱ - اتوموبیلی به جرم ۱۵۰۰ kg از بالای سطح شیبدار با موتور خاموش راه می افتد. شیب سطح مساوی $۵/۵$ است.

۱ - معین کنید پس از طی چه مسافتی سرعت جسم به ۸ m/s می رسد؟
۲ - در این موقع راننده چنان ترمز می کند که این سرعت ثابت بماند.

معین کنید نیروی وارد از ترمز بر اتوموبیل را.
۳ - با این وضعیت ترمز، اتوموبیل به يك جاده افقی می رسد. معین کنید

پس از طی چه مسافتی خواهد ایستاد (اصطكاك صفر و $g = ۱۰ \text{ m/s}^2$) ؟

۱) $x = ۶۴ \text{ m}$ ۲) $R = ۷۵۰ \text{ N}$ ۳) $x = ۶۴ \text{ m}$

۲- اتوموبیلی به جرم ۱۶۰۰kg از بالای سطح شیب‌داری بدون اصطکاک و به شیب $۵/۵۳$ پایین می‌آید. موتور آن نیرویی برابر با ۱۲۰N بر آن وارد می‌کند. ۱- معین کنید پس از چه مدت و طی چه مسافتی سرعت اتوموبیل به ۳۶km/h می‌رسد؟ ۲- در این موقع اتوموبیل به یک جاده افقی می‌رسد و موتور خاموش می‌شود. اصطکاک این جاده برابر ۲۰۰۰N است. معین کنید پس از چه مدت اتوموبیل خواهد ایستاد ($g = ۱۰\text{m/s}^2$ فرض می‌شود)؟

۱) $t_1 = \frac{۸۰}{۳}\text{s}$ و $x_1 = \frac{۴۰۰}{۳}\text{m}$ ۲) ۸s

۳- اتوموبیلی به جرم ۲ تن که در جاده‌ای افقی با سرعت ثابتی حرکت می‌کند، به جاده شیب‌داری به شیب $۵/۵۵$ می‌رسد و در امتداد آن پایین می‌رود. می‌خواهیم سرعت اتوموبیل به همان میزان باقی بماند. با چه نیرویی باید اتوموبیل را ترمز کرد؟ ($g = ۹/۸۱\text{m/s}^2$)

$F = ۹۸۱\text{N}$

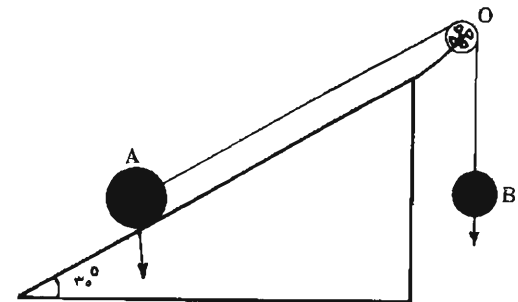
۴- قطاری به جرم ۵۰ تن که با سرعت ۷۲km/h در جاده‌ای افقی حرکت می‌کند به جاده شیب‌داری به شیب $۵/۵۲$ می‌رسد و در امتداد آن پایین می‌رود و در همین لحظه راننده ترمز می‌کند. قطار پس از طی مسافت ۸۰ متر می‌ایستد.

۱- نیرویی که قطار را از حرکت بازداشته چقدر است؟ ۲- نیروی وارد از ترمز چقدر است؟ ۳- پس از چه مدت قطار ایستاده است ($g = ۱۰\text{m/s}^2$ فرض می‌شود)؟

۱) $F = ۱۲۵۰۰۰\text{N}$ ۲) $R = ۱۳۵۰۰۰\text{N}$ ۳) $t = ۸\text{s}$

۵- بر روی سطح شیب‌داری که با سطح افقی زاویه ۳۰° می‌سازد گلوله A به جرم ۱۰۰ گرم قرار گرفته و بدان نخ متصل است (شکل زیر) که از روی قرقره O که در انتهای فوقانی سطح شیب‌دار نصب شده می‌گذرد. به سر دیگر نخ وزنه B به جرم ۶۰ گرم آویزان شده است. از اصطکاکها

سرف نظر می‌شود. دستگاه را بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. ۱- معین کنید شتاب و معادله حرکت و



سرعت دستگاه را پس از طی مسافت ۱۰ متر. ۲- اگر زاویه α مساوی ۶۰° باشد، مسافت طی شده را پس از ۳ ثانیه حساب کنید ($g = ۹۸۰\text{cm/s}^2$ و $\sqrt{۳} = ۱/۷۳۲$ فرض می‌شود).

۱) $\gamma = ۶۱/۲۵\text{cm/s}^2$ و $v = ۳۵۰\text{cm/s}$ ۲) $x = ۷۳۳\text{cm}$

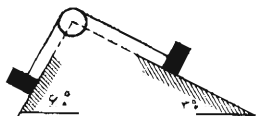
۶- اتوموبیلی به جرم ۱۹۶۰kg از حال سکون در جاده‌ای افقی که اصطکاک آن ۵۰kgf است راه می‌افتد و پس از ۱۰ ثانیه سرعتش به ۳۶km/h می‌رسد. ۱- معین کنید نیروی وارد از موتور را بر اتوموبیل. ۲- در این لحظه اتوموبیل به جاده شیب‌داری به شیب $۵/۵۵$ می‌رسد و در امتداد آن بالا می‌رود. در صورتی که اصطکاک به همان مقدار سابق باشد، اگر بخواهیم که اتوموبیل با همان سرعت در این جاده حرکت کند، معین کنید نیرویی را که موتور باید به اتوموبیل وارد کند ($g = ۹/۸۱\text{m/s}^2$). ۳- در یک لحظه راننده موتور را خاموش کرده و ترمز می‌کند، و اتوموبیل پس از طی مسافت ۵ متر می‌ایستد. معین کنید نیرویی که اتوموبیل را از حرکت باز داشته است. ۴- نیروی ترمز را معین کنید.

۱) $F = ۲۵۰\text{kgf}$ ۲) $F = ۱۴۸\text{kgf}$
۳) $R = ۲۰۰۰\text{kgf}$ ۴) $R_1 = ۱۸۵۲\text{kgf}$

۷- از بالای سطح شیب‌داری که با سطح افقی زاویه α می‌سازد، جسمی بدون سرعت اولیه رها شده است، متحرک مسافت $۳۹/۲$ متر را در ۴ ثانیه پیموده است. ۱- معین کنید زاویه α و سرعت متحرک را در آخر این مدت. ۲- در این موقع جسم به سطح شیب‌دار دیگری می‌رسد که با سطح افقی زاویه ۶۰° می‌سازد. معین کنید تا چه مسافتی جسم بر روی این سطح بالا می‌رود. ($g = ۹۸۰\text{cm/s}^2$ و اصطکاکها قابل اغماض است).

۱) $\alpha = ۳۰^\circ$ و $v = ۱۹/۶\text{m/s}$ ۲) $x = ۲۲/۶\text{m}$

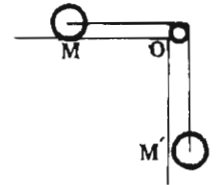
۸- دو وزنه یکی به جرم M و دیگری به جرم M' بر روی دو سطح شیب‌دار قرار دارند. وزنه اول بر روی سطحی به شیب ۳۰° و وزنه دوم بر روی سطحی به شیب ۶۰° قرار گرفته است. این دو وزنه به وسیله نخ بی‌وزنی که از روی قرقره‌ای می‌گذرد به یکدیگر



متصلند (شکل پایین صفحه ۴۳) : ۱- تعیین کنید نسبت $\frac{M}{M'}$ را برای آنکه دستگاه در حال تعادل باشد (سطحها بدون اصطکاک فرض شده اند) ، ۲- اگر جرم دو وزنه را برابر بگیریم، حرکت در کدام جهت و شتاب دستگاه چه مقدار خواهد بود ؟ ۳- اگر پس از يك ثانیه حرکت ، ناگهان شیب دو سطح را با یکدیگر برابر کنیم ، حرکت چگونه خواهد شد ، و مسافت طی شده پس از ۳ ثانیه چقدر خواهد بود ($g = 980 \text{ cm/s}^2$ فرض می شود) ؟

۱) $\frac{M}{M'} = \sqrt{3}$ ۲) $\gamma \neq 179 \text{ cm/s}^2$ ۳) $x = 5/37 \text{ m}$

۹- دو وزنه هر يك به جرم M که یکی بر روی سطح افقی و دیگری به حالت قائم است، به وسیله رشته ای بدون وزن که از روی قرقره ای می گذرد به یکدیگر متصلند (شکل زیر) .



۱- در صورتی که فرض کنیم که اصطکاک سطح افقی صفر باشد ، معین کنید شتاب حرکت را . ۲- در صورتی که فرض کنیم که هر يك از جرمها 50 kg و اصطکاک سطح 30 kgf باشد ، شتاب حرکت و سرعت آن را پس از ۲ ثانیه حرکت حساب کنید ($g = 9/8 \text{ m/s}^2$) .

۱) $\gamma = 4/9 \text{ m/s}^2$ ۲) $\gamma = 1/96 \text{ m/s}^2$ و $v = 3/92 \text{ m/s}$
۱۰- یکی از وزنه های ماشین آتوودی روی سطح شیبدار قرار گرفته است و جرم سرباری که روی آن گذاشته شده است به اندازه جرم هر يك از وزنه ها است . دستگاه در حال حرکت یکنواخت است . زاویه شیب را حساب کنید . $\alpha = 30^\circ$

حرکت سقوطی اجسام در هوا - وزن ظاهری اجسام

۲۴- وزن ظاهری اجسام - چنانکه پیش از این گفته شد، در حرکت سقوطی اجسام در هوا ، علاوه بر وزن ، دو نیروی دیگر نیز مؤثر است : یکی نیروی ارشمیدس و دیگری مقاومت هوا . در این مبحث از مقاومت هوا ، با وجود آنکه بسیار مهم است ، صرف نظر می کنیم و فقط نیروی ارشمیدس را در نظر می گیریم . بنا بر قانون ارشمیدس : هر جسمی که در سیالی (اعم از گاز یا مایع) غوطه ور شود ، تحت تأثیر نیرویی از پایین به بالا قرار می گیرد که برابر است با وزن سیال هم حجم جسم .

بنابراین ، برای اجسام غوطه ور در هوا ، بیان قانون ارشمیدس چنین است : هر جسم که در هوا قرار گیرد دارای وزنی ظاهری است که مساوی است با وزن حقیقی آن در خلا منهای نیروی ارشمیدس . مقدار این نیرو برابر است با $V \cdot a$ که در آن a وزن مخصوص هوا و V حجم جسم است ، پس :

$$P' = P - V \cdot a$$

چون $V = \frac{P}{d}$ ، که در آن P وزن جسم و d وزن مخصوص آن

$$P' = P - \frac{P}{d} a = P \left(1 - \frac{a}{d} \right) \text{ است،}$$

و چون شتاب ظاهری ثقل را در هوا به g' نمایش دهیم: $P = mg$

$$mg' = mg \left(1 - \frac{a}{d} \right) \quad , \quad P' = mg'$$

از این رو شتاب ظاهری ثقل در هوا بدست می آید:

$$g' = g \left(1 - \frac{a}{d} \right)$$

بخت - اگر $d > a$ باشد، $g' > 0$ و حرکت تندشونده است (سوی مثبت به طرف پایین). اگر $d = a$ باشد، $g' = 0$ است، یعنی اگر جسم ساکن باشد در هوا ساکن می ماند و اگر سرعت اولیه ای داشته باشد بطور یکنواخت حرکت می کند. اگر $d < a$ باشد، $g' < 0$ است و جسم صعود می کند (بالون محتوی گاز سبک، هوای گرمتر از هوای مجاور).

تذکر - این مطالب درماینات و گازهای دیگر و بطور کلی هرگونه سیالی نیز صادق است و، به شرط آنکه از مقاومت سیال در مقابل حرکت و نیز از نیروهای مقاوم دیگر صرف نظر کنیم، شتاب حرکت طبق همان فرمول $g' = g(1 - \frac{a}{d})$ بیان می شود که در آن شتاب جسم در آن محیط، g شتاب در خلأ و a وزن مخصوص سیال و d وزن مخصوص جسم است.

مقاومت هوا

۲۵ - هرگاه جسمی در هوا حرکت کند، در جلو خود هوا را متراکم

و در عقب ایجاد خلأ نسبی می کند، اختلاف فشار هوا در دو قسمت جلو و عقب جسم نیروی مقاومی تولید می کند که عمود است بر سطح جسم و آن را مقاومت هوا می نامند. شکل ۱۹ مقاومت هوا را بر روی یک برگ نشان می دهد. آزمایش نشان می دهد که مقاومت هوا

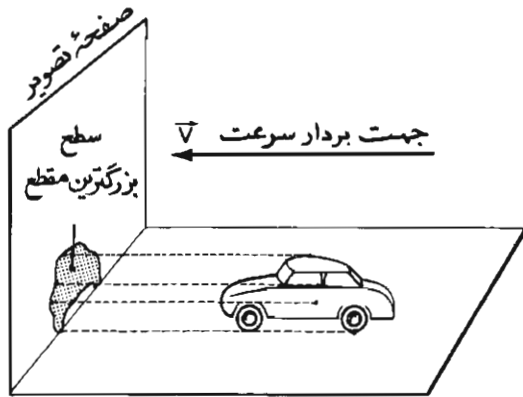


شکل ۱۹

به این عوامل بستگی دارد:

الف - سطح - مقاومت هوا با سطح بزرگترین مقطع عمود بر حرکت جسم (سطحی از جسم که در مقابل حرکت عرضه می شود، یعنی تصویر

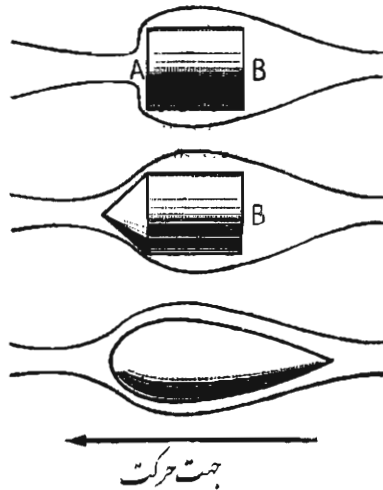
جسم بر صفحه ای عمود بر امتداد حرکت) متناسب است (شکل ۲۰).
ب - شکل جسم - در شکل ۲۱ مقاومت هوا برای استوانه



شکل ۲۰

بیش از مقاومت هوا برای اجسام مخروطی است، با آنکه سطح بزرگترین مقطع آنها برابر است. مثلاً اگر مقاومت هوا برای استوانه R فرض شود، برای دو جسم دیگر

بترتیب $R/۰.۴$ و $R/۰.۵$ خواهد بود. چنانکه از شکل پیداست علت



شکل ۲۱

این اختلاف مقاومت این است که اختلاف فشار هوا در دو طرف استوانه بیش از اختلاف فشار هوا در دو طرف جسم دوم، و در جسم دوم بیش از اختلاف فشار هوا در دو طرف جسم سوم است. اجسامی را که شکلشان مانند شکل جسم سوم و در نتیجه مقاومت هوا و آب در برابر حرکت آنها خیلی کم است، اجسام

آئرو دینامیک می نامند (مانند ماهیها، بدنۀ هواپیما، زیر دریایی).
ج - سرعت - برای سرعت های کم (بین ۵ تا ۵۰ cm/s) مقاومت با

سرعت متناسب است و برای سرعتهای متوسط (بین 50 cm/s تا 50 m/s) متناسب با مجذور سرعت، و برای سرعتهای زیاد مقاومت هوا با قوهای سوم یا بالاتر سرعت متناسب است.

د - جرم مخصوص هوا - مقاومت هوا بستگی به جرم مخصوص (چگالی) و در نتیجه بستگی به دما و فشار آن دارد.

این قوانین را می توان برای سرعتهای متوسط در فرمول زیر خلاصه کرد:

$$R = k \cdot a \cdot S \cdot V^2$$

که در آن R مقاومت هوا، a چگالی هوا، S سطح بزرگترین مقطع و V سرعت جسم و k ضریبی است که به شکل جسم بستگی دارد و ارتباطی بد انتخاب دستگاه واحدهای اندازه گیری ندارد.

ضریب k برای کره 0.25 ، برای صفحه 0.63 و برای اجسام آئرو دینامیک 0.23 است.

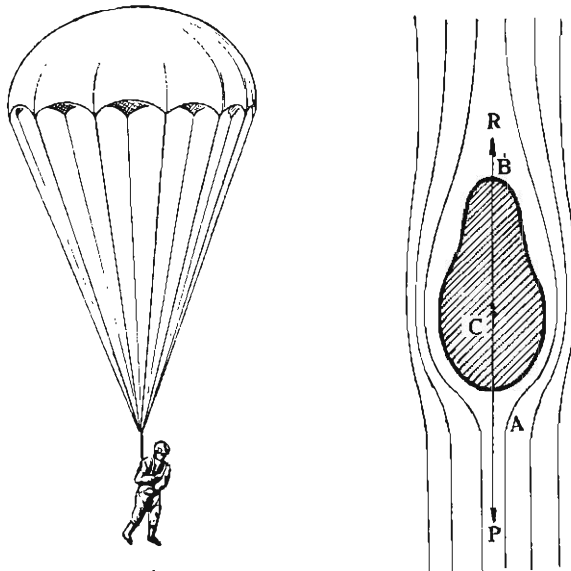
تبصره - اغلب فرمول مقاومت هوا را به صورت $R = K \cdot S \cdot V^2$

می نویسند که در آن $K = k \cdot a$ ضریب مقاومت نامیده می شود که علاوه بر آنکه به شکل جسم بستگی دارد به شرایط هوا و دستگاه واحدها نیز بستگی دارد. مثلاً در دستگاه $M.K.S$ قدیمی، که در آن واحد طول m ، واحد نیرو kgf و واحد سطح m^2 است، در شرایط معمولی K برای کره 0.03 و برای صفحه 0.85 و برای اجسام آئرو دینامیک 0.03 است.

تأثیر مقاومت هوا در حرکت سقوطی اجسام

۲۶ - سرعت حد - هرگاه جسمی را بدون سرعت اولیه در هوا رها کنیم، در لحظات اولیه که هنوز مقاومت هوا، به علت کم بودن سرعت، ناچیز

است، حرکت جسم متشابه تغییر تندشونده است، ولی بر اثر زیاد شدن درجهی سرعت، مقاومت هوا نیز زیاد می شود و شتاب در هر لحظه از رابطه $P - R = m\gamma$ یا $P - KSV^2 = m\gamma$ بدست می آید (شکل ۲۲). ولی چون با زیاد شدن سرعت، مقاومت هوا زیاد می شود، هنگامی می رسد



شکل ۲۳

شکل ۲۲

که بر آیند نیروهای وارد بر جسم صفر و از این پس حرکت یکنواخت می شود (V و R ثابت می مانند) و جسم با سرعتی که در آن لحظه پیدا کرده است، یکنواخت به حرکت خود ادامه می دهد. این سرعت را **سرعت حد** می نامند. مقدار این سرعت از رابطه $P = R$ ، یا $P = KSV^2$ ،

$$v^2 = \frac{P}{KS} \quad \text{یا} \quad v = \sqrt{\frac{P}{KS}} \quad \text{بدست می آید.}$$

مثلاً وقتی که خلبانی با چتر نجات فرود می آید، اندکی پس از باز شدن چتر، حرکت یکنواخت می شود و خلبان با سرعت کم سقوط می کند (شکل ۲۳).

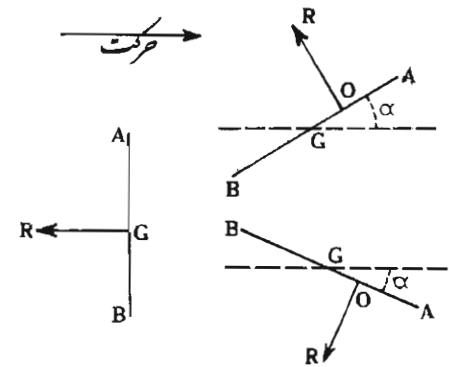
هواپیما

۲۷- اساس هواپیما - صعود هواپیما و سقوط نکردن آن در نتیجه مقاومت هوا بر روی بالهاست و حرکت آن بر اثر چرخیدن ملخهاست که موتور هواپیما آنها را بکار می‌اندازد.

برای آنکه به طرز کار هواپیما پی ببریم، بالهای هواپیما را مستطیل فرض کرده و مقاومت هوا را بر روی چنین صفحه‌ای بررسی می‌کنیم.

مقاومت هوا بر يك صفحه مستطیل در حال حرکت - فرض کنیم که يك صفحه مستطیل $\vec{AB}$ (شکل ۲۴) در سطح افقی با سرعت v حرکت کند. آزمایش نشان می‌دهد که

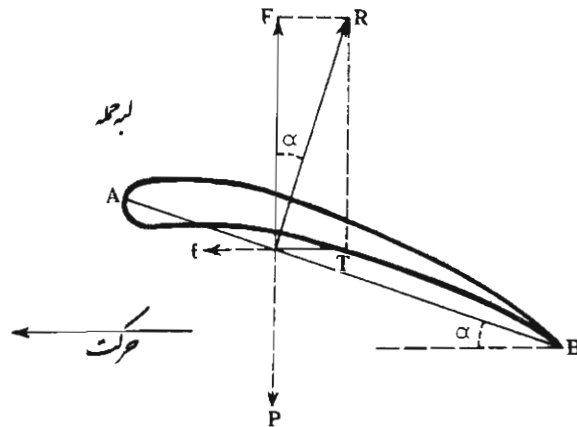
مقاومت هوا بر این صفحه نیرویی است مانند $\vec{R}$ عمود بر صفحه. اگر صفحه قائم باشد نقطه اثر نیروی $\vec{R}$ به علت تقارن بر مرکز صفحه منطبق است (محل تلاقی قطرهای). ولی اگر صفحه



شکل ۲۴

زاویه α با سرعت تشکیل دهد (α را زاویه حمله نامند)، نقطه اثر نیروی مقاوم $\vec{R}$ در نقطه‌ای مانند O است که بر مرکز صفحه منطبق نیست و نزدیکتر به لبه‌ای است از صفحه که در سوی حرکت لبه جلو است (لبه A که آن را لبه حمله نامند). نیروی مقاوم $\vec{R}$ را می‌توان به دو مؤلفه تجزیه کرد: یکی $\vec{F}$ در امتداد قائم که می‌خواهد صفحه را بلند کند و

دیگری $\vec{T}$ در امتداد حرکت (افقی) که مانع حرکت صفحه می‌شود. آشکار است که برای ادامه حرکت صفحه باید نیروی $\vec{T}$ را به وسیله نیروی کششی (مثلاً نیروی کشش موتور $\vec{f}$) خنثی کرد (شکل ۲۵).



شکل ۲۵

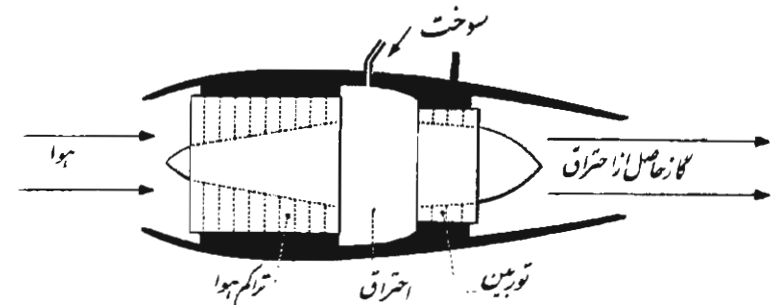
حرکت هواپیما - در ابتدا هواپیما مدتی روی زمین حرکت می‌کند.

در نتیجه بالها تحت تأثیر نیروی مقاومت هوا $\vec{R}$ که مؤلفه قائم آن $\vec{F}$ است قرار می‌گیرند. چون بتدریج سرعت افزایش یابد، بزرگی نیروی $\vec{F}$ زیاد می‌شود و هنگامی که برابر وزن هواپیما ($\vec{P}$) شد، هواپیما زمین را ترک می‌کند. برای آنکه هواپیما در ارتفاع ثابتی حرکت کند، باید نیروی $\vec{F}$ با نیروی وزن هواپیما برابر شود، و برای آنکه هواپیما در این ارتفاع حرکت خود را ادامه دهد، باید نیروی موتور $\vec{f}$ نیروی مقاوم $\vec{T}$ را خنثی کند. برای آنکه هواپیما بالاتر رود، باید بزرگی نیروی $\vec{F}$ را زیاد کرد و این عمل یا به وسیله ازدیاد سرعت یا به وسیله تغییر زاویه حمله α صورت می‌گیرد. ولی از آنجا که چگالی هوا در

ارتفاعات زیاد، کم می شود و در نتیجه مقاومت هوا و توان موتور نیز کاهش می یابد، عملاً هواپیما نمی تواند از ارتفاع معینی تجاوز کند. برای پایین آمدن، نیروی کشش موتور را کم می کنند تا در نتیجه سرعت کم و نیروی $\vec{F}$ کمتر از وزن جسم شود و هواپیما پایین آید.

۲۸- هواپیمای جت - اگر در قایقی يك توپ قرار دهیم و به سوی عقب قایق شلیک کنیم، قایق به سوی جلو حرکت می کند. اساس موتورهای جت (موتورهای عکس العملی) بر همین خاصیت استوار است.

در موتور جت (شکل ۲۶)، به وسیله يك کمپرسور هوای بیرون مکیده و متراکم می شود و سپس وارد قسمتی به نام اتاق احتراق می گردد



شکل ۲۶

و از طرف دیگر سوخت به وسیله مجرای سوخت وارد این اتاق می شود. گازهای حاصل از احتراق، که دما و فشار آنها زیاد است، با سرعت فوق العاده زیادی از عقب دستگاه خارج می شود و هواپیما را به قسمت جلو می راند. این گازها در ضمن خارج شدن، توربینی را که کمپرسور را بکار می اندازد بحرکت درمی آورند.

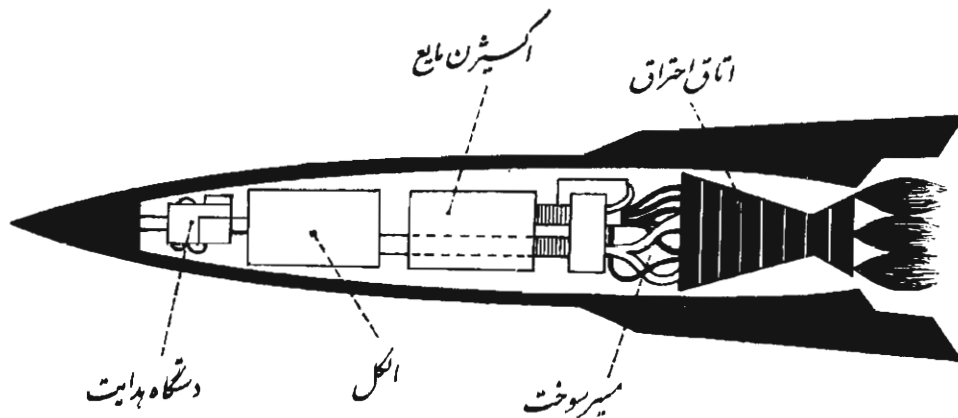
در ساختمان اینگونه موتورهای آلیاژی بکار می رود که بتواند دمای فوق العاده زیاد را تحمل کند و ذوب نشود.

هواپیماهای پروانه ای و جت فقط در ارتفاعات پایین جو می توانند پرواز کنند. برای دسترسی به ارتفاعات بالاتر، از وسایل نقلیه دیگری به نام موشک استفاده می شود.

موشک

اساس کار موشک نیز شبیه موتورهای جت است. با این تفاوت که موشک مجبور است، برای حرکت در خارج از جو، علاوه بر سوخت لازم، ماده ای را که برای احتراق لازم است، همراه ببرد. در موشکهای بزرگ، سوخت و ماده ای که برای سوختن بکار می رود غالباً به صورت مایع حمل می شوند. این دو مایع به کمک دستگاههای خودکار وارد اتاق احتراق می شوند و پس از سوختن از موشک خارج می شوند و موشک را به جلو می رانند.

محاسبه نشان می دهد که سرعت يك موشک در پایان دوره اشتعال بستگی دارد به نسبت جرم سوخت آن به جرم خود موشک. برای افزودن سرعت موشک دو راه وجود دارد: یکی بکار بردن موشک چند طبقه که



شکل ۲۷

ترکیبی است از چند موشك كه هريك كوچكتر از بعدی است و بالای آن قرار دارد (شكل ۲۸). پرواز موشك با آتش كردن موشك پيشران (موشك بزرگتر) آغاز می شود كه در هوا اوج می گیرد و به حداكثر سرعتی می رسد كه سوخت آن اجازه می دهد. این موشك در لحظه ای كه سوخت آن تمام می شود از دستگاه جدا می شود و سوخت موشك دوم آتش می گیرد. همین عمل با موشك سوم وغيره تكرر می شود تا سرانجام آخرين موشك (كوچكترین آنها)، بكار بیفتد. پس در ارتفاعات بالا كه مقاومت هوا فوق العاده ناچیز می شود و سرعتهای زیاد به دستگاهها آسیبی نمی رساند جرم كل موشك كم می شود و سرعت آن افزایش می یابد.



راه دیگر برای افزودن سرعت و بهبود عمل يك موشك استفاده از نیروی هسته ای برای پرتاب آن است. در يك موشك معمولی با سوخت شیمیایی، گازهایی كه از لوله آن خارج می شوند و فشار پرتاب موشك را فراهم می سازند، فراورده يك احتراقند كه بیشتر شامل گاز كربنك و بخار آب است. دانسته شده است كه به ازای مقدار معینی مواد دفع شده و به ازای يك دمای معین، يك گاز خروجی سبك، فشار پرتاب شدیدتری تولید می كند تا يك گاز سنگین. از آنجا كه گاز كربنك و بخار آب گازهای نسبتاً سنگین هستند، عمل موشك وقتی می تواند محسوساً بهبود یابد كه سبكترین گاز، یعنی گاز ئیدروژن، بتواند به عنوان ماده دفع شده بكار رود. ئیدروژن می تواند به حالت مایع در موشك حمل شود، ولی پیش از ورودش در لوله خروجی باید تا دمای 2000°C گرم شود،

و همینجاست كه نقش نیروی هسته ای مؤثر می افتد. در موشكهای آینده كه نیروی لازم را از هسته ای اتم بدست می آورند، ئیدروژن مایع از مخزن موشك به مجراهای يك راکتور هسته ای فرستاده می شود تا در آنجا به دمای مورد نظر برسد و سپس از لوله خروجی دفع شود.

تمرین

۱- از ارتفاع $73/5$ متر جسم كوچکی را با سرعت اولیه $9/8 \text{ m/s}$ رو به بالا در امتداد قائم پرتاب می كنیم، معین كنید: ۱- جسم پس از چه مدت به سطح زمین می رسد، و سرعت آن هنگام رسیدن به سطح زمین چقدر است؟ ۲- اگر در این لحظه به سطح آبی برسد و در آن فرو برود، پس از يك ثانیه در چه فاصله از سطح آب قرار می گیرد؟ جرم مخصوص جسم 3 g/cm^3 و جرم مخصوص آب 1 g/cm^3 و $g = 9/8 \text{ m/s}^2$ است.

$$1) t = 5 \text{ s} \quad 2) x = 42/4 \text{ m}$$

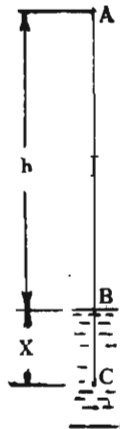
۲- گلوله كوچکی به جرم مخصوص 2 g/cm^3 از ارتفاع $4/9$ متر بدون سرعت اولیه در ظرفی پر از آب رها می شود. معین كنید: ۱- سرعت گلوله را در موقع رسیدن به سطح آب و مدت این حرکت را؛ ۲- معادله حرکت

گلوله در آب و سرعت گلوله را نیم ثانیه پس از ورود در آب (از تأثیر هوا و مقاومت آب صرف نظر شود، $g = 9/8 \text{ m/s}^2$).

$$1) v = 9/8 \text{ m/s} \text{ و } t = 1 \text{ s} \quad 2) x = 2/45 t^2 + 9/8 t$$

$$v = 12/25 \text{ m/s}$$

۳- از ارتفاع $19/6$ متری در بالای طشتکی پر از جیوه گلوله ای به جرم مخصوص $6/8 \text{ g/cm}^3$ را بدون سرعت اولیه رها کرده ایم. ۱- در صورتی كه سقوط آزاد و شتاب ثقل $9/8 \text{ m/s}^2$ باشد، سرعت جسم را در موقع رسیدن به سطح جیوه بدست آورید. ۲- نوع حرکت گلوله را در جیوه تعیین كنید. ۳- اگر فرضاً طشتك عمیق می بود، گلوله تا چه عمق در جیوه فرو می رفت؟ جرم مخصوص جیوه $13/6 \text{ g/cm}^3$ است و از مقاومت جیوه صرف نظر می شود.



$$1) V = 19/6 \text{ m/s} \quad 2) \text{ متشابه تغییر كند شونده} \quad 3) x = 19/6 \text{ m}$$

۴- از نقطه A در بالای سطح آب گلوله ای به جرم مخصوص 2 g/cm^3

فصل چهارم

را بدون سرعت اولیه رها کردیم و پس از ۲ ثانیه گلوله به نقطه C از درون آب رسید. مسافت AC مساوی ۱۷/۱۵m است. در صورتی که شتاب ثقل 980 cm/s^2 باشد و از مقاومت آب و هوا صرف نظر شود، معین کنید در چه مدت گلوله مسافت BC را در آب پیموده است.

۵- جسمی به وزن 81 kgf از ارتفاع زیاد رها می شود. سرعت حد آن را حساب کنید، در صورتی که ضریب مقاومت K در دستگاه M.K.S. قدیمی 0.01 و سطح بزرگترین مقطع آن 1 m^2 باشد. 90 m/s

۶- اگر بدانیم که یک گلوله سربی کروی به قطر 1 cm و به جرم مخصوص $11/3 \text{ g/cm}^3$ سرعت حدی برابر 52 m/s در هوا دارد، سرعت حد سقوط یک دانه تگرگ کروی به قطر 5 mm را حساب کنید، در صورتی که جرم مخصوص یخ 0.917 g/cm^3 فرض شود. $10/5 \text{ m/s}$

۷- موتورسیکلت سواری که با موتور $112/5 \text{ kgf}$ وزن دارد از جاده شیب داری به شیب 0.06 پایین می رود. مقاومت هوا از رابطه $R = 0.03 V^2$ بدست می آید. (R بر حسب kgf و V بر حسب m/s). ۱- معین کنید سرعت حد موتورسیکلت سوار را در صورتی که موتور خاموش باشد. ۲- اگر موتور روشن باشد سرعت حد موتورسیکلت سوار به 21 m/s می رسد. معین کنید نیروی وارد از موتور را. ۱) 15 m/s ۲) $6/48 \text{ kgf}$

۸- خلبانی با چتر نجاتش 98 kgf وزن دارد. سطح بزرگترین مقطع چتر نجات 50 m^2 است، مقاومت هوا از رابطه $R = \frac{1}{10} S V^2$ در دستگاه M.K.S. قدیمی حساب می شود. معین کنید سرعت حد سقوط خلبان را.

تقریباً $6/26 \text{ m/s}$

۹- گلوله کوچکی به نخ آویزان است. هنگامی که سرعت باد مساوی 4 m/s باشد به اندازه 2° منحرف می شود. اگر سرعت باد به 8 m/s برسد، چه اندازه منحرف خواهد شد؟ 8°

۱۰- گلوله ای توخالی از آلومینیم به شعاع 10 cm و به جرم 89 گرم به نخ آویزان و در مسیر باد قرار گرفته است. هنگامی که سرعت باد 10 m/s باشد، به اندازه 45° منحرف می شود، معین کنید مقدار ضریب مقاومت K را در دستگاه C.G.S. ($g = 980 \text{ cm/s}^2$)

$$K = 277 \times 10^{-6}$$

حرکت دورانی متشابه

۲۹- تعریف - در این حرکت، متحرك دایره ای را با حرکت

یکنواخت می پیماید، یعنی قوسهای متساوی را در مدت های متساوی بر روی دایره طی می کند.

۳۰- سرعت زاویه ای - زاویه ای که متحرك در یک ثانیه

می پیماید سرعت زاویه ای آن متحرك نامیده می شود. این سرعت بر حسب رادیان بر ثانیه بیان می شود و معمولاً با حرف ω نشان داده می شود.

در این صورت $\omega = 2\pi N = \frac{2\pi}{T}$ خواهد بود که در آن N عدد دورهای است که متحرك در یک ثانیه می زند و T عبارت از مدت زمانی است که متحرك در آن مدت یک دور می زند.

۳۱- معادله حرکت - فرض کنیم که متحرك در مبدأ زمان، از

حال سکون، از نقطه A با سرعت زاویه ای ω حرکت آغاز کند. این متحرك پس از t ثانیه به نقطه M می رسد بطوری که $\widehat{AOM} = \alpha = \omega t$ (شکل ۲۹ - الف).

می بینیم که وضع متحرك در لحظه t به وسیله زاویه α که از رابطه $\alpha = \omega t$ (۱) بدست می آید، کاملاً مشخص می شود. ممکن است

فصل چهارم

را بدون سرعت اولیه رها کردیم و پس از ۲ ثانیه گلوله به نقطه C از درون آب رسید. مسافت AC مساوی ۱۷/۱۵m است. در صورتی که شتاب نقل 980 cm/s^2 باشد و از مقاومت آب و هوا صرف نظر شود، معین کنید در چه مدت گلوله مسافت BC را در آب پیموده است. $t = 18$

۵- جسمی به وزن 81 kgf از ارتفاع زیاد رها می شود. سرعت حد آن را حساب کنید، در صورتی که ضریب مقاومت K در دستگاه M.K.S. قدیمی ۰/۰۱ و سطح بزرگترین مقطع آن 1 m^2 باشد. 90 m/s

۶- اگر بدانیم که يك گلوله سربی کروی به قطر 1 cm و به جرم مخصوص $11/3 \text{ g/cm}^3$ سرعت حدی برابر 52 m/s در هوا دارد، سرعت حد سقوط يك دانه تگرگ کروی به قطر 5 mm را حساب کنید، در صورتی که جرم مخصوص بخر 917 g/cm^3 فرض شود. $10/5 \text{ m/s}$

۷- موتورسیکلت سواری که با موتور $112/5 \text{ kgf}$ وزن دارد از جاده شیبداري به شیب $0/06$ پایین می رود. مقاومت هوا از رابطه $R = 0/03 V^2$ بدست می آید. (R بر حسب kgf و V بر حسب m/s) . ۱- معین کنید سرعت حد موتورسیکلت سوار را در صورتی که موتور خاموش باشد . ۲- اگر موتور روشن باشد سرعت حد موتورسیکلت سوار به 21 m/s می رسد. معین کنید نیروی وارد از موتور را . $1) 15 \text{ m/s}$ $2) 6/48 \text{ kgf}$

۸- خلبانی با چتر نجاتش 98 kgf وزن دارد. سطح بزرگترین مقطع چتر نجات 50 m^2 است، مقاومت هوا از رابطه $R = \frac{1}{10} S V^2$ در دستگاه M.K.S. قدیمی حساب می شود. معین کنید سرعت حد سقوط خلبان را. تقریباً $6/26 \text{ m/s}$

۹- گلوله کوچکی به نخی آویزان است. هنگامی که سرعت باد مساوی 4 m/s باشد به اندازه 2° منحرف می شود. اگر سرعت باد به 8 m/s برسد، چه اندازه منحرف خواهد شد ؟ 8°

۱۰- گلوله ای توخالی از آلومینیم به شعاع 10 cm و به جرم 89 گرم به نخی آویزان و در مسیر باد قرار گرفته است. هنگامی که سرعت باد 10 m/s باشد، به اندازه 45° منحرف می شود، معین کنید مقدار ضریب مقاومت K را در دستگاه C.G.S. ($g = 980 \text{ cm/s}^2$) .

$$K = 277 \times 10^{-6}$$

حرکت دورانی مشابه

۲۹- تعریف - در این حرکت، متحرك دایره ای را با حرکت

یکنواخت می پیماید، یعنی قوسهای متساوی را در مدت های متساوی بر روی دایره طی می کند.

۳۰- سرعت زاویه ای - زاویه ای که متحرك در يك ثانیه

می پیماید سرعت زاویه ای آن متحرك نامیده می شود. این سرعت بر حسب رادیان بر ثانیه بیان می شود و معمولاً با حرف ω نشان داده می شود.

در این صورت $\omega = 2\pi N = \frac{2\pi}{T}$ خواهد بود که در آن N عدد دورهایی است که متحرك در يك ثانیه می زند و T عبارت از مدت زمانی است که متحرك در آن مدت يك دور می زند.

۳۱- معادله حرکت - فرض کنیم که متحرك در مبدأ زمان، از

حال سکون، از نقطه A با سرعت زاویه ای ω حرکت آغاز کند. این متحرك پس از t ثانیه به نقطه M می رسد بطوری که $\widehat{AOM} = \alpha = \omega t$ (شکل ۲۹ - الف).

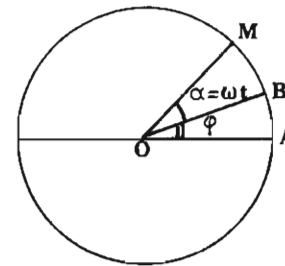
می بینیم که وضع متحرك در لحظه t به وسیله زاویه α که از

رابطه $\alpha = \omega t$ (۱) بدست می آید، کاملاً مشخص می شود. ممکن است

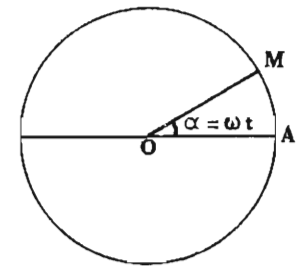
به جای زاویه α وضع متحرك را به وسیله قوس $s = \widehat{AM}$ مشخص کرد .
در این صورت چنین خواهیم داشت :

$$(۲) \quad s = R\omega t$$

که در آن R شعاع دایره مسیر است . رابطه‌های (۱) یا (۲) معادله حرکت متحرکند .



شکل ۲۹ - ب



شکل ۲۹ - الف

اگر متحرك در مبدأ زمان ، به جای آنکه از نقطه A حرکت آغاز کند ، از نقطه B (شکل ۲۹ - ب) شروع کند بطوری که زاویه $\widehat{BOA} = \varphi$ باشد ، پس از t ثانیه به نقطه M می‌رسد ، بطوری که $\widehat{AOM} = \omega t + \varphi$ و معادله حرکت چنین می‌شود :

$$s = R(\omega t + \varphi)$$

۳۲- سرعت خطی - مسافتی که متحرك در واحد زمان می‌پیماید سرعت خطی و مقدار آن برابر با قوسی است که زاویه مرکزی آن ω باشد . پس سرعت خطی از رابطه $v = R\omega$ بدست می‌آید .

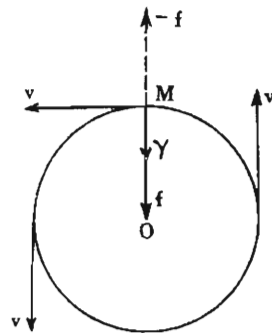
بنا بر این در حرکت دورانی متشابه ، سرعت خطی مساوی است با حاصل ضرب شعاع دایره دوران در سرعت زاویه‌ای متحرك .

این سرعت ، همان مشتق مسافت نسبت به زمان است : $v = s' = R\omega$
چون R و ω ثابتند ، سرعت در حرکت دورانی متشابه از حیث بزرگی ثابت است ولی چون در هر لحظه مماس با مسیر است ، دائماً راستای آن تغییر می‌کند (بردار سرعت تغییر می‌کند) .

پس گرچه بزرگی سرعت ثابت است ، شتاب حرکت دورانی متشابه صفر نیست .

۳۳- شتاب - حرکت دورانی متشابه ، برخلاف حرکت متشابه مستقیم الخط که شتاب آن صفر است ، دارای شتاب است ، زیرا در هر لحظه متحرك مایل است که مسیر خود را در امتداد مماس (سرعت) ترك کند . حال ، برای آنکه متحرك از روی مماس بر روی دایره کشیده شود و

همواره بر روی آن باقی بماند ، لازم است که نیرویی از مرکز دایره در امتداد شعاع بر آن وارد شود تا متحرك را همواره بر روی دایره بکشاند . این نیرو را نیروی جانب مرکزی می‌نامند و بنا بر اصل اساسی دینامیک شتابی تولید می‌کند که به نوبه خود ممتد است در جهت



شکل ۳۰

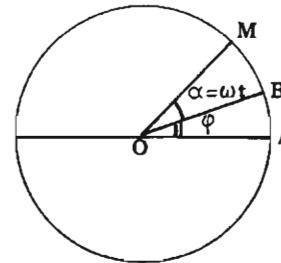
نیرو ، یعنی ممتد است به سوی مرکز دایره (شکل ۳۰) و مقدار آن از این رابطه بدست می‌آید :

$$\gamma = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$$

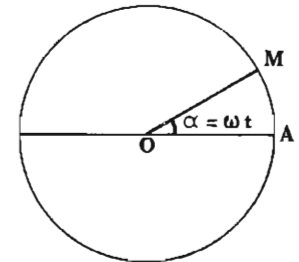
به جای زاویه α وضع متحرك را به وسیله قوس $s = \widehat{AM}$ مشخص کرد .
در این صورت چنین خواهیم داشت :

$$(۲) \quad s = R\omega t$$

که در آن R شعاع دایره مسیر است . رابطه‌های (۱) یا (۲) معادله حرکت متحركند .



شکل ۲۹ - ب



شکل ۲۹ - الف

اگر متحرك در مبدأ زمان ، به جای آنکه از نقطه A حرکت آغاز کند ، از نقطه B (شکل ۲۹ - ب) شروع کند بطوری که زاویه $\widehat{BOA} = \varphi$ باشد ، پس از t ثانیه به نقطه M می‌رسد ، بطوری که $\widehat{AOM} = \omega t + \varphi$ و معادله حرکت چنین می‌شود :

$$s = R(\omega t + \varphi)$$

۳۲- سرعت خطی - مسافتی که متحرك در واحد زمان می‌پیماید سرعت خطی و مقدار آن برابر با قوسی است که زاویه مرکزی آن ω باشد. پس سرعت خطی از رابطه $v = R\omega$ بدست می‌آید.

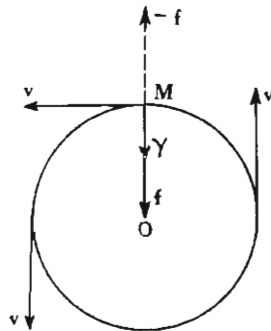
بنا بر این در حرکت دورانی متشابه ، سرعت خطی مساوی است با حاصل ضرب شعاع دایره دوران در سرعت زاویه‌ای متحرك .

این سرعت ، همان مشتق مسافت نسبت به زمان است : $v = s' = R\omega$ چون R و ω ثابتند ، سرعت در حرکت دورانی متشابه از حیث بزرگی ثابت است ولی چون در هر لحظه مماس با مسیر است ، دائماً راستای آن تغییر می‌کند (بردار سرعت تغییر می‌کند) .

پس گرچه بزرگی سرعت ثابت است ، شتاب حرکت دورانی متشابه صفر نیست .

۳۳- شتاب - حرکت دورانی متشابه ، برخلاف حرکت متشابه مستقیم الخط که شتاب آن صفر است ، دارای شتاب است ، زیرا در هر لحظه متحرك مایل است که مسیر خود را در امتداد مماس (سرعت) ترك کند . حال ، برای آنکه متحرك از روی مماس بر روی دایره کشیده شود و

همواره بر روی آن باقی بماند ، لازم است که نیرویی از مرکز دایره در امتداد شعاع بر آن وارد شود تا متحرك را همواره بر روی دایره بکشانند. این نیرو را نیروی جانب مرکز^۱ می‌نامند و بنا بر اصل اساسی دینامیک شتابی تولید می‌کند که به نوبه خود ممتد است در جهت



شکل ۳۰

نیرو ، یعنی ممتد است به سوی مرکز دایره (شکل ۳۰) و مقدار آن از این رابطه بدست می‌آید :

$$v = \omega' R = \frac{v'}{R}$$

۳۴ - نیرویی که ایجاد حرکت دورانی متشابه می کند -

مطابق اصل اساسی دینامیک این نیرو از رابطه $\vec{f} = m\vec{\gamma}$ بدست می آید .

$$f = m\omega^2 R = m \frac{v^2}{R}$$

پس :

این نیرو که در راستای شعاع دایره و سوی آن از M به O است . عکس - العمل این نیرو را نیروی گریز از مرکز نامند . بنا بر اصل تساوی عمل و عکس العمل :

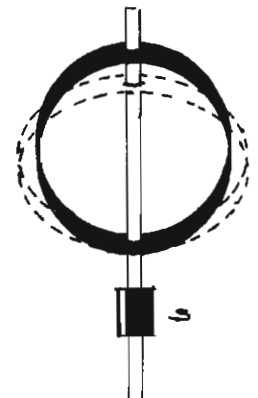
$$-m\omega^2 R = -m \frac{v^2}{R}$$

مثلاً اگر وزنه‌ای را به ریسمانی ببندیم و آن را با حرکت متشابه به چرخانیم ، دست ما به ریسمان و ریسمان به وزنه ، یک نیروی جانب مرکز وارد می کند (از وزن وزنه صرف نظر می شود) و وزنه نیز به ریسمان نیروی گریز از مرکز وارد می سازد .

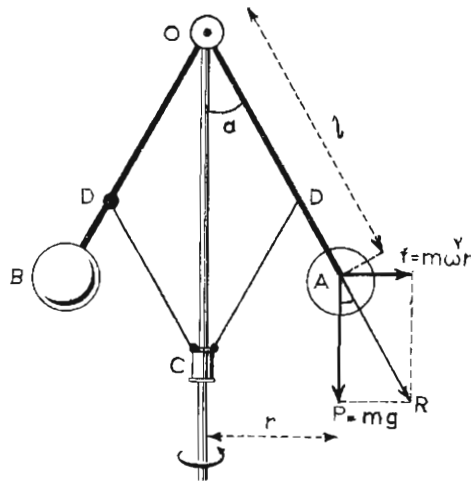
۳۵ - اثر و موارد استعمال حرکت دورانی و نیروی گریز از مرکز

الف - علت فرورفتگی زمین در قطبها و برآمدگی آن در استوا

نتیجه نیروی گریز از مرکز است . این موضوع را به وسیله آزمایش (شکل ۳۱) می توان نشان داد . بر اثر دوران سریع ، حلقه ارتجاع - پذیر دایره شکل ، به شکل بیضی در می آید . زمین نیز ، بر اثر حرکت دورانی ، در قطبها فرورفتگی پیدا کرده است ، زیرا نیروی گریز از مرکز نقاطی که در حوالی قطبها واقعند ، به علت کوچک بودن شعاع دوران ، کوچک



شکل ۳۱



شکل ۳۲

است . درحالی که نقاطی که در حوالی استوا واقعند تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز بزرگی هستند و برآمدگی در آن حوالی پیدا می شود .
ب - دستگاه تنظیم وات - این دستگاه تشکیل شده است از دو گلوله وزین A و B که به وسیله مفصل O به انتهای ساقه قائم دستگاه متصلند (شکل ۳۲) .

حرکت دورانی چرخ طیار یک ماشین به وسیله تسمه‌ای به ساقه این دستگاه منتقل می شود و دو گلوله مزبور بدوران در می آیند .

در نتیجه گلوله‌ها تحت تأثیر نیروی قائم وزن ($P = mg$) و نیروی گریز از مرکز ($f = m\omega^2 r$) واقع می شوند و بازوهای وزنه‌ها در امتداد برآیند این دو نیرو قرار می گیرند . زاویه α که بازوها با ساقه قائم می سازند از مثلث قائم الزاویه APR بدست می آید :

$$\tan \alpha = \frac{m\omega^2 r}{mg} = \frac{\omega^2 r}{g}$$

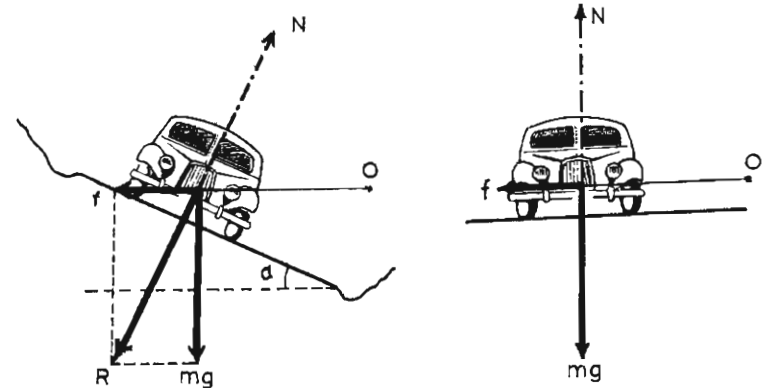
و چون $r = l \sin \alpha$ ،

$$\cos \alpha = \frac{g}{\omega^2 l} , \quad \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{\omega^2 l}{g} , \quad \tan \alpha = \frac{\omega^2 l \sin \alpha}{g}$$

چنانکه ملاحظه می شود ، چون مقدار g و l ثابت است ، هر قدر سرعت زاویه‌ای ω زیادتر شود ، $\cos \alpha$ کمتر و α بیشتر خواهد شد در نتیجه

گلوله‌ها بازر می‌شوند. اهرمهایی این گلوله‌ها را به دریچه‌های تقسیم بخار متصل می‌کنند، بطوری که هرچه گلوله‌ها بازر شوند این دریچه‌ها بیشتر بسته می‌شوند و برائر کم شدن ورود بخار در استوانه، سرعت ماشین کم می‌شود. بالعکس اگر ماشین کند شود، α کوچک شده وزنه‌ها جمع‌تر و دریچه‌ها بازر می‌شوند و به سبب ازدیاد ورود بخار، سرعت ماشین زیاد می‌شود.

ج- حرکت در پیچ جاده - در جاده افقی و در سر پیچ، اتوموبیل تحت تأثیر سه نیرو واقع می‌شود: یکی $\vec{mg}$ نیروی ثقل و دیگری $\vec{f}$ نیروی گریز از مرکز و بالاخره $\vec{N}$ نیروی عکس‌العمل جاده (نیروی $\vec{N}$ برآیند نیروهای عکس‌العمل جاده است که بر چرخهای اتوموبیل وارد می‌شود. این نیرو همیشه بر سطح جاده عمود است). برای اینکه اتوموبیل واژگون نشود باید برآیند این سه نیرو برابر صفر باشد. از شکل ۳۳-الف پیداست که اگر جاده افقی باشد برآیند این سه نیرو صفر نخواهد شد. اما اگر جاده، در عرض، کمی شیب داشته باشد در صورتی که برآیند



شکل ۳۳ - ب

شکل ۳۳ - الف

نیروهای $\vec{f}$ و $\vec{mg}$ در امتداد نیروی $\vec{N}$ واقع شود برآیند سه نیرو ممکن است صفر بشود و خطر واژگون شدن اتوموبیل از بین برود. اگر شیب عرضی جاده برابر α باشد:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m \omega^2 r}{mg} = \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{v^2}{rg}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{rg}$$

یا:

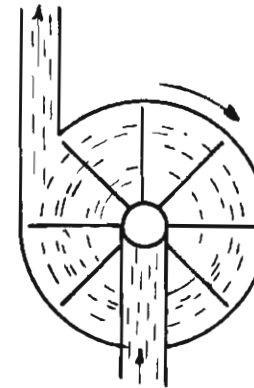
اگر v ، سرعت اتوموبیل، کم و r ، شعاع دوران، زیاد باشد، α قابل اغماض خواهد بود و برای همین است که راننده در پیچ، سرعت را کم کرده و سعی می‌کند که دایره بزرگی طی کند. اگر v زیاد شد، در جاده افقی يك دوچرخه سوار خود را به طرف داخل انحنای جاده خم می‌کند.

د - علت نریختن آتش از آتشگردان، یا نریختن آب از سطلی که حرکت دورانی دارد، نیروی گریز از مرکز است که چون در سرعتهای زیاد از وزن آب بیشتر است، مانع افتادن تکه‌های زغال یا ریزش آب می‌شود.

ه - در صنعت و در آزمایشگاهها، نیروی گریز از مرکز موارد استعمال فراوان دارد، در آب میوه‌گیرها برای جدا کردن آب میوه از میوه، در کارخانه‌های قندسازی برای جدا کردن دانه‌های شکر از شیرۀ چغندر، در پزشکی برای جدا کردن سرم خون، در آزمایشگاهها برای جدا کردن مواد جامد معلق از يك محلول، و در کارگاههای رنگرزی و لباسشویی برای خشک کردن پشم و پارچه‌های تر، از نیروی گریز از مرکز استفاده می‌شود. برای این کار اجسام مزبور را در دستگاهی به نام Centrifugeuse (شکل ۳۴) می‌گذارند و با سرعت زیاد بدوران در می‌آورند. ذرات مایع از جدار مشبك دستگاه با فشار

زیاد به خارج پرتاب و آنچه در دستگاه است خشک می شود .

و - در تلمبه های دوار، بر اثر حرکت دورانی پره ها، آب تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز به خارج پرتاب می شود و به ارتفاعات بالا می رود (شکل ۳۵) .



شکل ۳۵

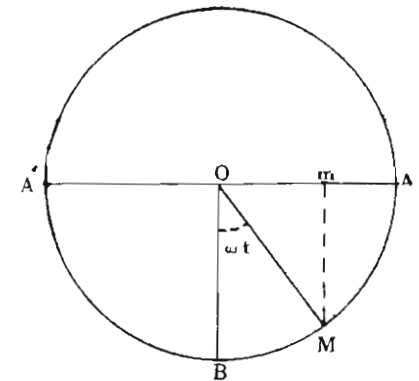


شکل ۳۴

حرکت نوسانی بر روی يك خط مستقیم

۳۶ - تعریف - هرگاه متحرك M ، با حرکت مشابه و با سرعت زاویه ای ω ، بر روی دایره ای حرکت کند، تصویر آن (m) بر روی

یکی از قطرهای دایره حرکتی خواهد داشت که آن را حرکت نوسانی می نامند (شکل ۳۶) .



شکل ۳۶

۳۷ - زمان تناوب یا پریود (T) - مدت زمانی که متحرك m در آن يك نوسان کامل انجام می دهد (مدت يك رفت و

يك برگشت (زمان تناوب نامیده می شود .

۳۸ - تواتر یا فرکانس (N) - تواتر عدد نوسانهایی است که متحرك m در يك ثانیه انجام می دهد .
واضح است که بین زمان تناوب و فرکانس این رابطه برقرار است:

$$N = \frac{1}{T}$$

۳۹ - دامنه نوسان - وضع متحرك m به وسیله فاصله اش $Om = x$ از مبدأ O مشخص می شود . x را بعد و بعد ماکزیمم را دامنه نوسان نامند ، $OA = a$.

۴۰ - معادله حرکت نوسانی - وضع متحرك m را در لحظه t می توان به وسیله زاویه $\widehat{BOM}$ مساوی ωt مشخص کرد (شکل ۳۶) .
بعد متحرك m در این لحظه از مثلث قائم الزاویه OmM بدست می آید:

$$Om = OM \sin \omega t$$

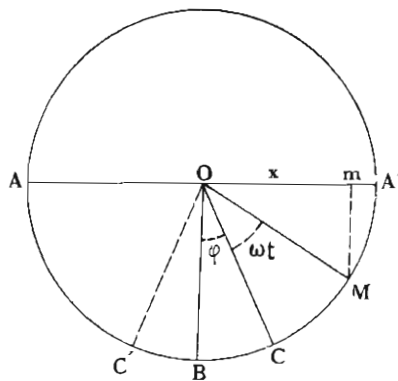
و چون :

$$Om = x \text{ و } OM = a$$

نتیجه می شود که :

$$(۱) \quad x = a \sin \omega t$$

رابطه (۱) معادله حرکت نوسانی است . آشکار است که رابطه (۱) در صورتی صادق است که مبدأ



شکل ۳۷

زمان را لحظه‌ای اختیار کنیم که متحرك M در B یا m در O باشد .
اگر متحرك M در مبدأ زمان ، به جای آنکه از نقطه B حرکت آغاز کند ، از نقطه C راه بیفتد بطوری که زاویه $\widehat{BOC} = \varphi$ باشد ،
 $\widehat{BOM} = \omega t + \varphi$ (شکل ۳۷) و معادله حرکت نوسانی نقطه m به صورت زیر در می آید :

$$(۲) \quad \boxed{x = a \sin(\omega t + \varphi)} \quad \text{یا} \quad Om = OM \sin(\omega t + \varphi)$$

رابطه (۲) معادله کلی حرکت نوسانی است. $\omega t + \varphi$ را فاز حرکت می نامند .

اگر $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ، یعنی در مبدأ زمان متحرك از نقطه A (وضع ماکزیم) ، شروع به حرکت کند ، معادله حرکت نوسانی چنین می شود :

$$\boxed{x = a \cos \omega t} \quad \text{یا} \quad \boxed{x = a \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})}$$

پس معادلات حرکت نوسانی توابع سینوسی از زمان است .

اکنون فرض کنیم که دو متحرك M_1 و M_2 ، یکی از نقطه B و دیگری از نقطه C ، هر دو در مبدأ زمان حرکت آغاز کنند (شکل ۳۷) . معادله حرکت نوسانی تصویرهای این دو متحرك بترتیب عبارت است از :

$$x_1 = a \sin \omega t \quad \text{و} \quad x_2 = a \sin(\omega t + \varphi)$$

بنا بر تعریف ، زاویه φ را اختلاف فاز این دو حرکت نوسانی می نامند . اگر $\varphi > 0$ باشد ، گوییم که متحرك دوم نسبت به متحرك اول

تقدیم فاز دارد (جلوتر است) و اگر $\varphi < 0$ باشد ، گوییم که تأخیر فاز دارد و اگر $\varphi = 0$ باشد ، گوییم که دو حرکت همفاز هستند .

۴۱- سرعت در حرکت نوسانی - سرعت مشتق مسافت نسبت به

$$(۳) \quad \boxed{v = \omega a \cos(\omega t + \varphi)} \quad \text{زمان است . پس :}$$

۴۲- شتاب در حرکت نوسانی - شتاب مشتق سرعت نسبت به

زمان است :

$$v = -a\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

و چون $x = a \sin(\omega t + \varphi)$ است ، شتاب را می توان به صورت زیر نوشت :

$$(۴) \quad \boxed{v = -\omega^2 x}$$

۴۳- نیرو در حرکت نوسانی - نیرویی که سبب حرکت نوسانی

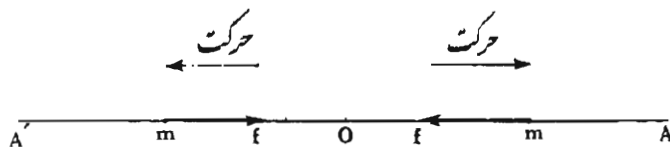
می شود از رابطه کلی دینامیک $\vec{f} = m\vec{v}$ بدست می آید .

$$\boxed{f = -m\omega^2 x}$$

چنانکه دیده می شود ، نیرو متناسب است با بعد متحرك ، و علامت

(-) نشان می دهد که نیرو در سویی اثر می کند که می خواهد متحرك

را دائماً به نقطه O که وسط میدان نوسان است (وضع تعادل) بکشاند (شکل ۳۸) .



شکل ۳۸

پس : در حرکت نوسانی ، نیرو متناسب است با بعد و سوی آن طوری است که می خواهد متحرك را به وضع تعادل خود بازگرداند .

بالعکس هر متحرکی که با نیرویی متناسب با بعد به طرف وضع تعادل خود کشیده شود ($f = -Ax$) حرکتی خواهد داشت نوسانی و مستقیم الخط به معادله : $x = a \sin(\omega t + \varphi)$ که سرعت زاویه ای آن ω

از رابطه $-m\omega^2 x = -Ax$ بدست می آید :

$$m\omega^2 = A \quad \text{یا} \quad \omega^2 = \frac{A}{m} \quad \text{پس} \quad \omega = \sqrt{\frac{A}{m}}$$

و چون : $\omega = \frac{2\pi}{T}$ است ، $\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{A}{m}}$ و زمان تناوب حرکت از رابطه

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{A}} \quad \text{بدست می آید .}$$

تمرین

۱- گلوله ای به جرم ۲۰۰ گرم به انتهای نخ به طول یک متر بسته شده و با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه دوران می کند . معین کنید : ۱- سرعت زاویه ای و سرعت خطی و شتاب متحرك را ، ۲- نیروی مرکزی وارد بر جسم را ، ۳- در موقع عبور متحرك از وضعیت افقی و در حالی که سرعت از پایین به بالاست نخ را رها می کنیم . معین کنید تا چه ارتفاع گلوله بالا می رود ، و سرعت آن وقتی که به زمین که ۱۰ متر پایین تر از مرکز دایره دوران است می رسد چقدر است ($g = ۱۰ \text{ m/s}^2$ و $\pi = ۳$ فرض شود) ؟

$$۱) \omega = ۱۸ \text{ بر ثانیه} \quad v = ۱۸ \text{ m/s} \quad \gamma = ۳۲۴ \text{ m/s}^2$$

$$۲) f = ۶۴/۸ \text{ N} \quad ۳) x = ۱۶/۲ \text{ m} \quad v \neq ۲۳ \text{ m/s}$$

۲- طول دسته آتشگردانی ۷۵cm است . معین کنید حداقل سرعت

زاویه ای و سرعت خطی که باید به آن داده شود تا آتش نریزد ($g = ۹۸۱ \text{ cm/s}^2$) .
رادیان بر ثانیه $\omega = ۳/۶$ و $v = ۲/۷ \text{ m/s}$

۳- اتوموبیلی به جرم ۱۶۰۰kg از جاده شیبی به شیب ۰/۰۳ از حال سکون راه می افتد و در امتداد جاده پایین می آید . موتور نیرویی برابر با ۱۲۰N وارد می کند . معین کنید :

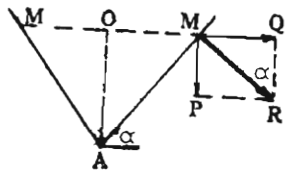
۱- بر آیند نیروهای وارد بر اتوموبیل را در امتداد جاده ، ۲- شتاب حرکت اتوموبیل را ، ۳- سرعت را پس از طی مسافت ۳۰۰m بر حسب متر بر ثانیه و کیلومتر در ساعت . ۴- در این موقع اتوموبیل به يك جاده افقی می رسد و دایره ای به شعاع ۲۰۰m طی می کند . معین کنید شیب عرضی سطح چه اندازه باشد تا از واژگون شدن مصون ماند (اگر زاویه كوچك باشد ، می توان سینوس و تانژانت و قوس را بر حسب رادیان برابر گرفت) .
 $g = ۱۰ \text{ m/s}^2$

$$۱) F = ۶۰۰ \text{ N} \quad ۲) \gamma = \frac{۳}{۸} \text{ m/s}^2 \quad ۳) v = ۱۵ \text{ m/s}$$

$$\sin \alpha = ۰/۱۱۲۵$$

۴- دوچرخه سواری که با دوچرخه اش ۹۰kg جرم دارد در زمینی به شکل قیف دور می زند . قطر دایره ای که طی می کند ۴۰ متر و سرعت دوچرخه سوار ۳۰km/h است (شکل زیر) معین کنید :

۱- حداکثر زاویه α را برای آنکه دوچرخه سوار واژگون نشود .
۲- فشار (R) وارد از دوچرخه سوار و دوچرخه اش را بر زمین ($g = ۱۰ \text{ m/s}^2$) .
از نیروی اصطكاك صرف نظر می شود .



$$۱) \alpha \neq ۱۹^\circ ۹' \quad ۲) R = ۹۵۲/۷ \text{ N}$$

۵- متحرکی به جرم ۲۰ گرم بر روی AA' دارای حرکتی نوسانی به پیرو دو ثانیه است . دامنه نوسان متحرك ۵۰cm است . معین کنید :

۱- معادلات حرکت و شتاب و نیروی وارد بر جسم را در صورتی که در مبدأ زمان متحرك از O شروع به حرکت کند ؛ ۲- مقدار سرعت و شتاب و نیرو را پس از $\frac{1}{۶}$ ثانیه .

$$۱) \quad x = \Delta \sin \pi t \quad v = \Delta \pi \cos \pi t \quad \gamma = -\Delta \pi^2 \sin \pi t$$

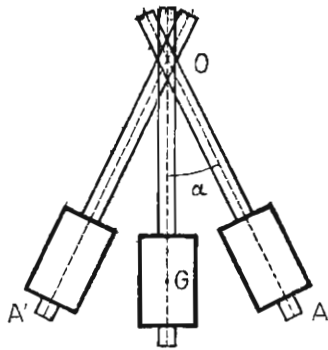
$$F = -1000 \pi^2 \sin \pi t$$

۶- جسمی به جرم ۵۴ گرم تحت تاثیر نیروی $F = -6x$ قرار گرفته است. مطلوب است: ۱- تعیین نوع حرکت؛ ۲- پریود حرکت؛ ۳- معادلات حرکت و سرعت و شتاب در صورتی که در مبدأ زمان متحرك در نصف بعد ماکزیم باشد.

آونگ (پاندول)

۴۴- تعریف - آونگ جسم وزینی است که می تواند حول محوری افقی که از مرکز ثقل آن نمی گذرد، حرکت کند، مانند آونگ ساعت و گلوله ای که به انتهای نخ آویزان یا چتری که از دسته به میخی آویخته شده است.

اگر آونگی را به اندازه زاویه α از وضع تعادلش دور و بدون سرعت اولیه رها کنیم، شروع به حرکت می کند و به وضع $A'O$ قرینه AO نسبت به وضع تعادل می رسد. سپس مجدداً به وضع قائم باز می گردد و از آنجا به وضع OA می رسد. بنابراین می توانیم بگوییم که حرکت آونگ يك حرکت نوسانی است؛ رفتن از A به A' و بازگشتن به A را يك نوسان کامل می نامند.



شکل ۳۹

زمان تناوب یا پریود (T) يك آونگ مدت زمانی است که آونگ در آن مدت يك نوسان کامل انجام می دهد.

تواتر یا فرکانس (N) عدد نوسانهای کاملی است که آونگ در

فصل پنجم

$$۱) \quad x = \Delta \sin \pi t \quad v = \Delta \pi \cos \pi t \quad \gamma = -\Delta \pi^2 \sin \pi t$$

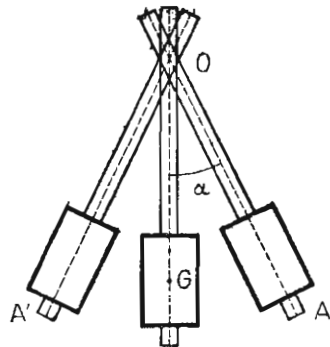
$$F = -1000 \pi^2 \sin \pi t$$

۶- جسمی به جرم ۵۴ گرم تحت تاثیر نیروی $F = -6x$ قرار گرفته است. مطلوب است: ۱- تعیین نوع حرکت؛ ۲- پریود حرکت؛ ۳- معادلات حرکت و سرعت و شتاب در صورتی که در مبدأ زمان متحرك در نصف بعد ماکزیم باشد.

آونگ (باندول)

۴۴- تعریف - آونگ جسم وزینی است که می تواند حول محوری افقی که از مرکز ثقل آن نمی گذرد، حرکت کند، مانند آونگ ساعت و گلوله ای که به انتهای نخ آویزان یا چتری که از دسته به میخی آویخته شده است.

اگر آونگی را به اندازه زاویه α از وضع تعادلش دور و بدون سرعت اولیه رها کنیم، شروع به حرکت می کند و به وضع $A'O$ قرینه AO نسبت به وضع تعادل می رسد. سپس مجدداً به وضع قائم باز می گردد و از آنجا به وضع OA می رسد. بنابراین می توانیم بگوییم که حرکت آونگ یک حرکت نوسانی است؛ رفتن از A به A' و بازگشتن به A را یک نوسان کامل می نامند.



شکل ۳۹

زمان تناوب یا پریود (T) یک آونگ مدت زمانی است که آونگ در آن مدت یک نوسان کامل انجام می دهد.

تواتر یا فرکانس (N) عدد نوسانهای کاملی است که آونگ در

يك ثانيه انجام می دهد. واضح است که $N = \frac{1}{T}$ در يك لحظه t ، آونگ با وضع تعادل خود زاویه ای می سازد که آن را **بعد** و مقدار ماکزیم بعد را **دامنه نوسان** (Amplitude) می نامند.

تذکر - بر اثر وجود مقاومت هوا و اصطکاکها، از وسعت دامنه نوسان آونگ بتدریج کاسته می شود و پس از مدتی آونگ می ایستد. این قبیل نوسانها را مستهلک شونده یا **میرا** می نامند.

۴۵ - آونگ ساده و آونگ مرکب - آونگ بردو قسم است:

ساده و مرکب.

آونگ ساده تشکیل شده است از **نقطه ای مادی** که به وسیله مفتولی **بدون وزن** به نقطه ثابتی آویخته شده و می تواند حول این نقطه در صفحه قائم نوسان کند. آشکار است که آونگ ساده نظری است و عملاً نمی تواند وجود داشته باشد، ولی برای آنکه بطور تقریبی يك آونگ ساده بسازند، گلوله وزین کوچکی را به نخ دراز و نازکی می آویزند. آونگهای حقیقی را آونگ مرکب می نامند.

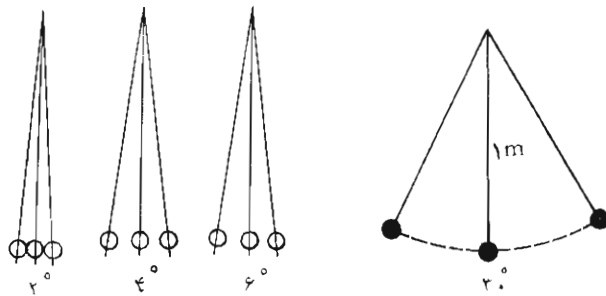
قوانین تجربی آونگ ساده

۴۶ - قوانین تجربی آونگ ساده به قرار زیر است:

قانون اول: قانون همزمانی نوسانهای کم دامنه - نوسانهای کم دامنه يك آونگ همزمانند.

آزمایش - چهار آونگ ساده مشابه به طول مثلاً يك متر اختیار می کنیم (شکل ۴۰). اولی را به اندازه 2° ، دومی را 4° ، سومی را 6° و چهارمی را 30° از وضع تعادل منحرف می کنیم تا بنوسان در آیند. مدت زمان ۳۰ نوسان سه آونگ اول را اندازه می گیریم. مشاهده

می کنیم که برای هر سه این مدت یکسان و مثلاً 60° ثانیه است، یعنی



شکل ۴۰

پریود هر سه یکسان و مساوی $T = 2$ ثانیه است. ولی آونگ چهارم که 30° منحرف شده است با آنها همزمان نیست و پریودش $2/03$ ثانیه است. از این آزمایش نتیجه می گیریم که برای نوسانهای کم دامنه (تا حدود 6°) زمان تناوب آونگ بستگی به دامنه نوسان α ندارد.

قانون دوم: قانون جرم و جنس آونگ - زمان تناوب يك آونگ ساده بستگی به جرم و جنس آن ندارد.

آزمایش - چهار آونگ که طول هر يك مساوی يك متر ولی گلوله های آنها مختلف الجنس و بترتیب از آهن و مس و سرب و چوب است اختیار می کنیم و آنها را به اندازه α از وضع تعادل دور می کنیم. مشاهده خواهیم کرد که زمانهای تناوب آنها با یکدیگر برابرند.

قانون سوم: قانون طولها - زمان تناوب يك آونگ ساده با جذر طول آن نسبت مستقیم دارد.

آزمایش - دو آونگ، یکی به طول $100cm$ و دیگری به طول $25cm$ ، اختیار می کنیم و زمان تناوب آنها را اندازه می گیریم. مشاهده می شود که مثلاً اگر پریود آونگ اول $T = 2s$ باشد، پریود آونگ دوم $T' = 1s$ است. از آزمایشهای مشابه دیگر نتیجه می شود که

که در ابتدا آونگ فقط تحت تأثیر شتاب ثقل g قرار گرفته بود در صورتی که در حالت دوم تحت تأثیر $g' = g + \gamma$ قرار می‌گیرد (γ شتابی است که نیروی جاذبه مغناطیس تولید کرده است).



شکل ۴۲

۴۷- فرمول کلی آونگ - قوانین

تجربی فوق را می‌توان با فرمول $T = K\sqrt{\frac{l}{g}}$

بیان کرد. محاسبه نشان می‌دهد که $K = 2\pi$ و بنابراین زمان تناوب از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

آونگ مرکب

۴۸- قوانین آونگ مرکب - چنانکه گفته شد آونگهای حقیقی

را آونگ مرکب می‌نامند.

آزمایش نشان می‌دهد که قانون همزمانی نوسانات کم‌دامنه و قانون

شتابها بدون هیچ تغییری در آونگ مرکب نیز صادق است.

قانون جرم و جنس - هرگاه چند آونگ مرکب همشکل را که

همگن (متجانس) ولی از مواد مختلفند چنان اختیار کنیم که فاصله نقطه

تعلیق آنها از مرکز ثقلشان یکی باشد، آزمایش نشان می‌دهد که این

آونگها همزمانند.

قانون طولها - چون قانون همزمانی نوسانات کم‌دامنه در باره

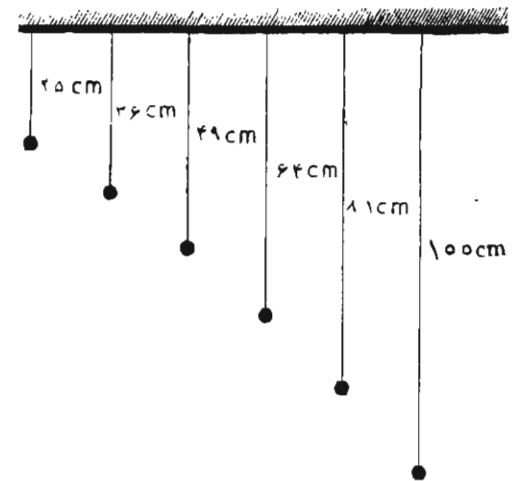
چون طول آونگ نه یا شانزده برابر شود، زمان تناوب آن ۳ یا ۴ برابر خواهد شد، و بطور کلی:

$$\frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{l}{l'}}$$

در شکل ۴۱ نسبت

پریودها به نسبت ۵،

می‌آید ۱۵ و ۹، ۸، ۷، ۶ است.



شکل ۴۱

قانون چهارم: قانون شتابها - زمان تناوب يك آونگ ساده با جذر شتاب ثقل نسبت معکوس دارد.

آزمایش نشان می‌دهد که هرگاه آونگی را از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر منتقل کنیم، زمان تناوب آن تغییر می‌کند و با جذر شتاب ثقل نسبت معکوس دارد:

$$\frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{g'}{g}}$$

آزمایش - برای تحقیق قانون شتابها می‌توان از يك مغناطیس الکتریکی و يك آونگ آهنی استفاده کرد (شکل ۴۲). زیر يك آونگ آهنی، يك مغناطیس الکتریکی می‌گذاریم. قبل از عبور جریان، زمان تناوب آن را اندازه می‌گیریم. فرض می‌کنیم که $T = 2s$. هنگامی که جریان برق از مغناطیس بگذرانیم، بر اثر نیروی جاذبه وارد از مغناطیس بر آونگ، زمان تناوب آونگ کم می‌شود. علت این است

آونگ مرکب نیز صادق است، يك آونگ مرکب زمان تناوب معینی مانند T خواهد داشت و می توان آونگ ساده ای تصور کرد که زمان نوسان آن مساوی زمان نوسان این آونگ مرکب یعنی T باشد طول این آونگ ساده از رابطه $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ حساب می شود.

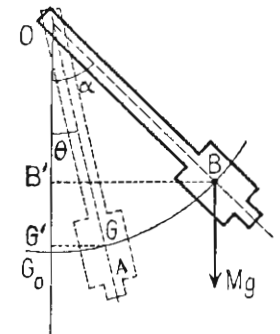
طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب را، بنا بر تعریف، طول آونگ مرکب نامند.

آشکار است که در این صورت فرمول آونگ ساده برای آونگ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{مرکب نیز صادق است:}$$

۴۹- آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب - اگر از نقطه

تعلیق O و روی خط OG (G مرکز ثقل) طولی برابر l طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب، جدا کنیم، نقطه ای مانند A (شکل ۴۳) بدست می آید که دارای خواص زیر است:



شکل ۴۳

اولا - هرگاه تمام جرم آونگ

مرکب را در این نقطه متمرکز فرض کنیم، آونگ ساده ای بدست می آید که زمان نوسان آن برابر زمان نوسان آونگ مرکب است (به همین علت است که این فاصله به عنوان طول آونگ مرکب اختیار شده است).

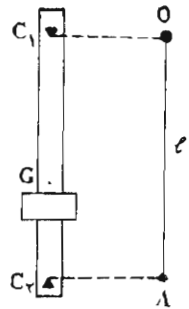
ثانیا - طول $OA = l$ همیشه از فاصله OG (فاصله نقطه تعلیق تا مرکز ثقل) بزرگتر است، بطوری که O و A در طرفین مرکز ثقل واقعند و فاصله شان از G متفاوت است.

ثالثا - اگر آونگ مرکب را حول محوری افقی که از A می گذرد بنوسان در آوریم، زمان تناوب آونگ برابر است با زمان تناوب آونگ حول O .

با استفاده از خاصیت اخیر می توان طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب را از راه آزمایش تعیین کرد. برای این کار کافی است که بدوسیله آزمایشهای متعدد، دو محور موازی A و O چنان اختیار کرد که چون آونگ حول این دو محور نوسان کند زمانهای تناوب آن برابر باشند. در این صورت فاصله $OA = l$ طول آونگ ساده همزمان با

آونگ مرکب است، مشروط بر آنکه O و A نسبت به G قرینه نباشند.

آونگی که در دو نقطه O و A دارای دو کار C_1 و C_2 باشد و بتواند حول این دو کارد نوسان کند، آونگ دوطرفه نامیده می شود. در شکل ۴۴ آونگ دوطرفه و آونگ ساده همزمان با آن دیده می شود.



شکل ۴۴

قانون جاذبه عمومی

۵۰- از مشاهدات نجومی نیکو براهه (منجم دانمارکی) و کپلر (منجم آلمانی)، نیوتن قانون جاذبه عمومی را کشف کرد. مدتها نیوتن بر آن بود که عاملی را که سبب حرکت دورانی ماه به دور زمین یا حرکت زمین به دور خورشید می شود، پیدا کند. پس از تجسسات زیاد بدین نتیجه رسید که بطور کلی، هر دو جسم مادی به جرمهای m و m' که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته اند، به نسبت مستقیم

حاصل ضرب دو جرم و به نسبت معکوس مجذور فاصله‌شان یکدیگر را جذب می‌کنند، بطوری که اگر نیروی جاذبه میان دو جسم f باشد می‌توان نوشت: $f = K \frac{m \cdot m'}{d^2}$ که در آن K ضریبی است ثابت. در این فرمول، اگر m و m' بر حسب کیلوگرم و f بر حسب نیوتن باشد، و d بر حسب متر باشد، $K = 6.67 \times 10^{-11}$ خواهد بود.

این قانون را **قانون جاذبه عمومی** می‌نامند. از این قانون نتیجه می‌شود که هر جرم مادی به وسیله زمین جذب می‌شود و نیروی جاذبه برابر است با نیرویی که بین جرم مزبور و جرم زمین، که تماماً در مرکز آن واقع شده باشد، ایجاد می‌شود (در صورتی که زمین کروی فرض شود)، زیرا نیروی جاذبه يك کره همگن بر روی يك نقطه مادی برابر است با نیروی جاذبه يك نقطه مادی که در مرکز کره قرار گرفته و جرم آن برابر جرم کره باشد. بنابراین نیروی جاذبه زمین بر نقطه‌ای به جرم m که بر روی زمین واقع است، از رابطه:

$$f = K \frac{mM}{R^2}$$

حساب می‌شود که در آن M جرم کره زمین است که در مرکزش متمرکز شده و R شعاع زمین است. این نقطه مادی نیز کره زمین را با نیرویی مساوی و مختلف‌العلامه با نیروی جاذبه زمین جذب می‌کند.

۵۱- جرم کره زمین - می‌دانیم که نیرویی که کره زمین بر جرم يك کیلوگرم وارد می‌کند برابر است با $9/8$ نیوتن، و از طرف دیگر شعاع کره زمین برابر است با 6380 km یا $6380 \times 10^3 \text{ m}$ ، و چون $K = 6.67 \times 10^{-11}$ ، به موجب فرمول جاذبه عمومی:

$$9/8 = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1 \times M}{(6380 \times 10^3)^2}$$

$$M = 598 \times 10^{22} \text{ kg}$$

یا
و حجم زمین

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 109 \times 10^{19} \text{ m}^3$$

می‌باشد، متوسط جرم مخصوص زمین چنین است:

$$d = \frac{M}{V} = \frac{598 \times 10^{22}}{109 \times 10^{19}} = 5.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \\ = 5.5 \text{ g/cm}^3$$

موارد استعمال آونگ مرکب در اندازه گیری g

۵۲- میدان ثقل - هر جرم مادی m از طرف کره زمین تحت تأثیر نیرویی برابر با p واقع می‌شود که آن را وزن جسم می‌نامند، بطوری که $p = mg$.

پس می‌توان گفت که در اطراف زمین میدان نیرویی موجود است که بر روی اجرام مادی اثر می‌کند. این میدان نیرو را **میدان ثقل** می‌نامند.

شدت میدان ثقل در يك نقطه بر حسب تعریف عبارت از نیرویی است که بر واحد جرم (يك کیلوگرم)، که در آن نقطه قرار گرفته وارد می‌شود. این نیرو به موجب رابطه بالا برابر است با:

نیوتن $p = 1 \times g = g$ (در دستگاه M.K.S. علمی)

پس عدد g دو کمیت را بیان می‌کند: یکی شدت میدان ثقل بر حسب نیوتن بر کیلوگرم، و دیگری شتاب ثقل بر حسب متر بر ثانیه ثانیه، و در یک نقطه معین این دو کمیت با یک عدد بیان می‌شوند.

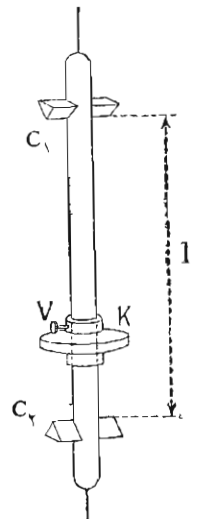
۵۳ - اساس اندازه‌گیری g - چنانکه می‌دانیم، مقدار g را می‌توان با استفاده از قوانین سقوط آزاد اندازه گرفت، ولی این روش چندان دقیق نیست و برای تعیین مقدار g بطور دقیق از آونگ مرکب استفاده می‌شود. از فرمول $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ نتیجه می‌شود:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g} \quad \text{یا} \quad g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

بنابراین برای اندازه‌گیری g کافی است که طول l آونگ ساده همزمان با یک آونگ مرکب و زمان تناوب (T) آن را اندازه گرفت.

برای اندازه‌گیری l ، از تعریف طول آونگ ساده همزمان با یک آونگ مرکب (صفحه ۷۶) استفاده می‌کنیم. بنا بر این می‌توان یک آونگ دوطرفه را بکار برد ولی در عمل از آونگ کاتر ($Kater$) استفاده می‌شود (شکل ۴۵).

آونگ کاتر تشکیل شده است از میله‌ای فلزی که در آن دو کارد C_1 و C_2 به فاصله تقریبی یک متر از یکدیگر قرار دارند و وزنه K می‌تواند در طول میله بلغزد. از راه آزمایش، وزنه K را در محل مناسبی چنان قرار



شکل ۴۵

می‌دهیم که زمانهای تناوب آونگ حول C_1 و C_2 برابر شوند. در این صورت آونگ مزبور برای طول C_1C_2 دوطرفه شده است و کافی است که C_1C_2 را دقیقاً اندازه بگیریم و به جای l در فرمول بالا بگذاریم. سپس برای تعیین دوره تناوب آن چنین عمل می‌کنیم:

برای اندازه‌گیری T ، اکنون که آونگ دوطرفه شده، کافی است که پریود آونگ را که در حدود دو ثانیه است بدقت اندازه بگیریم. می‌توان مدت N نوسان کامل این آونگ (t) را به وسیله کروموتری اندازه گرفت و از رابطه $T = \frac{t}{N}$ زمان یک نوسان را بدست آورد. در این روش ساده هر قدر عدده نوسانهایی که در نظر می‌گیریم بیشتر باشد اندازه‌گیری زمان تناوب T دقیق‌تر خواهد بود، زیرا همیشه در حدود $\frac{1}{5}$ ثانیه در اندازه‌گیری زمان برای بکار انداختن کروموتر در ابتدا و انتهای عمل خطا روی می‌دهد. برای اندازه‌گیری دقیق T از روش انطباق استفاده می‌شود.

روش انطباق - در این روش آونگ دوطرفه را در مقابل آونگی نجومی (شکل ۴۶) که کاملاً ثانیه را می‌زند ($T_0 = 2s$) بنوسان در می‌آوریم. در آغاز، لحظه t_0 را که دو آونگ با یکدیگر و در یک سو از وضعیت قائم می‌گذرند از روی ساعت نجومی یادداشت

۱- باید دانست که در ابتدای آزمایش آونگ کاتر، نوسانات آونگ حول C_1 و C_2 همزمان نیستند و با تغییر محل وزنه، آونگ را به آونگ دوطرفه تبدیل می‌کنیم بطوریکه زمانهای تناوب حول C_1 و C_2 یکسان شود و در نتیجه بتوان فاصله C_1C_2 را چون طول آونگ مرکب اختیار کرد.

می کنیم. اگر فرض کنیم که زمان تناوب T آونگ دوطرفه کوچکتر

از T_0 باشد، آونگ دوطرفه از

آونگ نجومی جلومی افتد و مجدداً

در لحظه t_1 ، پس از آنکه یک

نوسان کامل بیش از آونگ نجومی

انجام داد، با آن منطبق می شود و

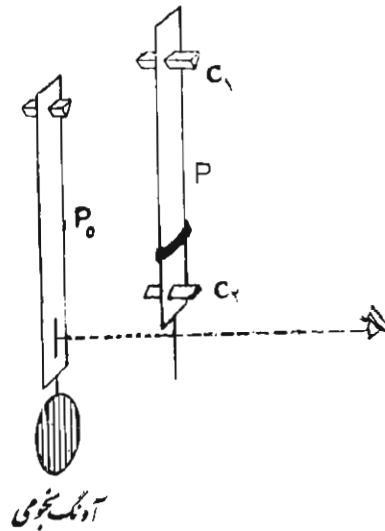
بایکدیگر برای بار دوم از وضعیت

قائم در یک سو می گذرد. این لحظه

t_1 را نیز از روی ساعت نجومی

یادداشت می کنیم. از این رو می-

توان زمان بین دو انطباق متوالی دو



شکل ۴۶

آونگ را از رابطه $t = t_1 - t_0$ بدست آورد. در این مدت آونگ نجومی که

زمان تناوب آن $\frac{1}{2}$ ثانیه است، $N_0 = \frac{t}{\frac{1}{2}}$ نوسان انجام داده است و در همین مدت

آونگ دوطرفه یک نوسان بیشتر، یعنی $N = N_0 + 1$ یا $N = \frac{t}{\frac{1}{2}} + 1$

نوسان انجام داده است. پس زمان تناوب آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{t}{\frac{t}{\frac{1}{2}} + 1} \quad \text{یا} \quad T = \frac{2t}{t+2}$$

از رابطه بالا می توان زمان تناوب آونگ دوطرفه را با اندازه گیری

t ، زمان بین دو انطباق متوالی، بدست آورد. مشاهده می شود که در

این روش نیازی به شمردن نوسانها نیست و یگانه خطایی که ممکن است

روی دهد، در تعیین لحظه انطباق است که می توان آن را تا $\frac{1}{1000000}$ ثانیه

کاهش داد. اگر آونگ دوطرفه کندتر از آونگ نجومی نوسان کند

($T > 2$)، آونگ دوطرفه یک نوسان کمتر انجام می دهد و دوره تناوب

از این رابطه بدست می آید:

$$T = \frac{2t}{t-2}$$

تذکره - برای دقت بیشتر، می توان به جای دو انطباق متوالی، مدت

زمان t' ، بین اولین و $(K+1)$ مین انطباق را، در نظر گرفت و زمان

تناوب در این صورت از رابطه زیر بدست می آید و خطای نسبی کمتر است:

$$T = \frac{2t'}{t' \pm 2K}$$

نتیجه - از اندازه گیری g با روش بالا، g در پاریس برابر

با $g = 980.973 \text{ cm/s}^2$ بدست آمده است و از طرف دیگر از اندازه-

گیری g در نقاط مختلف زمین معلوم شده است که g در نقاط مختلف

زمین یکسان نیست و بر حسب عرض جغرافیایی و ارتفاع، تغییر می کند.

شتاب ثقل در قطب ماکزیمم و مساوی با 983 cm/s^2 و در استوا

مینیمم و مساوی با 978 cm/s^2 است. از اندازه گیری g در اکتشاف

معادن نیز استفاده می شود.

۵- در مکانی که شتاب ثقل 980 cm/s^2 است، آونگی به طول l ، درست ثانیه را می‌زند. ۱- معین کنید طول آونگ را. ۲- اگر آن را به اندازه 0.685 cm کوتاه کنیم، در ۲۴ ساعت چقدر جلو یا عقب می‌افتد؟ تقریباً ۵ دقیقه ۲) 0.994 m ۱)

۶- يك آونگ ساده از گلوله‌ای به جرم 30 گرم تشکیل شده و زمان تناوب آن ۴ ثانیه است. ۱- معین کنید طول آونگ را. ۲- نیروی در امتداد قائم علاوه بر نیروی ثقل بر آونگ وارد می‌کنیم، زمان تناوب آن نصف می‌شود. معین کنید سو و مقدار این نیرو را ($g = 981 \text{ cm/s}^2$).
۱) $l \neq 4 \text{ m}$ ۲) $F = 90 \text{ gf}$

۷- آونگی از مس به جرم مخصوص 8.8 g/cm^3 در خلأ ثانیه را می‌زند. معین کنید زمان تناوب این آونگ را در هوا در صورتی که جرم مخصوص هوا 1.2 گرم بر لیتر باشد.
 $T = 2.00014 \text{ s}$

تمرین

۱- يك آونگ ساده از گلوله‌ای به جرم 10 گرم گرم تشکیل شده که به وسیله نخ به طول 50 cm آویزان است. ۱- معین کنید پریود نوسان این آونگ را. ۲- اگر بر این گلوله نیروی قائم از بالا به پایین و برابر 4905 دین وارد آید، زمان تناوب جدید چقدر می‌شود ($g = 981 \text{ cm/s}^2$)؟

$$1) T_1 = 1.428 \quad 2) T_2 = 1.148$$

۲- آونگ A يك نوسان ساده در يك ثانیه انجام می‌دهد. این آونگ را با آونگ B مقایسه می‌کنیم که کمی کندتر می‌رود و طول آونگ ساده همزمان با آن يك متر است. مدت زمان بین دو انطباق متوالی این دو آونگ ۹ دقیقه و ۲۵ ثانیه است. معین کنید زمان تناوب آونگ B و شتاب ثقل را در آن نقطه.

$$g = 981 \text{ cm/s}^2 \text{ و } 2.0078$$

۳- آونگی به طول 1 m در جایی که شتاب ثقل مساوی g است، ثانیه را می‌زند. ۱- معین کنید مقدار g را در این نقطه. ۲- چه اندازه طول آونگ را باید تغییر داد تا زمان تناوب آونگ $1/8$ ثانیه شود؟ ۳- چه نیروی اضافی و درجه سو باید به آونگی به طول يك متر (در امتداد قائم) وارد ساخت تا زمان تناوب آن نصف شود، در صورتی که جرم آونگ 20 گرم باشد.

$$1) g = 9.8596 \text{ m/s}^2 \quad 2) 19 \text{ cm} \quad 3) 60 \text{ gf}$$

۴- آونگی از آهن به جرم 20 گرم در مقابل آونگی از مس نوسان می‌کند. زمان تناوب هریک از دو آونگ ۲۸ است. در زیر آونگ آهنی، الکتروامانی قرار می‌دهیم و در نتیجه نیروی برابر با 100 دین در امتداد قائم و از بالا به پایین بر آونگ آهنی وارد می‌شود. ۱- معین کنید زمان تناوب جدید آونگ آهنی را. ۲- پس از چه مدت یکی از دو آونگ به اندازه يك نوسان کامل از دیگری جلو خواهد افتاد ($g = 980 \text{ cm/s}^2$)؟

$$1) T' = 1.99498 \quad 2) t \neq 7848$$

تشکیل می‌شود از واحدهایی اصلی که باختر انتخاب می‌شوند و واحدهایی دیگر به نام واحدهای فرعی که توسط روابط فیزیکی یا هندسی به واحدهای اصلی مربوطند. مثلاً اگر در دستگاه واحدها، طول و زمان را کمیتهای اصلی اختیار کنیم، واحد سطح يك واحد فرعی خواهد بود، چه مثلاً سطح مربعی به ضلع l متناسب است بامجدور l و با فرمول $s = Kl^2$ بیان می‌شود. همچنین واحد سرعت نیز يك واحد فرعی است، زیرا سرعت يك متحرك تناسب مستقیم بامسافت پیموده شده و تناسب معکوس با مدت زمانی دارد که این مسافت در آن مدت پیموده شده است. پس سرعت با فرمول $v = K \frac{l}{t}$ بیان می‌شود که در آن K ضریب تناسب است. ضریبهای تناسب بستگی به تعریف واحدهای فرعی دارند و برای ساده کردن فرمولها بهتر است که واحدهای فرعی چنان اختیار شوند که ضریبهای تناسب مساوی يك شوند. مثلاً اگر واحد سرعت را سرعت متحرکی اختیار کنیم که، در يك حرکت یکنواخت، واحد طول را در واحد زمان پیماید، خواهیم داشت: $1 = K \frac{(واحد طول)}{(واحد زمان)}$ یا $1 = K$ (واحد سرعت) پس $1 = K$ یا $K = 1$ و با این واحد فرعی سرعت، فرمول سرعت به شکل ساده $v = \frac{l}{t}$ در می‌آید. همینطور اگر واحد سطح را سطح مربعی اختیار کنیم که ضلع آن واحد طول باشد، فرمول سطح يك مربع به شکل ساده $s = l^2$ در خواهد آمد.

۵۵ - معادله ابعادی (Dimension) - معادله ابعادی يك کمیته

رابطه‌ای است بین کمیتهای اصلی و آن کمیته. آشکار است که این رابطه

دستگاه واحدها

منظور از اندازه گرفتن يك کمیته مقایسه آن کمیته است با کمیته‌ای که واحد اختیار شده است.

برای اندازه‌گیری يك کمیته باید واحدی از همان جنس انتخاب شود. مثلاً برای اندازه‌گیری طول l ، عملاً طول معینی را واحد طول اختیار می‌کنند (مثلاً متر) و تعیین می‌کنند که این واحد چندبار در طول l می‌گنجد. عددی که از این مقایسه نتیجه می‌شود اندازه طول l است. اگر نتیجه سنجش عدد صحیحی نباشد، باقیمانده کمیته را با اجزای واحد اندازه می‌گیرند. این روش مستقیم، برای اندازه‌گیری هر کمیته عملی نیست و چنانکه خواهیم دید برای اندازه‌گیری بیشتر کمیته‌ها مانند سرعت، شتاب، شدت جریان، و جز اینها از رابطه‌هایی که میان این کمیته‌ها و کمیتهای دیگر که بیان‌کننده قوانین فیزیکی، هندسی یا تعریفها هستند استفاده می‌شود. مثلاً برای اندازه‌گیری سرعت يك متحرك، از رابطه $v = K \frac{l}{t}$ ، که رابطه تعریف سرعت است، استفاده می‌شود، بدین ترتیب که طول l و زمان t را اندازه می‌گیرند و سرعت را از رابطه بالا حساب می‌کنند.

۵۶ - واحدهای اصلی و واحدهای فرعی - هر دستگاه واحدها

بستگی به دستگاه انتخاب شده ندارد. مثلاً معادله ابعادی سرعت $\frac{L}{T}$ است.

۵۶ - دستگاههای مختلف - چهار دستگاه واحد در فیزیک بیشتر از همه معمول است که عبارتند از دستگاه C.G.S.، دستگاه M.T.S.، دستگاه M.K.S. علمی، و دستگاه M.K.S. قدیمی.

I - دستگاه C.G.S. (سانتیمتر - گرم - ثانیه)

کمیت‌های اصلی در این دستگاه عبارتند از طول، جرم و زمان.

۱ - واحد طول سانتیمتر (cm) است که $\frac{1}{100}$ متر بین‌المللی است. معادله ابعادی طول L است.

۲ - واحد جرم گرم (g) است که برابر با $\frac{1}{1000}$ جرم کیلوگرم بین‌المللی است. معادله ابعادی جرم M است.

۳ - واحد زمان ثانیه (s) است که $\frac{1}{86400}$ شبانه‌روز شمسی است. معادله ابعادی زمان T است.

واحدهای فرعی دستگاه C.G.S. - ۱ - واحد سطح - واحد سطح سانتیمتر مربع (cm^2) است و آن سطح مربعی است که هر ضلع آن یک سانتیمتر باشد. معادله ابعادی سطح L^2 است.

۲ - واحد حجم - واحد حجم سانتیمتر مکعب (cm^3) است و آن حجم مکعبی است که هر ضلع آن یک سانتیمتر باشد. معادله ابعادی حجم L^3 است.

۳ - واحد سرعت - این واحد از فرمول $v = \frac{l}{t}$ تعریف می‌شود. واحد آن سانتیمتر بر ثانیه (cm/s) و آن عبارت از سرعت متحرکی

است که در حرکت یکنواخت مسافت یک سانتیمتر را در مدت یک ثانیه طی کند. معادله ابعادی سرعت LT^{-1} است.

۴ - واحد شتاب - این واحد از رابطه $\gamma = \frac{v}{t}$ تعریف می‌شود. واحد شتاب سانتیمتر بر ثانیه ثانیه (cm/s^2) و آن شتاب متحرکی است که سرعتش در حرکت متشابه‌التغییر در هر ثانیه به اندازه یک سانتیمتر بر ثانیه تغییر کند. معادله ابعادی شتاب $\frac{L}{T^2}$ یا $\frac{V}{T} = \frac{L}{T^2}$ یا $\gamma = LT^{-2}$ است.

۵ - واحد نیرو - واحد نیرو از رابطه $F = m\gamma$ تعریف می‌شود. واحد نیرو عبارت از نیرویی است که چون بر جرم یک گرم وارد شود شتابی مساوی واحد شتاب (cm/s^2) در آن ایجاد کند. این واحد را دین می‌نامند و چنانکه گفته شد برابر $\frac{1}{981}$ گرم نیروست. معادله ابعادی نیرو MLT^{-2} است. بنابراین

$$\boxed{\text{سانتیمتر} \times \frac{\text{گرم}}{\text{ثانیه}^2} = \text{دین}}$$

۶ - واحد کار و انرژی - کار به وسیله رابطه $W = F \times l$ تعریف می‌شود. واحد کار و انرژی ارگ و آن عبارت از کار نیرویی است برابر با یک دین وقتی که نقطه اثر آن به اندازه یک سانتیمتر در امتداد نیرو تغییر مکان یابد. اگر $F = 1$ دین و $l = 1cm$ باشد، W مساوی یک

$$\boxed{\text{سانتیمتر} \times \text{دین} = \text{ارگ}}$$

چون ارگ فوق‌العاده کوچک است، 10^7 ارگ را واحد عملی کار

و انرژی اختیار کرده و آن را **ژول (J)** نامیده‌اند. پس $\boxed{\text{ارگ} = 10^7 \text{ ژول}}$
و کیلوژول (**kJ**) برابر با ۱۰۰۰ ژول است. معادله ابعادی کار
 $W = ML^2T^{-2}$ است.

۷ - واحد توان - توان يك ماشین عبارت از مقدار کاری است که ماشین می‌تواند در يك ثانیه انجام دهد و بنا بر این به وسیله رابطه $P = \frac{W}{t}$ بیان می‌شود. واحد توان ارگ بر ثانیه (erg/s) و آن توان ماشینی است که کاری برابر يك ارگ در يك ثانیه انجام دهد. 10^7 ارگ بر ثانیه که برابر با ژول بر ثانیه است، واحد عملی توان است که آن را وات (**W**) می‌نامند. پس: $\boxed{\frac{\text{ژول}}{\text{ثانیه}} = \text{وات}}$ و کیلووات (**kW**) برابر ۱۰۰۰ وات است. معادله ابعادی توان ML^2T^{-3} است.

۸ - واحد فشار - فشار عبارت از نیرویی است که بر واحد سطح وارد می‌شود و به وسیله رابطه $P = \frac{f}{s}$ بیان می‌شود.
واحد فشار باری است. باری فشار نیرویی برابر با يك دین بر يك سانتیمتر مربع است. پس $\frac{\text{دین}}{\text{سانتیمتر مربع}} = \text{باری}$.
يك میلیون باری را مگا باری یا **بار** می‌نامند.

۹ - واحد گرما کالری (**cal**) است. کالری مقدار گرمایی است که يك گرم آب می‌گیرد تا دمای آن يك درجه سانتیگراد بالا رود.

II - دستگاه M.T.S. (متر - تن - ثانیه)

کمیت‌های اصلی این دستگاه عبارتند از طول، جرم و زمان.

۱ - واحد طول متر (m) و آن برابر متر بین‌المللی است که در موزه سور (فرانسه) محفوظ است.
۲ - واحد جرم تن (t) و آن برابر جرم ۱۰۰۰ کیلوگرم بین‌المللی است.

۳ - واحد زمان ثانیه است.

واحد‌های فرعی عبارتند از:

۱ - واحد سطح متر مربع (m^2) و آن سطح مربعی است که هر ضلع آن يك متر باشد ($1m^2 = 10^4 cm^2$).
۲ - واحد حجم متر مکعب (m^3) و آن حجم مکعبی است که هر ضلع آن يك متر باشد ($1m^3 = 10^6 cm^3$).

۳ - واحد سرعت متر بر ثانیه (m/s) و آن سرعت متحرکی است که با حرکت یکنواخت در هر ثانیه يك متر راه بپیماید.

$$m/s = 100 cm/s$$

۴ - واحد شتاب متر بر ثانیه ثانیه (m/s^2) و آن شتاب متحرکی است که سرعتش در حرکت متشابه‌التغییر در يك ثانیه به اندازه يك متر بر ثانیه تغییر کند ($1m/s^2 = 100 cm/s^2$).

۵ - واحد نیرو استن (sn) و آن نیرویی است که چون بر جرم يك تن وارد شود، شتابی برابر يك متر بر ثانیه ثانیه به آن بدهد و آن معادل 10^8 دین است، زیرا که:

$$1 = 1 \times 1 = 10^6 \times 100 = 10^8$$

دین cm/s^2 گرم m/s^2 تن استن

۶ - واحد کار و انرژی کیلو ژول و آن عبارت از کار نیروی يك

استن است وقتی که نقطه اثر آن به اندازه يك متر در امتداد نیرو تغییر مکان یابد و آن برابر ۱۰۰۰ ژول یا 10^3 ارگ است، زیرا:

$$1 = 10^3 = 10^{10} = 10^8 \times 100 = 10^8 \times 1 = 1 \times 1 = 1 \text{ واحد کار}$$

کیلوژول ژول ارگ cm دین متر استن

۷- واحد توان کیلووات و آن برابر توان ماشینی است که يك

کیلوژول کار در يك ثانیه انجام دهد و برابر ۱۰۰۰ وات یا 10^3 ارگ بر ثانیه است.

۸- واحد فشار پی‌یز (pz) و آن فشار نیرویی است برابر يك

استن که بر يك متر مربع وارد شود. پی‌یز برابر 10^4 باری است، زیرا:

$$1 \text{ باری} = \frac{10^8 \text{ دین}}{10^4 \text{ cm}^2} = \frac{1 \text{ استن}}{1 \text{ متر مربع پی‌یز}} = 10^4$$

۹- واحد گرما ترمی (th) و آن گرمایی است که يك تن آب

می‌گیرد تادمای آن يك درجه بالا رود و برابر 10^6 کالری کوچک است.

III- دستگاه M.K.S. علمی (متر - کیلوگرم - ثانیه)

در این دستگاه که اهمیت آن روز افزون است، کمیت‌های اصلی

عبارتند از طول، جرم و زمان:

واحد طول متر بین‌المللی است.

واحد جرم جرم ۱ کیلوگرم بین‌المللی است که در موزه سور

محفوظ است.

واحد زمان ثانیه است.

واحدهای فرعی در این دستگاه عبارتند از:

متر مربع (واحد سطح)، متر مکعب (واحد حجم)، متر بر ثانیه

(واحد سرعت)، و متر بر ثانیه ثانیه (واحد شتاب).

واحد نیرو - واحد نیرو در این دستگاه يك نیوتن (N) است و

آن نیرویی است که به واحد جرم (kg) واحد شتاب ($1m/s^2$) بدهد.

$$1N = 1kg \times 1m/s^2 = 1000g \times 100cm/s^2 = 10^5$$

واحد کار در این دستگاه، کار يك نیوتن در يك متر است. این

واحد يك ژول است، چه:

$$1 \text{ ژول} = 1 \text{ ارگ} = 10^5 = 10^5 \times 100 = 10^7 = 1 \times 1 = 1 \text{ واحد کار}$$

ژول ارگ cm دین متر نیوتن

واحد توان ژول بر ثانیه یعنی يك وات است.

واحد فشار - واحد فشار در این دستگاه فشار يك نیوتن بر يك

مترمربع است که پاسکال (Pa) نام دارد. يك پاسکال برابر با ۱۰ باری

است (چرا؟).

واحد گرما - واحد گرما کیلو کالری است (گرمایی که واحد

جرم یعنی يك کیلو گرم آب می‌گیرد تادمای آن يك درجه سانتیگراد

بالا رود). يك کیلو کالری یا کالری بزرگ (kcal) برابر با هزار

کالری است.

IV- دستگاه M.K.S. صنعتی یا عملی (متر- کیلوگرم نیرو-

ثانیه).

کمیت‌های اصلی این دستگاه عبارتند از طول، نیرو، زمان. (در

این دستگاه جرم يك کمیت فرعی است). واحدهای اصلی این دستگاه

عبارتند از:

واحد طول متر بین‌المللی است.

واحد نیرو کیلوگرم نیرو (kgf) است و آن عبارت از نیرویی

است که زمین در شهر پاریس که در آنجا شتاب ثقل 981 cm/s^2 است بر یک کیلوگرم جرم وارد می کند و بنابراین :

$$\text{kgf} = 981000 \text{ دین}$$

واحد زمان در این دستگاه نیز ثانیه است .

واحدهای فرعی عبارتند از: متر مربع (واحد سطح) ، متر مکعب (واحد حجم) ، متر بر ثانیه (واحد سرعت) ، و متر بر ثانیه ثانیه (واحد شتاب) .

واحد جرم - واحد جرم واحدی است فرعی و از رابطه $p = mg$

یا $m = \frac{p}{g}$ تعریف می شود . اگر بخواهیم که $m = 1$ شود ، باید p

مساوی g برابر واحد نیرو یعنی g کیلوگرم نیرو گردد . پس واحد جرم در این دستگاه عبارت از جرم جسمی است که وزن آن در پاریس $9/81$ کیلوگرم نیرو باشد و در این صورت واضح است که جرم این جسم $9/81$ کیلوگرم خواهد بود . بنا بر این :

واحد جرم در دستگاه M.K.S. صنعتی برابر با $9/81$ کیلوگرم

است . این واحد نام مخصوصی ندارد .

واحد کار و انرژی - واحد کار کیلوگرم متر (kgm) و آن عبارت

از کار نیرویی است برابر با یک کیلوگرم نیرو وقتی که نقطه اثر آن بدان اندازه یک متر در امتداد نیرو تغییر مکان یابد .

$$\text{kgm} = \text{kgf} \times m$$

چون کیلوگرم نیرو برابر با 981000 دین ، و متر برابر با 100

سانتیمتر است :

$$\text{ژول } 9/81 = \text{ارگ} = 98100000 = 9810000 \times 100 = 9810000 \text{ kgm}$$

$$\text{ژول } 9/81 = 1 \text{ کیلوگرم متر}$$

پس

واحد توان - واحد توان کیلوگرم متر بر ثانیه و آن توان ماشینی است که کاری برابر با یک کیلوگرم متر در یک ثانیه انجام دهد . واضح است که کیلوگرم متر بر ثانیه برابر $9/81$ ژول بر ثانیه یعنی $9/81$ وات است .

$$\text{kgm/s} = 9/81 \text{ W}$$

واحد دیگر توان **اسب بخار** (متوسط توان اسب) و آن برابر با 75 کیلوگرم متر بر ثانیه یا 736 وات است .

$$1 \text{ ch} = 75 \text{ kgm/s} = 736 \text{ W}$$

واحد فشار کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع (kgf/cm^2) است .

واحد گرما کیلوکالری یا کالری بزرگ است.

تذکر - در محاسبات فیزیکی بهتر است که از دستگاه M.K.S.

علمی یا دستگاه C.G.S. استفاده شود .

در جدول صفحه بعد خلاصه ای از واحدها و مقایسه برخی از آنها آورده شده است .

[illegible]

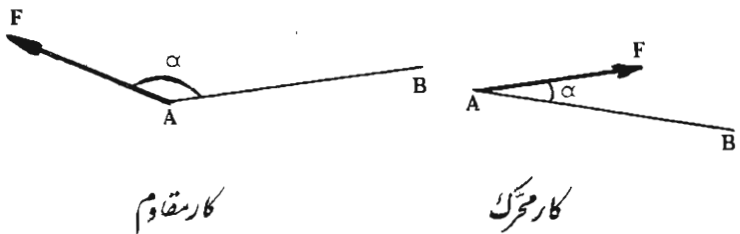
فصل ہفتم

کار و انرژی

۵۷- تعریف کار - هرگاه نیرویی بر جسمی وارد شود و آن را جابجا کند ، بنا برتعریف گوئیم که نیرو کار انجام داده است . بنا براین لازمهٔ پیدایش کار ، نیرو و حرکت بر اثر آن نیروست و اگر نیرویی بر جسمی وارد شود و نتواند آن را جابجا کند کاری انجام نداده است .

۵۸- مقدار کار - فرض می‌کنیم که نیروی ثابتی مانند $\vec{F}$ نقطه اثر خود را از A به B تغییر مکان دهد (شکل ۴۷). اگر α زاویه بین نیرو و تغییر مکان باشد، بنا بر تعریف مقدار کار نیروی $\vec{F}$ در طول AB برابر است با:

$$W = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$$



شکل ۴۷

چون مسافت طی شده AB را به l نمایش دهیم، فرمول بالا به این صورت درمی آید :

فصل ہفتم

چون مسافت طی شده AB را به l نمایش دهیم، فرمول بالا به این صورت درمی آید :

$$W = F \cdot l \cdot \cos \alpha$$

واضح است که اگر راستای نیرو و تغییر مکان بر یکدیگر منطبق باشد ($\alpha = 0$) ، مقدار کار مساوی است با حاصل ضرب نیرو در تغییر مکان ، زیرا $\alpha = 0$ و $\cos \alpha = 1$ خواهد بود :

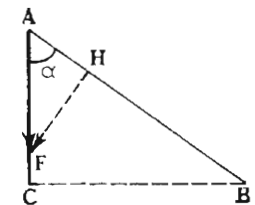
$$W = F \cdot l$$

اگر $\alpha < 90^\circ$ باشد کار مثبت است و آن را کار محرك نامند ، اگر $\alpha > 90^\circ$ باشد کار منفی است و آن را کار مقاوم نامند ، و اگر $\alpha = 90^\circ$ باشد کار صفر است .

تذکر - می توان گفت که مقدار کار برابر است با حاصل ضرب تغییر مکان l در تصویر نیرو بر امتداد تغییر مکان ، چه $F \cos \alpha = AH$ است .

پس $W = AH \cdot AB$ (شکل ۴۸) و نیز می توان گفت که مقدار کار برابر است با حاصل ضرب نیرو F در تصویر تغییر مکان بر امتداد نیرو ، چه $l \cos \alpha = AC$ است (شکل ۴۸) . پس :

$$W = AF \cdot AC$$



شکل ۴۸

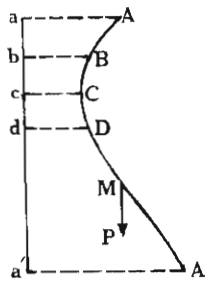
مقدار کار در حالتی که نیرو ثابت ولی تغییر مکان منحنی الخط است - کار نیروی ثابت $\vec{P}$ در امتداد خط منحنی AA' مساوی است با حاصل ضرب نیروی P در تصویر مسیر AA' بر امتداد نیرو ، یعنی $W = P \cdot aa'$ (شکل ۴۹) ، زیرا ممکن است که تغییر مکان $\widehat{AA'}$ را به قطعات بسیار کوچکی چنان تقسیم کرد که بتوان در هر قطعه کوچک قوس و وتر آن را برابر گرفت . در این صورت مقدار کار نیروی ثابت P در هر يك

از این مسافات جزء برابر است با حاصل ضرب P در تصویر این وتر بر

امتداد ثابت نیرو ، و مجموع این تصاویر جزء برابر aa' می شود .

۵۹- توان - مقدار کاری که ماشینی در يك ثانیه انجام می دهد توان آن ماشین است .

پس توان از رابطه $P = \frac{W}{t}$ بدست می آید .



شکل ۴۹

۶۰- تعریف انرژی - هرگاه چیزی بتواند کاری انجام دهد .

گوییم که دارای انرژی است . پس انرژی استعداد انجام دادن کار است . مثلاً آب در بالای آبشار دارای انرژی است ، يك باتری آکومولاتور پر شده دارای انرژی است ، يك فنر فشرده و مقداری زغال انرژی دارند چه اگر فنر را رها کنیم ، یا زغال را بسوزانیم (لوکوموتیو) می توانند کار انجام دهند . انرژی اشکال مختلف دارد که عبارتند از انرژی مکانیکی ، انرژی گرمایی ، انرژی شیمیایی ، انرژی الکتریکی ، انرژی تابشی و انرژی اتمی .

۶۱- انرژی مکانیکی - آن شکل انرژی را که مربوط

به حرکت یا موضع يك جسم است انرژی مکانیکی نامند ، انرژی مکانیکی بر دو نوع است : انرژی نهانی یا پتانسیل و انرژی جنبشی . انرژی پتانسیل مربوط به موضع جسم و انرژی جنبشی مربوط به حرکت جسم است .

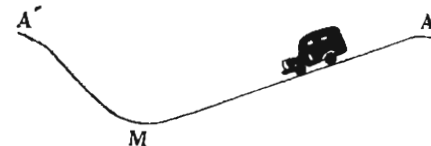
۶۲- انرژی پتانسیل مکانیکی - اگر جسمی به وزن P کیلوگرم-

نیرو را به ارتفاع h متر از سطح زمین بالا بریم، کاری معادل $(P \times h) \text{kgm}$ انجام داده ایم. این مقدار کار از بین نمی رود بلکه در جسم ذخیره می شود. چه کافی است که جسم را از آن ارتفاع رها کنیم، تا در ضمن پایین آمدن و رسیدن به زمین همان مقدار کار را پس دهد. پس گویند که جسم در این وضع دارای مقداری انرژی پتانسیل مکانیکی است که در آن نهان است و اگر شرایط مساعد شود (جسم رها شود)، این انرژی ظاهر خواهد شد، پس هر جسم، در هر جا که باشد، مقداری انرژی پتانسیل مکانیکی دارد. در مثالی که گفته شد انرژی پتانسیل مکانیکی جسم در ارتفاع h نسبت به سطح زمین برابر است با:

$$E_p = P \times h$$

هر قدر h بیشتر باشد این انرژی بیشتر است. پس این انرژی بستگی به موقعیت جسم نسبت به زمین دارد و بر حسب همان واحدهای کار بیان می شود.

۶۳- انرژی جنبشی یا سینتیک - هرگاه واگون کوچکی را از ابتدای سطح شیبدار AM بدون سرعت اولیه رها کنیم (شکل ۵۰)، در نقطه M بر اثر سرعتی که پیدا می کند در طول جاده شیبدار MA' بالا می رود. بنا بر این گوئیم که جسم در نقطه M دارای انرژی مکانیکی خاصی است که توانسته است جسم مزبور را در امتداد MA' بالا برد و کاری انجام دهد. این



شکل ۵۰

انرژی را که به سرعت جسم مربوط است انرژی جنبشی می نامند. پس انرژی جنبشی انرژی است که هر جسم در حال حرکت داراست.

مقدار انرژی جنبشی - ثابت می شود که مقدار انرژی جنبشی یک جسم برابر است با نصف حاصل ضرب جرم جسم در مجذور سرعت آن.

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

واحد انرژی جنبشی نیز همان واحد کار است.

مجموع انرژی پتانسیل مکانیکی و انرژی جنبشی جسم را **انرژی مکانیکی** جسم می نامند.

۶۴- انرژی جنبشی نقطه ای مادی که حرکت دورانی دارد.

چون سرعت زاویه ای متحرک را به ω نشان دهیم، سرعت خطی $v = R\omega$ خواهد بود. بنا بر این انرژی جنبشی جسم از رابطه زیر بدست می آید:

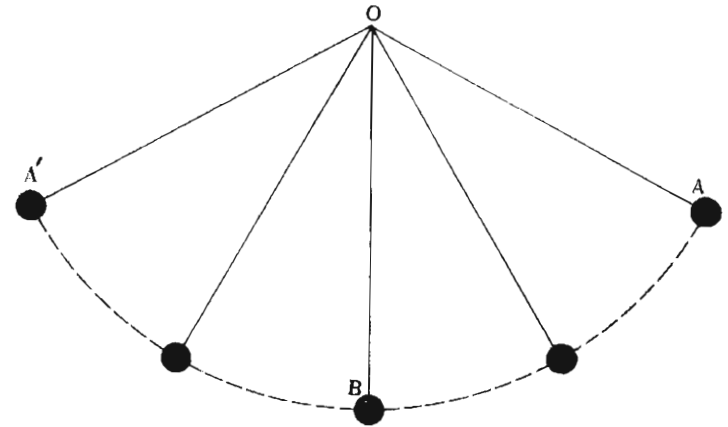
$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 R^2$$

تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی و برعکس

۶۵- آزمایش - آونگی را از وضع تعادل آن تا A منحرف و

پس رها می کنیم (شکل ۵۱). در نقطه A سرعت صفر است و بتدریج که آونگ به وضع قائم OB نزدیک می شود، سرعت و در نتیجه انرژی جنبشی آن زیاد و لی از انرژی پتانسیل مکانیکی آن کاسته می شود. در نقطه B انرژی جنبشی آن حداکثر و لی انرژی پتانسیل آن چون از این نقطه پایین تر نمی تواند برود حداقل است. برعکس از B به A' بتدریج از سرعت و در نتیجه از انرژی جنبشی آن کاسته می شود و لی انرژی پتانسیل افزایش می یابد

تا در A' سرعت و انرژی جنبشی آن دوباره صفر شود. می بینیم که در حرکت آونگ این دو نوع انرژی دائماً به یکدیگر تبدیل می شوند. هنگامی که آونگ از بالا به پایین می رود (مثلاً از A به B)، انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی تبدیل می شود و هنگامی که آونگ رو به بالا



شکل ۵۱

می رود انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل تبدیل می شود. هنگامی که جسمی به فضا پرتاب شود نیز چنین است.

۶۶- اصل بقای انرژی مکانیکی - هرگاه جسمی به وزن P کیلوگرم نیرو در نقطه A ، در ارتفاع h متر از سطح زمین، قرار گرفتند باشد (شکل ۵۲)، در آن نقطه نسبت به سطح زمین دارای مقداری انرژی پتانسیل برابر با $E_p = P.h$ است و انرژی جنبشی آن صفر است. بنابراین مقدار کل انرژی مکانیکی آن $E = E_p + E_c = P.h$ است. در نقطه B ، پس از آنکه جسم به اندازه x متر ($AB = x$) سقوط کرد، انرژی پتانسیل آن به اندازه $P.x$ کاهش می یابد ولی در عوض در نقطه

B سرعتی برابر با $v = \sqrt{2gx}$ بدست آورده است، و بنا بر این مقداری انرژی جنبشی در آن ایجاد شده که برابر است با:

$$E'_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(\sqrt{2gx})^2 = mgx = P.x$$

پس جسم در نقطه B دارای مقداری انرژی جنبشی برابر با $E'_c = P.x$ و مقداری انرژی پتانسیل برابر با $E'_p = P(h - x)$ است. در نتیجه مقدار کل انرژی مکانیکی جسم در نقطه B برابر است با:

$$E = E'_p + E'_c = P(h - x) + P.x = P.h$$

شکل ۵۲

یعنی مقدار کل انرژیهای مکانیکی جسم (پتانسیل و جنبشی) در تمام نقاط A و B با یکدیگر برابرند، بنا بر این می توان گفت که مقدار کل انرژی مکانیکی يك دستگاه منفرد ثابت است.

منظور از دستگاه منفرد دستگاهی است که باخارج هیچ ارتباطی از لحاظ تبادل انرژی ندارد (مانند سقوط يك جسم در خلأ).

قضیه فرس و یو (Force vive)

۶۷- در فیزیک منظور از اصطلاح فرس و یو همان انرژی جنبشی است که به وسیله رابطه $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ بیان می شود.

قضیه فرس و یو- تغییرات فرس و یو يك دستگاه بدون اصطلاك، بین دو لحظه t_1 و t_2 ، برابر است با کار بر آیند نیروهای وارد بر دستگاه در همان فاصله زمان، به عبارت دیگر تغییرات فرس و یو يك دستگاه، در يك مدت معین، برابر است با مجموع جبری کار نیروهای وارد بر دستگاه در آن مدت. اگر سرعت متحرك M در لحظه t_1 مساوی v_1 ، انرژی

جنبشی آن $E_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$ ، سرعت متحرك در لحظه t مساوی v_1 ،
انرژی جنبشی آن $E_2 = \frac{1}{2}mv_2^2$ ، و کار بر آیند نیروهای وارد بر
دستگاه در این مدت زمان باشد ، قضیه بالا چنین بیان می شود :

$$E_2 - E_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = W$$

این قضیه کلی است و در تمام موارد ، خواه نیرو ثابت یا متغیر ،
و خواه مسیر مستقیم الخط یا منحنی باشد ، صادق است و ما آن را در مورد
يك نقطه مادی اثبات می کنیم .

اثبات قضیه فرس و یو - فرض کنیم که سرعت متحرك در لحظه t برابر
 v و بنا بر این انرژی جنبشی آن برابر با $E = \frac{1}{2}mv^2$ باشد . پس از
مدت زمان کوچک Δt سرعت به $v + \Delta v$ می رسد و انرژی جنبشی برابر
با $E + \Delta E = \frac{1}{2}m(v + \Delta v)^2$ می شود . تغییرات انرژی جنبشی برابر
است با :

$$\Delta E = \frac{1}{2}m(v + \Delta v)^2 - \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2}m(v^2 + \Delta v^2 + 2v\Delta v) - \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{یا}$$

و چون از Δv^2 ، به علت کوچکی ، صرف نظر شود خواهیم داشت :

$$\Delta E = mv\Delta v$$

$$\Delta E = mv\gamma_1 \Delta t \quad \text{یا چون } \frac{\Delta v}{\Delta t} = \gamma_1 \text{ است ،}$$

ولی $m\gamma_1$ برابر با F_t تصویر بر آیند نیروهای وارد بر متحرك بر روی
مسیر و $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ است ، بنابراین $\Delta x = v\Delta t$ است پس :

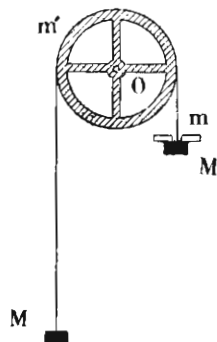
$$\Delta E = F_t \Delta x = \Delta W$$

پس تغییرات انرژی جنبشی در مدت زمان بسیار کوچک Δt برابر
با کار بر آیند نیروهای وارد بر دستگاه است .

موارد استعمال قضیه فرس و یو

۶۸ - محاسبه شتاب در ماشین آتوود - به کمک قضیه فرس و یو
می توان فرمول کلی شتاب را در ماشین آتوود بدست آورد . وقتی که دستگاه
به اندازه h متر تغییر مکان یافت ، بر آیند نیروهای وارد بر دستگاه
 $P = mg$ کاری برابر با mgh انجام می دهد . در نتیجه سرعت دستگاه
که در ابتدا $v_0 = 0$ بود به v می رسد و انرژی جنبشی برابر است با :

$$\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}m'v^2 = \frac{1}{2}(2M + m + m')v^2$$



شکل ۵۳

M جرم هر يك از دو وزنه ، m جرم
سربار و m' جرم قرقره است (شکل ۵۳) ،
البته به فرض اینکه تمام جرم قرقره در محیط
آن قرار داشته باشد . به موجب قضیه فرس و یو ،
تغییرات انرژی جنبشی برابر است با کار بر آیند
نیروها ، پس :

$$mgh = \frac{1}{2}(2M + m + m')v^2$$

و چون سرعت از رابطه $v = \sqrt{2gh}$ بدست می آید :

$$mgh = \frac{1}{2} (2M + m + m') \sqrt{(2\gamma h)^2}$$

$$\gamma = \frac{mg}{2M + m + m'}$$

یا

که اگر از جرم قرقره صرف نظر شود ($m' = 0$)، فرمول شتاب به صورت سابق در می آید.

۶۹- محاسبه فشار در داخل لوله تفنگ - در ابتدا سرعت

گلوله $v_0 = 0$ و در موقع خروج سرعت آن v است، و اگر فشار مؤثر بر ته گلوله را P و سطح مقطع گلوله را s فرض کنیم، نیروی وارد بر ته گلوله $F = P \cdot s$ خواهد بود و کاری که نیروی F در ضمن پیمودن تمام طول لوله (l) انجام می دهد برابر با $W = l \times F = P \times s \times l$ خواهد بود و به موجب قضیه فرس ویو داریم:

$$\frac{1}{2} m v^2 = P \times s \times l$$

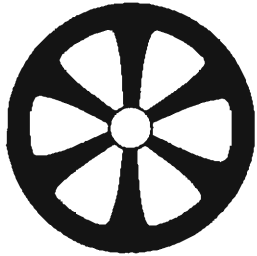
۷۰- میخ و چکش - چکشی را با سرعت v_0 بر سر میخی

می کوبند (شکل ۵۴). در نتیجه میخ بر نیروهای مقاوم R فایق آمده و به اندازه h در مانع فرو می رود و سرعت چکش صفر می شود. اگر جرم چکش m باشد، به موجب قضیه فرس ویو

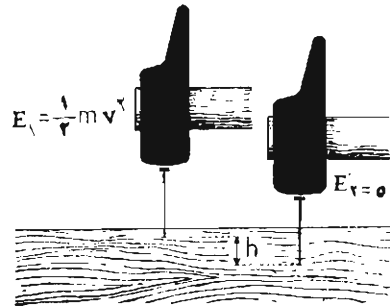
$$h = \frac{m v_0^2}{2R} \quad \text{یا} \quad \frac{1}{2} m v_0^2 = R \times h$$

چنانکه مشاهده می شود، عمل چکش در فرو بردن میخ و عمل تبر در انداختن درخت فقط مربوط به جرم آنها نیست بلکه مربوط است

به انرژی جنبشی آنها. برای همین است که در چکشهای دستی که جرم کم است سرعت را زیاد می کنند ولی در پتک جرم آن را زیاد می کنند.



شکل ۵۵



شکل ۵۴

۷۱- چرخ طیار - چرخ طیار چرخ سنگینی است که بر روی

محور ماشینهای گرمایی نصب می کنند تا سرعت ماشین را تنظیم کند (شکل ۵۵).

می دانیم که برای آنکه سرعت ماشین ثابت بماند، باید کارهای محرك و مقاوم برابر باشند. هنگامی که کار محرك زیاده از کار مقاوم باشد، چرخ طیار اضافه کار را به صورت انرژی جنبشی در خود ذخیره می کند و هنگامی که کار مقاوم از کار محرك بیشتر شود این انرژی ذخیره شده را پس می دهد و بدین ترتیب مانع از این می شود که سرعت ماشین تغییرات شدید پیدا کند.

تمرین

۱ - مطلوب است انرژی جنبشی گلوله‌ای به جرم ۹۸۰kg که با سرعت ۳۶km/h حرکت می‌کند بر حسب ارگ و ژول و کیلوژول و کیلوگرم متر .
تقریباً ۵۰۰۰kgm ، ۴۹kJ ، $۴۹ \times ۱۰^۳\text{J}$ ، ارگ ۴۹×۱۰^۱۰
۲ - از آبشاری به ارتفاع ۲۰m در دقیقه ۹۰ متر مکعب آب می‌ریزد،
معین کنید :

۱ - سرعت آب را در پایین آبشار . ۲ - انرژی تولید شده را توسط
آبشار در یک ساعت . ۳ - توان آبشار را بر حسب وات و اسب بخار
($g = ۱۰\text{m/s}^2$) .

۱) $V = ۲۰\text{m/s}$ ۲) ۱۰۸×۱۰^۲ ژول ۳) ۳۰۰۰۰۰W یا ۴۰۸ch
۳ - اتوموبیلی به جرم ۲ تن در جاده‌ای افقی از حال سکون راه
می‌افتد. اصطکاک جاده برابر ۵۰۰N است و سرعت اتوموبیل پس از طی ۱۰۰
متر به ۷۲km/h می‌رسد . معین کنید :

۱ - شتاب حرکت را ، ۲ - نیروی وارد از موتور بر اتوموبیل را ،
۳ - کار نیروی موتور را در این مدت ، ۴ - انرژی جنبشی اتوموبیل را در
این لحظه و کار برآیند نیروها را در این مدت . ۵ - در این موقع اتوموبیل
به جاده شیب‌داری به شیب ۵ در صد می‌رسد و در امتداد آن بالا می‌رود .
اصطکاک جاده همان مقدار سابق است . در صورتی که شتاب اتوموبیل در این
جاده برابر یک متر بر ثانیه ثانیه باشد معین کنید نیرویی را که موتور در این
حالت بر اتوموبیل وارد می‌کند . ۶ - پس از ۵ ثانیه حرکت بر روی این
جاده راننده موتور را خاموش کرده و ترمز می‌کند . اتوموبیل پس از طی ۵
متر می‌ایستد . نیرویی که اتوموبیل را از حرکت باز داشته چقدر است ؟
۷ - نیروی ترمز را حساب کنید ($g = ۱۰\text{m/s}^2$) .

۱) $\gamma = ۲\text{m/s}^2$ ۲) $F = ۴۵۰۰\text{N}$ ۳) $T = ۴۵۰\text{kJ}$
۴) $W = ۴۰۰\text{kJ}$ ۵) $F = ۳۵۰۰\text{N}$ ۶) $F = ۱۲۵۰۰۰\text{N}$
۷) $R = ۱۲۳۵۰۰\text{N}$
۴ - اتوموبیلی به جرم ۲۰۰۰kg در جاده‌ای افقی از حال سکون

براه می‌افتد تا سرعتش به ۷۲km/h برسد . اصطکاک ۲۰ درصد انرژی
موتور را جذب می‌کند و حرکت در این مدت تندیافته و با شتاب ۵۰cm/s^2
است . معین کنید :

۱ - کار انجام شده را توسط موتور در این مدت . ۲ - مدت لازم را
برای اینکه سرعت اتوموبیل به ۷۲ کیلومتر در ساعت برسد . ۳ - مسافت طی
شده را در این مدت . ۴ - نیروی وارد از موتور بر اتوموبیل را .

۱) $W = ۵۰۰\text{kJ}$ ۲) $t = ۴۰\text{s}$ ۳) $x = ۴۰۰\text{m}$ ۴) $F = ۱۲۵۰\text{N}$

۵ - یک ماشین بخار ، چرخ طیار به جرم ۱۰ تن و شعاع ۲ متر را
بکار می‌اندازد . پس از ۵ ثانیه سرعت چرخ طیار به ۱۰۰ دور در دقیقه
می‌رسد . ۱ - در صورتی که جرم چرخ طیار در محیطش فرض شود ، توان
متوسط ماشین بخار را بر حسب کیلووات و اسب بخار حساب کنید . ($\pi = ۳$)
فرض شود) . ۲ - اگر در این لحظه ورود بخار قطع شود ، چه مقدار کار
چرخ طیار می‌تواند پس دهد تا بایستد در صورتی که ۶۰ در صد انرژی چرخ
طیار به کار مفید تبدیل شود .

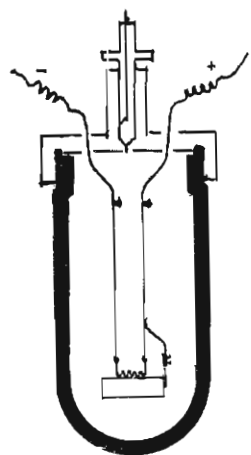
۱) $P = ۴۰۰\text{kW}$ یا ۵۴۳ch ۲) ۱۲۰۰kJ

۶ - چرخ دوجرخه‌ای به جرم ۳kg می‌تواند حول محور افقی دوران
کند و شعاع چرخ ۳۰cm است . روی چرخ مفتولی پیچیده شده که به انتهای
آن وزنه ۲۰۰ گرمی آویزان شده است . دستگاه را بدون سرعت اولیه رها
می‌کنیم . ۱ - انرژی جنبشی دستگاه پس از آنکه وزنه m به اندازه ۲ متر
پایین آمد چقدر است ؟ ۲ - سرعت خطی و سرعت زاویه‌ای چرخ را در این
لحظه حساب کنید . ۳ - شتاب حرکت چقدر است و معادله حرکت وزنه m
را بنویسید ($g = ۹۸۱\text{cm/s}^2$) .

۱) $W = ۰/۴\text{kgm}$ ۲) $V = ۱۵۶/۵\text{cm/s}$ $\omega = ۵/۲۲\text{rd/s}$

۳) $\gamma = ۶۱/۳۱\text{cm/s}^2$ $x = ۳۰/۶۵\text{t}^2$

برای تعیین انرژی شیمیایی اجسام، آنها را در فضای بسته‌ای به نام



بمب کالریمتری (شکل ۵۶) منفجر می‌کنیم و از اندازه‌گیری گرمای حاصل مقدار انرژی شیمیایی جسم را تعیین می‌کنیم.

V - انرژی تابشی - تابش، از جمله نور مرئی، دارای انرژی است که در برخورد با اجسام مقداری از آن به گرما و انرژی شیمیایی یا انرژیهای دیگر تبدیل می‌شود.

می‌دانیم که نوری که از خورشید به زمین

می‌تابد زمین را گرم می‌کند و نیز بعضی از فعل و انفعالات شیمیایی را سبب می‌شود. به وسیله آزمایش معلوم شده است که هر سانتیمتر مربع از جسم سیاهی که عمود بر اشعه خورشید قرار گیرد، در هر دقیقه ۲ کالری گرما جذب می‌کند و همین گرما که از خورشید به زمین می‌رسد، منبع اساسی دیگر انرژیهای موجود بر روی زمین است و اساس زندگی بر سطح زمین منوط به تابش خورشید است.

VI - انرژی اتمی - در نتیجه فعل و انفعالاتی که در هسته اتم صورت می‌گیرد انرژی به نام انرژی اتمی پدید می‌آید که بعداً در مبحث فیزیک اتمی در باره آن بحث خواهیم کرد.

۷۳ - تبدیل اشکال مختلف انرژی به یکدیگر - اغلب در

پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی مشاهده می‌شود که شکلی از انرژی از میان می‌رود و به شکل دیگر پدید می‌آید. می‌گویند که انرژی تغییر شکل

اشکال مختلف انرژی

۷۲ - انرژی به اشکال گوناگون ظاهر می‌شود که عبارتند از :

I - انرژی مکانیکی - چنانکه پیش از این دیدیم، انرژی مکانیکی به دو نوع جنبشی و پتانسیل ظاهر می‌شود.

II - انرژی گرمایی - در ماشین بخار انرژی گرمایی به کار مکانیکی تبدیل می‌شود و سبب حرکت ماشین می‌گردد. پس گرما شکل خاصی است از انرژی. امروز می‌دانیم که انرژی گرمایی یک جسم همان انرژی جنبشی مولکولهای آن در حرکت نامنظم گرمایی است.

III - انرژی الکتریکی - در یک موتور برق، بر اثر جریان برق کار ایجاد می‌شود. پس برق شکلی است از انرژی و از دو نوع است: جنبشی (انرژی جنبشی بارها در یک جریان برق) و پتانسیل (انرژی پتانسیل یک پیل).

IV - انرژی شیمیایی - چنانکه می‌دانیم، بر اثر سوختن زغال مقداری گرما یعنی انرژی تولید می‌شود. پس زغال پیش از سوختن مقداری انرژی دارد که در آن نهان است و هنگام سوختن به شکل گرما ظاهر می‌شود. این شکل انرژی را انرژی شیمیایی می‌نامند که از نوع پتانسیل است. مقدار انرژی شیمیایی یک جسم برابر است با مقدار گرمایی که بر اثر فعل و انفعالات شیمیایی ایجاد می‌شود.

داده است. اشکال مختلف انرژی همه می توانند به یکدیگر تبدیل شوند. مثالهای زیر این تبدیلات را نشان می دهد:

I - انرژی مکانیکی - انرژی مکانیکی می تواند به انرژیهای زیر

تبدیل شود :

الف - به انرژی گرمایی - مثلاً به وسیله ضربه و اصطکاک .

ب - به انرژی الکتریکی - مثلاً در دینامو (مولد برق) .

ج - به انرژی شیمیایی - در فعل و انفعالاتی که در آنها علاوه بر جذب گرما ازدیاد فشار نیز لازم است ، مانند تشکیل C_2H_2 (بنزن) از استیلن (C_2H_2) .

د - به انرژی تابشی - مثلاً بر اثر شکستن بعضی از دانه های بلوری (سنگ چخماق) جرقه تولید می شود (تریبولومینسانس) .

II - انرژی گرمایی - این انرژی به انرژیهای زیر قابل تبدیل است:

الف - به انرژی مکانیکی - مثلاً در ماشین بخار .

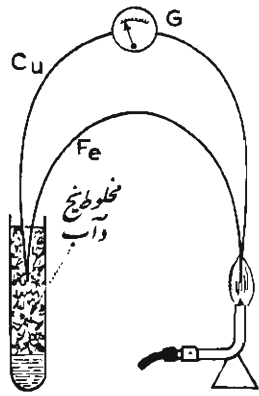
ب - به انرژی الکتریکی - مثلاً در کوپل ترموالکتریک . کوپل -

ترموالکتریک تشکیل شده است از دو هادی ناهمجنس (مثلاً یکی از آهن و دیگری از مس) که به یکدیگر لحیم شده اند (شکل ۵۷) . هر گاه یکی از دو نقطه لحیم شده را به وسیله ای گرم یا سرد کنیم ، اختلاف دما سبب تولید اختلاف پتانسیل در سیم می شود، بطوری که اگر گالوانومتری در مدار بگذاریم عبور جریانی را از آن نشان خواهد داد . مثلاً در مورد بیسموت و آنتیموان ، اگر اختلاف دما بین دو نقطه لحیم شده 1° باشد ، اختلاف پتانسیل در حدود $57/00000$ ولت است .

ج - به انرژی شیمیایی - بر اثر گرما بعضی از اجسام تجزیه یا با هم

ترکیب می شوند (واکنشهای گرماگیر) .

د - به انرژی تابشی - بر اثر گرما فلزات سرخ می شوند و در دماهای بسیار که بستگی به جنس فلز دارد نور سفید تابش می کنند (التهاب) .



شکل ۵۷

III - انرژی الکتریکی - به انرژیهای

زیر قابل تبدیل است :

الف - به انرژی مکانیکی - در موتورهای الکتریکی (بادزن) .

ب - به انرژی گرمایی - بر اثر عبور جریان برق از اجسام هادی مقداری گرما تولید می شود (چراغ ، اتو) .

ج - به انرژی شیمیایی - تجزیه شیمیایی به وسیله جریان برق (الکتrolیز) .

د - به انرژی تابشی - در تخلیه الکتریکی و در لوله های محتوی گاز با فشار کم (لوله های نئون) .

IV - انرژی شیمیایی - این انرژی به انرژیهای زیر قابل تبدیل است :

الف - به انرژی مکانیکی - در موتورهای انفجاری. مثلاً در موتور اتوموبیل ، مخلوطی از بنزین و اکسیژن هوا بر اثر انفجار کار مکانیکی تولید می کند .

ب - به انرژی گرمایی - در تمام فعل و انفعالاتی که با تولید گرما همراه است (مانند سوختن زغال و بنزین) .

ج - به انرژی الکتریکی - در پیلها .

د - به انرژی تابشی - مانند اکسیداسیون فسفر که با تابش نور همراه است .

V - انرژی تابشی - این انرژی به انرژیهای زیر قابل تبدیل است :

الف - به انرژی مکانیکی - رادیومتر کروکس (شکل

۵۸) اسبابی است که تبدیل انرژی تابشی به مکانیکی را نشان می دهد . این اسباب حبابی است شیشه ای که درون آن از هوا تخلیه شده و در آن یک چرخ پرده دار فلزی سوار شده است . یکی از دو سطح هر پره سیاه شده است . هرگاه برای این حباب اشعه نور بتابانیم پرده ها شروع به دوران می کنند .



شکل ۵۸

ب - به انرژی گرمایی - هرگاه یک دسته اشعه نور به جسمی، خصوصاً اگر سیاه باشد ، بتابد جسم گرم می شود .

ج - به انرژی الکتریکی - اگر بر بعضی از فلزها یک دسته اشعه نور خاصه اشعه فوق بنفش یا اشعه X بتابانیم الکترون از خود خارج می سازند . این الکترونها اگر بین دو صفحه هادی که اختلاف پتانسیلی بین آنها برقرار است تولید شوند ، بحرکت درمی آیند (جریان برق) . این خاصیت را پدیده فتوالکتریک می نامند و دستگاهی که برای این منظور ساخته می شود سلول فتوالکتریک نام دارد که بعداً به شرح آن خواهیم پرداخت .

د - به انرژی شیمیایی - مانند تجزیه بعضی از اجسام شیمیایی بر اثر

تابش نور .

۷۲ - اصل بقای انرژی - چنانکه گفته شد اشکال مختلف

انرژی می توانند به یکدیگر تبدیل شوند . آزمایشهای گوناگون نشان داده است که در تبدیل انرژیهای مختلف به یکدیگر هرگز انرژی از بین نمی رود و فقط از شکلی به شکل دیگر تبدیل می شود ، چنانکه در تمام تبدیلهای مقدار کل انرژی دستگاه منفرد ثابت می ماند ، بدین معنی که اگر در یک دستگاه منفرد مقدار معینی از یک یا چند شکل انرژی از بین برود به همان مقدار از اشکال دیگر انرژی ظاهر می شود و در نتیجه می توان این اصل کلی را که به اصل بقای انرژی موسوم است بیان کرد : مقدار کل انرژی یک دستگاه منفرد ثابت است .

اصل بقای انرژی مکانیکی نیز حالت مخصوصی از این اصل کلی است که مربوط به تبدیل انرژیهای پتانسیل و جنبشی به یکدیگر است .

با چوب پنبه می‌بندیم . لوله را بین دو قطعه چوب مطابق شکل ۵۹ محکم نگاه می‌داریم و آن را حول محور قائمی بدوران در می‌آوریم . پس از مدت کوتاهی اثر در لوله بجوش می‌آید و چوب پنبه‌ای که دهانه آن را بسته است بشدت پرتاب می‌شود . پس معلوم می‌شود که انرژی مکانیکی ، بر اثر اصطکاک ، به گرما تبدیل می‌شود .

از طرف دیگر آزمایش نشان می‌دهد که همواره نسبت ثابتی بین انرژی مکانیکی از بین رفته و گرمای ایجاد شده برقرار است . یعنی : خارج قسمت انرژی مکانیکی از بین رفته به گرمای تولید شده از آن مقداری است ثابت که آن را معادل مکانیکی کالری می‌نامند و به J نمایش می‌دهند .

$$J = \frac{W}{Q}$$

که در آن W انرژی از بین رفته و Q گرمای حاصل از آن است . همچنین در تبدیل انرژی گرمایی به انرژی مکانیکی نیز همان رابطه برقرار است .

۷۶ - تعیین معادل مکانیکی کالری - برای تعیین J قاعده کلی آن است که مقدار معینی انرژی مکانیکی را در گرماسنجی به انرژی گرمایی تبدیل کنیم و نسبت میان انرژی تبدیل شده و گرمای تولید شده را بدست آوریم .

از روشهایی که برای تعیین J بکار رفته است دو روش را ذکر می‌کنیم :

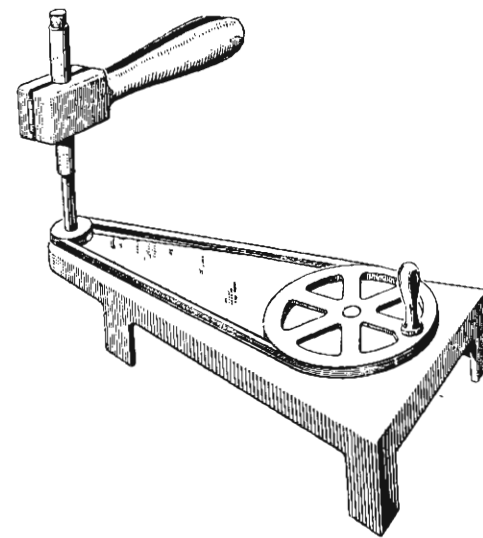
الف - آزمایش میکولسکو - به وسیله موتوری به توان P وات ، محور پرده‌داری را در داخل گرماسنجی که دارای پره‌های ثابتی است

انرژی مکانیکی و گرما

معادل مکانیکی کالری

۷۵ - انرژی مکانیکی و گرما - چنانکه دیدیم ، انرژی مکانیکی بر اثر ضربه و اصطکاک به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود . آزمایشهای زیر این مطلب را روشن می‌سازد :

آزمایش - گلوله‌ای
که از دهانه تفنگی خارج می‌شود اگر به مانع سخت فلزی برخورد کند ، بر اثر برخورد با مانع ، انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهد و ملاحظه می‌شود که گلوله و

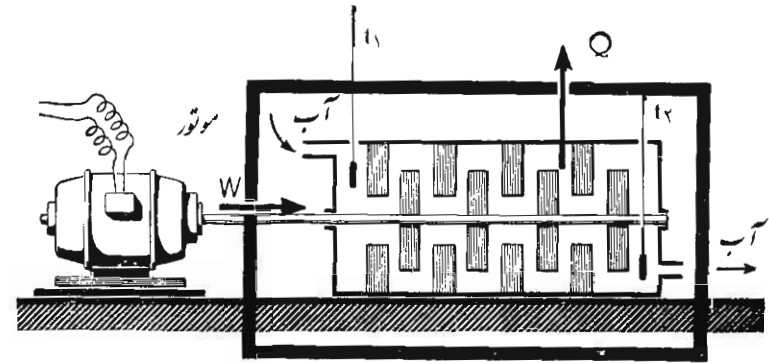


شکل ۵۹

مانع گرم می‌شوند و حتی اگر سرعت گلوله کافی باشد ممکن است گلوله ذوب شود .

آزمایش تاندال - لوله‌ای فلزی را پر از اتر نموده و دهانه آن را

بدوران درمی آوریم. پره های ثابت برای آن است که از حرکت دورانی آب جلوگیری کنند و به این ترتیب اصطکاک زیاد شود (شکل ۶۰). جریان آب ثابتی از گرماسنج می گذرانند تا گرمای ایجاد شده بر اثر اصطکاک پرده ها را جذب کند. اگر فرض کنید که در هر دقیقه m گرم آب از



شکل ۶۰

گرماسنج بگذرد و دمای آب هنگام ورود در گرماسنج t_1 و در موقع خروج t_2 باشد، مقدار گرمای جذب شده توسط آب $Q = m(t_2 - t_1)$ و کار انجام یافته توسط موتور در این مدت $W = P \times 60$ ژول است. بنابراین مقدار J از رابطه:

$$J = \frac{W}{Q} = \frac{60P}{m(t_2 - t_1)}$$

بدست می آید.

ب - روش الکتریکی - در این روش سیمی به مقاومت R را در گرماسنجی با ارزش آبی $(M + A)$ می گذاریم. دمای اولیه گرماسنج t_1 است. جریانی به شدت I آمپر در مدت t ثانیه از سیم می گذرانیم. پس از این مدت دمای نهایی گرماسنج به t_2 می رسد. انرژی الکتریکی

مصرف شده در مقاومت $W = RI^2t$ و گرمای حاصل از این مقدار انرژی $Q = (M + A)(t_2 - t_1)$ است. از تقسیم W بر Q مقدار J بدست می آید (روش غیر مستقیم):

$$J = \frac{RI^2t}{(M + A)(t_2 - t_1)}$$

۷۷ - مقدار J در دستگاه های مختلف - یک کالری برابر است با $4/18$ ژول. بنا بر این در دستگاه C.G.S.:

$$J = 4/18 \times 10^7 \text{ erg/cal}$$

در دستگاه M.K.S. صنعتی، چون یک kgm برابر $9/81$ ژول است، یک کالری کوچک برابر است با $4/18 \times 9/81 \text{ kgm}$ یعنی برابر با $0/426 \text{ kgm}$ و یک کالری بزرگ برابر با 426 kgm است:

$$J = 426 \text{ kgm/kcal}$$

و در دستگاه M.K.S. علمی $J = 4180 \text{ کیلوکالری/ژول}$

و همچنین در دستگاه M.T.S.، چون 1 kJ برابر است با 1000 J ، یک کالری کوچک برابر است با $4/18 \times 1000 \text{ kJ}$ و بنابراین یک ترمی برابر است با $4/18 \times 10^6 \text{ kJ}$ یعنی برابر با 4180 kJ پس

$$J = 4180 \text{ kJ/th}$$

تمرین

۱ - چرخ طیار به جرم يك تن که تمام جرم آن در محیط دایره‌ای به شعاع ۲ متر فرض می‌شود ۵ دور در ثانیه می‌چرخد . ۱ - اگر آن را به وسیله ترمز متوقف کنیم ، چه مقدار گرما تولید خواهد شد ؟ ۲ - اگر سرعت دوران چرخ طیار به ۴ دور در ثانیه برسد چه مقدار انرژی از دست داده است ؟

$$۱) ۴۷۱ \text{ kcal} \quad ۲) ۷۱۰ \text{ kJ} \quad (J = ۴/۱۸ \text{ kcal})$$

۲ - با موتوری به توان ۱ kW می‌خواهیم تجربه میکولسکو را تکرار کنیم . اختلاف بین دمای ورودی و خروجی آب برابر ۲° است . معین کنید مقدار آبی که در دقیقه از گرماسنج جاری می‌شود ($J = ۴/۱۸ \text{ kcal}$) .

لیتر ۷/۲

۳ - لوکوموتیوی به جرم ۴۵ تن با سرعت ۶۰ km/h از جاده‌ای به شیب ۲ در صد بالا می‌رود . در يك لحظه راننده ورود بخار را قطع و ترمز می‌کند . لوکوموتیو پس از طی ۲۵۰ متر می‌ایستد . گرمای ایجاد شده در ترمز را حساب کنید ($J = ۴/۱۸$) ثول برای هر کالری است و $g = ۹/۸۱ \text{ m/s}^2$:

$$Q \approx ۱۰۷۲ \text{ kcal}$$

۴ - گلوله‌ای از سرب به جرم ۲۰ گرم با سرعت ۶۰۰ m/s از دهانه تفنگی خارج می‌شود و به مانع سختی برخورد می‌کند . بر اثر برخورد با مانع تمام انرژی آن به گرما تبدیل و صرف گرم کردن خود گلوله می‌شود . معین کنید : ۱ - مقدار گرمای تولید شده را . ۲ - دمای نهایی گلوله را در صورتی که بدانیم دمای اولیه گلوله ۱۵° و نقطه ذوب سرب ۳۲۵° و گرمای ذوب سرب ۵/۸ کالری و گرمای ویژه سرب در حالت جامد ۰/۰۳ و در حالت مایع ۰/۰۴ است . ۱) $Q = ۸۶۱/۲ \text{ cal}$ ۲) $t = ۱۰۲۴°$

۵ - ۱ - مطلوب است محاسبه انرژی جنبشی جسمی به جرم ۱۰۰ kg که با سرعت ۷۲ km/h حرکت می‌کند (بر حسب ثول) . ۲ - اگر جسم را

آناً از حرکت باز داریم و تمام انرژی آن به گرما تبدیل شود ، مقدار گرمای حاصل را حساب کنید . ۳ - با گرمای حاصل چه مقدار یخ صفر درجه را می‌توان ذوب کرد در صورتی که گرمای ذوب یخ ۸۰ کالری بر گرم باشد . ۴ - چه مقدار یخ صفر درجه را می‌توان به وسیله گرمای حاصل به بخار آب ۱۰۰° تبدیل کرد در صورتی که گرمای تبخیر آب ۱۰۰ درجه ۵۳۷ کالری باشد .

$$۱) W = ۲ \times ۱۰^۴ \text{ J} \quad ۲) Q \approx ۴/۷۸ \text{ kcal} \quad ۳) m = ۵۹/۷ \text{ g} \\ ۴) m = ۶/۶ \text{ g}$$

۶ - از نقطه‌ای که در ۵۰ متری از سطح زمین واقع است گلوله‌ای آهنی را از بالا به پایین در امتداد قائم با سرعت اولیه ۱۵ m/s پرتاب کردیم . در صورتی که بر اثر برخورد با زمین تمام انرژی جنبشی آن به گرما تبدیل شود و گرمای حاصل صرف گرم کردن خود گلوله شود ، از یاد دمای گلوله را حساب کنید (گرمای ویژه آهن ۰/۱۱ کالری بر گرم و $g = ۹/۸۱ \text{ m/s}^2$) . ۱/۳۳°

۷ - جسمی به جرم ۱۰۰۰۰ kg از حال سکون راه می‌افتد تا سرعت آن به ۷۲ km/h می‌رسد . ۱ - معین کنید نیروی ثابتی را که باید بر متحرک وارد شود تا این سرعت پس از يك دقیقه تولید شود . مقدار این نیرو را بر حسب kgf بیان کنید . ۲ - کار این نیرو را بر حسب kgm و ثول در این مدت حساب کنید . ۳ - در صورتی که جسم را آناً از حرکت بازداریم ، مقدار گرمای حاصل را معین کنید در صورتی که تمام انرژی جنبشی به گرما تبدیل شود .

$$۱) F \approx ۳۴۰ \text{ kgf} \quad ۲) W = ۲ \times ۱۰^۶ \text{ J} \approx ۲۰۴۰۰۰ \text{ kgm} \\ ۳) Q \approx ۴۷۸ \text{ kcal}$$

۸ - اتوموبیلی به جرم يك تن با موتور خاموش از جاده شیب‌داری که با سطح افقی زاویه ۱۰° تشکیل می‌دهد بدون سرعت اولیه پایین می‌آید . ۱ - معین کنید پس از طی چه مسافتی سرعت اتوموبیل به ۸ m/s می‌رسد . ۲ - در این لحظه راننده چنان ترمز می‌کند که این سرعت در جسم ثابت بماند . گرمای ایجاد شده در ترمز را در دقیقه معین کنید . ۳ - با این وضعیت ترمز ، اتوموبیل به جاده افقی می‌رسد . معین کنید پس از طی چه مسافت خواهد ایستاد

سرعت 100 m/s پرتاب نمودیم . در نیمراه از ارتفاع ماکزیمی که می‌تواند به آن برسد ، گلوله به‌مانع سختی برخورد می‌کند و تمام انرژی جنبشی آن به گرما تبدیل می‌شود . معین کنید ازدیاد دمای گلوله را در صورتی که تمام گرما جذب گلوله گردد . گرمای ویژه سرب 31 cal/kg است .

$$t = 19/28^\circ$$

۱۴ - اتوموبیلی به جرم ۲ تن در جاده افقی با سرعت 36 km/h حرکت می‌کند . در لحظه t موتور خاموش می‌شود و اتوموبیل تحت تأثیر نیروهای اصطکاکی پس از ۲ دقیقه می‌ایستد . معین کنید چه نیرویی باید علاوه بر نیروهای اصطکاکی به‌وسیله ترمز وارد سازیم تا اتوموبیل در مدتی برابر یک چهارم مدت سابق بایستد و در این حال مسافت طی شده و گرمای ایجاد شده در ترمزها را حساب کنید . 17942 cal و 150 m و $R = 500 \text{ N}$

۱۵ - اتوموبیلی به جرم 1000 kg با سرعت ثابت 10 km/h در جاده‌ای به‌شیب ده درصد بالا می‌رود . معین کنید قسمتی از توان موتور را که برای خنثی کردن نیروی ثقل مصرف می‌شود $(g = 9/81 \text{ m/s}^2)$.

$$P = 2725 \text{ وات}$$

۱۶ - کامیونی به جرم ۶ تن از حال سکون در جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند . کامیون تحت تأثیر نیروی ثابتی قرار گرفته است و سرعت آن به 45 km/h می‌رسد . اصطکاک جاده ثابت و برابر با 250 N است . مطلوب است : ۱ - نیروی ثابتی که از طرف موتور بر کامیون وارد می‌شود ، در صورتی که این سرعت را در مدت یک دقیقه پیدا کرده باشد ، ۲ - کار انجام شده توسط موتور بر حسب ژول ، ۳ - توان متوسط موتور در این مدت بر حسب اسب بخار و وات . ۴ - در این لحظه نیروی موتور را چنان تنظیم می‌کنیم که سرعت کامیون ثابت شود . توان موتور را در این حالت حساب کنید . ۵ - با این سرعت ثابت ، کامیون به جاده شیب‌داری به شیب $5/01$ می‌رسد و در همان لحظه موتور خاموش می‌شود و در امتداد آن بالا می‌رود . معین کنید معادلات حرکت و سرعت کامیون را بر روی سطح شیب‌دار و مسافتی را که طی می‌کند تا بایستد (از اصطکاک در این جاده صرف نظر می‌شود) . ۶ - اگر در

و گرمای ایجاد شده در ترمز چقدر است $(g = 9/81 \text{ m/s}^2)$ ، $J = 4/18$ ، $Q = 196 \text{ kcal}$ ۲) $x = 18/75$ متر ۱) $\sin 10^\circ = 0/174$ و $Q = 7655 \text{ cal}$ ۳) $x = 18/75$ متر

۹ - گلوله‌ای به جرم 750 kg با سرعت 1000 m/s از دهانه توپی خارج می‌شود . مطلوب است محاسبه بازده توپ در صورتی که بدانیم 300 kg باروت برای پرتاب گلوله مصرف شده است و از سوخت هر گرم باروت 1500 کالری گرما تولید می‌شود . $R = 0/2 (\%20)$

۱۰ - جسمی به جرم 1000 kg از انتهای بالایی سطح شیب‌داری به طول 21 m که با سطح افقی زاویه 30° تشکیل می‌دهد پایین می‌آید و سرعت آن در انتهای سطح شیب‌دار به $4/1 \text{ m/s}$ می‌رسد . مطلوب است تعیین مقدار گرمایی که بر اثر اصطکاک در این مسافت تولید می‌شود $(g = 9/81 \text{ cm/s}^2)$. $Q = 22686 \text{ cal}$

۱۱ - میله‌ای چنان نصب شده که با سطح افقی زاویه 30° تشکیل می‌دهد . حلقه‌ای به جرم 20 گرم از انتهای فوقانی میله بدون سرعت اولیه رها شده و بر روی آن می‌لغزد . ۱ - اگر از اصطکاک صرف نظر شود ، معین کنید سرعت آن را پس از طی مسافت $39/2$ متر . ۲ - اگر به علت اصطکاک موجود سرعت جسم در انتهای مسافت به $9/8 \text{ m/s}$ برسد ، معین کنید مقدار گرمای حاصل را بر اثر اصطکاک $(g = 9/81 \text{ m/s}^2)$.

$$1) V = 19/6 \text{ m/s} \quad 2) Q = 0/7 \text{ cal}$$

۱۲ - لوکوموتیوی به جرم 50 تن در جاده‌ای افقی با سرعت ثابت 72 km/h حرکت می‌کند . در این موقع به جاده شیب‌داری به شیب $0/02$ می‌رسد و در امتداد آن پایین می‌رود و در همان موقع راننده ترمز می‌کند و قطار پس از طی مسافت 80 متر می‌ایستد . مطلوب است : ۱ - نیرویی که قطار را از حرکت بازداشته است . ۲ - نیروی ترمز را . ۳ - گرمای ایجاد شده در ترمزها . ۴ - زمان این حرکت $(g = 10 \text{ m/s}^2)$.

$$1) F = 125000 \text{ N} \quad 2) R = 135000 \text{ N}$$

$$3) Q = 2582 \text{ kcal} \quad 4) t = 8 \text{ s}$$

۱۳ - گلوله‌ای سری را از پایین به بالا در امتداد قائم ، در خلاف با

لحظه رسیدن به این جاده را ننده علاوه بر خاموش کردن موتور ترمز می کرد و کامیون پس از طی مسافتی مساوی ۱۰۰ متر می ایستاد، حساب کنید کار جذب شده توسط ترمزها و گرمای ایجاد شده در آنها را ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

۱) $F = 1500 \text{ N}$ ۲) $W = 562500 \text{ J}$

۳) $P = 9375 \text{ W}$ یا $12/5 \text{ ch}$ ۴) $P = 3125 \text{ W}$

۵) $x = -\frac{1}{40}t^2 + 12/5t$ و $v = -\frac{t}{20} + 12/5$ و $x = 781/25$ متر

۶) $W = 408750 \text{ J}$ $Q = 97/8 \text{ kcal}$

۱۷ - اتوموبیلی با سرعت حد ۵۴ کیلومتر در ساعت در جاده ای افقی حرکت می کند. اصطکاک زمین معادل f کیلو گرم نیروست. مقاومت هوا بر اتوموبیل از رابطه $R = 0/16v^2$ بدست می آید که در آن R بر حسب kgf و v بر حسب m/s و توان موتور معادل 12 ch است. معین کنید:

۱ - مقاومت هوا را ؛ ۲ - نیروی موتور را ؛ ۳ - اصطکاک زمین را .

۱) $R = 36 \text{ kgf}$ ۲) $F = 60 \text{ kgf}$ ۳) $f = 24 \text{ kgf}$

بخش دوم

فيزيك

زمان تناوب یا پریود مدت زمانی است که متحرك پس از آن مدت به وضع اولیه خود باز می گردد و آن را به T نمایش می دهند .
تواتر یا فرکانس عدد پریودها در يك ثانيه است و آن را به N نمایش می دهند و $N = \frac{1}{T}$ است .

آثار تناوبی

کلیات درباره حرکات ارتعاشی

۷۸ - آثار تناوبی - عبور متناوب خورشید از نقطه معین آسمان ، پیدایش فصول ، اشکال مختلف ماه ، حرکت های آونگ و تاب ، حرکت فنری که بدان وزنه ای متصل و از وضع تعادل دور شده است ، و حرکت تارهای مرتعش در تار و ویولون و مانند اینها همه آثار تناوبی هستند ، یعنی پس از مدت زمانهای متساوی تکرار می شوند .

آثار طبیعی متناوب دیگری نیز هست ولی بدعلت تواتر زیاد (کوتاه بودن پریود) یا بدعلت دامنه کوتاه نوسانها مستقیماً قابل مشاهده نیست ، مانند ارتعاشات يك دیاپازون یا صوت که می توان فقط به وسیله ثبت این آثار به تناوبی بودن آنها پی برد . به همین ترتیب اگر دامنه تحقیقات خود را به طریق غیر مستقیم که بعداً مطالعه خواهد شد ادامه دهیم ، مشاهده خواهیم کرد که تابش اجسام نیز جزو آثار تناوبی طبیعت است .

۷۹ - حرکات تناوبی - اگر متحرکی پس از مدت زمانهای متساوی ، حرکت خود را از هر لحاظ تکرار کند ، گوئیم که این متحرك دارای حرکت تناوبی است ، مانند حرکت آونگ . در اصطلاح عادی حرکات تناوبی را که به صورت رفت و بازگشت باشد حرکات ارتعاشی نامند .

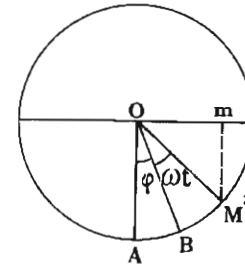
۸۰ - حرکت نوسانی - میان حرکات تناوبی دسته خاصی ، مانند حرکت آونگ را نوسانی می نامند . بنا بر تعریف ، حرکت نوسانی يك حرکت تناوبی مستقیم الخط است که معادله حرکت آن جیبی یعنی به صورت سینوس یا کسینوس باشد ، و چنانکه گفته شد در این قبیل حرکات (آونگ یا دیاپازون) متحرك تحت تأثیر نیروی متناسب با فاصله جسم از وضع تعادل خود واقع می شود و نیرو همواره می خواهد که متحرك را به وضع تعادل خود بازگرداند .

بعد در حرکت نوسانی - وضع متحرك در هر لحظه به وسیله فاصله آن از وضع تعادل مشخص می شود . این فاصله را بعد نامند .

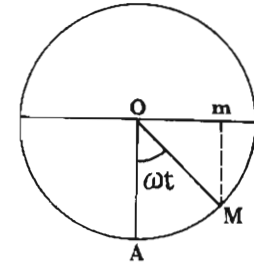
دامنه نوسان - دامنه نوسان عبارت است از بعد ماکزیمم ، یعنی بزرگترین فاصله متحرك از وضعیت تعادل خود و آن را به a نمایش خواهیم داد .

۸۱ - معادله حرکت نوسانی - فاز - اگر متحرك m در مبدأ زمان از مبدأ مکان ، که آن را با وضعیت تعادل منطبق می گیریم ، شروع به حرکت کند ، معادله حرکت آن به صورت $x = a \sin \omega t = a \sin 2\pi \frac{t}{T}$ (۱) خواهد بود . x بعد و a دامنه حرکت است . منحنی نمایش حرکت نوسانی در دستگاه محورهای t و x ، منحنی سینوسی یا کسینوسی است .

چنانکه در پیش گفته شد حرکت نوسانی را می توان تصویر حرکت متحرکی مانند M دانست که دارای حرکت دورانی مشابه با سرعت زاویه ای ω است (شکل ۶۱). اگر متحرك در مبدأ زمان از مبدأ مکان



شکل ۶۲



شکل ۶۱

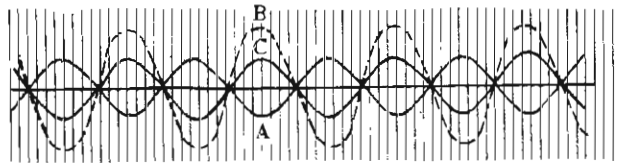
که همان وضع تعادل است شروع به حرکت نکند ، معادله حرکت آن (شکل ۶۲) به صورت $x = a \sin(\omega t + \varphi)$ درمی آید . بنا بر تعریف ، قوس $\sin$ یا $\cos$ معادله حرکت را فاز حرکت می نامند . در رابطه (۱) ωt فاز حرکت اول و در رابطه (۲) $\omega t + \varphi$ فاز حرکت دوم است و φ را اختلاف فاز این دو حرکت می نامند ، زیرا :

$$(\omega t + \varphi) - \omega t = \varphi$$

اگر اختلاف فاز دو حرکت صفر یا مضربی از 2π باشد، دو حرکت را هم فاز نامند .

برای آنکه موضوع اختلاف فاز که در فیزیک بسیار مهم است کاملاً روشن شود ، به ذکر مثال زیر می پردازیم : دو آونگ هم زمان A و B را در نظر بگیریم . اگر این دو آونگ را از وضع تعادل دور کنیم و در یک لحظه t هر دو را با یکدیگر آزادانه رها سازیم ، مشاهده می شود که در تمام لحظات این دو آونگ در یک وضعیت از حرکت هستند و با یکدیگر

از وضعیت ماکزیمم و مینیمم و تعادل می گذرند . گوئیم این دو آونگ هم فازند . اگر حرکت آونگها را ثبت کنیم ، دو منحنی B و C بدست می آید که با یکدیگر از وضعیت ماکزیمم و صفر و غیره می گذرند (شکل ۶۳) . ولی اگر آونگ B را هنگامی رها کنیم که آونگ A یک نوسان ساده (نیم نوسان کامل) انجام داده باشد ، این دو آونگ همواره در سوی مخالف یکدیگر حرکت می کنند ، یعنی x های آنها همواره مختلف العلامه اند . پس اگر معادله حرکت آونگ A به صورت $x_1 = a_1 \sin \omega t$ باشد ، معادله حرکت آونگ B به صورت این معادله در می آید : $x_2 = -a_2 \sin \omega t = a_2 \sin(\omega t + \pi)$. می بینیم که این دو آونگ با یکدیگر اختلاف فازی مساوی π دارند و منحنی نمایش حرکت آنها



شکل ۶۳

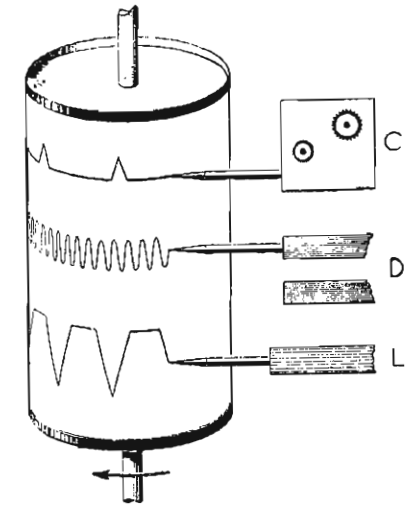
مانند دو منحنی B و A یا A و C خواهد بود که در حالی که A ماکزیمم است B مینیمم است . این دو حرکت را متقابل یا با فاز مخالف می نامند .

روشهای مختلف تحقیق در حرکت ارتعاشی

۸۲ - ثبت ارتعاشات - یکی از روشهای تحقیق تجربی در آثار فیزیکی روش ثبت است . تاکنون چند قسم آلت ثبات از قبیل فشارسنج و دماسنج ثبات و جز اینها را دیده ایم . برای ثبت حرکت ارتعاشی کافی

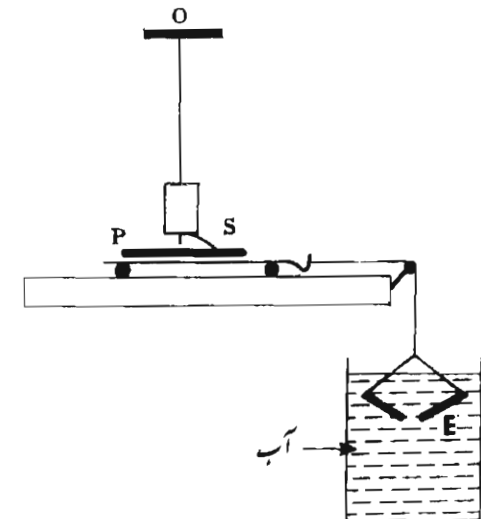
است که مدادی به قسمت متحرك دستگاه نصب شود و صفحه‌ای که حرکت دورانی یا انتقالی یکنواخت دارد بانوك مداد در تماس باشد. در زیر به طرز ثبت چند حرکت ارتعاشی می‌پردازیم :

الف - ثبت ارتعاشات دیاپازون -
برای ثبت ارتعاشات دیاپازون ، سوزنی را به یکی از شاخه‌های آن متصل می‌کنند. این سوزن با سطح استوانه دواری که دود اندود شده است تماس دارد و روی آن منحنی ارتعاش را رسم می‌کند (شکل ۶۴).



شکل ۶۴

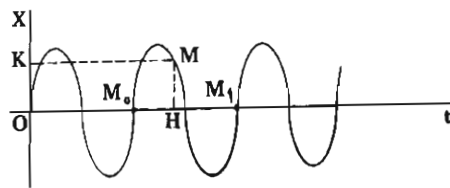
ب - ثبت ارتعاشات آونگ - برای ثبت نوسانات آونگ ، در انتهای گلوله آن سوزنی مانند S نصب می‌کنیم. سوزن با صفحه P در تماس است. این صفحه حرکتی یکنواخت ،



شکل ۶۵

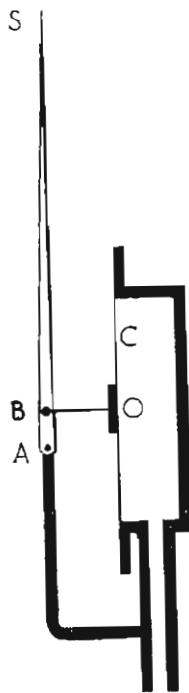
در سوی عمود بر سطح نوسان آونگ دارد (شکل ۶۵). این حرکت

یکنواخت به طرق مختلف ، مثلاً به وسیله سقوط يك وزنه سنگین E در آب ، مطابق شکل تأمین می‌شود . علت این امر آن است که ، چون وزنه در آب تحت تأثیر نیروهای مقاوم آب قرار می‌گیرد ، بزودی به سرعت ثابت حد رسیده حرکتش یکنواخت می‌شود. اگر آونگ ساکن



باشد ، سوزن خط مستقیمی رسم می‌کند که مشخص کننده محور زمان است. اگر آونگ

نوسان کند و صفحه ساکن باشد ، سوزن خطی عمود بر خط سابق رسم می‌کند که مشخص کننده محور مسافت (بعد) است . حال هرگاه صفحه حرکت و آونگ نوسان کند ، سوزن يك منحنی سینوسی مطابق شکل ۶۶ رسم خواهد کرد که منحنی نمایش تغییرات بعد انتهای آونگ ، یعنی X ، بر حسب زمان t است .



اگر بخواهند ثبت حرکت مدتی ادامه یابد ، صفحه را دور استوانه‌ای که با حرکت دورانی متشابهی در گردش است می‌پیچند . ضمناً این استوانه پس از هر دور ، در امتداد محور خود يك حرکت انتقالی انجام می‌دهد تا منحنیها بر روی هم نیفتند .

اگر بخواهیم حرکتی را ثبت کنیم که در آن نتوان جسم متحرك را به سوزن یا مداد متصل کرد ،

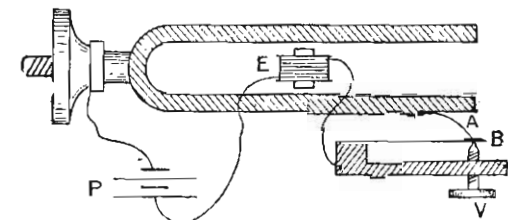
مانند ضربات قلب و نبض ، از اسباب مخصوصی به نام **طبل ماره** استفاده

می‌کنیم. طبل ماره تشکیل شده است از يك جعبه كوچك فلزی كه دهانه آن به وسیله يك غشای نازك لاستیكي بسته شده است. این جعبه به وسیله لوله كائوجویی به جعبه دیگری نظیر جعبه اول مربوط است. بر روی غشای C جعبه دوم صفحه كوچكي از آلومینیم (O) نصب شده است (شكل ۶۷)، كه به آن اهرم AB متصل است. به انتهای اهرم سوزنی وصل است كه با صفحه‌ای در تماس است. برای ثبت ارتعاش، غشای جعبه اول را با جسم مرتعش در تماس می‌گذارند. ارتعاشات جسم به وسیله غشا به هوای این جعبه و از آنجا به جعبه دوم و غشای آن انتقال می‌یابد و سوزن منحنی ارتعاشات را بر روی استوانه رسم می‌کند.

تذکره - عملاً در ثبت ارتعاشات آونگ و دیپازون مشاهده می‌شود كه دامنه نوسانها بتدریج كاهش می‌یابد ولی زمان تناوب تغییر نمی‌کند. دلیل این امر آن است كه انرژی جنبشی جسم مرتعش، بر اثر مقاومت هوا، بتدریج به گرما تبدیل می‌شود و جسم پس از چند نوسان می‌ایستد (شكل ۶۸).



اگر بخواهیم دامنه نوسان ثابت بماند باید به وسیله‌ای انرژی جنبشی از بین رفته در هر پریود را جبران کنیم. مثلاً برای نگاهداری ارتعاشات

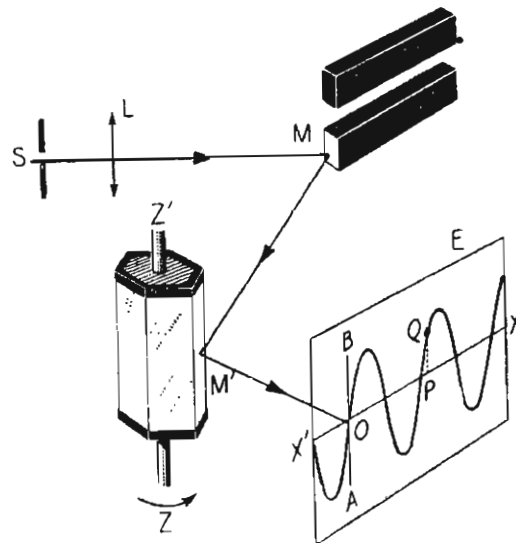


شكل ۶۹

دیپازون، مطابق شكل ۶۹ میان دو شاخه دیپازون الكتروامان كوچكي می‌گذاریم كه جریان آن به وسیله

بیچی مانند ∇ قطع و وصل می‌شود. چون دیپازون را يك بار به ارتعاش در آوریم، جریان در مدار الكتروامان قطع و وصل می‌شود و در هر برقراری جریان، الكتروامان خاصیت آهنربایی پیدا كرده شاخه دیپازون را جذب می‌کند و بدین طریق ارتعاشات دیپازون مستهلك نمی‌شود.

۸۳ - روش آینه دوار - اگر تنها مشاهده حرکت مورد نظر



شكل ۷۰

باشد، می‌توان از روش آینه دوار استفاده كرد. برای این كار، بر روی جسم مرتعش (دیپازون) آینه كوچكي نصب می‌کنیم (شكل ۷۰) و يك دسته اشعه باریك بر آن می‌تابانیم. این اشعه پس از انعكاس، بر روی آینه دواری می‌تابد كه با سرعتی

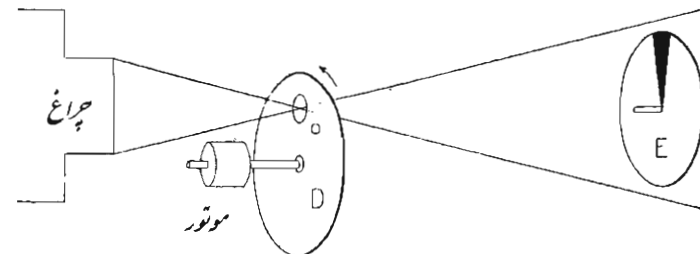
زیاد حول ZZ' می‌چرخد. اگر به تصاویری كه در آینه دوار تشكيل می‌شود نگاه كنیم، این تصاویر به علت سرعت زیاد آینه دوار مانند تصاویر سینمایی بطور پیوسته دیده می‌شود. ممكن است این اشعه را پس از انعكاس از آینه دوار بر روی پرده‌ای انداخت و تصویر حقیقی حرکت را بر روی پرده بررسی كرد. یادآور می‌شویم كه حرکت دو آینه باید عمود بر هم باشند.

۸۴ - روش استروبوسکوپی (Stroboscopie) - یکی از

روشهای تحقیق حرکات تناوبی سریع استروبوسکوپی است که اساس آن بر آزمایش زیر قرار گرفته است :

آزمایش - صفحه سفید رنگی به شکل دایره E که بر روی آن قطاع کوچک سیاهی است اختیار می کنیم . اگر این صفحه را سرعت بچرخانیم ، قطاع سیاه اصلاً بر روی آن دیده نمی شود و صفحه به رنگ دودی بنظر می رسد .

اکنون صفحه را بتناوب روشن و تاریک می کنیم . برای این کار کافی است که در مسیر نوری که بر صفحه E می تابد صفحه دیگری مانند D قرار دهیم که سوراخی مانند O داشته باشد (شکل ۷۱) . اگر صفحه D را به وسیله موتور کوچکی بدوران در آوریم ، صفحه E تنها وقتی روشن و دیده می شود که سوراخ O بر مسیر اشعه نور قرار گیرد ، یعنی یک بار در هر دوری که صفحه D می چرخد . فرض کنیم که N و N' بترتیب عددهای دورهای صفحه E و صفحه D در ثانیه باشد .

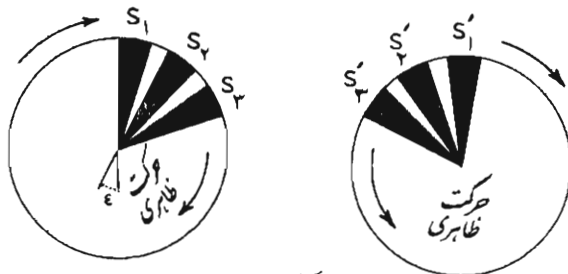


شکل ۷۱

۱- فرض می کنیم که $N = N'$. در این حالت قطاع سیاه پیوسته در یک موضع روشن می شود و در نتیجه بی حرکت بنظر می رسد . زیرا قطاع

سیاه ، درست هنگامی روشن می شود که صفحات D و E یک دور زده اند .
۲- فرض می کنیم که $N = kN'$ (k عدد صحیحی می باشد) . در این حالت نیز قطاع سیاه پیوسته در یک موضع روشن می شود و در نتیجه بی حرکت بنظر می رسد . زیرا قطاع سیاه درست هنگامی روشن می شود که صفحه D یک دور زده است . در این هنگام صفحه E درست k دور زده است .

۳- فرض می کنیم که $N' = kN$. در این حالت صفحه سوراخدار D تندتر از صفحه E می چرخد . اگر صفحه E یک دور بزند ، صفحه D درست k دور می زند . پس صفحه E در هر دور k مرتبه دیده می شود .
۴- فرض می کنیم که N' کمی کوچکتر از N باشد ، یعنی صفحه E تندتر از صفحه D بچرخد . در این حالت در مدت دو روشنایی متوالی که از سوراخ O می گذرد ، صفحه E اندکی بیش از یک دور می زند . اما



شکل ۷۲

برای کسی که به صفحه E نگاه می کند چنین می نماید که قطاع سیاه بکندی در سوی دوران صفحه می چرخد (شکل ۷۲) .
اگر N' کمی بزرگتر از N باشد ، برای کسی که به صفحه E نگاه می کند ، چنین می نماید که قطاع سیاه بکندی در سوی مخالف دوران صفحه می چرخد (شکل ۷۲) .

بآسانی می توان اثبات کرد که تواتر حرکت ظاهری $n = N - N'$ است .

مطالعات تجربی انتشار حرکت ارتعاشی

۸۵ - محیط قابل ارتعاش - محیط قابل ارتعاش یا قابل ارتجاع محیطی است که چون تغییر شکلی در آن ایجاد شود ، پس از آنکه عامل موجب تغییر شکل از بین رفت ، به شکل اول خود باز گردد . مثلاً اگر چند حلقه از فنری را که در نقطه ای ثابت شده است فشرده و رها کنیم ، حلقه ها به وضعیت اول خود باز می گردند . پس فنر محیطی است قابل ارتعاش .

۸۶ - انتشار یک تغییر شکل در محیط قابل ارتعاش -
آزمایش ۱ - هر گاه ضربه ای در انتهای A از طناب کائوچویی که بین دو نقطه A و B ثابت شده است (ت) وارد کنیم ، مشاهده می شود که بر اثر ضربه تغییر شکلی در طناب در محل ضربه ایجاد شده و در طول

شکل ۷۳

طناب منتقل می شود . گوییم که تغییر شکل **انتشار** می یابد (شکل ۷۳) .
آزمایش ۲ - هر گاه فنری را در دو نقطه ثابت کنیم و سپس چند حلقه آن را فشرده و رها کنیم ، مشاهده می شود که حلقه های فشرده باز شده و حلقه های مجاور خود را می فشارند . بدین طریق تغییر شکل

تدریجاً در طول فنر منتشر می شود (شکل ۷۴) . از این آزمایشها نتیجه می شود که :

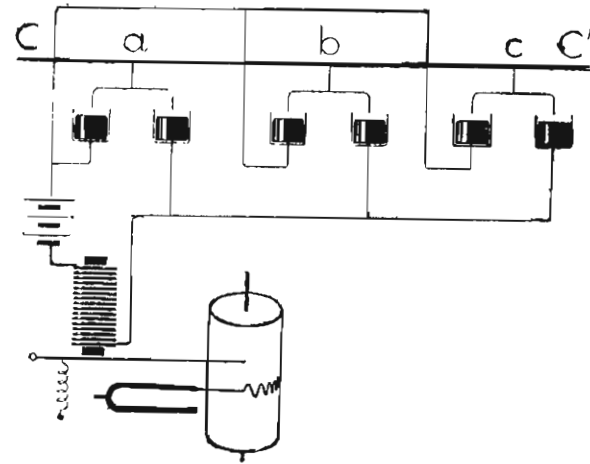
شکل ۷۴

الف - انتشار تغییر شکل در یک محیط آبی نیست - چنانکه دیده شد ، در انتشار تغییر شکل ، هر نقطه از محیط به نوبه خود پس از نقطه قبلی بحرکت درمی آید و هر قدر فاصله نقطه از مبدأ بیشتر باشد ، حرکت دیرتر بدان نقطه می رسد .

ب - سرعت انتشار ثابت است - آزمایش نشان می دهد که سرعت انتقال یک تغییر شکل در محیط قابل ارتجاع و همگن مقداری است ثابت ، یعنی انتشار تغییر شکل حرکتی است یکنواخت . بنا براین :

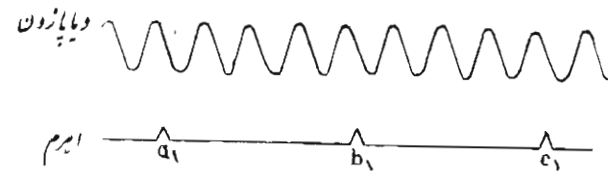
$$V = \frac{x}{t}$$

آزمایش - فنری را بین دو نقطه ثابت می کنیم (شکل ۷۵) . در نقاط a و b و c ، در فواصل متساوی از یکدیگر ، سوزنهای کوچکی نصب می کنیم که در بالای طشتکهای پر از جیوه و خیلی نزدیک به سطح جیوه قرار گرفته اند . با این فنر و طشتکهای جیوه مداری الکتریکی مطابق شکل تشکیل می دهیم که در آن یک مغناطیس الکتریکی قرار گرفته است . در مقابل مغناطیس اهرم M گذاشته شده که در انتهای آن سوزن S با استوانه دواری در تماس است . در وضعیت فعلی اهرم آزاد است و خط مستقیمی بر روی استوانه رسم می کند . اگر ضربه ای بر یک



شکل ۷۵

سرفر وارد کنیم، هنگامی که این ضربه به نقاط a و b و سپس به c رسید، سوزنها را در جیوه فرو می برد و مدار الکتریکی را می بندد. در نتیجه آهن داخل الکترومان خاصیت آهنربایی پیدا کرده و اهرم جذب می شود. پس از دور شدن حرکت، جریان قطع و اهرم آزاد می شود و یک فنر کوچک آن را به وضع تعادل باز می گرداند. می بینیم که سوزن اهرم منحنی شکل ۷۶ را که دارای دندانیهایی در نقاط a_1 و b_1 و c_1 است رسم می کند.



شکل ۷۶

آزمایش نشان می دهد که فواصل a_1b_1 و b_1c_1 متساویند. بنا بر این حرکت تغییر شکل یکنواخت است. برای اندازه گیری سرعت

انتشار می توان بر روی همین استوانه نوسانات دیپازونی را که اعشار ثابته را می زند ثبت کرد و از روی آن مدت زمانی را که ارتعاش مسافت a_1b_1 را پیموده است اندازه گرفت و از تقسیم مسافت بر زمان سرعت را بدست آورد.

ج - تغییر شکل در هر سو انتشار می یابد - اگر محیط قابل ارتعاش همگن باشد، تغییر شکل در هر سو به خط راست انتشار می یابد. اگر سنگی را در حوض بیندازیم مشاهده می شود که در محل برخورد سنگ با آب یک فرو رفتگی پدید می آید که منجر به ایجاد دایره ای می شود که بتدریج شعاع آن افزایش می یابد، یعنی تغییر شکل بر سطح آب منتشر می شود.

د - در انتشار تغییر شکل، ماده منتقل نمی شود - در آزمایش بالا، اگر بر روی سطح آب چند چوب پنبه بگذاریم، مشاهده می شود که چون حرکت به چوب پنبه ای برسد، آن چوب پنبه در جای خود حرکت قائمی انجام می دهد و بهیچ وجه از جای خود بر سطح آب منتقل نشده و حرکت افقی انجام نمی دهد.

ه - سرعت انتشار در یک محیط بستگی با جنس و محیط و شرایط فیزیکی آن دارد - آزمایش نشان می دهد که سرعت انتشار تغییر شکل با جنس محیط و شرایط فیزیکی آن بستگی دارد. مثلاً چنانکه بعداً خواهیم دید، سرعت انتشار تغییر شکل در یک سیم با جرم واحد طول و کشش آن بستگی دارد.

و - سرعت بستگی به شدت ضربه ندارد - آزمایش نشان می دهد که اگر یک ضربه شدید و سپس ضربه خفیفی به انتهای طناب وارد کنیم، این

دو ضربه پشت سرهم با سرعت ثابتی منتشر می‌شوند و فاصله دو ضربه در تمام طول مدت انتشار تغییر نمی‌کند.

انتشار حرکت ارتعاشی در يك محیط قابل ارتعاش - طول موج

۸۷ - اگر در يك نقطه از محیط قابل ارتعاش ضربه‌های متوالی با پریود T وارد سازیم، این ضربه‌ها آن نقطه را وادار به حرکت ارتعاشی می‌کنند. این ارتعاشات با سرعت ثابت V در محیط منتشر می‌شود و هريك از نقاط محیط به نوبه خود از حال تعادل خارج شده و ارتعاشی شبیه به ارتعاش مبدأ یعنی با همان پریود T انجام می‌دهد. این کیفیت به وسیله آزمایش زیر مشهود می‌شود:

آزمایش - دیابازونی مطابق شکل ۷۷ اختیار کرده سوزنی را به یکی از دوشاخه آن نصب می‌کنیم. این دیابازون در بالای يك سطح آب چنان قرار گرفته که چون مرتعش شود، سوزن ارتعاشاتی بر سطح آب تولید می‌کند. مشاهده می‌شود که دایره‌های متحدالمرکزی با فاصله ثابت از یکدیگر (شکل ۷۸) بر روی آب تشکیل می‌شود که با سرعت ثابتی بر سطح آب حرکت می‌کنند. هريك از این دواير را موج نامند.



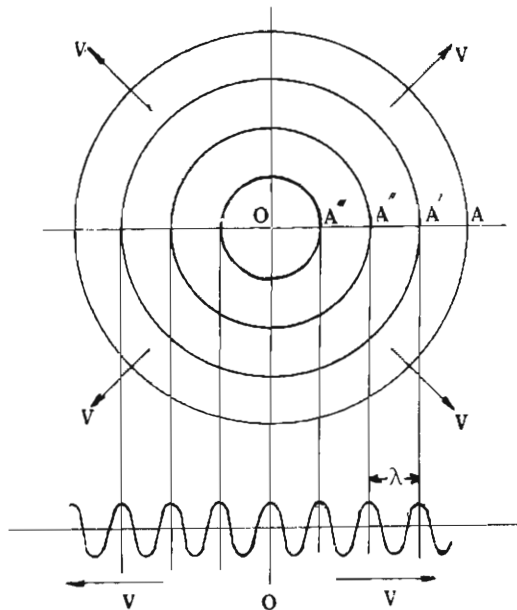
شکل ۷۷

۸۸ - طول موج - در يك حرکت ارتعاشی، طول موج عبارت از مسافتی است که موج در يك پریود می‌پیماید. بنابراین اگر V سرعت سیر ارتعاشات در محیط و λ طول موج و T پریود حرکت ارتعاشی باشد،

چنین خواهیم داشت: $\lambda = VT$ و چون $T = \frac{1}{N}$ است، این رابطه به صورت زیر درمی‌آید:

$$\lambda = \frac{V}{N}$$

باید دانست که در آزمایش بالا، فاصله دو دایره متوالی که برابر با فاصله‌ای است که ارتعاش در يك پریود در آب پیموده، طول موج است.



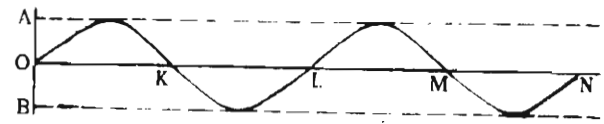
شکل ۷۸

یادآور می‌شویم که مشخص‌کننده هر حرکت ارتعاشی پریود آن است و سرعت انتشار

و در نتیجه طول موج آن بر حسب محیط تغییر می‌کند.

۸۹ - مطالعه تجربی انتشار حرکت ارتعاشی - فرض کنیم

که نقطه O يك مبدأ ارتعاشی باشد که ارتعاشاتی با پریود T در محیط می‌فرستد (شکل ۷۹). پس از مدت زمان T نقطه O يك نوسان کامل انجام داده و به وضعیت اولیه خود باز می‌گردد و دومین ارتعاش خود را



شکل ۷۹

شروع می‌کند. ضمناً موج به نقطه L که به فاصله λ از O واقع است می‌رسد و این نقطه نیز شروع به ارتعاش می‌کند. از این لحظه به بعد نقطه‌های O و L پیوسته در يك وضع ارتعاشی خواهند بود و هنگامی که O دومین نوسان خود را پایان رسانده و سومی را شروع می‌کند، نقطه L اولین ارتعاش خود را تمام کرده و دومین ارتعاش را شروع می‌کند در حالی که نقطه N که به فاصله λ از L و به فاصله 2λ از O واقع است از حال تعادل خارج شده و اولین ارتعاش را شروع می‌کند. از این پس سه نقطه O و L و N همواره با یکدیگر نوسان کرده و در يك وضع ارتعاشی خواهند بود. به بیان دیگر این نقاط در حرکت خود همفازند. از این بحث می‌توان تعریف دیگری برای طول موج بیان کرد:

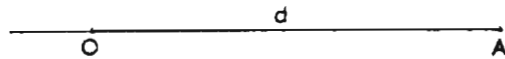
طول موج عبارت است از فاصله دو نقطه متوالی از محیط که در يك وضع ارتعاشی هستند.

حال اگر نقاطی مانند K و M (شکل ۷۹) را در نظر بگیریم که در وسط OL و LN واقعند، یعنی فاصله‌شان از مبدأ O برابر با $\frac{\lambda}{4}$ ، $\frac{3\lambda}{4}$ و بطور کلی مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ است، بعدهای این نقاط با بعدهای نقاط O و L و N پیوسته از لحاظ بزرگی مساوی ولی با علامت مخالفند. چنانکه پیش از این گفتیم، این نقاط با O در فاز مخالفند، سایر نقاط

محیط هریک با مبدأ ارتعاش اختلاف فازی دارند که بستگی با فاصله آنها از مبدأ O دارد.

۹۰- معادله حرکت نقطه‌ای از محیط قابل ارتجاع -

فرض کنیم که نقطه O مبدأ ارتعاشی به معادله $x_0 = a \sin \omega t$ یا $x_0 = a \sin 2\pi \frac{t}{T}$ باشد. می‌خواهیم معادله حرکت ارتعاشی نقطه‌ای مانند A را که به فاصله d از نقطه O است بدست آوریم (شکل ۸۰). حرکت ارتعاشی نقطه O پس از مدت زمان $\theta = \frac{d}{V}$ که در آن V سرعت



شکل ۸۰

سیر ارتعاشات در محیط است به نقطه A می‌رسد و A از وضعیت تعادل خارج شده آغاز به نوسان می‌کند. بنا بر این در لحظه t وضعیت نقطه A همان است که θ ثانیه قبل، یعنی در زمان $t - \theta$ ، نقطه O داشته است. پس اگر در لحظه t معادله مبدأ O به صورت $x_0 = a \sin \omega t$ باشد، معادله حرکت نقطه A در لحظه t، $x_A = a \sin \omega(t - \theta)$ خواهد بود. اگر به جای θ مقدارش را قرار دهیم،

$$x_A = a \sin \omega \left(t - \frac{d}{V} \right) = a \sin 2\pi \left(t - \frac{d}{V} \right) / T$$

$$x_A = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{VT} \right) \quad \text{یا}$$

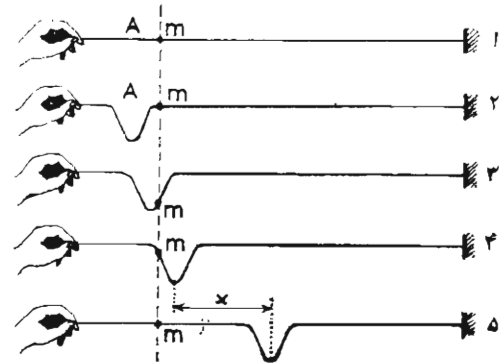
$$x_A = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right) \quad \text{یا}$$

معادله بالا را چنین می‌نویسیم:

$$x_A = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right) \quad \text{یا} \quad x_A = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d}{\lambda}\right)$$

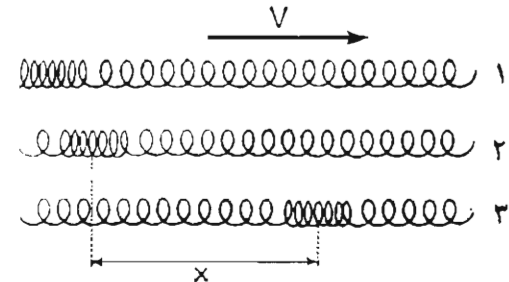
این معادله نشان می‌دهد که، حرکت A حرکتی است نوسانی با همان پریود T که اختلاف فازی برابر با $\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda}$ با حرکت مبدأ دارد.

۹۱- **ارتعاشات طولی و ارتعاشات عرضی** - اگر امتداد ارتعاشات عمود بر امتداد انتشار باشد، ارتعاشات را عرضی می‌نامند



شکل ۸۱

(شکل ۸۱). اگر ارتعاشات در امتداد انتشار انجام شود ارتعاشات را طولی می‌نامند (شکل ۸۲). به عبارت دیگر می‌توان گفت که در



شکل ۸۲

ارتعاشات عرضی نیرویی که ایجاد ارتعاش می‌کند عمود است بر امتداد انتشار، مانند ارتعاش طناب یا فنری که ضربه‌هایی در امتداد عمود بر طول فنر وارد آید، یا ارتعاشات آب در مثال بالا. ولی اگر نیرو در امتداد انتشار باشد، ارتعاشات طولی است، مانند ارتعاش فنری که آن را اندکی فشرده و رها سازیم.

تذکره - آنچه دربارهٔ ارتعاشات عرضی گفته شد دربارهٔ ارتعاشات طولی نیز صادق است.

تمرین

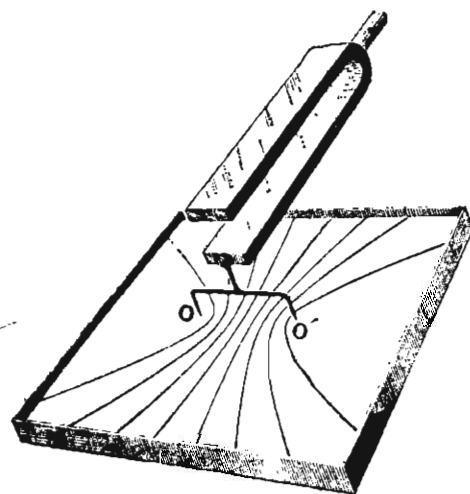
۱- دیپازونی ۱۰۰ ارتعاش در ثانیه انجام می‌دهد. معین کنید پریود ارتعاشات آن را.

۲- معین کنید طول موج ارتعاشات صوتی را که دیپازون مسئله ۱ در هوا ایجاد می‌کند در صورتی که سرعت سیر ارتعاشات صوتی در هوا مساوی 340 m/s باشد.

۳- قطرات آبی منظمی از قراره ۸۰ قطره در دقیقه بر روی سطح حوضی می‌چکد. فاصلهٔ دو برآمدگی متوالی 45 cm است. تعیین کنید سرعت سیر امواج را در آب.

۴- دامنهٔ یک حرکت نوسانی 10 mm و تواتر آن برابر است با ۵۰. به فرض آنکه در لحظهٔ صفر بعد نوسان $5 \text{ mm} +$ باشد، بعدهای ممکن این حرکت نوسانی را در لحظه‌های 0.2825 s و 0.285 s بدست آورید.

مورد مطالعه قرار دهیم مشاهده می‌کنیم که بر روی جیوه خطوطی به شکل



شکل ۸۳

هندلولی پدید می‌آید که پیوسته در حال سکونند . بین دو هندلولی ساکن ، مایع برجسته بنظر می‌رسد. در این نقاط مایع با دامنه نوسان ماکزیمم مرتعش می‌شود (نوسان سریع ذرات سبب می‌شود که این قسمت پیوسته برجسته بنظر رسد) .

علت این امر آن است که نقاطی که فاصله‌شان از O و O' مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{4}$ است ، با این دو منبع همفازند . مکان هندسی این نقاط دوایری است به شعاع $\frac{\lambda}{4}$ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ و $\frac{7\lambda}{4}$ و $\frac{9\lambda}{4}$ و به مرکز O و O' که در شکل ۸۴ با دایره‌های پر نمایش داده شده است . همچنین نقاطی که فاصله‌شان از دو منبع مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ است در هر لحظه با دو منبع ارتعاشی در فاز مخالفند و مکان هندسی این نقاط نیز دوایری است به شعاع‌های $\frac{\lambda}{4}$ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ و $\frac{7\lambda}{4}$ و $\frac{9\lambda}{4}$ که در شکل ۸۴ با دوایر نقطه‌چین نمایش داده شده‌اند . نقطه M ، که در

تداخل امواج

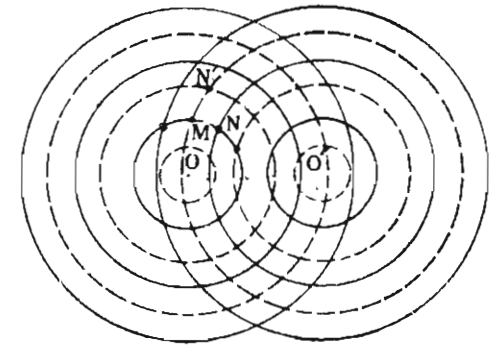
مقدمه - هرگاه دو منبع ارتعاشی O و O' ارتعاشانی در محیط قابل ارتجاعی بفرستند، این ارتعاشات داخل یکدیگر شده و، بدون آنکه مانع یکدیگر شوند، چنان به حرکت خود ادامه می‌دهند که گویی هر يك از دو منبع ارتعاشی O و O' بتنهایی وجود دارد . حرکت هر نقطه از محیط در هر لحظه برآیند دو حرکتی است که از دو منبع ارتعاشی O و O' بدان می‌رسد .

۹۲ - تداخل امواج (Interference) - تداخل کیفیتی است که در يك محیط قابل ارتجاع وقتی پدید می‌آید که دو حرکت ارتعاشی که از حیث پریود و امتداد یکسانند با یکدیگر ترکیب شوند .

حالت I - ترکیب دو حرکت ارتعاشی همفاز که پریود و امتداد نوسان آنها یکی است .

آزمایش - در بالای طشتکی پراز جیوه ، يك دیابازون الکتریکی قرار گرفته است . بدیکی از دوشاخه آن میله قائمی متصل شده که دارای دوشاخه O و O' است (شکل ۸۳) . چون دیابازون را به ارتعاش درآوریم ، O و O' نیز ارتعاشانی عمود بر سطح جیوه انجام می‌دهند که پریود ، فاز ، دامنه و امتداد آنها یکسان است . حال اگر سطح جیوه را

محل تلاقی يك دایره بر به مرکز O و يك دایره نقطه چین به مرکز O' واقع است ، همواره ساکن می ماند ، زیرا حرکت این نقطه بر آیند دو حرکت ارتعاشی است که دائماً متساوی و مختلف الجبهت هستند و در نتیجه یکدیگر را خنثی می کنند . مثلاً فاصله



شکل ۸۴

نقطه M از دو منبع O و O' برابر :

$$MO = d = \frac{2\lambda}{2}$$

$$MO' = d' = \frac{5\lambda}{2} \text{ و}$$

است و چنانکه مشاهده

می شود اختلاف $d' - d$ برابر $\frac{3\lambda}{2}$ است . بطور کلی :

هر نقطه ای که مانند M در محل تلاقی يك دایره بر و يك دایره نقطه چین واقع باشد همواره ساکن می ماند . اختلاف فاصله چنین نقطه ای از دو منبع ارتعاشی مضرب فردی از $\frac{\lambda}{2}$ است .

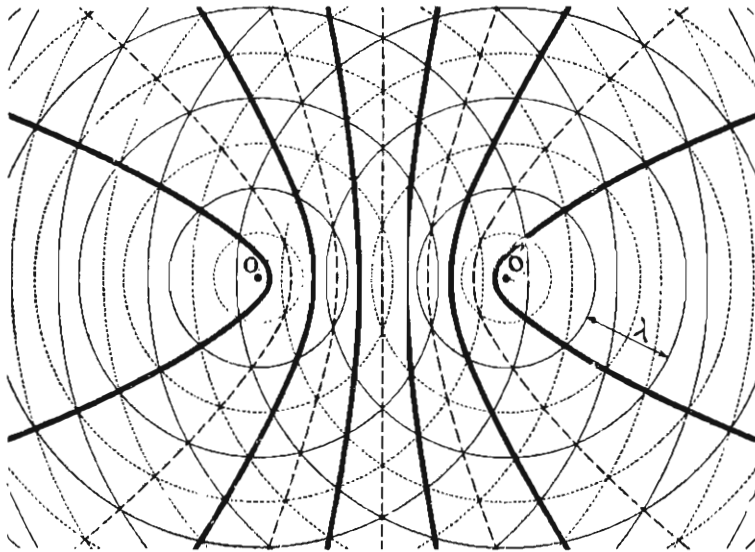
$$d' - d = (2K + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{یعنی :}$$

واضح است که مکان هندسی این نقاط هذلولیهایی است بدکانون O و O' که آنها را هذلولیهای ساکن می نامند . در شکل ۸۵ مجموعه این هذلولیها با خط پر نمایش داده شده اند . برعکس اگر نقاطی مانند N و N' را در نظر بگیریم که بر روی دو دایره بر یا دو دایره نقطه چین (شکل ۸۴) واقع شده اند ، حرکت این نقاط منتهی دو حرکت ارتعاشی

است که پیوسته بعدشان متساوی و هم علامت (همفاز) و در نتیجه دامنه نوساناتشان ماکزیمم و برابر $2a$ (دو برابر دامنه هر يك از دو منبع ارتعاشی) خواهد بود و بسببش مشاهده می شود که اختلاف فاصله این نقاط از دو منبع ارتعاشی مضرب زوجی است از $\frac{\lambda}{2}$.

$$d' - d = 2K \frac{\lambda}{2}$$

یعنی :



شکل ۸۵

واضح است که مکان هندسی این نقاط نیز هذلولیهایی است بدکانون O و O' که در شکل ۸۵ نقطه چین نمایش داده شده و به هذلولیهای ماکزیمم حرکت موسومند .

حالت II - تداخل بین دو حرکت ارتعاشی که امتداد، پرید و فاز آنها یکسان ولی دامنه نوسان آنها متفاوت است.

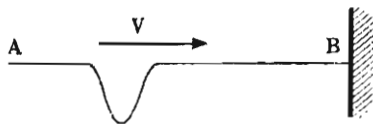
با استدلالی نظیر استدلال حالت پیش دیده می شود که نقاطی که اختلاف فواصلشان $(d' - d)$ از دو منبع ارتعاشی مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{2}$ یعنی $d' - d = 2K \frac{\lambda}{2}$ است، دامنه حرکتشان ماکزیمم و برابر با $A = a + a'$ خواهد بود (a دامنه نوسان O و a' دامنه نوسان O') و این نقاط بر روی هذلولیهای ماکزیمم حرکت واقعند. ولی نقاطی که تفاضل فواصلشان از دو منبع ارتعاشی مضرب فردی از $\frac{\lambda}{2}$ یعنی $d' - d = (2K + 1) \frac{\lambda}{2}$ است، دامنه نوساناتشان مینیمم و برابر با $A = a' - a$ خواهد بود و بر روی هذلولیهای مینیمم حرکت واقعند.

انعکاس امواج

امواج ساکن

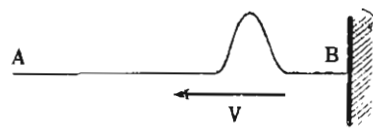
تاکنون فرض بر این بود که تغییر شکل ارتعاشی در محیط همگن نامحدودی منتشر می شود. اکنون بینیم که اگر تغییر شکل به مانعی برخورد کند، یعنی جنس محیط عوض شود، چه روی خواهد داد.

۹۳ - مانع سخت - آزمایش - یک سر لوله کائوچویی AB را به نقطه ثابت B متصل می کنیم و بر نقطه A ضربه ای وارد می سازیم (شکل ۸۶). مشاهده می کنیم که تغییر شکل با سرعت ثابتی در امتداد لوله های شکل ۸۶ منتشر می شود تا به نقطه B برسد، سپس تغییر شکل از B به A باز می گردد و دارای مشخصات زیر است:



رو به پایین است.

(ب) در جهت مخالف تغییر شکل اصلی و با همان سرعت منتشر می شود.



شکل ۸۶

(ج) از هر جهت، جز از لحاظ راستا. مشابه با تغییر شکل اصلی

حالت II - تداخل بین دو حرکت ارتعاشی که امتداد، پریود و فاز آنها یکسان ولی دامنه نوسان آنها متفاوت است.

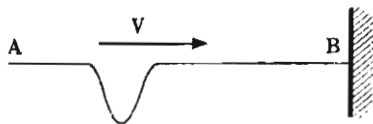
با استدلالی نظیر استدلال حالت پیش دیده می شود که نقاطی که اختلاف فواصلشان $(d' - d)$ از دو منبع ارتعاشی مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{2}$ یعنی $d' - d = 2K \frac{\lambda}{2}$ است، دامنه حرکتشان ماکزیمم و برابر با $A = a + a'$ خواهد بود (a دامنه نوسان O و a' دامنه نوسان O') و این نقاط بر روی هذلولیهای ماکزیمم حرکت واقعند. ولی نقاطی که تفاضل فواصلشان از دو منبع ارتعاشی مضرب فردی از $\frac{\lambda}{2}$ یعنی $d' - d = (2K + 1) \frac{\lambda}{2}$ است، دامنه نوساناتشان مینیمم و برابر با $A = a' - a$ خواهد بود و بر روی هذلولیهای مینیمم حرکت واقعند.

انعکاس امواج

امواج ساکن

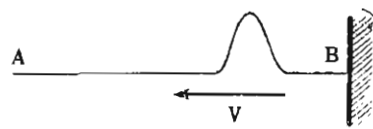
تاکنون فرض بر این بود که تغییر شکل ارتعاشی در محیط همگن نامحدودی منتشر می شود. اکنون بینیم که اگر تغییر شکل به مانعی برخورد کند، یعنی جنس محیط عوض شود، چه روی خواهد داد.

۹۳ - مانع سخت - آزمایش - یک سر لوله کائوچویی AB را به نقطه ثابت B متصل می کنیم و بر نقطه A ضربه ای وارد می سازیم (شکل ۸۶). مشاهده می کنیم که تغییر شکل با سرعت ثابتی در امتداد لوله های شکل ۸۶ منتشر می شود تا به نقطه B برسد، سپس تغییر شکل از B به A باز می گردد و دارای مشخصات زیر است:



رو به پایین است.

(ب) در جهت مخالف تغییر شکل اصلی و با همان سرعت منتشر می شود.



شکل ۸۶

(ج) از هر جهت، جز از لحاظ راستا. مشابه با تغییر شکل اصلی

است. بطور کلی، ارتعاشی که در امتداد AB منتشر می‌شود، پس از برخورد به یک مانع سخت عمود بر AB ارتعاشی بوجود می‌آورد مشابه با ارتعاش اصلی و در امتداد BA . گویند که ارتعاش در B منعکس شده است و تغییر شکلی که بوجود می‌آید **ارتعاش یا موج منعکس** است. آزمایش فوق انعکاس یک ارتعاش عرضی را نشان می‌دهد. همین آزمایش را می‌توان در باره یک ارتعاش طولی انجام داد و به همان نتیجه رسید.

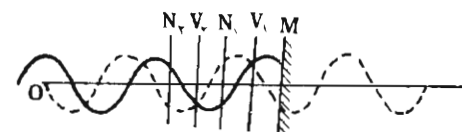
بطور کلی اگر معادله حرکت ارتعاشی تابش $x_1 = a \sin \omega t$ باشد،

حرکت ارتعاشی منعکس

دارای معادله:

$$x_2 = -a \sin \omega t$$

خواهد بود. شکل ۸۷



شکل ۸۷

نشان می‌دهد که موجهای تابش و منعکس مختلف‌العلامتند.

۹۴ - مانع نرم - آزمایش - اگر انتهای طناب آزاد باشد،

آزمایش نشان می‌دهد که در این حالت نیز در انتهای B انعکاس صورت می‌گیرد (شکل ۸۸). در فیزیک اینگونه انعکاس را که در فصل مشترک یک جسم سخت (مثلاً طناب) و یک جسم نرم (مثلاً هوا) صورت می‌گیرد **انعکاس بر روی مانع نرم** می‌نامند.

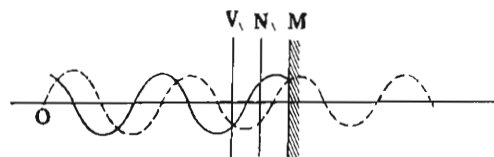
انعکاس بر روی مانع نرم برعکس مانع سخت بدون تغییر علامت صورت می‌گیرد، چه نقطه واقع بر روی مانع آزاد است و می‌تواند کاملاً مرتعش شود. بنا بر این اگر معادله امواج تابش بر روی مانع



شکل ۸۸

به صورت $x_1 = a \sin \omega t$ باشد معادله امواج منعکس نیز برای همان نقطه و در همان لحظه به صورت $x_2 = a \sin \omega t$ خواهد بود.

در شکل ۸۹



بر روی مانع نرم M ،

بعد امواج تابش و

منعکس (بر و نقطه -

شکل ۸۹

چین) دارای یک علامت هستند.

امواج ساکن حاصل از انعکاس

۹۵ - امواج ساکن - پس از آنکه یک موج تابش با مانعی

برخورد کرد و منعکس شد، موج منعکس و موج تابشی که در خلاف جهت آن در حرکت است بایکدیگر ترکیب می‌شوند و ارتعاشات خاصی در محیط ایجاد می‌کنند. این ارتعاشات را **امواج ساکن** می‌نامند.

بدین ترتیب، چنانکه در ترکیب دو حرکت نوسانی دیدیم، بعضی از نقاط محیط همواره ساکن می‌مانند. این نقاط را **گره** می‌نامند. بعضی دیگر مرتعش می‌شوند ولی دامنه نوسان آنها متفاوت است. نقاطی که در وسط دو گره متوالی هستند، دامنه نوساناتشان ماکزیمم است و شکم نام دارند.

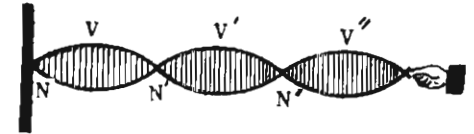
چنانکه دیدیم بر روی مانع سخت یک گره و بر روی مانع نرم یک شکم ایجاد می‌شود. محاسبه نشان می‌دهد که فاصله بین یک گره و یک شکم $\frac{\lambda}{4}$ است و فاصله دو گره یا دو شکم متوالی $\frac{\lambda}{2}$ است و همواره بین دو

۱ - امواج ساکن بطور کلی حالت خاصی است از تداخل امواج.

در امواج ساکن دو حرکت ارتعاشی در جهتهای مخالف یکدیگر بر روی خط مستقیم منتشر می‌شوند و دارای پریود و دامنه نوسان مساویند.

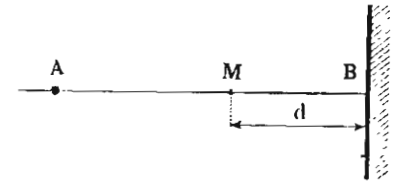
گره متوالی يك شكم و بين دو شكم متوالی يك گره وجود دارد .

آزمایش - یکی از دو انتهای فنر یا طناب کائوچویی را در نقطه‌ای ثابت می‌کنیم . اگر انتهای دیگر آن را در دست گرفته منظمآ در امتداد قائم حرکت دهیم ، مشاهده خواهیم کرد که اگر تواتر حرکت مقدار مناسبی باشد ، طناب به شکل خاص (شکل ۹۰) حرکت می‌کند و يك عده نقاط در طول طناب ، از جمله نقطه ثابت ، همواره ساکن می‌مانند (نقاط N) و این نقاط همان گره‌هاست ، در حالی که در وسط گره‌ها دامنه نوسانات ماکزیمم است (نقاط V) و این نقاط همان شکم‌هاست .



شکل ۹۰

۹۶ - تعیین جای گره‌ها و شکم‌ها - ۱ - مانع سخت - نقطه M که به فاصله d از مانع سخت قرار دارد در نظر می‌گیریم (شکل ۹۱) . حرکت نقطه M در هر لحظه



شکل ۹۱

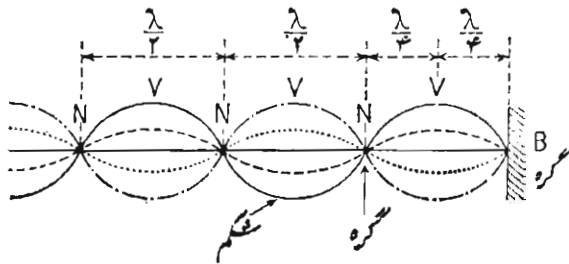
ترکیب دو حرکت ارتعاشی است . یکی حرکتی که موج تابش و دیگری حرکتی که موج منعکس ایجاد می‌کند . اگر موجهای تابش و منعکس در این نقطه با یکدیگر در فاز مخالف باشند (اختلاف راهشان مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ باشد) ، این نقطه همواره ساکن و گره خواهد بود و چون اختلاف راه بین موجهای تابش و منعکس در این نقطه برابر با $2d + \frac{\lambda}{4}$ است (زیرا که موج تابش مسافت d را طی می‌کند تا در نقطه O به مانع سخت برسد و در آنجا به علت

انعکاسی که با تغییر علامت صورت می‌گیرد اختلاف راهی برابر با $\frac{\lambda}{4}$ تولید می‌کند و سپس همان مسافت d را می‌پیماید تا مجدداً به نقطه M برسد) ، برای مواضع گره‌ها می‌توان نوشت :

$$d = K \frac{\lambda}{4} = 2K \frac{\lambda}{4} \quad \text{یا} \quad 2d + \frac{\lambda}{4} = (2K + 1) \frac{\lambda}{4}$$

یعنی نقاطی که فاصله آنها از مانع سخت مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{4}$ است

گره می‌باشند (بنابراین فاصله دو گره متوالی $\frac{\lambda}{2}$ است) (شکل ۹۲) .



شکل ۹۲

بر عکس اگر موجهای تابش و منعکس در این نقطه همفاز باشند (اختلاف راه مزبور مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{4}$ باشد) ، این نقطه با دامنه نوسان ماکزیمم مرتعش خواهد شد و شکم حرکت خواهد بود . بنابراین برای جای شکم‌ها می‌توان نوشت :

$$d = (2K - 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{یا} \quad 2d + \frac{\lambda}{4} = 2K \frac{\lambda}{4}$$

یعنی نقاطی که فاصله‌شان از مانع سخت مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ است شکم

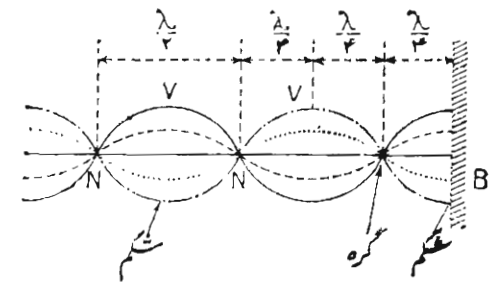
می‌باشند . بنابراین اولین شکم به فاصله $\frac{\lambda}{4}$ از مانع سخت واقع است .

۲ - مانع نرم - استدلال مانند سابق است فقط اختلاف راه بین موجهای تابش و منعکس $2d$ است، چه انعکاس بر روی مانع نرم بدون تغییر علامت صورت می گیرد. چون گره در نقاطی تشکیل می شود که موجهای تابش و منعکس در فاز مخالفند، می توان نوشت:

$$d = (2K + 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{یا} \quad 2d = (2K + 1) \frac{\lambda}{2}$$

یعنی نقاطی که فاصله شان از مانع نرم مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ است گره می باشند.

اولین گره به فاصله $\frac{\lambda}{4}$ از مانع نرم واقع است (شکل ۹۳) و بالعکس در نقاطی که موج تابش و موج منعکس همفازند شکم



شکل ۹۳

تشکیل می شود و در این صورت می توان نوشت:

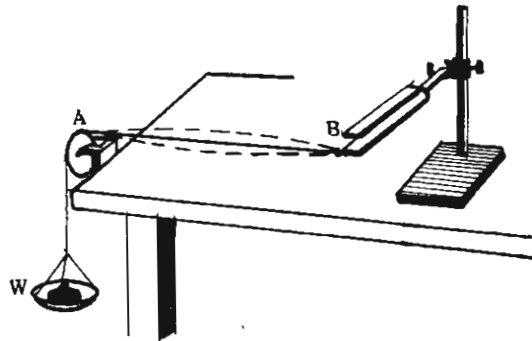
$$d = 2K \frac{\lambda}{4} \quad \text{یا} \quad 2d = 2K \frac{\lambda}{2}$$

یعنی نقاطی که فاصله شان از مانع نرم مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{4}$ است شکم

می باشند (پس فاصله دو شکم $\frac{\lambda}{2}$ است).

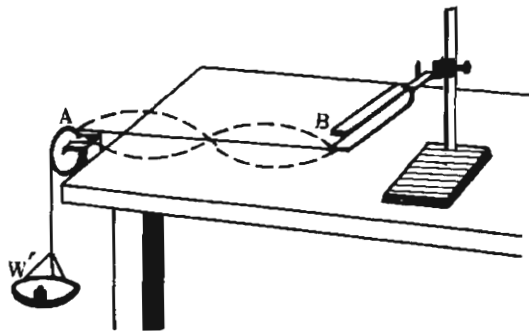
۹۷ - آزمایش ملد - I - مانع سخت - یکی از دو سر یک نخ

ابریشی را مطابق شکل ۹۴ به یکی از شاخه های دیپازونی بسته و سر دیگر آن را پس از عبور دادن از یک قرقره A به کفدای می بندیم و چند



شکل ۹۴

وزنه در کفه می گذاریم، اکنون دیپازون را به ارتعاش درمی آوریم و بتدریج از وزنه ها برمی داریم. کشش نخ بتدریج کم می شود و مشاهده می کنیم که به ازای وزنه معین W تار چنان مرتعش می شود که دو گره در دو سر



شکل ۹۵

و یک شکم در وسط آن پدید می آید (شکل ۹۴). حال اگر نیروی کشش را باز هم کم کنیم، مشاهده می شود که به ازای وزنه دیگر W' مجدداً تار به ارتعاش در آمده و در طول آن سه گره و دو شکم پدید

می آید (شکل ۹۵) و به همین طریق با کم کردن نیروی کشش ، برای بار سوم تار با ۴ گره و ۳ شکم به ارتعاش درمی آید .

نتیجه این آزمایش را چنین می توان توجیه کرد که ارتعاشات دیابازون در نقطه A منعکس و با امواج تابش ترکیب می شوند و انعکاس دیگر در نقطه B رخ می دهد (مانع سخت) . آشکار است که وقتی در طول نخ امواج ساکن ایجاد خواهد شد که طول موج به میزانی باشد که دو گره این امواج ساکن بر A و B منطبق شود . لازمه وجود این شرط آن است که طول تار مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{4}$ باشد . در آزمایش بالا ، طول تار در بار اول شامل $\frac{2\lambda}{4}$ و در بار دوم $\frac{4\lambda}{4}$ و در بار سوم $\frac{6\lambda}{4}$ و ... است .

در اینجا ، چون طول تار ثابت است ، برای تأمین این شرط باید λ را تغییر داد . از طرفی چون $\lambda = VT$ ، برای کم کردن λ باید V را کم کرد و چنانکه بعداً خواهیم دید چون $V = \sqrt{\frac{F}{m}}$ است ، باید F یعنی نیروی کشش را کم کرد تا حالات مختلف پدید آید .

تذکره - آزمایش بالا را می توان مطابق شکل ۹۶ با تغییر طول تار نیز انجام داد ، بدین طریق که وزنه را ثابت نگاه می داریم (پس از آزمایش اول) و برای حالات بعدی طول تار را به وسیله صفحه ای تغییر می دهیم .

II - مانع نرم - يك سیم فلزی سفید رنگ (برای آنکه بهتر دیده شود) اختیار می کنیم . يك سر سیم را



شکل ۹۶

به دیابازونی متصل می کنیم و انتهای دیگر آن (B) را آزاد می گذاریم . اگر طول سیم چنان اختیار شود که شامل مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ باشد ، امواج ساکن در سیم ایجاد خواهد شد و همواره در انتهای ثابت يك گره و در انتهای آزاد يك شکم وجود دارد (شکل ۹۷) .

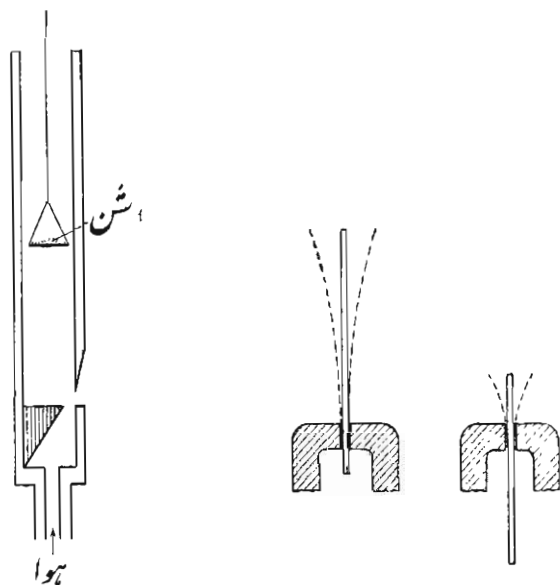


شکل ۹۷

میلد با صوت همراه است (شکل ۹۹). از این آزمایش معلوم می شود که ، هنگامی که تواتر ارتعاشات کم است صوت شنیده نمی شود و چون تواتر ارتعاشات به میزان معینی رسید بر روی گوش تأثیر می کند . این گونه ارتعاشات را ارتعاشات صوتی می نامند .

صوت

آزمایش ۳ - يك غشای نازك كائوچویی اختیار می كنیم و مقداری



شکل ۱۰۰

شکل ۹۹

شن نرم بر روی آن می ریزیم . سپس غشای كائوچویی را متدرجاً در لوله صوتی که در حال ارتعاش و ایجاد صوت است وارد می كنیم . برای آنکه داخل لوله دیده شود يك جدار آن از شیشه ساخته شده است . مشاهده می كنیم که در بعضی از نقاط شنها بشدت می جهند . پس معلوم می شود که ایجاد صوت در لوله بدعلت ارتعاش هوای داخل لوله است (شکل ۱۰۰) .

۹۸ - ایجاد صوت - صوت از ارتعاشات سریع اجسام پدید

می آید .

آزمایش ۱ - هرگاه تار فلزی مانند AB را در دو نقطه ثابت كنیم (شکل ۹۸) و وسط آن را از حال تعادل خارج و به حال خود رها سازیم ، تار مرتعش می شود و صوتی ایجاد می کند . در ضمن بتدریج



شکل ۹۸

که از دامنه نوسان تار کم می شود، صوت نیز خفیف تر خواهد شد و هنگامی که تار از ارتعاش ایستاد صوت نیز از بین می رود .

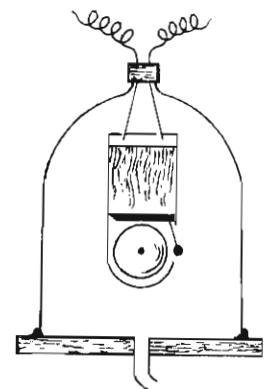
آزمایش ۲ - یکی از دو انتهای میله ای را در گیره ای محکم می كنیم . سپس انتهای آزاد آن را از حال تعادل خارج کرده رها می كنیم . مشاهده می شود که میله به ارتعاش در می آید . ولی اگر طول میله زیاد باشد ، تواتر ارتعاشات کم است و صوتی شنیده نمی شود . حال اگر تدریجاً طول میله را کم كنیم ، هنگامی می رسد که ارتعاشات

از آزمایشهای متعدد معلوم شده است که همواره صوت از ارتعاش اجسام بوجود می آید و فقط صوتهایی را گوش می تواند درک کند (بشنود) که تواتر شان بین ۲۰ و ۲۰۰۰۰ ، یعنی پریود آنها بین $\frac{1}{20000}$ و $\frac{1}{20}$ ثانیه باشد .

انتشار صوت

۹۹ - صوت در خلأ منتشر نمی شود - صوت در خلأ منتشر نمی شود و برای انتشار به يك محیط مادی احتیاج دارد .

آزمایش - زنگ اخباری را در زیر سرپوش يك تلمبه تخلیه هوا می گذاریم . در ابتدا که سرپوش از هوا خالی نشده است صدای زنگ به گوش می رسد ، ولی تدریجاً که هوای داخل سرپوش تخلیه می شود ، صدای زنگ نیز تدریجاً خفیف تر می شود و چون خلأ تقریباً کامل در زیر سرپوش ایجاد شد ، با آنکه چکش به کاسه زنگ می خورد ، صدایی شنیده نمی شود (شکل ۱۵۱) . باید دانست که مایعات بهتر از گازها و جامدات بهتر از مایعات صدا را منتشر می سازند و انتشار صوت نیز مانند دیگر ارتعاشات به صورت موج انجام می شود . انتشار صوت در گازها فقط



شکل ۱۵۱

به صورت امواج طولی ، در مایعات بیشتر به صورت امواج طولی و در جامدها ، هم به صورت امواج طولی و هم به صورت امواج عرضی ، صورت می گیرد .

سرعت صوت

۱۰۰ - آزمایشهای روزانه نشان می دهد که صوت آنأ منتشر نمی شود ، بلکه برای انتشار آن مدتی وقت لازم است . مثلاً رعد و برق هر دو در يك لحظه ایجاد می شوند ، ولی نخست نور برق را می بینیم و پس از آن صدای رعد را می شنویم . همچنین اگر از دور به ضربه ای کد يك نفر با چکش روی آهن می زند نگاه کنیم ، نخست نواختن ضربه را می بینیم و پس از مدتی صدای آن را می شنویم . از آزمایشهای متعدد و با توجه به اینکه ارتعاشات صوتی مانند دیگر ارتعاشاتند ، می توان نتیجه گرفت که :

- ۱ - صوت آنأ در فضا منتشر نمی شود ؛
- ۲ - سرعت صوت کمتر از سرعت نور است ؛
- ۳ - در يك محیط همگن سرعت سیر صوت مقداری است ثابت ، یعنی انتشار صوت یکنواخت است ؛
- ۴ - سرعت صوت بستگی به تواتر و دامنه نوسان (شدت و ضعف صوت) آن ندارد ؛
- ۵ - سرعت صوت بستگی به دما و جنس محیط دارد . مثلاً ، در صفر درجه ، در هوا ۳۳۱ متر و در ئیدروژن ۱۴۳۵ متر در ثانیه است .

اندازه گیری سرعت صوت

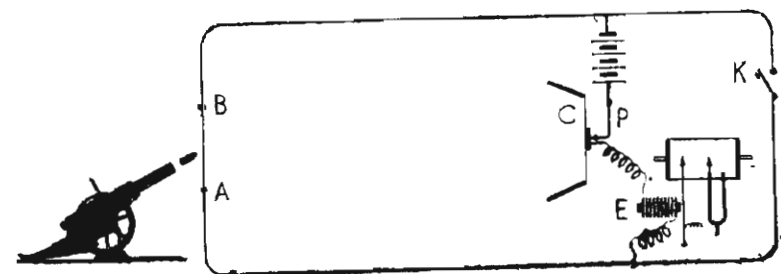
۱۰۱ - I - سرعت صوت در هوا - برای اندازه گیری سرعت

صوت در هوا روشهای مختلف متداول است .

الف - اندازه گیری مستقیم در هوا - نخستین اندازه گیریها در هوای آزاد، به سال ۱۷۳۸، میان دو ایستگاه به فاصله $23 \frac{1}{2} \text{ km}$ انجام گرفت. توبی در یکی از دو ایستگاه قرار داده شده بود، و بمحض شلیک توب، مدت زمان بین دیدن نور و شنیدن صدای توب، در ایستگاه دیگر اندازه گیری شد. با صرف نظر کردن از مدت بسیار کوتاه لازم برای رسیدن نور از يك ایستگاه به ایستگاه دیگر (حدود 100000^{th} ثانیه) نسبت به مدت لازم برای رسیدن صوت از ایستگاهی به ایستگاه دیگر (حدود ۶۹ ثانیه)، مدت زمان اندازه گیری شده، مدت انتشار صوت را بین دو ایستگاه نشان می دهد. نتیجه اندازه گیری چنین بود:

$$V = 332 \text{ m/s در } 0^{\circ} \text{C}$$

در سال ۱۸۶۸ رنیو همین اندازه گیری را در مسافت ۲۸۵۰ متر به روش زیر انجام داد و سرعت صوت را مقداری بین 330 m/s و 331.7 m/s بدست آورد.

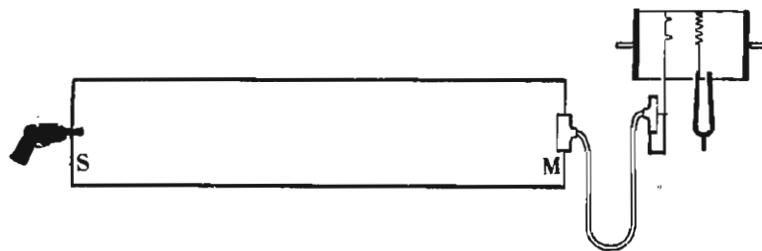


شکل ۱۰۲

بمحض شلیک توب، گلوله سیم AB (شکل ۱۰۲) را پاره می کند. در نتیجه، مدار الکتریکی پاره می شود و نوک قلم مغناطیس الکتریکی دندانه ای بر روی استوانه ثابت رسم خواهد کرد. در همین

لحظه، فوراً مدار را به وسیله کلید K می بندند (در نتیجه دندانه دیگری بر روی استوانه رسم می شود که در اندازه گیری دخالتی ندارد). پس از آنکه صوت به غشای C رسید، آن را مرتعش می کند و آونگ p که مدار را بسته است از غشا دور می شود و مدار الکتریکی دوباره قطع می شود. آن وقت مدت انتشار صوت از راه مقایسه ارتعاش ثبت شده با ارتعاشات ثبت شده دیاپازونی که ثانیه و اعشار ثانیه را می زند، بدست خواهد آمد.

ب - اندازه گیری در فضای مسدود - شکل ۱۰۳ اجمالاً روش آزمایش را نشان می دهد. صوتی که در S تولید می شود، چند بار، بر اثر



شکل ۱۰۳

انعکاس، طول لوله را می بیناید. غشای M هر بار رسیدن صوت را به يك طبل ماده منتقل می کند. با ثبت ارتعاشات و مقایسه آنها با ارتعاشات ثبت شده يك دیاپازون، مدت زمان لازم برای آنکه صوت دو بار طول لوله را، در رفتن و بازگشتن، بپیماید بدست خواهد آمد.

۱۰۲-II - سرعت صوت در گازهای مختلف - از آزمایشهایی که برای تعیین سرعت صوت در گازهای مختلف صورت گرفته نتیجه شده است

که سرعت صوت در گازهای مختلف به عوامل زیر بستگی دارد :

الف - جنس گاز - آزمایش نشان می‌دهد که سرعت سیر صوت در گازهای مختلف متفاوت است ، و هرچه گاز سبکتر باشد ، سرعت صوت بیشتر است و در گازهایی که از حیث اتمیسیته (عده اتمهای موجود در يك مولکول جسم ، مثلاً O_2 و N_2 دو اتمی و CO_2 سه اتمی هستند) یکسانند ، سرعت صوت نسبت معکوس با جذر چگالی نسبی گاز دارد ، یعنی $\frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{d_0}{d}}$ ، مثلاً چگالی اکسیژن نسبت به هوا $\frac{22}{29}$ و از آن ییدروژن $\frac{2}{29}$ است .

$$V_H = 4V_0 \text{ یعنی } \frac{V_0}{V_H} = \sqrt{\frac{\frac{2}{29}}{\frac{22}{29}}} = \frac{1}{4}$$

ب - دما - آزمایش نشان می‌دهد که سرعت صوت با ازدیاد دما افزایش می‌یابد . سرعت صوت در گازها با جذر دمای مطلق گازها نسبت مستقیم دارد .

$$V = V_0 \sqrt{1 + \alpha t} \quad \text{یا} \quad \frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

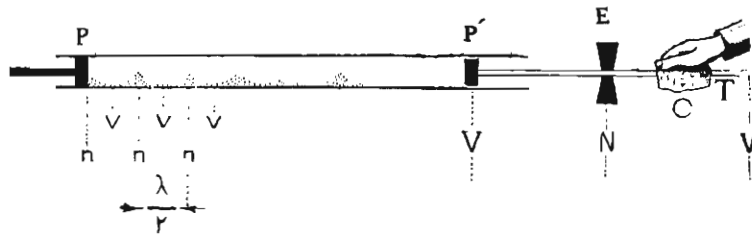
که در آن V سرعت در دمای $t^\circ C$ و V_0 سرعت در $0^\circ C$ و $\alpha = \frac{1}{273}$ است .

ج - فشار - آزمایش نشان می‌دهد که در دمای ثابت سرعت صوت

در يك گاز در فشارهای مختلف یکسان است . پس سرعت صوت بستگی به فشار گاز ندارد .

تحقیق تجربی نتایج بالا

۱۰۳ - لوله کونت (Kundt) - لوله کونت لوله‌ای است به طول يك متر و به قطر ۳cm تا ۴cm که در آن مقداری خاک اره نرم پاشیده شده است . يك انتهای لوله به وسیله پیستون متحرك p بسته شده است . انتهای دیگر لوله با چوب پنبه‌ای (E) محکم بسته شده که از میان آن



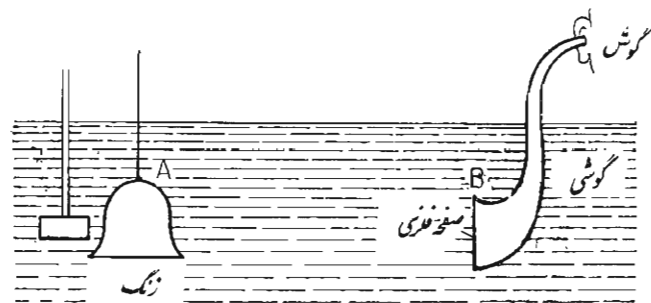
شکل ۱۰۴

يك میله فولادی افقی (T) می‌گذرد . به سر این میله يك قرص p' چنان متصل است که با جدار لوله کاملاً تماس ندارد و می‌تواند آزادی به ارتعاش درآید (شکل ۱۰۴) . اگر میله T را با يك آرشه و یولون یا کاغذ سمباده یا پارچه نمداری در جهت طول مالش دهیم ، میله T ارتعاشانی در هوای لوله می‌فرستد که پس از برخورد به پیستون p منعکس می‌شوند . اگر موضع پیستون p بطور مناسب اختیار شده باشد ، امواج تابش و منعکس با یکدیگر ترکیب شده و يك دستگاه امواج ساکن در لوله پدید می‌آید بطوری که در دو انتهای لوله دو گره و بین این دو گره عده دیگری گره و شکم ایجاد می‌شود . در این آزمایش می‌توان با سانی فاصله دو

گروه $(\frac{\lambda}{v})$ را اندازه گرفت و در نتیجه طول موج λ و از رابطه $\lambda = VT$ سرعت صوت V در گاز لوله را بدست آورد، مشروط بر آنکه بتوان T یعنی پریود ارتعاشات میله را حساب کرد. برای اندازه گیری T ممکن است یک بار آزمایش را در هوا که سرعت صوت در آن اندازه گرفته شده است (طریقه رنیو) اجرا کرد و با تعیین طول موج آن، T را بدست آورد. آزمایش را یک بار با هوا و بار دیگر با گاز مورد مطالعه اجرا کرده و طول موج λ و λ' را اندازه می گیرند و از تقسیم دو رابطه $\lambda = VT$ و $\lambda' = V'T$ بر یکدیگر نتیجه می شود: $\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{V}{V'}$.

از این رابطه می توان V' یعنی سرعت صوت در گاز مورد مطالعه را پیدا کرد. واضح است که می توان با تغییر شرایط دما، فشار و جنس گاز نتایج ذکر شده در بالا را تحقیق کرد.

۱۰۴ - III - سرعت صوت در آب - برای تعیین سرعت صوت در آب آزمایش زیر در آب دریاچه ژنوا انجام گرفته است. در نقطه A و در زیر آب زنگ بزرگی نصب شده است. به وسیله چکشی ضربه ای به زنگ



شکل ۱۰۵

وارد و در همان لحظه مقداری باروت در هوا مشتعل شده است. ناظری در نقطه B فاصله زمان بین رؤیت نور اشتعال باروت و شنیدن صدای زنگ را در آب به وسیله گوشی (شکل ۱۰۵)، اندازه گرفته و از تقسیم مسافت AB بر زمان اندازه گرفته شده سرعت صوت در آب بدست آمده است. در این آزمایش سرعت صوت در آب 8° برابر 1435 m/s بوده است.

۱۰۵ - IV - سرعت صوت در جامدها - برای تعیین سرعت صوت در جامدها، آزمایشی بر روی لوله ای از چدن به طول یک کیلومتر اجرا کرده اند. در انتهای لوله ضربه چکشی وارد کردند. ناظری در انتهای دیگر لوله دو صدا شنیده است: یکی صدایی که به وسیله چدن و دیگری صدایی که به وسیله هوا منتقل شده است. ناظر فاصله زمانی بین شنیدن این دو صدا را اندازه گرفته و از رابطه زیر سرعت صوت در چدن را بدست آورده اند:

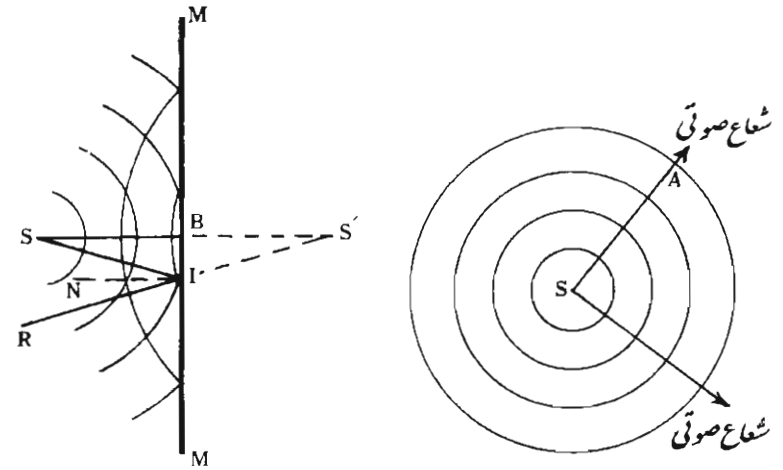
$$\frac{d}{V} - \frac{d}{x} = t$$

که در آن d طول لوله، V سرعت صوت در هوا، x سرعت صوت در چدن و t فاصله زمانی بین شنیدن دو صداست. از این آزمایش سرعت صوت در چدن 3570 m/s بدست آمده است.

انعکاس صوت

۱۰۶ - تعریف شعاع صوتی - می دانیم که از یک منبع ارتعاشی امواجی در محیط قابل ارتعاش در هر سو فرستاده می شود. اگر این

محیط همگن باشد، امواج در تمام جهات با يك سرعت حرکت می کنند، یعنی امواج کروی و مرکز آنها نقطه S است. منظور از شعاع صوتی خطی است مانند SA که در هریک از نقاطش بر موجی که در آن لحظه از نقطه مزبور می گذرد عمود است (شکل ۱۰۶). آشکار است که در موجهای کروی هر خط راستی که از منبع S می گذرد، يك شعاع صوتی



شکل ۱۰۶

است. چون امواج صوتی به مانع سختی برخورد کنند مانند دیگر امواج منعکس می شوند و گویی که از نقطه S' ، قرینه نقطه S نسبت به مانع، بوجود آمده اند (شکل ۱۰۷). پس موج تابش، پس از برخورد به مانع، موجی به مرکز S' تولید می کند و بنا براین شعاع تابش صوتی SI ، پس از برخورد به مانع، به صورت شعاع منعکس صوتی IR ، که امتداد مجازی آن از S' می گذرد، باز می گردد. پس قوانین انعکاس نور درباره اشعه صوتی نیز صادق است.

شکل ۱۰۷

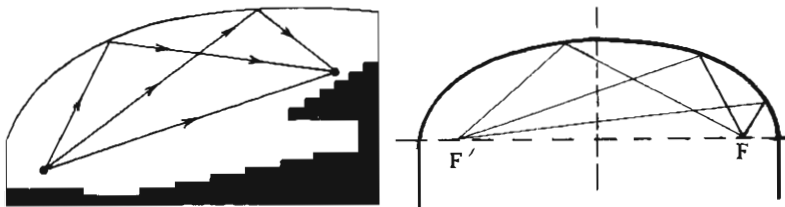
آزمایش ۱ - دو آینه مقعر M و M' در مقابل یکدیگر چنان قرار گرفته اند که محور اصلی آنها بر یکدیگر منطبق است. سهولت



شکل ۱۰۸

می توان دریافت که اشعه صوتی که از کانون یکی از دو آینه بتابد، پس از انعکاس بر آینه های M و M' ، در کانون دیگری جمع می شود. مثلاً اگر يك منبع صوتی ضعیف را (ساعت) در یکی از دو کانون بگذاریم، صدای آن را در کانون دیگر خواهیم شنید (شکل ۱۰۸).

آزمایش ۲ - به علت انعکاس اصوات بر روی سقفهای بیضی گون، دو نفر که در دو کانون F و F' باشند می توانند آهسته با یکدیگر صحبت کنند بی آنکه دیگران گفته های آنان را بشنوند (شکل ۱۰۹). از همین



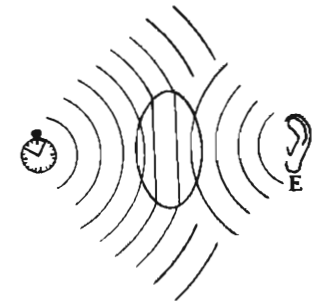
شکل ۱۰۹

شکل ۱۱۰

خاصیت در ساختمانهای سالنهای اپرا استفاده می شود. شکل ۱۱۰ سالن Pleyel را در پاریس نشان می دهد.

۱۰۷ - شکست صوت - هرگاه اشعه صوتی از محیطی به محیط دیگر که سرعت صوت در آنها متفاوت است ، وارد شود ، مانند اشعه نور ، در سطح جدایی این دو محیط می شکند . آزمایش زیر این پدیده را نشان می دهد :

آزمایش - عدسی همگرایی اختیار می کنیم و ساعتی را در فاصله ۲f از آن می گذاریم . هرگاه ناظری گوش خود را در پشت این عدسی و به فاصله ۲f از آن قرار دهد بخوبی صدای ساعت را می شنود در حالی که در حوالی این نقطه صدا خوب شنیده نمی شود (شکل ۱۱۱) . عدسی که برای این آزمایش بکار می رود از دو غشای لاستیکی تشکیل شده است و آنها را در دو طرف حلقه ای چسبانده اند و داخل این دو غشا از گاز CO_2 پر شده است .



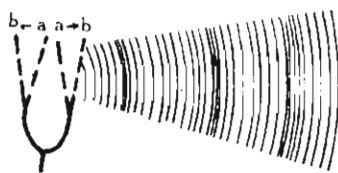
شکل ۱۱۱

۱۰۸ - پژواك (Echo) - پژواك عبارت از تکرار صوت است بر اثر انعکاس بر روی يك مانع . اگر فاصله منبع صوتی از مانع اقل از ۱۷ متر باشد ، صوت پس از برخورد به مانع منعکس می شود و مجدداً به گوش شنونده می رسد . مدت زمانی که صوت مسافت رفت و بازگشت به مانع را که اقل از ۳۴ متر است می پیماید ، اقل از $\frac{1}{10}$ ثانیه طول می کشد و چون اثر يك صدا ، پس از قطع آن ، بر روی گوش فقط $\frac{1}{10}$ ثانیه باقی می ماند ، شنونده این دو صدا را از یکدیگر تفکیک می کند . ولی

اگر فاصله کمتر از ۱۷ متر باشد ، اثر صوت تابش و صوت منعکس از یکدیگر تفکیک نمی شوند و فقط صدا کشیده تر به گوش می رسد . از این رو برای جلوگیری از انعکاس صوت در سالن سینماها ، باید به وسیله پرده یا گچ بری روی دیوارها ، ارتعاشات صوتی را جذب کنند و مانع تولید پژواك شوند .

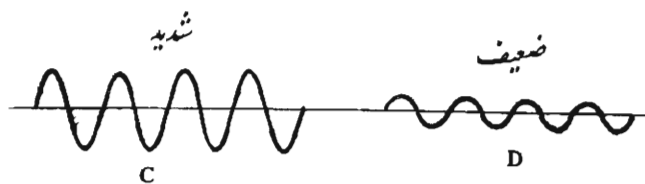
دارد که موج همراه خود می‌برد. هر قدر این انرژی بیشتر باشد، صوت را شدیدتر احساس می‌کنیم.

آزمایش نشان می‌دهد که هر قدر دامنه نوسان ارتعاشات صوتی



شکل ۱۱۳

بیشتر باشد صوت شدیدتر است. در شکل ۱۱۳ امواج حاصل از نوسان یک دیافازون و در شکل ۱۱۴ منحنی نمایش آن در دو حالت دیده می‌شود. صوت C که دامنه نوسانش بزرگتر است قویتر از صوت D است که دامنه نوسانش کوچکتر است.



شکل ۱۱۴

آزمایش - تار را از حالت تعادل دور کرده سپس رها کنید. صوتی ایجاد می‌شود که شدتش تدریجاً با کم شدن دامنه نوسان تار ضعیف‌تر می‌شود. آزمایش و محاسبات نشان می‌دهد که شدت یک صوت:

اولاً - با مجذور دامنه نوسان متناسب است؛

ثانیاً - نسبت معکوس با مجذور فاصله شنونده از منبع صوتی دارد.

خواص فیزیولوژیکی صوت

۱۰۹ - طبقه‌بندی اصوات - اصواتی که از منابع مختلف پدید می‌آیند همگی به گوش مطبوع نیستند. مثلاً صوت دیافازون خوشایند ولی صوتی که از کشیدن ناخن بر روی تخته تولید می‌شود نامطبوع است. اصواتی که مانند صوت دیافازون مطبوعند اصوات موسیقی و اصوات دیگر را غیر موسیقی یا صدا می‌نامند. در شکل ۱۱۲ منحنی a نمایش یک صوت موسیقی است (دیافازون) و منحنی b نمایش یک صداست. اصوات موسیقی به دو دسته تقسیم می‌شوند: اصوات ساده مانند صوت دیافازون



شکل ۱۱۲

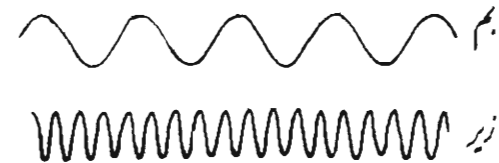
که از نوسانات سینوسی ساده تشکیل شده است و اصوات مرکب که از ترکیب چند صوت ساده سینوسی پدید می‌آیند.

۱۱۰ - مشخصات صوت - اصوات بدویله سه خاصیت ازهم تمیز داده می‌شوند: شدت، ارتفاع، و طنین.

I - شدت صوت - شدت یک صوت بستگی به انرژی مکانیکی

هر قدر از منبع صوتی دورتر شویم صوت با شدت کمتری شنیده می‌شود. باید دانست که اگر شدت صوت از میزان معینی کمتر باشد، آن صوت شنیده نمی‌شود و اگر خیلی زیاد باشد پرده گوش را می‌آزارد. این دو حد را **حد شنوایی و حد دردناکی** می‌نامند. پس حد شنوایی آن مقدار شدت صوت است که گوش از آن شروع به شنیدن می‌کند و حد دردناکی حدی است که شدت صوت اگر از آن حد تجاوز کند به گوش آزار می‌رساند. باید دانست که عوامل فرعی دیگری نیز از قبیل سطح منبع ارتعاشی و جنس محیط در شدت صوت دخالت دارند. به همین علت است که دیابازون و تار ویولون را بر روی جعبه‌هایی سوار می‌کنند (جعبه تقویت) تا با منبع ارتعاشی مرتعش و سبب تقویت صوت شوند. جنس محیط انتقال‌دهنده نیز در شدت صوت دخالت دارد و چنانکه دیدیم در محیط رقیق (گاز) صوت با سرعت و شدت کمتر و در محیط غلیظ (مایع و جامد) با سرعت و شدت بیشتر منتقل می‌شود.

II - **ارتفاع صوت** - ارتفاع خاصیتی است که در اصطلاح عادی آن را زیر و بم بودن صوت تعبیر می‌کنند. آزمایش نشان می‌دهد که ارتفاع صوت بستگی به تواتر صوت دارد. صوتهای زیر تواترشان بیش از



شکل ۱۱۵

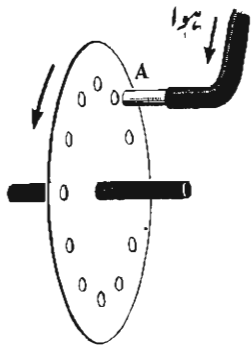
تواتر صوتهای بم است. اگر ارتعاشات دو دیابازون به طولهای متفاوت را ثبت کنیم (شکل ۱۱۵)، مشاهده می‌کنیم که دیابازونی که کوتاهتر

است تواترش بیشتر و ضمناً صدایش زیرتر از صدای دیابازون دیگر است. برای تعیین ارتفاع صوتهای موسیقی دو روش متداول است:

الف - روش ثبت - در این روش صوتها را بر روی استوانه دواری ثبت می‌کنند و با ثبت نوسانهای آونگی که ثانیه را می‌زند عدد ارتعاشاتی را که منبع صوتی در یک ثانیه انجام می‌دهد تعیین می‌کنند. با این روش می‌توان نشان داد که دو دیابازون که صوتهای یکسان تولید می‌کنند تواترشان یکی است. اینگونه صوتها را **همصدا** می‌نامند.

ب - روش همصدایی - در مواردی که ثبت اصوات میسر نباشد، از روش همصدایی استفاده می‌کنند. گوش انسان همصدا بودن دو صوت را کاملاً تشخیص می‌دهد. برای تعیین تواتر يك صوت از ایجاد همصدایی بین این صوت و منبع صوتی دیگری که تواتر آن معلوم است استفاده می‌کنند و این عمل به وسیله دستگاهی به نام سیرن (Sirène) انجام می‌شود.

سیرن دستگاهی است که به وسیله آن می‌توان صوتهای مختلفی



شکل ۱۱۶

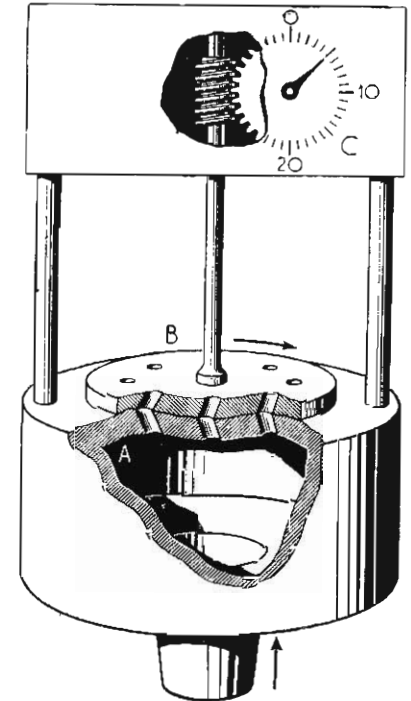
تولید کرد. سیرن از صفحه سوراخداری تشکیل شده است که با سرعت به دور محوری افقی دوران می‌کند (شکل ۱۱۶). اگر به وسیله لوله A جریان هوایی را بشدت متوجه سوراخها کنیم، وقتی که سرعت دوران کم است صوتی شنیده نمی‌شود و فقط خروج جریان هوا از

سوراخها با صداهای منقطعی همراه است. ولی چون تدریجاً بر سرعت

دوران صفحه سوراخدار بیفزاییم، هنگامی می‌رسد که سوتی ایجاد می‌شود. تواتر این صوت با سرعت دوران صفحه و عده سوراخهای آن متناسب است. اگر عده سوراخها مساوی p باشد و صفحه n دور در ثانیه بزند، تواتر صوت آن (N) از رابطه $N = n \times p$ محاسبه می‌شود.

يك نوع دیگر از سیرن از جعبه استوانه شکلی تشکیل شده است

که دارای لوله‌ای است که به وسیله آن هوا بشدت در استوانه وارد می‌شود. قسمت بالایی این استوانه به وسیله صفحه سوراخدار بسته شده است. سوراخها بطور منظم در اطراف محور A (شکل ۱۱۷) تعبیه شده‌اند. بر روی این صفحه سوراخدار، صفحه سوراخدار دیگری قرار گرفته است که عده سوراخهای آن برابر با عده سوراخهای این دو صفحه بطور مایل در برابر هم چنان قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱۸) که هوا، هنگام خروج از

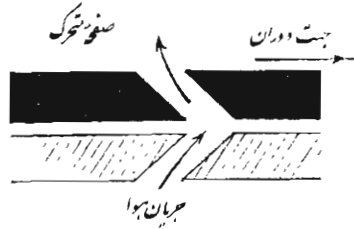


شکل ۱۱۷

سوراخها، صفحه بالایی را می‌چرخاند و در نتیجه صوتی ایجاد می‌شود، چه هنگامی که سوراخی از صفحه بالایی از مقابل سوراخ صفحه زیرین می‌گذرد يك ارتعاش تولید می‌شود.

طرز تعیین ارتفاع يك صوت به وسیله سیرن - صوتی را که می‌خواهیم

ارتفاع آن را بدست آوریم در مقابل سیرن ایجاد می‌کنیم، سپس شدت دمیدن در سیرن را چنان تنظیم می‌کنیم که بین این صوت و صوت سیرن همصدایی ایجاد شود. در همین لحظه عده دورهای سیرن



شکل ۱۱۸

را به وسیله دور شماری که بر روی محور دستگاه تعبیه شده است تعیین می‌کنیم. تواتر صوت برابر حاصل ضرب دورهای سیرن در عده سوراخهای هر صفحه است ($N = n \times p$).

III - طنین صوت - طنین خاصیتی است که صوتهایی را که از حیث



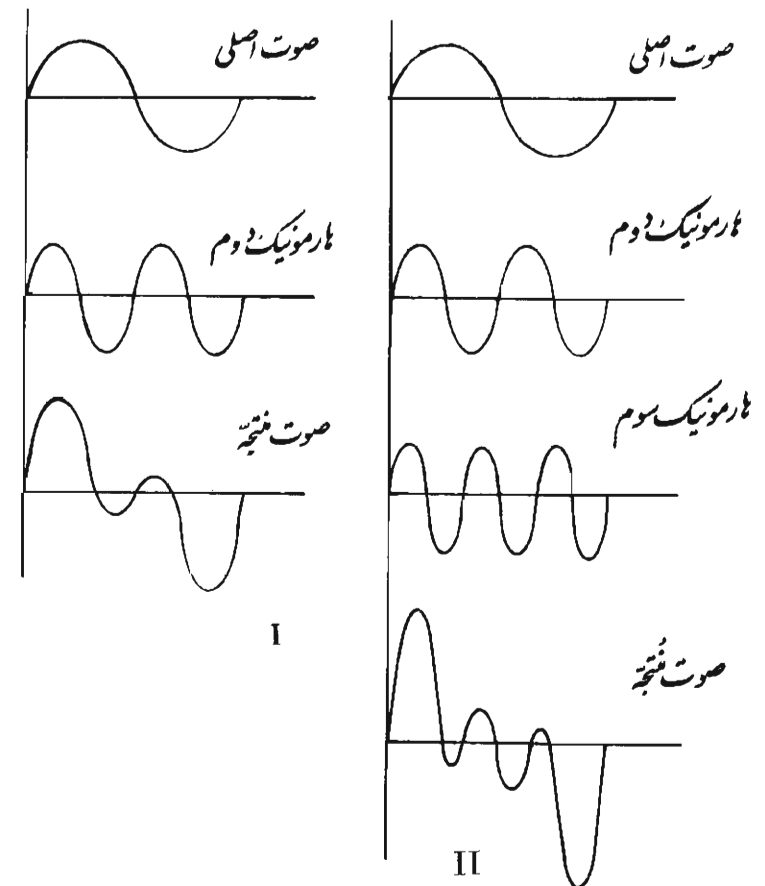
شکل ۱۱۹

شدت و ارتفاع یکسان ولی از منبعهای مختلف بوجود آمده‌اند از یکدیگر متمایز می‌سازد.

اگر سه آلت موسیقی، مثلاً پیانو و فلوت و قره‌نی، صوتهایی با ارتفاع و شدت یکسان تولید کنند، با آنکه ارتفاع و شدت آنها یکسان است، با آسانی می‌توان تشخیص داد که از سه منبع مختلف بوجود آمده‌اند. در اصطلاح علمی می‌گویند که طنین این صوتها مختلف است.

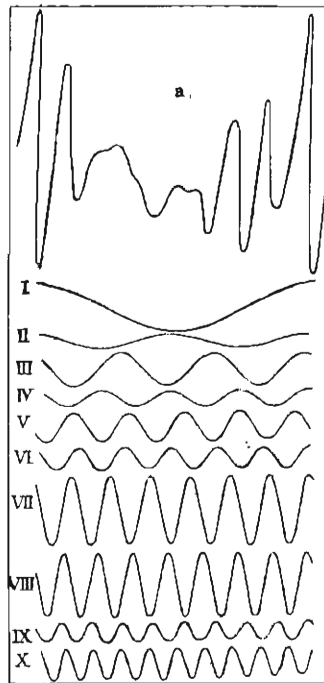
آزمایش نشان می‌دهد که همه صوتهای ساده‌ای که از حیث ارتفاع

یکسانند طنین آنها نیز یکی است. مثلاً دو دیابازون با تواتر یکسان تأثیرهای کاملاً یکسانی بر روی گوش ایجاد می‌کنند. پس طنین صفت ممیزه صوتهای مرکب است. اگر سه صوت با ارتفاع و شدت یکسانی را که توسط پیانو و فلوت و قره‌نی تولید می‌شود، ثبت کنیم (شکل ۱۱۹)، مشاهده می‌کنیم که هر سه صوت مرکب با دامنه و پریود یکسانند ولی شکل منحنی آنها متفاوت است.



شکل ۱۲۰

آزمایش نشان داده است که یک صوت موسیقی مرکب، از ترکیب چند صوت ساده سینوسی بوجود می‌آید که تواتر آنها N و $2N$ و $3N$ و ... KN است. بمتربین صوت (تواتر N) را صوت اصلی یا هارمونیک اول می‌نامند و دیگر صوتها را که تواتر آنها مضرب صحیحی از تواتر صوت اصلی است هارمونیکها یا هماهنگهای صوت اصلی می‌نامند. طنین یک صوت مرکب بستگی دارد با عده، ارتفاع و شدت هماهنگهایی که با صوت اصلی همراهند، و ارتفاع صوت مرکب برابر با ارتفاع صوت اصلی است.



شکل ۱۲۱

در شکل ۱۲۰ دو صوت نمایش داده شده است که از حیث ارتفاع برابر (تواتر صوت اصلی آنها برابر است) ولی از حیث طنین متفاوتند، زیرا که صوت I از ترکیب صوت اصلی و هماهنگ دوم تشکیل شده در حالی که صوت II ترکیبی است از صوت اصلی و هماهنگهای دوم و سوم. چنانکه ملاحظه می‌شود منحنیهای صوت مرکب منته از حیث تواتر و بنا بر این از حیث ارتفاع با یکدیگر و با صوت اصلی یکسانند. در شکل ۱۲۱ صوت مرکب a از ترکیب

صوت اصلی و هماهنگهای متوالی آن بوجود آمده است.

چنانکه دیدیم ، اصواتی مرکبند که از يك صوت اصلی و چند هماهنگ تشکیل شده و به گوش مطبوعند و دیر مستهلک می شوند .

اگر پربود اصوات فرعی که باصوت اصلی همراهند مضارب صحیحی از تواتر صوت اصلی نباشد ، صوت حاصل از ترکیب این صوتها دارای ارتفاع معینی نیست و معمولاً زود از بین می رود . اینگونه صوتها را اصوات غیر موسیقی یا صدا می نامند .

ماورای صوت

۱۱۲ - چنانکه دیدیم صوتهایی قابل شنیدن هستند که تواترشان بین ۲۰ و ۲۰۰۰۰ باشد . واضح است که این حدود در اشخاص متفاوت است . صوتهایی را که ارتفاع آنها از ۲۰ کمتر است مادون صوت (Infrasons) و صوتهایی را که ارتفاع آنها از ۲۰۰۰۰ بیشتر است و بنابراین شنیده نمی شوند ماورای صوت (Ultrasons) می نامند . گوش عده ای از حیوانات مانند سگ و خفاش به ماورای صوت نیز حساس است ، در صورتی که گوش انسان قادر به شنیدن آنها نیست .

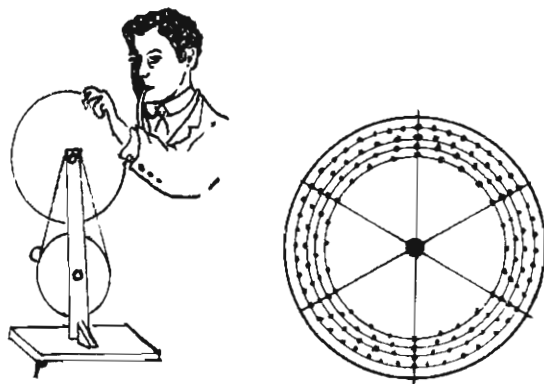
از ماورای صوت برای تعیین موضع زیر دریایها و صخره های زیر آب و پیدا کردن محل اجتماع ماهیها استفاده می شود ، زیرا به علت زیاد بودن تواتر آنها مقدار انرژی را که انتقال می دهند زیاد است و در نتیجه دیرتر مستهلک می شوند . پس از آنکه ارتعاشات ماورای صوتی انتشار یافت و به مانعی برخورد ، به جای اول باز می گردد و از روی بررسی فاصله زمان رفت و بازگشت و امتداد اشعه بازگشت محل مانع را بدست می آورند . در پزشکی نیز برای معالجه برخی از دردها و امراض گوش از این امواج استفاده می شود .

صوت های موسیقی

۱۱۳ - دیدیم که صوت های موسیقی صوت های مرکبی هستند با ارتفاع معین که همان ارتفاع صوت اصلی است و دیر مستهلک می شوند . در اصطلاح موسیقی ، هر صوت موسیقی را يك نوت نامند .

۱۱۴ - فاصله موسیقی (Intervalle) - فاصله موسیقی دو نوت

$$I = \frac{N_1}{N_2} \quad (I) \text{ نسبت ارتفاع آن دو صوت به یکدیگر است .}$$



شکل ۱۲۲

معمولاً ارتفاع بزرگتر را در صورت کسر می گذارند و بدین ترتیب فاصله موسیقی همیشه بزرگتر از واحد است .

چنانکه دیدیم ، اصواتی مرکبند که از يك صوت اصلی و چند هماهنگ تشکیل شده و به گوش مطبوعند و دیر مستهلک می شوند .

اگر پیوند اصوات فرعی که باصوت اصلی همراهند مضارب صحیحی از تواتر صوت اصلی نباشد ، صوت حاصل از ترکیب این صوتها دارای ارتفاع معینی نیست و معمولاً زود از بین می رود . اینگونه صوتها را اصوات غیر موسیقی یا صدا می نامند .

ماورای صوت

۱۱۲ - چنانکه دیدیم صوتهایی قابل شنیدن هستند که تواترشان بین ۲۰ و ۲۰۰۰۰ باشد . واضح است که این حدود در اشخاص متفاوت است . صوتهایی را که ارتفاع آنها از ۲۰ کمتر است مادون صوت (Infrasons) و صوتهایی را که ارتفاع آنها از ۲۰۰۰۰ بیشتر است و بنابراین شنیده نمی شوند ماورای صوت (Ultrasons) می نامند . گوش عده ای از حیوانات مانند سگ و خفاش به ماورای صوت نیز حساس است ، در صورتی که گوش انسان قادر به شنیدن آنها نیست .

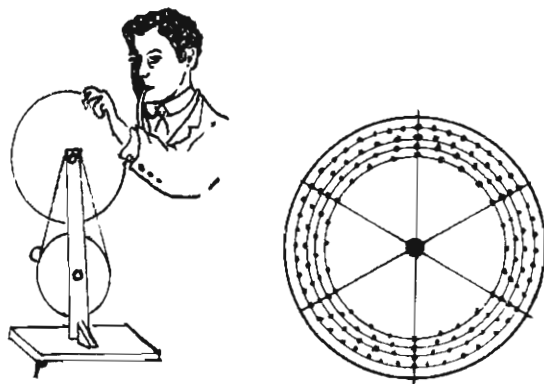
از ماورای صوت برای تعیین موضع زیر دریایها و صخره های زیر آب و پیدا کردن محل اجتماع ماهیها استفاده می شود ، زیرا به علت زیاد بودن تواتر آنها مقدار انرژی را که انتقال می دهند زیاد است و در نتیجه دیرتر مستهلک می شوند . پس از آنکه ارتعاشات ماورای صوتی انتشار یافت و به مانعی برخورد ، به جای اول باز می گردد و از روی بررسی فاصله زمان رفت و بازگشت و امتداد اشعه بازگشت محل مانع را بدست می آورند . در پزشکی نیز برای معالجه برخی از دردها و امراض گوش از این امواج استفاده می شود .

صوت های موسیقی

۱۱۳ - دیدیم که صوت های موسیقی صوت های مرکبی هستند با ارتفاع معین که همان ارتفاع صوت اصلی است و دیر مستهلک می شوند . در اصطلاح موسیقی ، هر صوت موسیقی را يك نوت نامند .

۱۱۴ - فاصله موسیقی (Intervalle) - فاصله موسیقی دو نوت

$$I = \frac{N_1}{N_2} \quad (I) \text{ نسبت ارتفاع آن دو صوت به یکدیگر است .}$$



شکل ۱۲۲

معمولاً ارتفاع بزرگتر را در صورت کسر می گذارند و بدین ترتیب فاصله موسیقی همیشه بزرگتر از واحد است .

آزمایش - بر روی يك صفحه فلزی (شكل ۱۲۲) چهار ردیف سوراخ^۱ بطور منظم تعبیه می‌کنیم . عده سوراخهای ردیفها بترتیب ۲۴ ، ۳۵ ، ۳۶ و ۴۸ است . صفحه را با حرکتی یکنواخت می‌چرخانیم و سپس به وسیله لوله‌ای يك جریان شدید هوا را ازمقابل سوراخها عبور می‌دهیم . آشکار است که صوتهایی که توسط ردیفهای سوراخ ایجاد می‌شود متفاوتند و اگر سرعت دوران را زیاد کنیم هر يك از آنها زیرتر می‌شود ولی نسبت ارتفاع این صوتها (فاصله موسیقی صوتها) تغییر نمی‌کند . اگر سرعت دوران صفحه را تغییر دهیم ، مشاهده می‌کنیم که تأثیر مجموعه این صوتها برگوش تغییر نمی‌کند . این آزمایش نشان می‌دهد که چیزی که در موسیقی مورد توجه است تواتر هر يك از صوتها نیست ، بلکه نسبت تواتر ارتعاشات به یکدیگر است و به همین علت نسبت ارتفاع دو صوت را فاصله موسیقی اختیار کرده‌اند .

تذکر - هرگاه چند نوت را در نظر بگیریم ، فاصله نوت اول به نوت آخر مساوی است با حاصل ضرب فاصله‌های نوتهای واقع بین این دو نوت ، یعنی اگر مثلاً سه نوت N_1 و N_2 و N_3 را در نظر بگیریم

$$I_{1/3} = I_{1/2} \times I_{2/3} \quad \text{یا} \quad \frac{N_1}{N_3} = \frac{N_1}{N_2} \times \frac{N_2}{N_3}$$

۱۱۵ - گام موسیقی - آزمایش نشان داده است که هر فاصله‌ای

بدگوش مطبوع نیست . این است که در موسیقی تمام نوتها بکار برده نمی‌شود و نوتهایی انتخاب می‌شود که فاصله‌های آنها مطبوع باشد .

۱ - قطر سوراخها در حدود ۵mm و فاصله دو ردیف از یکدیگر در حدود ۱۲mm است .

گام مجموعه چند نوت است که فاصله‌های آنها نسبت به نوت مبنا که به کلید یا **Tonique** موسوم است ، نسبتهای ساده باشند (منظور از نسبت ساده نسبتی است که صورت و مخرج آن عددی کوچک و صحیح باشد) .

۱۱۶ - گام طبیعی زارلن - گام طبیعی از هشت نوت تشکیل شده است که اسامی و فاصله‌های آنها بترتیب عبارتند از :

C	D	E	F	G	A	B	C'
ut _۱	ré	mi	fa	sol	la	si	ut _۲
۱	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	۲

ut را در اصطلاح موسیقی **do** می‌نامند . هر يك از فاصله‌های بالا

اسم مخصوصی دارد که ردیف آن را مشخص می‌کند :

$\frac{9}{8}$ seconde (سکوند) $\frac{5}{4}$ tierce (تیرس) $\frac{4}{3}$ quarte (کوارت)
 $\frac{3}{2}$ quinte (کنت) $\frac{5}{3}$ sixte (سیکست) $\frac{15}{8}$ septième (ستیم)
 ۲ octave (اکتاو)

ut_۲ که تواترش دو برابر تواتر **ut_۱** است ، مبنای گام جدیدی است موسوم به گام دوم که فواصل آن مانند گام اول است ولی هر نوت از گام دوم اکتاو نوت متناظر از گام اول است .

همچنین **ut_۳** مبنای گام سوم است که نوتهای آن اکتاو نوتهای متناظر گام دوم ولی فواصل همان $\frac{9}{8}$ ، $\frac{5}{4}$ و ... است . پس تواتر هر نوت از گام سوم دو برابر تواتر نوت متناظر از گام دوم و چهار برابر تواتر نوت متناظر از گام اول است . به همین ترتیب گامهای دیگری نیز وجود

دارد مانند ut_4 و ut_5 و ut_6 . همچنین دو گام به مبدأ ut_{-1} و ut_{-2} پایین تر از گام اول نیز بکار می رود که تواتر نوت های آنها بترتیب $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{8}$ تواتر نوت های متناظر گام اول است . گام های متداول در موسیقی معمولاً از ut_{-2} تا ut_6 هستند (گام صفر وجود ندارد) . باید دانست که فاصله های نامبرده $\frac{9}{8}$ و $\frac{5}{4}$ و $\frac{4}{3}$ و غیره ، نسبت ارتفاع هریک از نوت های گام به ارتفاع نوت مبنا یعنی ut است .

$$\frac{ut_7}{ut_1} = 2 \text{ و } \dots \frac{fa}{ut} = \frac{4}{3} , \frac{mi}{ut} = \frac{5}{4} , \frac{ré}{ut} = \frac{9}{8}$$

در این گام فاصله نوت های متوالی از یکدیگر عبارتند از :

$$\frac{ré}{ut} = \frac{9}{8} , \frac{mi}{ré} = \frac{mi}{ut} : \frac{ré}{ut} = \frac{10}{9} , \frac{fa}{mi} = \frac{16}{15} , \frac{sol}{fa} = \frac{9}{8} , \frac{la}{sol} = \frac{10}{9} , \frac{si}{la} = \frac{9}{8} , \frac{ut_7}{si} = \frac{16}{15}$$

چنانکه می بینیم در این گام فقط سه فاصله متمایز وجود دارد که

برای هریک نام و علامت خاصی اختیار کرده اند :

$$\frac{9}{8} = T = \text{ton majeur} \quad \text{پرده یا تون مائور}$$

$$\frac{10}{9} = t = \text{ton mineur} \quad \text{پرده یا تون مینور}$$

$$\frac{16}{15} = \frac{1}{2} T = \text{demi-ton majeur} \quad \text{نیم پرده یا نیم تون مائور}$$

و بنا بر این گام طبیعی را می توان به صورت زیر نوشت :

ut_1	$ré$	mi	fa	sol	la	si	ut_7
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	
T	t	$\frac{1}{2}T$	T	t	T	$\frac{1}{2}T$	

۱۱۷ - ارتفاع نوت های مختلف در گام طبیعی - بنا بر قرارداد

بین المللی ، عده ارتعاشات la_3 برابر ۴۳۵ اختیار شده است ، بدین معنی که اگر دیابازونی ۴۳۵ ارتعاش در ثانیه انجام دهد گوییم که la_3 را بیان می کند و از این رو ، با در نظر گرفتن فاصله های مختلف گام طبیعی ، می توان ارتفاع نوت های دیگر را حساب کرد .

$$\text{مثلاً } la_3 = 435 \text{ پس } la_2 = \frac{435}{2} \text{ و } la_1 = \frac{435}{4} \text{ و } la_{-1} = \frac{435}{8} \text{ و } la_{-2} = \frac{435}{16}$$

محاسبه ut_3 - می دانیم که فاصله la به ut برابر $\frac{5}{4}$ است ، پس :

$$\boxed{ut_3 = 261} \quad \text{و بنا براین } \frac{la_3}{ut_3} = \frac{5}{4} \text{ و } ut_3 = \frac{3}{5} la_3 = \frac{5}{4}$$

محاسبه نوت های دیگر گام سوم -

$$ut_3 = 261 , ré_3 = 261 \times \frac{9}{8} = 294 , mi_3 = 261 \times \frac{5}{4} = 326$$

پس ارتفاع نوت های گام سوم چنین خواهد بود :

ut_3	$ré$	mi	fa	sol	la	si	ut_4
۲۶۱	۲۹۴	۳۲۶	۳۴۸	۳۹۲	۴۳۵	۴۸۹	۵۲۲

مثال - مطلوب است محاسبه mi_5 که زیرترین صوت انسانی است :

$$mi_5 = 2mi_4 = 4mi_3 = 4 \times \frac{5}{4} ut_3 = 5 \times 261 = 1305$$

۱۱۸ - تعیین نام يك صوت - ارتفاع صوتی معلوم است ، می -

خواهیم نام نوت یا نام نزدیکترین نوت به آن را تعیین کنیم . برای این کار عددی را که ارتفاع صوت مزبور را بیان می کند آنقدر بر دو ضرب یا

تقسیم می‌کنیم تا نتیجه بین ۲۶۱ و ۵۲۲ واقع شود (گام سوم). عددی را که بدست آمد بر ۲۶۱ تقسیم می‌کنیم تا ببینیم که خارج قسمت به کدامیک از فواصل گام طبیعی نزدیکتر است. بدین ترتیب پس از تعیین نام نوت آن را بدگام مربوط منتقل می‌کنیم.

مثال - نام نوتی به ارتفاع ۳۵۰۰ را تعیین کنید.

$$۳۵۰۰ = ۲ \times ۱۷۵۰ = ۲ \times ۲ \times ۸۷۵ \neq ۲ \times ۲ \times ۲ \times ۴۳۷$$

حال که عدد ۴۳۷ بین ۲۶۱ و ۵۲۲ است، آن را بر نوت مبنا (۲۶۱)

$$\text{تقسیم می‌کنیم: } \frac{۴۳۷}{۲۶۱} = ۱/۶۶$$

۱/۶۶ تقریباً برابر $\frac{۵}{۳}$ پس ۴۳۷ برابر la_p است.

$$\text{بنابراین } ۳۵۰۰ = la_p \times ۲ \times ۲ \times ۲ = la_p$$

به جای این عمل می‌توان ابتدا تعیین کرد که نوت در چه گامی واقع است. مثلاً ۳۵۰۰، چون بین $ut_p = ۲۶۱ \times ۲ \times ۲ \times ۲ = ۲۰۸۸$ و $ut_v = ۴۱۷۶$ است، در گام ششم و فاصله اش $\frac{۳۵۰۰}{۲۰۸۸} = ۱/۶۶$ است. پس نوت la_p است (زیرترین نوت پیانو است).

۱۱۹ - تغییر مبنا - دیز و بَمول (Dièse, Bémol) - گامی

اتفاق می‌افتد که خواننده یا دستگاهی که می‌خواهیم با آن آهنگی را اجرا کنیم نمی‌تواند قسمتی از زیرترین یا بتمترین نوت‌های این آهنگ را اجرا کند. از این رو ناچار است که مبنای نوت آهنگ را به طرف نوت‌های بتم‌تر یا زیرتر انتقال دهد و به جای مبنای ut ، نوت دیگری را مبنا قرار دهد. این عمل را **انتقال مبنا** می‌نامند. در این انتقال، برای آنکه آهنگ تغییر نکند، باید ترتیب فاصله‌های گام جدید همان ترتیب فاصله‌های گام طبیعی باشد. این است که ناچارند بعضی از نوت‌های گام طبیعی را تغییر دهند تا ترتیب فاصله‌ها محفوظ بماند. در این تغییر اگر

بخواهیم فاصله تون‌مینور $\frac{۱۰}{۹}$ را به تون ماژور $\frac{۹}{۸}$ تبدیل کنیم باید آن را در عدد $\frac{۸۱}{۸۰}$ ضرب کنیم، زیرا که باید داشته باشیم:

$$\boxed{T = t \times \frac{۸۱}{۸۰}} \text{ پس } \boxed{x = \frac{۸۱}{۸۰}} \text{ یا } \frac{۱۰}{۹} \times x = \frac{۹}{۸}$$

فاصله $\frac{۸۱}{۸۰}$ را کوما (Comma) می‌نامند. این فاصله کوچکترین فاصله موسیقی است که گوش آن را تمیز می‌دهد. نوتی را که به اندازه یک «کوما» تغییر یافته است به وسیله خطی که بالای نوت می‌گذارند نمایش می‌دهند ($\overline{la} = la \times \frac{۸۱}{۸۰}$).

بر عکس اگر بخواهیم تون ماژور $T = \frac{۹}{۸}$ به تون مینور $t = \frac{۱۰}{۹}$ تبدیل شود، باید آن را در $\frac{۸۰}{۸۱}$ ضرب کنیم، زیرا باید داشته باشیم

$$\boxed{x = \frac{۸۰}{۸۱}} \text{ پس } \frac{۹}{۸} \times x = \frac{۱۰}{۹} \text{ یعنی } T \times x = t$$

و نوت تغییر یافته را چنین نمایش می‌دهند: $\underline{la} = la \times \frac{۸۰}{۸۱}$. فاصله $\frac{۸۰}{۸۱}$ در موسیقی قابل اغماض و بدین علت است که T و t را به جای یکدیگر اختیار می‌کنند.

دیز - اگر بخواهیم نیم تون را به تون مینور تبدیل کنیم باید آن را در فاصله‌ای مانند d ضرب کنیم بطوری که $\frac{۱۶}{۱۵} \times d = \frac{۱۰}{۹}$ شود، از این رابطه نتیجه می‌شود که $d = \frac{۲۵}{۳۶}$ و اگر بخواهیم به تون ماژور تبدیل کنیم باید آن را در فاصله‌ای مانند d' ضرب کنیم بطوری که $\frac{۱۶}{۱۵} \times d' = \frac{۹}{۸}$ شود که در نتیجه $d' = \frac{۲۵}{۳۶} \times \frac{۸۱}{۸۰}$ ، و چون $\frac{۸۱}{۸۰}$ قابل اغماض است عملاً $d = d' = \frac{۲۵}{۳۶}$ است. در موسیقی فاصله $\frac{۲۵}{۳۶}$ را دیز و نوتی را که بدین ترتیب بالا برده شود «دیز شده» می‌نامند و آن را به علامت $\sharp$

نمایش می‌دهند . پس :

$$fa^{\#} = fa \times \frac{25}{24}$$

بطور کلی برای دیز کردن يك نوت باید توان آن را در $\frac{25}{24}$ ضرب کرد.

بمول - برای تبدیل تون ماژور یا تون مینور به نیم تون ماژور

کافی است که آن را در $\frac{24}{25}$ ضرب کنیم : $b = \frac{16}{15} \times b' = \frac{16}{15} \times \frac{10}{9}$ و از آنجا $b = \frac{24}{25}$

و همچنین $b' = \frac{16}{15} \times b = \frac{16}{15} \times \frac{24}{25} = \frac{80}{125} = \frac{16}{31.25}$ و عملاً $b' = \frac{24}{25}$ است.

این فاصله را بمول و نوت تغییر یافته را « بمول شده » می‌نامند و

$$\boxed{si_b = si \times \frac{24}{25}} \quad \text{آن را چنین نمایش می‌دهند :}$$

بطور کلی برای بمول کردن يك نوت باید توان آن را در $\frac{24}{25}$ ضرب کرد.

مثال ۱ - می‌خواهیم مبنای ut را به sol انتقال دهیم :

فواصل گام طبیعی در مبنای ut عبارتند از :

$$\begin{array}{cccccccc} ut & & ré & & mi & & fa & & sol & & la & & si & & ut \\ & & T & & t & & \frac{1}{4}T & & T & & t & & T & & \frac{1}{4}T \end{array}$$

چون مبنا را به sol منتقل سازیم، خواهیم داشت :

$$\begin{array}{cccccccc} sol & & la & & si & & ut & & ré & & mi & & fa & & sol \end{array}$$

و فاصله‌ها در مبنای جدید چنین خواهد بود :

$$\begin{array}{cccccccc} t & & T & & \frac{1}{4}T & & T & & t & & \frac{1}{4}T & & T \\ & & \uparrow & & \uparrow & & & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \end{array}$$

چنانکه ملاحظه می‌شود ، برای اینکه ترتیب فواصل در مبنای sol مانند ترتیب فواصل در گام طبیعی با مبنای ut شود ، باید فاصله‌های ۱ و ۲ و ۶ و ۷ را تغییر داد . برای این کار کافی است که la را يك د کوما ، بالا ببریم . در نتیجه t به T و فاصله دوم T به t تبدیل خواهد شد. و نیز باید

fa را دیز کنیم تا فاصله $\frac{1}{4}T$ به T و بر عکس فاصله آخری T به $\frac{1}{4}T$

تبدیل شود ، بنابر این در مبنای sol نوتها عبارت خواهند بود از :

$$\begin{array}{cccccccc} sol & & la & & si & & ut & & ré & & mi & & fa^{\#} & & sol \\ & & T & & t & & \frac{1}{4}T & & T & & t & & T & & \frac{1}{4}T \end{array}$$

مثال ۲ - در گام طبیعی مبنای ut را به fa تبدیل کنید :

$$\begin{array}{cccccccc} ut & & ré & & mi & & fa & & sol & & la & & si & & ut \\ & & T & & t & & \frac{1}{4}T & & T & & t & & T & & \frac{1}{4}T \\ fa & & sol & & la & & si & & ut & & ré & & mi & & fa \\ & & T & & t & & T & & \frac{1}{4}T & & T & & t & & \frac{1}{4}T \\ & & & & \uparrow & & \uparrow & & & & \uparrow & & \uparrow & & \end{array}$$

باید فاصله‌های ۳ و ۴ و ۵ و ۶ را تغییر داد . برای این کار کافی است

که si را بمول کنیم و ré را يك د کوما ، پایین بیاوریم . در این صورت در

مبنای fa نوتها عبارت خواهند بود از :

$$\begin{array}{cccccccc} fa & & sol & & la & & si_b & & ut & & ré & & mi & & fa \\ & & T & & t & & \frac{1}{4}T & & T & & t & & T & & \frac{1}{4}T \end{array}$$

۱۲۰ - گام معتدل یا گام باخ - در پیانو و ارگ که هر يك

از نوتها به وسیله يك تار یا يك لوله معین بیان می‌شود ، هرگاه

بخواهیم تمام نوتها را مستقلاً ایجاد کنیم ، اسباب موسیقی عملاً خیلی

بزرگ و غیر قابل استفاده خواهد شد . از این رو باخ در گام مخصوصی

به نام گام معتدل ، فاصله‌ها را چنان اختیار کرد که ارتفاع دیز يك نوت

با ارتفاع بمول نوت بعدی برابر شود. باخ فاصله يك اکتاو را که ۲ می-

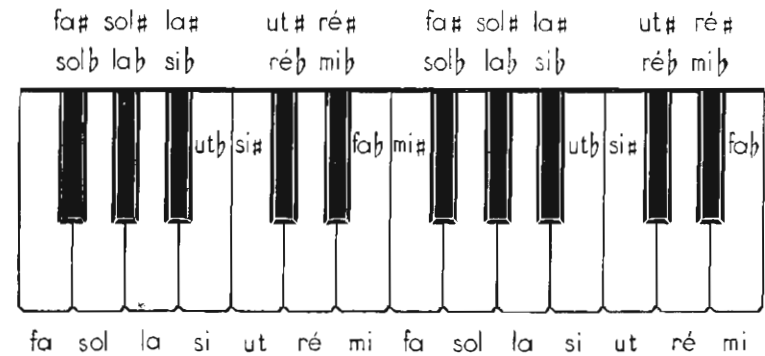
باشد به ۱۲ نیم پرده متساوی تقسیم کرد . بدین طریق گام معتدل از ۱۳

نوت و ۱۲ فاصله متساوی تشکیل شده است و باخ هر فاصله را يك نیم تون

معتدل (demi-ton tempéré) نامید. در این سورت نوت‌های گام طبیعی چنین است:

ut	ut $\sharp$	ré	ré $\sharp$	mi	mi $\sharp$	fa	fa $\sharp$	sol	sol $\sharp$	la	la $\sharp$	si	si $\sharp$	ut
	ré $\flat$		mi $\flat$	fa $\flat$	sol $\flat$		la $\flat$		si $\flat$		ut $\flat$			

بر روی پیانو و ارگ، کلیدهای سفید نوت‌های اصلی و کلیدهای سیاه دیز و بمول را تعیین می‌کنند (شکل ۱۲۳).



شکل ۱۲۳

۱۲۱ - هماهنگ یا هارمونیک يك صوت - چنانکه دیدیم هماهنگ‌های يك صوت اصلی N عبارتند از صوت‌هایی که تواتر آنها مضارب صحیحی از N، یعنی ۲N، ۳N، ... و KN، باشد.

بنابر قرارداد، صوت اصلی همان هماهنگ اول است. در اغلب موارد هماهنگ‌های يك صوت نوت‌هایی از گام بالاترند. مثلاً هماهنگ‌های متوالی ut_۱ عبارتند از:

$$N_1 = ut_1 \quad \text{هماهنگ اول (صوت اصلی)}$$

$$N_2 = 2N_1 = ut_2 \quad \text{هماهنگ دوم}$$

$$N_3 = 3N_1 = \text{sol}_1 \quad \text{هماهنگ سوم}$$

$$N_4 = 4N_1 = ut_2 \quad \text{هماهنگ چهارم}$$

$$N_5 = 5N_1 = mi_1 \quad \text{هماهنگ پنجم}$$

$$N_6 = 6N_1 = \text{sol}_2 \quad \text{هماهنگ ششم}$$

هفتمین و یازدهمین هماهنگ ut نوت‌هایی هستند که در گام موسیقی وجود ندارند.

تمرین

۱ - صفحه سیرنی ۲۵ سوراخ دارد. معین کنید با چه سرعتی (دور در دقیقه) باید آن را چرخاند تا صوتی همصدا با دیاپازونی که $la_3 = 435$ را بیان می‌کند تولید کند. دور در دقیقه ۱۳۰۵

۲ - در صورتی که $la_3 = 435$ باشد معین کنید تواتر نوت‌های زیر را:

$$sol_1, ut_1, mi_1, ré_1, ré_1\sharp, si_1, ut_2, mi_2, mi_2\sharp, ré_2\flat$$

۳ - مطلوب است تعیین نام نوت‌های زیر در صورتی که $la_3 = 435$ باشد:

$$3ut_1, 3sol_1, 4mi_1, 5sol_1, 1044, 780, 100$$

۴ - نام دوازده هماهنگ sol_1 را تعیین کنید.

۵ - تواتر و نام ۵ هماهنگ اولیه mi_1 را تعیین کنید.

$$mi_1 = 82, mi_2 = 163, si_2 = 245, mi_3 = 326, sol_3\sharp = 408$$

۶ - اگر مبنای گام طبیعی را ré اختیار کنیم چه تغییراتی در نوت‌های

$$mi, fa\sharp, la, ut\sharp \quad \text{گام باید اجرا شود؟}$$

۷ - در صورتی که مبنای گام را به mi انتقال دهیم چه تغییراتی در

$$fa\sharp, sol\sharp, ut\sharp, ré\sharp \quad \text{نوت‌های گام باید اجرا شود؟}$$

ساکن تولید می کنند . واضح است که در این صورت طول تار $\frac{\lambda_1}{4}$ خواهد بود که در آن λ_1 طول موج صوت اصلی تار است . پس :

$$\lambda_1 = 2l \text{ یا } l = \frac{\lambda_1}{2}$$

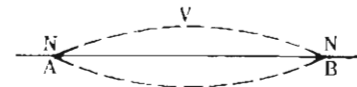
تارهای مرتعش

۱۲۲ - تارهای مرتعش سیمپایی هستند زهی یا فلزی که در دو نقطه ثابت شده اند . هنگامی که تار مرتعشی را از وضعیت تعادل دور و سپس رها سازیم ، در حول وضع تعادل خود مرتعش می شود و یک صوت موسیقی تولید می کند . تارهای مرتعش می توانند هم ارتعاشات عرضی پدید آورند و هم ارتعاشات طولی . برای ایجاد ارتعاشات طولی کافی است که تار را در امتداد طول آن مالش دهیم . صوتی که از ارتعاشات طولی ایجاد می شود صوت موسیقی نیست . ارتعاشات عرضی که به وسیله آرشه یا ضربه ایجاد می شود اصوات موسیقی تولید می کند . در این مبحث از ارتعاشات عرضی بحث می کنیم .

وضعیت ارتعاشی و فرمول تارهای مرتعش

۱۲۳ - تارهای مرتعش امواج ساکن تولید می کنند - اگر

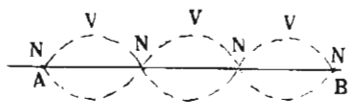
تار مرتعش AB را در دو نقطه ثابت کنیم و وسط آن را از حالت تعادل خارج و سپس رها کنیم ، تار مرتعش



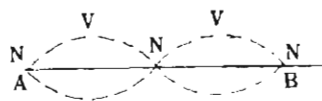
شکل ۱۲۴

می شود (شکل ۱۲۴) ، بدین ترتیب که دو گره در دو انتهای A و B و یک شکم در وسط تار پدید می آید . علت این است که ارتعاشات عرضی در طول تار منتشر می شوند و ، پس از انعکاس در انتهای ثابت ، امواج

یعنی طول موج صوت اصلی تار مرتعش دو برابر طول تار است . ولی تار مرتعش می تواند صوتهای دیگری نیز تولید کند ، یعنی ممکن است تار چنان مرتعش شود که علاوه بر دو گره انتهایی ، گره های دیگری نیز داشته باشد (کافی است که پریود ارتعاشات طوری باشد که طول تار شامل مضربهای زوجی از $\frac{\lambda}{4}$ باشد) . مثلاً اگر وسط تار را به وسیله خرنک متحرک ثابت کنیم (شکل ۱۲۵) و تار را به ارتعاش درآوریم ، در طول تار سه گره و دو شکم تولید خواهد شد و طول تار $l = 4 \times \frac{\lambda}{4}$ خواهد



شکل ۱۲۶



شکل ۱۲۵

بود ، و نیز در شکل ۱۲۶ طول تار برابر $l = 6 \times \frac{\lambda}{4}$ است . بطور کلی کافی است که پریود ارتعاشات طوری باشد که طول تار شامل مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{4}$ باشد .

پس $l = 2K \frac{\lambda}{4} = K \frac{\lambda}{2}$ و چون $\lambda = \frac{V}{N}$ پس $l = K \frac{V}{2N}$

$$N = K \frac{V}{2l} \text{ یا}$$

از طرف دیگر آزمایش و محاسبات نشان می‌دهد که سرعت انتشار ارتعاشات در تارهای مرتعش با جذر نیروی کشش (F) نسبت مستقیم و با جذر جرم واحد طول تار (m) نسبت معکوس دارد، یعنی $v = \sqrt{\frac{F}{m}}$. بنابراین فرمول کلی تارهای مرتعش چنین می‌شود:

$$(۱) \quad N = \frac{K}{2l} \cdot \sqrt{\frac{F}{m}}$$

در این فرمول F نیروی کشش، l طول تار، m جرم واحد طول تار و N تواتر صوت اصلی و هماهنگهای تار مرتعش را بیان می‌کند (K اعداد صحیح متوالی ۱، ۲، ۳... است).

در دستگاه M.K.S. علمی مقدار F بر حسب نیوتن و l بر حسب مترو m جرم یک متر تار بر حسب کیلوگرم است.

از فرمول (۱) قوانین تارهای مرتعش نتیجه می‌شود:

۱ - تواتر صوت اصلی تار مرتعش با طول تار نسبت معکوس دارد؛
۲ - تواتر صوت اصلی تار مرتعش با جذر نیروی کشش نسبت مستقیم دارد؛

۳ - تواتر صوت اصلی تار مرتعش با جذر جرم واحد طول تار نسبت معکوس دارد؛

۴ - تارهای مرتعش، علاوه بر صوت اصلی، تمام هماهنگهای فرد و زوج را نیز تولید می‌کنند.

مثال - تار مرتعشی است به طول $۱m$ و به جرم $۵g$. در طول تار یک شکم ایجاد شده است و تواتر ارتعاشات تار $۱۳۵/۵$ است. نیروی کشش تار را تعیین کنید.

حل - بر طبق فرمول تارهای مرتعش نیروی کشش تار را بدست می‌آوریم:

$$F = \frac{4ml^2N^2}{K^2}$$

$$m = \frac{5}{1000} \text{ kg/m} \quad \text{داریم:}$$

$$l = 1m$$

$$N = 135/5$$

$$K = 1$$

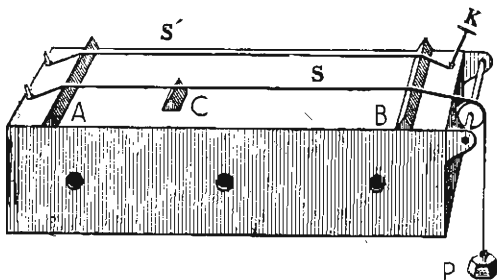
$$F = \frac{4 \times 5 \times (135/5)^2}{1000} = 340/6 \text{ نیوتن} \quad \text{پس:}$$

تحقیق تجربی قوانین تارهای مرتعش

۱۲۴ - برای تحقیق در قوانین تارهای مرتعش از دستگاهی به نام

صداسنج یا سونومتر استفاده می‌شود.

صداسنج عبارت از جعبه‌ای است توخالی (شکل ۱۲۷) که بر روی



شکل ۱۲۷

آن دو تار مرتعش S

و S' سوار کرده‌اند.

نیروی کشش یکی از

دو تار (S') که به عنوان

تار «مقایسه» بکار

می‌رود به وسیله کلید

K تنظیم می‌شود. نیروی کشش تار دوم (S) را که برای تحقیق قوانین

تارها بکار می‌رود می‌توان به وسیلهٔ وزنه‌های مختلف مانند p تغییر داد (ابتدا دو تار را، در حالی که هر دو صوت اصلی را ایجاد می‌کنند، همصدا می‌سازیم).

آزمایش - الف - تحقیق قانون طولها - اگر C را در ثلث تار S سوار کنیم و تار AC را از وسط گرفته به ارتعاش درآوریم، ملاحظه می‌شود که تواتر صوت تار S سه برابر تواتر صوت تار S' است. هرگاه C را در فواصلی قرار دهیم که طول تار AC نسبت به تمام طول تار مانند اعداد $\frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{3}{5}, \frac{4}{5}, \frac{1}{2}$ باشد، تواتر صوت این تار به نسبت $\frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{3}{5}, \frac{4}{5}, \frac{1}{2}$ و ۲ تغییر می‌کند بطوری که این تار بترتیب نوت‌های گام طبیعی را بیان خواهد کرد. پس **تواتر صوت اصلی تار مرتعش با طول تار نسبت عکس دارد.**

$$\frac{N}{N'} = \frac{l'}{l}$$

ب - تحقیق قانون نیروی کشش تار - C متحرک را بر می‌داریم. تار S و S' همصدا هستند و مثلاً نوت ut_1 را بیان می‌کنند. حال اگر نیروی کشش F تار S را ۴ یا ۹ یا ۱۶ برابر کنیم، ملاحظه می‌شود که تواتر صوت آن ۲ یا ۳ یا ۴ برابر تواتر صوت تار S' خواهد شد. پس:

تواتر صوت اصلی تار مرتعش با جذر نیروی کشش نسبت مستقیم دارد:

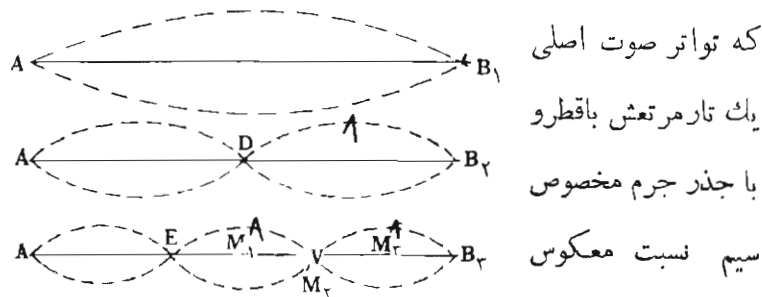
$$\frac{N}{N'} = \sqrt{\frac{F}{F'}}$$

ج - تحقیق قانون جرمها - در این آزمایش تاری مانند S ، که

جرمش چهار برابر جرم تار S' است، اختیار می‌کنیم (طول هردو تار مساوی است). می‌بینیم که تواتر صوت تار S نصف تواتر صوت تار S' می‌شود. پس **تواتر صوت اصلی يك تار مرتعش با جذر جرم واحد طول تار نسبت معکوس دارد:**

$$\frac{N}{N'} = \sqrt{\frac{m'}{m}}$$

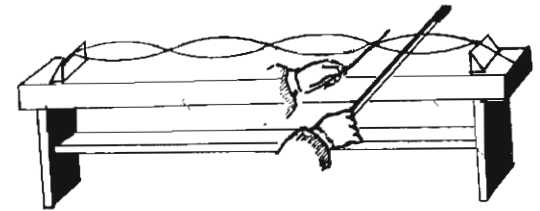
تذکر - اگر قطر سیم را به d و جرم مخصوص آن را به μ نمایش دهیم، جرم واحد طول تار از رابطه $m = \pi \frac{d^2}{4} \mu$ بدست خواهد آمد. پس قانون اخیر به صورت $\frac{N}{N'} = \frac{d' \sqrt{\mu'}}{d \sqrt{\mu}}$ در می‌آید که نشان می‌دهد



شکل ۱۲۸

د - تحقیق قانون هماهنگها - چنانکه گفته شد، تارهای مرتعش علاوه بر صوت اصلی هماهنگهای آن را نیز تولید می‌کنند و می‌توان با قرار دادن C متحرک در وسط تار (شکل ۱۲۸) هماهنگ دوم و در ثلث تار هماهنگ سوم و الی آخر را ایجاد کرد. وضع ارتعاشی تار و محل گرہها و شکمها را می‌توان به وسیلهٔ تکه‌های کاغذی که به شکل ۸ درآورده و در نقاط مختلف M_1 و M_2 قرار می‌دهیم نمایان ساخت.

در شکمها تکه‌های
کاغذ بشدت پرتاب
می‌شوند در حالی
که در گرهمها ساکن
می‌مانند (شکل ۱۲۹).



شکل ۱۲۹

تمرین

۱- مطلوب است محاسبه سرعت انتشار ارتعاشات عرضی در تار مرتعشی
به طول يك متر در صورتی که صوت اصلی آن ut_p باشد ($la_p = ۴۳۵$).
 $V = ۲۶۱ \text{ m/s}$

۲- معین کنید نوت صوت اصلی تار مرتعشی را به طول ۷۰ cm که جرم
هر متر آن $۱/۵۳$ گرم و نیروی کشش آن $۱۴/۴۵ \text{ kgf}$ است. la_p

۳- مطلوب است محاسبه نیروی کشش تار به طول ۷۰ cm که جرم
هر متر آن $۳/۷۷$ گرم است و نوت re_p را بیان می‌کند. $۱۶/۳ \text{ kgf}$

۴- مطلوب است تعیین تواتر صوت اصلی تار مرتعشی به طول يك متر
و به جرم $۱/۹۶۲$ گرم در صورتی که با نیروی کششی ۸ kgf کشیده شده باشد.
سرعت انتشار ارتعاشات عرضی را در این تار حساب کنید. اگر طول تار را
نصف و نیروی کشش آن را به ۲ kgf تبدیل کنیم، تواتر صوت اصلی را معین کنید.

۱) $N = ۱۰۰$ ۲) $V = ۲۰۰ \text{ m/s}$ ۳) $N' = ۱۰۰$

۵- تار مرتعشی به طول ۱۲۰ cm بین دو نقطه ثابت شده است. نیروی
کشش تار ۱۲۰ N و تواتر آن ۲۵۰ است. ۱- اگر در طول تار چهارگره
وجود داشته باشد، معین کنید سرعت انتشار ارتعاشات عرضی را در این تار.
۲- جرم تار را حساب کنید. ۳- اگر نیروی کشش تار به ۳۰ N تبدیل شود
و باز هم همان صوت اولیه را تولید کند عده گرهمهای موجود در طول تار چقدر
است؟ ۱) $V = ۲۰۰ \text{ m/s}$ ۲) $m = ۳/۶ \text{ g}$ ۳) ۷ گره

۶- تار مرتعشی به طول يك متر و به قطر ۱ mm و به جرم مخصوص
 $۷/۷ \text{ g/cm}^۳$ ، تحت تأثیر نیروی کششی وزن $۴/۷۳۰ \text{ kgf}$ قرار گرفته

است. ۱- معین کنید تواتر صوت اصلی تار را. ۲- چه اندازه باید طول تار
را کم کنیم یا بر وزن بیفزاییم تا نوت آن $tierce$ ($\frac{۵}{۴}$) بالا رود.

(۱) $N = ۴۳/۷ = fa$ - ۱ ۲) ۲۰ cm و $۲/۶۶ \text{ kgf}$. ($g = ۹۸۰ \text{ cm/s}^۲$)

۷- دو تار مرتعش هم طول، یکی از مس و دیگری از آهن، که نیروی
کشش آنها متفاوت است همصدا هستند. اگر نیروی کشش تار مسی ۳ برابر
نیروی کشش تار آهنی و نسبت جرم مخصوص مس به جرم مخصوص آهن $۱/۱۵$
باشد. ۱- مطلوب است نسبت قطر دو تار. ۲- نیروی کشش تار آهنی چه
نسبتی با نیروی کشش آن در حالت اول مسئله داشته باشد تا صوتی با تواتری
برابر با $\frac{۳}{۴}$ تواتر صوت حالت اول تولید کند. ۱) $۱/۶۱۵$ ۲) $\frac{۹}{۴}$

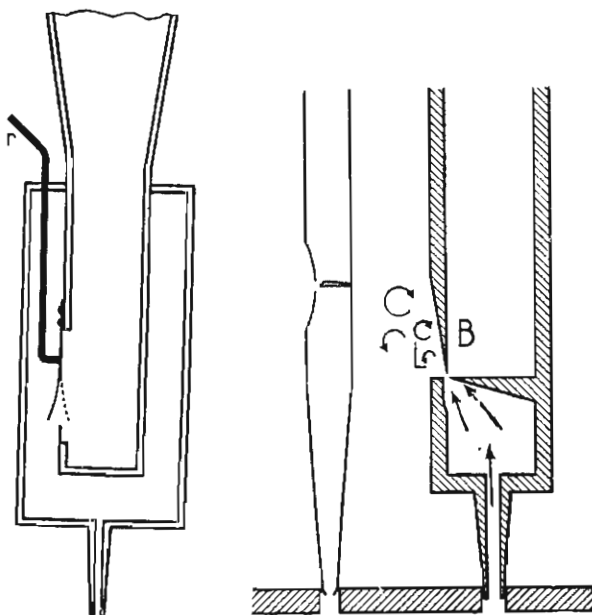
۸- تار مرتعشی از آهن به طول يك متر و به سطح مقطع $۱ \text{ mm}^۲$ بین
دو نقطه کشیده شده است. ۱- معین کنید نیروی کششی که باید بر آن وارد
کرد تا صوت اصلی آن $ut_۱$ باشد. جرم مخصوص آهن $۷/۸ \text{ g/cm}^۳$ است.
۲- نام ۵ هماهنگ متوالی تار را بدست آورید. ۳- سرعت انتشار ارتعاشات
را در این تار پیدا کنید.

۱) $F = ۱۳/۵ \text{ kgf}$ ۲) $ut_p \text{ sol}_p \text{ ut}_p \text{ mi}_p \text{ sol}_p$ ۳) $۱۳۰/۵ \text{ m/s}$

۹- دو تار همجنس و هم طول A و B بر روی سونومتری کشیده شده‌اند.
قطر سیم A دو برابر قطر سیم B است. نیروی کشش A به توسط وزن ۵۰۰
گرمی تأمین شده و نوت la_p را بیان می‌کند. معین کنید نیروی کشش B یا
چه وزنه‌ای باید باشد تا نوت mi_p را بیان کند. وزن ۲۸۱ گرمی

در بعضی از لوله‌ها مانند شیپور ، ارتعاش به وسیله لب نوازنده انجام می‌گیرد .

۱۲۶ - انواع لوله‌های صوتی - لوله‌های صوتی به دو نوع باز و بسته هستند .



شکل ۱۳۰

شکل ۱۳۱

اگر انتهای لوله باز باشد لوله را باز و اگر انتهای لوله بسته باشد لوله را بسته می‌نامند .

ارتعاش لوله‌های صوتی

۱۲۷ - ایجاد صوت در لوله‌های صوتی - ایجاد صوت در لوله‌های صوتی به علت ارتعاش هوای داخل لوله است نه به علت ارتعاش جدار آن،

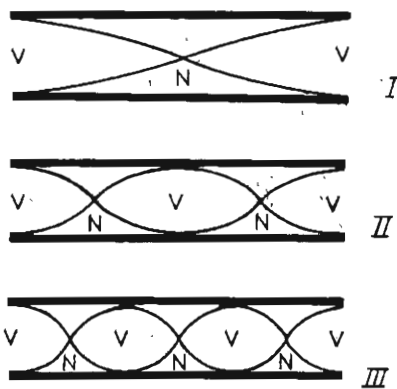
لوله‌های صوتی

۱۲۵ - لوله‌های صوتی لوله‌هایی است به اشکال مختلف که برای ایجاد صوتهای موسیقی بکار می‌رود ، مانند فلوت و ارگ و جز اینها . چون درون لوله بدمیم هوای داخل آن به ارتعاش در آمده و صوت ایجاد می‌شود . در این مبحث فقط از لوله‌های صوتی استوانه‌ای بحث می‌کنیم که سطح مقطع آنها نسبت به طولشان کوچک است . هر لوله صوتی از دو قسمت تشکیل شده است :

۱ - دهانه و آن قسمتی است که هوای داخل لوله را به ارتعاش در می‌آورد ؛

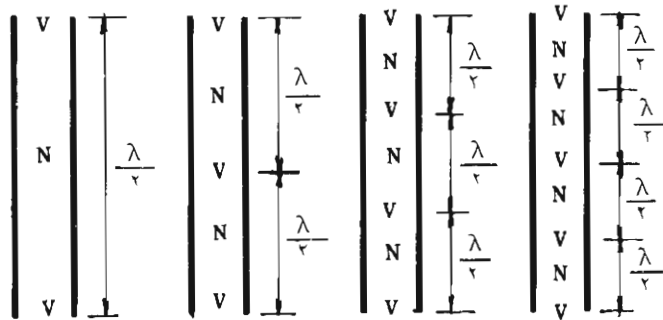
۲ - قسمت استوانه‌ای که بر اثر ارتعاش هوای داخل آن صوت ایجاد شود .

دهانه - دهانه بر دو نوع است : دهانه فلوتی (شکل ۱۳۰) که تشکیل شده است از شکافی که در مقابل آن لبه B قرار گرفته است . این لبه جریان هوایی را هدایت می‌کند تا از شکاف بگذرد . بر اثر عبور جریان هوا در اطراف شکاف تغییرات فشاری ایجاد می‌شود که هوای درون لوله را به ارتعاش در می‌آورد . در دهانه‌های نوع دیگر (زبانه‌ای) مانند دهانه ساز دهنی ، جریان هوا يك ورقه نازك فلزی (زبانه) را به ارتعاش در می‌آورد و در نتیجه هوای داخل لوله نیز مرتعش می‌شود (شکل ۱۳۱) .



شکل ۱۳۳

می‌کند ، دو شکم و يك گره دارد و چون فاصله يك شكم از يك گره بعدی $\frac{\lambda}{4}$ است ، طول لوله برابر با $\frac{2\lambda_1}{4}$ است و وقتی که دومین صوت را تولید می‌کند $\frac{4\lambda_2}{4}$ و به همین ترتیب وقتی که K امین صوت را تولید



شکل ۱۳۴

می‌کند طول لوله شامل $\frac{2K\lambda}{4}$ خواهد بود (شکل ۱۳۴).

پس بطور کلی $l = 2K \frac{\lambda}{4} = \frac{K\lambda}{2}$ و چون $\lambda = VT = \frac{V}{N}$ است

بطور کلی در لوله‌های صوتی باز ، دستگاه امواج ساکن مختلفی می‌توان تولید کرد و همواره در دو انتهای آزاد دو شکم تولید می‌شود. (شکل ۱۳۳ - II و III).

۱۲۸- فرمول لوله‌های

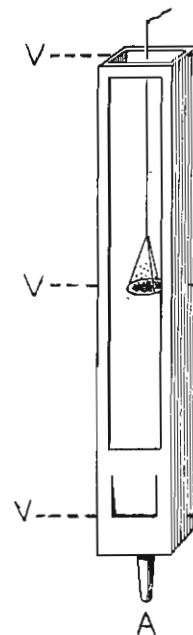
صوتی باز - هنگامی که

لوله باز صوت اصلی را بیان

چه اگر لوله صوتی را در دست بگیریم و در آن بدمیم باز هم صوت ایجاد می‌کند ، و همچنین ایجاد صوت در لوله صوتی به علت جریان هوا در لوله نیست ، زیرا لوله صوتی بسته نیز صوت تولید می‌کند . آزمایش زیر این مطلب را روشن می‌کند :

آزمایش - لوله‌ای صوتی که یکی از جدارهای آن از شیشه است

اختیار کنید و در آن آهسته چنان بدمید (شکل ۱۳۲) که صوت اصلی را بیان کند . سپس از انتهای باز لوله متدرجاً پوستی را که به نخ آویخته و اندکی گچ نرم روی آن پاشیده‌اید داخل لوله کنید . مشاهده می‌شود که در انتهای باز لوله ذره‌های گچ بشدت می‌جهند (شکم) و چون بتدریج پوست در لوله پایین رود از شدت جستن ذره‌های گچ کاسته می‌شود تا در وسط لوله که بکلی ذره‌های گچ ساکن می‌مانند (گره) و پس از آن ذره‌های گچ مجدداً می‌جهند و در انتهای دیگر لوله مجدداً حرکت آنها ماکزیمم می‌شود (شکم) . این آزمایش نشان می‌دهد که در لوله‌های صوتی يك دستگاه امواج ساکن



شکل ۱۳۲

ایجاد شده است ، یعنی ارتعاشات هوای داخل لوله ، پس از انعکاس بر روی انتهای آزاد لوله ، با امواج تابش ترکیب شده و در انتهای آزاد شکم و در وسط يك گره تشکیل داده‌اند (صوت اصلی شکل ۱۳۳ - I) . حال اگر بر شدت دمیدن در لوله بیفزاییم ، ملاحظه خواهد شد که :

پس: $l = K \frac{V}{N}$ یا $N = K \frac{V}{l}$ (۱)

رابطه (۱) فرمول کلی لوله‌های صوتی باز است که در آن V سرعت صوت در گاز لوله و l طول لوله و N تواتر صوت اصلی ($K=1$) یا هماهنگهای لوله است ($K=2, 3, \dots$).

از فرمول کلی (۱) قوانین لوله‌های صوتی باز نتیجه می‌شود:

۱- تواتر صوت اصلی لوله باز به شکل و اندازه سطح مقطع و جنس جدار لوله بستگی ندارد؛

۲- تواتر صوت اصلی لوله باز، با طول لوله نسبت معکوس دارد؛

۳- تواتر صوت اصلی لوله باز، با سرعت صوت در داخل لوله نسبت مستقیم دارد؛

۴- لوله‌های صوتی باز تمام هماهنگهای فرد و زوج را بیان می‌کنند.

مثال - طول لوله بازی را پیدا کنید که تواتر صوت اصلی آن ۴۳۵

است. سرعت صوت در هوای داخل لوله ۳۴۰ m/s است.

حل - از فرمول عمومی لوله‌های صوتی باز نتیجه می‌شود:

$$l = \frac{KV}{2N}$$

داریم: $N = 435$, $V = 340 \text{ m/s}$, $K = 1$

پس: $l = \frac{340}{2 \times 435} = 0.39$

$$l = 0.39 \text{ m}$$

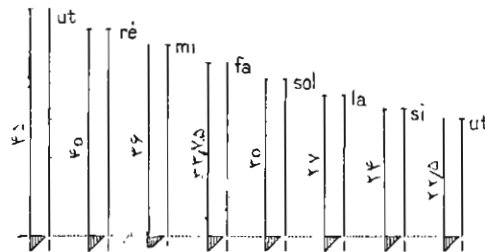
تحقیق تجربی قوانین لوله‌های صوتی باز

۱۲۹- I- قانون جنس و سطح مقطع - آزمایش - اگر چند

لوله باز همطول، یکی از آهن و دیگری از چوب و سومی از آلومینیم و غیره که سطح و شکل مقطع آنها یکسان یا متفاوت باشد اختیار کنیم و در آنها چنان بدمیم که همه لوله‌ها صوت اصلی را بیان کنند، مشاهده خواهیم کرد که تواترهای صوت اصلی لوله‌ها برابرند. پس تواتر به جنس لوله و به شکل سطح مقطع آن بستگی ندارد.

II - قانون طولها - آزمایش - هرگاه ۸ لوله صوتی اختیار

کنیم (شکل ۱۳۵) که طول آنها به نسبت اعداد ۱، $\frac{8}{9}$ ، $\frac{4}{5}$ ، $\frac{3}{4}$ ، $\frac{2}{3}$ ، $\frac{1}{2}$ ، $\frac{2}{5}$ ، $\frac{1}{4}$ باشد و آنها را چنان به ارتعاش درآوریم که صوت اصلی را تولید کنند، مشاهده خواهیم کرد که این لوله‌ها بترتیب نوت‌های گام طبیعی یعنی اصواتی را تولید خواهند کرد که تواترشان متناسب با



شکل ۱۳۵

اعداد ۱، $\frac{9}{8}$ ، $\frac{5}{4}$ ، $\frac{4}{3}$ ، $\frac{3}{2}$ ، $\frac{5}{3}$ ، $\frac{3}{2}$ ، $\frac{4}{3}$

است. پس: تواتر

صوت اصلی يك لوله

باز با طول لوله نسبت

معکوس دارد:

$$\frac{N}{N'} = \frac{l'}{l}$$

III- قانون سرعتها - آزمایش نشان می‌دهد که اگر، به جای

هوا، گاز سبکتری در لوله وارد کنیم، چون سرعت سیر صوت زیاد

می‌شود نوت حاصل توسط لوله نیز زیرتر خواهد شد. بطور کلی اگر

سرعت صوت در گاز لوله دو یا سه برابر شود تواتر صوت آن نیز دو یا سه

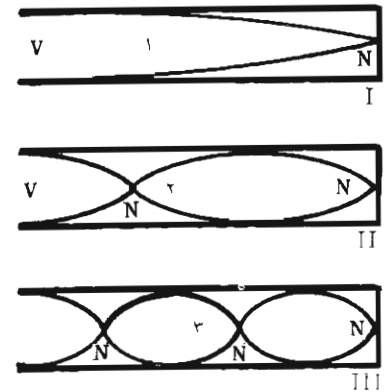
برابر خواهد شد ، پس تواتر صوت اصلی يك لوله باز با سرعت صوت در سماز لوله نسبت مستقیم دارد :

$$\frac{N}{N'} = \frac{V}{V'}$$

IV - قانون هماهنگها - چنانکه گفته شد اگر بتدریج بر شدت دمیدن در لوله صوتی بازی بيفزاییم ، ابتدا که جریان هوا ضعیف است لوله صوت اصلی را تولید می کند . حال چون بتدریج بر شدت جریان هوا بيفزاییم ، مشاهده خواهیم کرد که لوله های صوتی باز ، علاوه بر صوت اصلی ، تمام هماهنگهای فرد و زوج را بیان می کنند .

۱۳۵ - ارتعاش در لوله های بسته - هرگاه در لوله های بسته

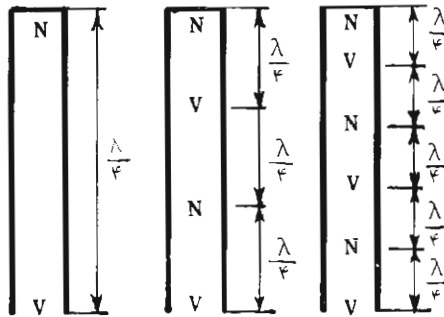
همان آزمایشهایی را که در لوله های باز کردیم ، تکرار کنیم ، مشاهده خواهیم کرد که در لوله های بسته نیز امواج تابش و منعکس با یکدیگر ترکیب شده و يك دستگاه امواج ساکن تولید می شود . در صوت اصلی در انتهای بسته يك گره و در انتهای آزاد يك شکم



شکل ۱۳۶

تولید می شود (شکل ۱۳۶ - I) ، و اگر بر شدت دمیدن بيفزاییم ، در لوله های صوتی بسته نیز دستگاه امواج ساکن مختلفی چنان ایجاد می شود که همواره در انتهای بسته آن يك گره و در انتهای باز آن يك شکم وجود دارد (شکل ۱۳۶ - II و III) .

۱۳۱ - فرمول لوله های بسته - وقتی که لوله بسته ای صوت اصلی



شکل ۱۳۷

را تولید می کند ، شامل يك گره و يك شکم است . در این حالت طول لوله $\frac{\lambda}{4}$ است (شکل ۱۳۷ - I) . هنگامی که دومین صوت را تولید می کند

لوله شامل دو گره و دو شکم است $l = \frac{3\lambda}{4}$ (شکل ۱۳۷ - II) . پس بطور کلی هنگامی که لوله K امین صوت را تولید می کند ، طول لوله $l = \frac{\lambda}{4}(2K-1)$ است و چون $\lambda = \frac{V}{N}$ است ،

$$(۲) \quad N = \frac{V}{4l}(2K-1) \quad \text{یا} \quad l = \frac{V}{4N}(2K-1)$$

رابطه (۲) فرمول کلی لوله های بسته را بیان می کند . اگر $K=1$ باشد لوله بمتترین صوت (صوت اصلی یا هماهنگ اول) را تولید می کند $N = \frac{V}{4l}$ و اگر K مساوی ۲ ، ۳ ، ... باشد ، لوله صوتی را که تواتر آنها $(2K-1)$ برابر صوت اصلی است یعنی هماهنگهای فرد صوت اصلی را بیان می کند . از فرمول (۲) قوانین لوله های صوتی بسته نتیجه می شود :

۱ - تواتر صوت اصلی لوله بسته به شکل و اندازه سطح مقطع و جنس جدار لوله بستگی ندارد ؛

- ۳ - تواتر صوت اصلی با طول لوله نسبت معکوس دارد ؛
 ۳ - تواتر صوت اصلی با سرعت صوت در گاز لوله نسبت مستقیم دارد ؛
 ۴ - لوله‌های صوتی بسته فقط هماهنگی‌های فرد را تولید می‌کنند .
 تذکر - تحقیق تجربی لوله‌های بسته نیز به وسیله آزمایشهایی نظیر آزمایشهایی که درباره لوله‌های صوتی باز صورت گرفت، انجام می‌شود.

مقایسه لوله‌های صوتی باز و بسته

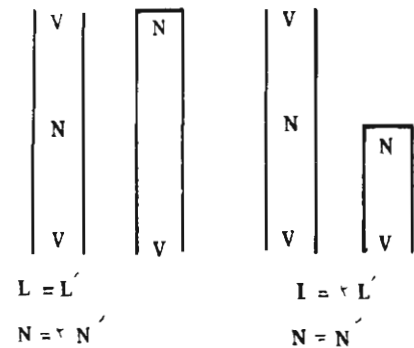
- ۱۳۲ - تواتر صوت اصلی لوله صوتی بازی به طول l از رابطه $N_1 = \frac{v}{2l}$ و تواتر صوت اصلی لوله بسته‌ای به طول l از رابطه : $N_2 = \frac{v}{4l}$ بدست می‌آید . از تقسیم این دو رابطه بر یکدیگر نتیجه می‌شود :

$$N_1 = 2N_2$$

یعنی : تواتر صوت اصلی يك لوله باز دو برابر (اكتاو) تواتر صوت

اصلی لوله بسته هم طول آن است (شکل ۱۳۸) .

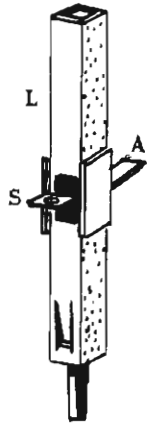
از این قانون نتیجه می‌شود که هرگاه طول لوله بسته نصف طول لوله باز باشد ، این دو لوله هم صدا خواهند بود . یعنی :



شکل ۱۳۸

تواتر صوت اصلی لوله باز با تواتر صوت اصلی لوله بسته‌ای به طول نصف آن برابر است .

آزمایش - لوله صوتی بازی اختیار می‌کنیم که در وسط آن دریچه‌ای باشد که بتوان آن را بست (شکل ۱۳۹) . مشاهده می‌شود که چون در حین ارتعاش لوله باز دریچه را ببندیم ، تواتر صوت لوله تغییر نمی‌کند .



شکل ۱۳۹

موارد استعمال تارهای مرتعش و لوله‌های صوتی

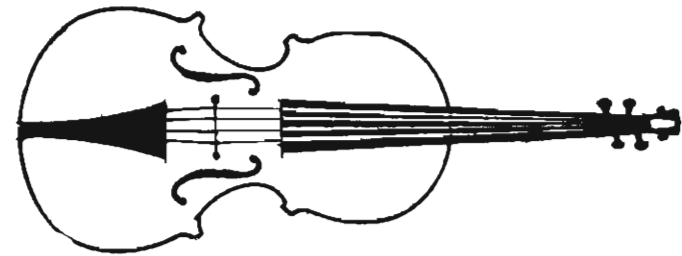
در ادوات موسیقی

۱۳۳ - تارهای مرتعش - تارهای مرتعش در ادوات موسیقی مانند پیانو ، ویولون و جز اینها بکار می‌رود .
 پیانو دارای ۸۵ نوت است (از la_2 تا la_6) . نیروی کشش تارهای آن ثابت و برای تمام سیمها 40 kgf است .

در نوت‌های بم ، چون طول تار را نمی‌توان بزرگ اختیار کرد، آنها را با روپوش مسی سنگین می‌کنند . ارتعاش سیمها به وسیله ضربه‌های چکش کوچکی صورت می‌گیرد .

ویولون چهار سیم دارد که بترتیب نوت‌های sol_4 ، $ré_4$ ، la_4 ، mi_4 را ، هنگامی که تمام طول سیم مرتعش شود ، بیان می‌کنند . برای ایجاد نوت‌های دیگر ، طول سیم را با انگشت تغییر می‌دهند . نیروی کشش

تار در حدود 100 kgf است و ارتعاشات سیم بد وسیله آرشه انجام می شود. در ویولون از کلیدهای کوچکی برای تنظیم نیروی کشش استفاده می شود (شکل ۱۴۰). تار نیز یکی از ادوات موسیقی تار است که در آن



شکل ۱۴۰

نیروی کشش بد وسیله کلید تنظیم می شود ولی ارتعاش سیمها بد وسیله مضراب صورت می گیرد. سنتور نیز یکی از ادوات موسیقی تار است که در آن ارتعاش سیمها بد وسیله چکش انجام می شود.

۱۳۴ - لوله های صوتی - لوله های صوتی در ادوات موسیقی بادی مانند ارگ، فلوت و جز اینها و همچنین در لوله کونت، چنانکه دیده شد، برای تعیین سرعت سیر صوت در گازها بکار می رود.



شکل ۱۴۱

۱۳۵ - گوش - گوش از سه قسمت تشکیل شده است (شکل ۱۴۱): گوش خارجی، گوش میانی و گوش داخلی.

گوش خارجی برای گردآوری و هدایت صوت، گوش میانی برای تشدید صوت و گوش داخلی برای درک صوت است. گوش خارجی همان لاله گوش است که از خارج نمایان است و به وسیله مجرای به گوش میانی منتهی می شود. بین گوش خارجی و گوش میانی پرده نازکی است به نام پرده صماخ.

در گوش میانی چهار تکه استخوان هست که بترتیب عبارتند از: استخوانهای چکشی، سندانی، عدسی و رکابی. این استخوانها پرده صماخ را به پنجره ای بیضی گون متصل می کنند. این پنجره پرده نازکی دارد که به گوش داخلی باز می شود. گوش داخلی از دهلیز و حلزون و مجاری نیمدایره ای تشکیل شده است. دهلیز فضایی است که بین دریچه بیضی گون و حلزون واقع شده است. قسمت حلزون شکل مجرای است به شکل صدف حلزون که پر از مایع مخصوصی است و به وسیله پرده ای به دو قسمت تقسیم شده است. انتهای اعصاب شنوایی به این ناحیه ختم می شود.

امواج صوتی به وسیله لاله گوش به استخوانهای گوش میانی هدایت می شود و از آنها به پرده داخلی قسمت حلزونی می رسد و اعصاب شنوایی این تحریکات را به مغز منتقل می کنند.

۱۳۶ - حنجره - صدای اشخاص به وسیله حنجره تولید می شود (شکل ۱۴۲). حنجره دو تیغه عضلانی دارد که آنها را طنابهای صوتی می نامند و به وسیله ماهیچه های مخصوصی کمابیش باز و بسته می شوند و در نتیجه صدا را به زیر می کنند. بین این دو تیغه فضایی خالی

داد تا همان نتیجه بدست آید ؟ سرعت صوت در هوای صفر درجه 331 m/s و $la_p = 435$ است .

کم کرد $5/07 \text{ cm}$ ۳) درجه $23/2$ ۲) $126/8 \text{ cm}$ ۱)
 ۵- لوله صوتی بسته‌ای به طول يك متر هماهنگ پنجم را بیان می‌کند.
 معین کنید : ۱ - مواضع گره و شکم را در لوله ؛ ۲ - تواتر صوت لوله را
 $(V = 340 \text{ m/s})$.

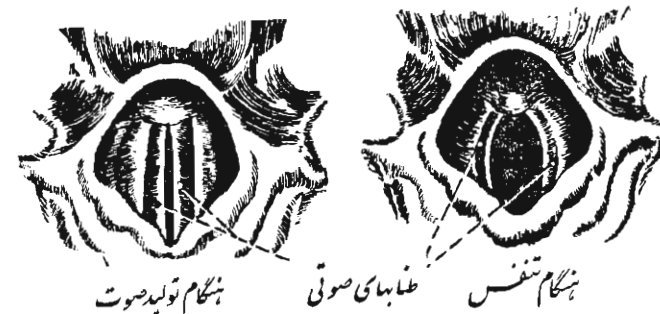
۱) در طول لوله سه گره و سه شکم موجود است و فاصله يك گره از شکم بعدی 20 cm است .
 $N = 425$ (۲)

۶- لوله صوتی بسته‌ای در دمای 15° ، mi_p را بیان می‌کند ، معین کنید : ۱ - طول موج صوت را ، ۲ - طول لوله را ، ۳ - نام دو هماهنگ متوالی را که لوله بیان می‌کند . ۴ - اگر بر شدت دمیدن در لوله بیفزاییم دو گره دیگر در لوله تولید می‌شود . معین کنید طول موج جدید صوت و تواتر آن را . ۵ - اگر دمای لوله را به 5° برسانیم چه تغییری در نوت حاصل در اول مسئله ایجاد خواهد شد (سرعت صوت در هوای 15° ، 340 m/s و $\alpha = \frac{1}{273}$ است) .

۱) $\lambda = 2/08 \text{ m}$ ۲) $l = 52/1 \text{ cm}$ ۳) $si_p \text{ sol}_p \neq$
 ۴) $\lambda = 0/416 \text{ m}$ و $N = 815 = \text{sol}_p \neq$ ۵) $N = 158 = mi_{vb}$
 ۷- لوله صوتی بازی به طول يك متر در هوایی که سرعت صوت در آن 340 m/s است ارتعاش می‌کند . ۱- معین کنید تواتر صوت لوله را در حالتی که بمترین صوت را بیان می‌کند . ۲ - اگر آن را ببندیم ، تواتر هماهنگ سوم آن چقدر است ؟
 $N = 170$ ، $N' = 255$

۸- در لوله صوتی بسته‌ای فقط دو گره به فاصله 20 cm از یکدیگر می‌باشد . معین کنید : ۱- طول موج را ؛ ۲- طول لوله را ؛ ۳- تواتر صوت را ؛ ۴ - سیرنی که ۲۰ سوراخ دارد و صوتی همصدا با لوله تولید می‌کند چند دور در ثانیه می‌زند (سرعت سیر صوت 340 m/s) .

دور در ثانیه $n = 42/5$ ۴) $N = 850$ ۳) $l = 30 \text{ cm}$ ۲) 40 cm ۱)
 ۹- دو لوله صوتی باز که طول هر يك 61 cm است ، یکی با جریان اکسیژن و دیگری با جریان نیتروژن در دمای 5° بصدا در می‌آیند . لوله اکسیژن نوت ut_p را می‌دهد . معین کنید : ۱ - نوت لوله نیتروژن را ؛



شکل ۱۴۲

هست که در هنگام تنفس بزرگتر (شکل ۱۴۲) و در هنگام تکلم کوچکتر می‌شود .

هوایی که از ریه خارج می‌شود ، تیغه‌های عضلانی را به ارتعاش درمی‌آورد . طنین صوت اشخاص بستگی به شکل حفره دهان دارد .

تمرین

۱- لوله صوتی بازی به طول 65 cm در هوا که سرعت صوت در آن 340 m/s است مرتعش می‌شود . معین کنید تواتر صوت اصلی و نام پنج هماهنگ متوالی لوله را ($la_p = 435$) .

$ut_p = 261$ ut_f sol_f ut_d mi_d sol_d

۲- معین کنید تواتر و نام سه صوت اول لوله صوتی بسته‌ای را به طول

$21/7 \text{ cm}$ (سرعت صوت 340 m/s و $la_p = 435$) . sol_p $ré_d$ si_d .

۳- حدود تواتر اصواتی که در موسیقی بکار می‌رود ۱۶ و ۴۰۰۰ است . معین کنید طول لوله صوتی بسته‌ای که این اصوات را به عنوان صوت اصلی بیان می‌کند (سرعت صوت 340 m/s) . $5/31 \text{ m}$ و $2/1 \text{ cm}$.

۴- لوله صوتی بازی نوت ut_p را در 5° بیان می‌کند . معین کنید :
 ۱ - طول لوله را ؛ ۲ - چند درجه باید دمای هوای لوله را تغییر داد تا صوت لوله $ut_p \neq$ گردد ؟ ۳ - چقدر باید طول لوله را در دمای 5° تغییر

۲ - طول موج و سرعت انتشار ارتعاشات در دو لوله را : ۳ - تا چه دمایی باید دو لوله را گرم کرد تا اصوات آنها به اندازه يك Tierce ($\frac{5}{4}$) بالا رود . چگالی اکسیژن ۱۶ برابر چگالی ئیدروژن است .

و $V_0 = 318/42 \text{ m/s}$ و $\lambda = 122 \text{ cm}$ ۲) ut_5 ۱)
 $V_{II} = 1273/68 \text{ m/s}$ ۳) $t = 153/5^\circ$

۱۰ - هماهنگ سوم لوله بسته ای sol_3 است . معین کنید : ۱ - طول لوله را ، ۲ - تواتر پنجمین صوت لوله را . ۳ - طول لوله بازی را طوری تعیین کنید که تواتر هماهنگ چهارم آن برابر با تواتر پنجمین صوت لوله بالا باشد ($la_3 = 435$ و سرعت صوت در دمای لوله مساوی است با $(391/5 \text{ m/s})$. $l = \frac{200}{3} \text{ cm}$ ۳) $N = 1174$ ۲) $l = 75 \text{ cm}$ ۱)

فصل نهم

تشدید (Resonance)

۱۳۷ - در حرکات ارتعاشی، چنانکه دیدیم، دامنه نوسان بتدریج کم می شود و ارتعاشات پس از مدتی از بین می رود . برای جلوگیری از کاهش دامنه نوسان، باید مقدار انرژی که در هر پریود (برائصطکاکها) از بین می رود، جبران شود . مثلاً برای نگاهداری نوسانهای يك تاب باید درست هنگامی که تاب به انتهای مسیر خود می رسد، ضربه هایی به آن وارد شود . در این صورت پریود ضربه ها با پریود حرکت نوسانی تاب برابر است، ولی ممکن است این ضربه ها را پس از دو یا سه یا چهار نوسان کامل تاب وارد کرد . در این صورت پریود ضربه ها ۲ یا ۳ یا ۴ برابر پریود نوسان تاب است . ولی اگر ضربه ها نامنظم وارد شود، یا پریود ضربه ها مضرب صحیحی از پریود نوسان تاب نباشد، حرکت تاب تشدید نخواهد شد، چه در این صورت برخی از ضربه ها درسوی مخالف حرکت تاب است و حرکت آن را کند خواهد کرد . پس شرط ایجاد تشدید آن است که :

پریود حرکت محرك مضرب صحیحی از پریود حرکت نوسانی باشد .
 آزمایش - دو آونگ همطول P_1 و P_2 اختیار می کنیم و آنها را به يك لوله کائوچویی می آویزیم (شکل ۱۴۳) . مشاهده می شود که چون آونگ P_1 را بنوسان در آوریم دیگری نیز بنوسان در می آید

۲ - طول موج و سرعت انتشار ارتعاشات در دو لوله را : ۳ - تا چه دمایی باید دو لوله را گرم کرد تا اصوات آنها به اندازه يك Tierce ($\frac{5}{4}$) بالا رود . چگالی اکسیژن ۱۶ برابر چگالی ئیدروژن است .

و $V_0 = 318/42 \text{ m/s}$ و $\lambda = 122 \text{ cm}$ ۲) ut_5 ۱)
 $V_{II} = 1273/68 \text{ m/s}$ ۳) $t = 153/5^\circ$

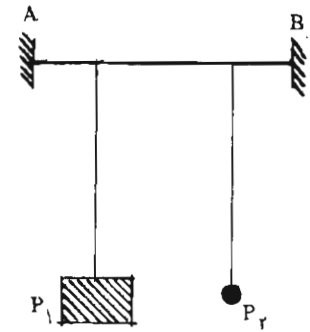
۱۰ - هماهنگ سوم لوله بسته ای sol_3 است . معین کنید : ۱ - طول لوله را ، ۲ - تواتر پنجمین صوت لوله را . ۳ - طول لوله بازی را طوری تعیین کنید که تواتر هماهنگ چهارم آن برابر با تواتر پنجمین صوت لوله بالا باشد ($la_3 = 435$ و سرعت صوت در دمای لوله مساوی است با $(391/5 \text{ m/s})$. $l = \frac{200}{3} \text{ cm}$ ۳) $N = 1174$ ۲) $l = 75 \text{ cm}$ ۱)

فصل نهم

تشدید (Resonance)

۱۳۷ - در حرکات ارتعاشی، چنانکه دیدیم، دامنه نوسان بتدریج کم می شود و ارتعاشات پس از مدتی از بین می رود . برای جلوگیری از کاهش دامنه نوسان، باید مقدار انرژی که در هر پریود (برائصطکاکها) از بین می رود، جبران شود . مثلاً برای نگاهداری نوسانهای يك تاب باید درست هنگامی که تاب به انتهای مسیر خود می رسد، ضربه هایی به آن وارد شود . در این صورت پریود ضربه ها با پریود حرکت نوسانی تاب برابر است، ولی ممکن است این ضربه ها را پس از دو یا سه یا چهار نوسان کامل تاب وارد کرد . در این صورت پریود ضربه ها ۲ یا ۳ یا ۴ برابر پریود نوسان تاب است . ولی اگر ضربه ها نامنظم وارد شود، یا پریود ضربه ها مضرب صحیحی از پریود نوسان تاب نباشد، حرکت تاب تشدید نخواهد شد، چه در این صورت برخی از ضربه ها درسوی مخالف حرکت تاب است و حرکت آن را کند خواهد کرد . پس شرط ایجاد تشدید آن است که :

پریود حرکت محرك مضرب صحیحی از پریود حرکت نوسانی باشد .
 آزمایش - دو آونگ همطول P_1 و P_2 اختیار می کنیم و آنها را به يك لوله کائوچویی می آویزیم (شکل ۱۴۳) . مشاهده می شود که چون آونگ P_1 را بنوسان در آوریم دیگری نیز بنوسان در می آید



شکل ۱۴۳

و نوسانهای این دو آونگ همزمانند . حال اگر طول یکی از دو آونگ را کمی تغییر دهیم ، مشاهده می کنیم که دیگر بین دو آونگ تشدید حاصل نمی شود ، بدین معنی که ارتعاشات یکی ، دیگری را به نوسان منظم در نمی آورد .

تشدید در صوت

۱۳۸ - در صوت نیز تشدید وجود دارد .

آزمایش ۱ - دیواره پیا نویی را باز کنید و در مقابل تارهای آن ویولونی را بصدا در آورید . مشاهده خواهید کرد که بعضی از سیمهای پیانو به ارتعاش در می آیند . اینها تنها تارهایی هستند که تواتر آنها در تواتر صوت مرکب ویولون یافت می شود . علت این است که ارتعاشات تار ویولون به وسیله هوا منتقل شده و تارهایی را که تواترشان با تواتر صوتهای ویولون برابر است وادار به نوسان کرده است (تشدید) .

آزمایش ۲ - دو تار مرتعش را بر روی صداسنجی سوار می کنیم (شکل ۱۴۴) و نیروهای کشش آنها را چنان تنظیم می کنیم که هر دو تار يك صوت را تولید کنند . هرگاه یکی از دو تار را به ارتعاش در آوریم ، دیگری خود بخود به ارتعاش در می آید و همان نوت را بیان می کند و حتی اگر تار اول را از ارتعاش باز داریم همان صوت توسط تار دوم شنیده می شود . ولی چنانچه نیروی کشش یکی از دو تار را کمی تغییر



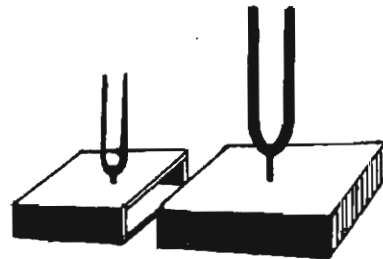
شکل ۱۴۴

دهیم ، بطوری که دیگر تارها همصدا نباشند ، ارتعاش یکی دیگری را به ارتعاش در نمی آورد . بنابراین در صوت نیز شرط ایجاد تشدید آن

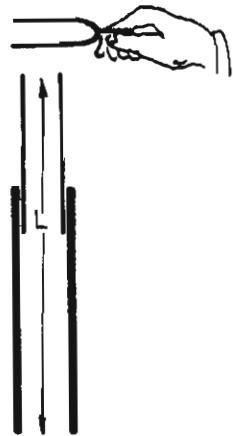
است که پر یودها با هم برابر باشند .

این است که برای ادوات موسیقی از قبیل تار ، ویولون ، دیاپازون و جز اینها جعبه رزونانس (تشدید) می سازند ، چه دیاپازون یا ویولون بدون جعبه صدای بسیار خفیفی تولید می کنند و ارتعاشات هوای جعبه است که صدا را تشدید می کند (شکل ۱۴۵) . همچنین اگر دو دیاپازون مشابه را پهلوی یکدیگر بگذاریم و یکی را به ارتعاش در آوریم ، دیگری نیز ارتعاش می کند .

۱۳۹ - تشدید در لوله های باز - آزمایش - دولوله (شکل ۱۴۶)



شکل ۱۴۵



شکل ۱۴۶

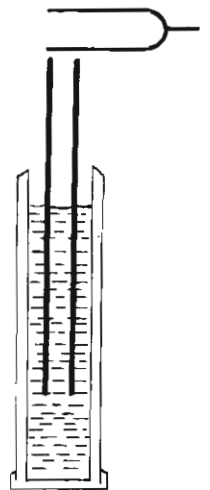
اختیار می‌کنیم که یکی بتواند در دیگری حرکت کند. در دهانه این لوله دیاپازونی را به‌حال ارتعاش نگه می‌داریم، مشاهده می‌شود که اگر طول لوله را بتدریج زیاد کنیم، هنگامی می‌رسد که صدای دیاپازون تشدید می‌شود. در این هنگام است که تواتر صوت لوله با تواتر صوت دیاپازون برابر است. باید دانست که اگر لوله‌ها دراز باشند، مواضع دیگری نیز یافت خواهد شد که در آن مواضع بین دیاپازون و لوله تشدید حاصل شود و در این حالات لوله هماهنگهای ۲ یا ۳ یا ... را ایجاد می‌کند. بطور کلی برای طولهای l که در رابطه $l = 2K \frac{\lambda}{4}$ یا

$$N = \frac{KV}{2l}$$

صدق می‌کنند تشدید حاصل می‌شود.

۱۴۰ - تشدید در لوله‌های بسته - آزمایش - لوله استوانه‌ای

بلندی محتوی آب اختیار می‌کنیم (شکل ۱۴۷) و لوله دوسر بازی را در آب فرو می‌بریم. در مقابل دهانه لوله دیاپازونی را به ارتعاش درمی‌آوریم. چون بتدریج لوله را از آب بیرون بیاوریم، مشاهده می‌شود که هنگامی می‌رسد که صوت دیاپازون بخوبی شنیده می‌شود. در این حالت بین لوله و دیاپازون تشدید حاصل شده و تواتر صوت لوله بسته با تواتر دیاپازون مساوی است. در این وضعیت طول قسمتی از لوله که بیرون آب است برابر $\frac{\lambda}{4}$ صوت دیاپازون است. اگر به بیرون آوردن لوله از آب ادامه دهیم،



شکل ۱۴۷

در مواضع دیگری نیز تشدید حاصل می‌شود که در آنها طول لوله $\frac{3\lambda}{4}$ یا

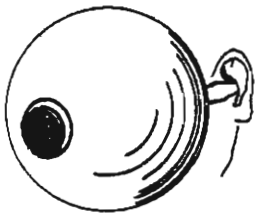
$$N = (2K - 1) \frac{V}{4l}$$

می‌باشد (K اعداد صحیح متوالی است).

۱۴۱ - تشدید کننده‌ها - يك تشدید کننده صوتی لوله‌ای است

که برای يك یا چند صوت ساده به ارتعاش درمی‌آید و بنابراین می‌تواند همان اصوات را تشدید کند. چنانکه گفته شد، جعبه‌های رزونانس ادوات موسیقی همین کار را می‌کنند و همچنین دهان برای صوتهای مختلف تشدید کننده خوبی است، زیرا که می‌تواند اشکال مختلفی به خود بگیرد، چنانکه برای بیان حروف مختلف الفبا شکل دهان تغییر می‌کند.

آزمایش - يك لوله صوتی کروی (شکل ۱۴۸) اختیار می‌کنیم و دیاپازونهای متفاوتی در دهانه آن قرار داده انتهای دیگر لوله را در



شکل ۱۴۸

گوش می‌گذاریم. مشاهده می‌شود که این لوله صوتی عملاً فقط برای يك نوت مخصوص به ارتعاش درمی‌آید. این لوله‌ها که تشدید کننده هلمولتز نام دارند برای تقویت و تجزیه صوتهای مرکب

بکار می‌روند. برای تعیین اجزای يك صوت مرکب، آن صوت را در مقابل يك عده از این تشدید کننده‌ها که ابعادشان متفاوت است، و بنابراین هريك نوت مخصوصی را تشدید می‌کند، تولید می‌کنیم. تشدید کننده‌هایی که صدا را تقویت می‌کنند، صوتهای ساده‌ای را که صوت مرکب از ترکیب آنها درست شده است معلوم می‌کنند.

تمرین

۱- دیابازونی ۱۷۵ ارتعاش در ثانیه انجام می‌دهد. آن را در مقابل دهانه لوله صوتی بازی به طول l قرار می‌دهیم. معین کنید طول l را برای آنکه بین صوت اصلی لوله و دیابازون تشدید حاصل شود. سرعت صوت در هوا 340 m/s است. اگر لوله را ببندیم، تواتر دیابازونی را تعیین کنید که با صوت اصلی این لوله بسته تشدید حاصل کند. $N=85$ و متر ۱

۲- تار مرتعی به طول یک متر با نیروی کشش F کشیده شده است. جرم هر متر تار مساوی 0.981 g و گرم و تواتر صوت اصلی آن N است بطوری که $\frac{ut_r}{N} = 1/305$ می‌باشد. اولاً نیروی F و سرعت انتشار ارتعاشات در تار و طول موج صوت تار را بدست آورید. ثانیاً چه اندازه F را باید تغییر داد تا صوت تار sol_r شود و در این صورت نام Δ هماهنگ متوالی تار مرتعش را معین کنید. ثالثاً طول لوله صوتی بسته‌ای را تعیین کنید که هماهنگ سوم تار اولی با هماهنگ پنجم این لوله برابر باشد. سرعت صوت در هوای لوله 340 m/s است. رابعاً لوله صوتی بازی به طول ۴ متر اختیار می‌کنیم و تار اولی را (تواتر N) در مقابل دهانه آن، که به وسیله پیستون متحرکی بسته شده است، قرار می‌دهیم. مواضع پیستون را در حالت تشدید و همچنین تواتر صوت لوله را در مواقع تشدید پیدا کنید.

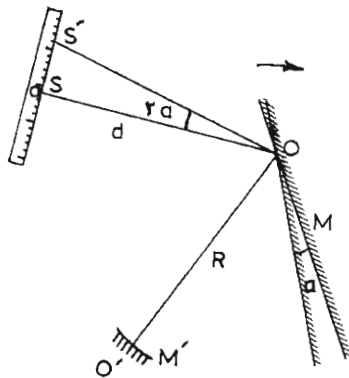
- ۱) $F=4 \text{ kgf}$ و $V=200 \text{ m/s}$ و $\lambda=2 \text{ m}$
- ۲) $f=11/3 \text{ kgf}$ و $\text{sol}_r, \text{ré}_r, \text{sol}_r, \text{si}_r, \text{ré}_r$
- ۳) $1/42 \text{ m}$ ۴) 85 و 255 cm و 100

فرد

سرعت نور

۱۴۲- برای اندازه‌گیری سرعت نور روشهای مختلفی بکار برده شده است. در اینجا به بیان یکی از آنها می‌پردازیم:

آینه دوار فوکو (Foucault) - منبع نور کوچک S را در مقابل آینه تخت M قرار می‌دهیم (شکل ۱۴۹). آینه M می‌تواند به دور محوری افقی (عمود بر صفحه کاغذ در نقطه O) با سرعت زیادی دوران کند. در مقابل این آینه یک آینه مقعر M' را چنان قرار می‌دهیم که مرکز آن (O) بر روی آینه تخت M باشد. شعاع SO ، پس از برخورد به آینه تخت M ، در امتداد OO' منعکس شده بر آینه M' می‌تابد و چون از مرکز آینه M' می‌گذرد بر روی خود منعکس شده در همان امتداد OO' باز می‌گردد. اگر آینه تخت ساکن می‌بود، در امتداد اولیه SO باز می‌گشت، ولی چون آینه تخت با سرعت حول نقطه O می‌چرخد، شعاع OO' در بازگشت، با وضع جدیدی از آینه تخت



شکل ۱۴۹

می‌چرخد، شعاع OO' در بازگشت، با وضع جدیدی از آینه تخت

تمرین

۱- دیابازونی ۱۷۵ ارتعاش در ثانیه انجام می‌دهد. آن را در مقابل دهانه لوله صوتی بازی به طول l قرار می‌دهیم. معین کنید طول l را برای آنکه بین صوت اصلی لوله و دیابازون تشدید حاصل شود. سرعت صوت در هوا 340 m/s است. اگر لوله را ببندیم، تواتر دیابازونی را تعیین کنید که با صوت اصلی این لوله بسته تشدید حاصل کند. $N=85$ و متر ۱

۲- تار مرتعی به طول یک متر با نیروی کشش F کشیده شده است. جرم هر متر تار مساوی 0.981 g و تواتر صوت اصلی آن N است بطوری که $\frac{ut_r}{N} = 1/305$ می‌باشد. اولاً نیروی F و سرعت انتشار ارتعاشات در تار و طول موج صوت تار را بدست آورید. ثانیاً چه اندازه F را باید تغییر داد تا صوت تار sol_r شود و در این صورت نام Δ هماهنگ متوالی تار مرتعش را معین کنید. ثالثاً طول لوله صوتی بسته‌ای را تعیین کنید که هماهنگ سوم تار اولی با هماهنگ پنجم این لوله برابر باشد. سرعت صوت در هوای لوله 340 m/s است. رابعاً لوله صوتی بازی به طول ۴ متر اختیار می‌کنیم و تار اولی را (تواتر N) در مقابل دهانه آن، که به وسیله پیستون متحرکی بسته شده است، قرار می‌دهیم. مواضع پیستون را در حالت تشدید و همچنین تواتر صوت لوله را در مواقع تشدید پیدا کنید.

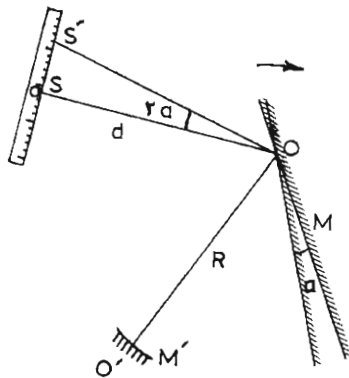
- ۱) $F=4 \text{ kgf}$ و $V=200 \text{ m/s}$ و $\lambda=2 \text{ m}$
- ۲) $f=11/3 \text{ kgf}$ و $\text{sol}_r, \text{ré}_r, \text{sol}_r, \text{si}_r, \text{ré}_r$
- ۳) $1/42 \text{ m}$ ۴) 85 و 255 cm و 100

فرد

سرعت نور

۱۴۲- برای اندازه‌گیری سرعت نور روشهای مختلفی بکار برده شده است. در اینجا به بیان یکی از آنها می‌پردازیم:

آینه دوار فوکو (Foucault) - منبع نور کوچک S را در مقابل آینه تخت M قرار می‌دهیم (شکل ۱۴۹). آینه M می‌تواند به دور محوری افقی (عمود بر صفحه کاغذ در نقطه O) با سرعت زیادی دوران کند. در مقابل این آینه یک آینه مقعر M' را چنان قرار می‌دهیم که مرکز آن (O) بر روی آینه تخت M باشد. شعاع SO ، پس از برخورد به آینه تخت M ، در امتداد OO' منعکس شده بر آینه M' می‌تابد و چون از مرکز آینه M' می‌گذرد بر روی خود منعکس شده در همان امتداد OO' باز می‌گردد. اگر آینه تخت ساکن می‌بود، در امتداد اولیه SO باز می‌گشت، ولی چون آینه تخت با سرعت حول نقطه O می‌چرخد، شعاع OO' در بازگشت، با وضع جدیدی از آینه تخت



شکل ۱۴۹

می‌چرخد، شعاع OO' در بازگشت، با وضع جدیدی از آینه تخت

مصادف می‌شود، چه این آینه در مدتی که نور از O به O' رفته و مجدداً به O بازگشته است به اندازه زاویه α دوران کرده و بنا بر این شعاع OO' ، پس از انعکاس بر آینه تخت، از نقطه S' می‌گذرد بطوری که زاویه SOS' برابر 2α است (زیرا چون آینه‌ای به اندازه α دوران کند شعاع منعکس به اندازه 2α منحرف می‌شود). نقطه S' تصویر نقطه S در دستگاه دو آینه است. آشکار است که وضعیت نقطه S' بستگی بدسرت دوران آینه دارد و اگر حرکت آینه یکنواخت باشد نقطه S' ثابت می‌ماند. گفتیم که مدت زمانی که آینه تخت به اندازه α دوران کرده برابر است با مدت زمانی که نور مسافت $2OO' = 2R$ را پیموده است. پس اگر این مدت را به t نمایش دهیم، سرعت سیر نور از رابطه $V = \frac{2R}{t}$ بدست خواهد آمد. برای محاسبه t گوئیم که اگر آینه تخت n دور در یک ثانیه بزند، زاویه α رادیان را در مدت $t = \frac{\alpha}{2\pi n}$ خواهد پیمود. برای محاسبه α از مثلث SOS' استفاده می‌کنیم. چون α خیلی کوچک است $\frac{SS'}{OS} = 2\alpha = tg 2\alpha$ و چون SS' را به a و SO را به d نمایش دهیم، $\alpha = \frac{a}{2d}$ و بنا بر این $t = \frac{a}{4\pi dn}$ و سرعت نور چنین می‌شود:

$$V = \frac{2R}{t} = \frac{4\pi ndR}{a}$$

با اندازه‌گیری R شعاع آینه مقعر، d فاصله منبع از آینه تخت، a فاصله $S'S$ و n عدد دورهای آینه در ثانیه، V بدست می‌آید.

رجحان این روش بر دیگر روشها این است که می‌توان با آن سرعت نور را در محیطهای مختلف اندازه گرفت. فوکو آزمایشهایی در محیطهای مختلف انجام داد و ثابت کرد که سرعت نور در خلأ برابر است با 300000 km/s و در محیطهای مادی سرعت نور کمتر است و از رابطه $V' = \frac{V}{n}$ بدست می‌آید که در آن n ضریب شکست محیط نسبت به خلأ است. مثلاً سرعت نور در شیشه مساوی است با:

$$V' = \frac{2}{3} \times 300000 = 200000 \text{ km/s}$$

از طرف دیگر آزمایش نشان می‌دهد که سرعت نور در خلأ برای رنگهای مختلف یکسان است در حالی که در محیطهای شفاف دیگر بستگی به رنگ نور دارد.

فرضیه موجی نور

۱۴۳ - بعضی از آثار نور را نمی‌توان با فرض انتشار مستقیم نور توجیه کرد، در صورتی که با فرضیه موجی نور بخوبی توجیه می‌شود. اساس فرضیه موجی نور بر اصول زیر قرار گرفته است:

۱ - نور نتیجه حرکتی است ارتعاشی که به شکل موج مانند همه ارتعاشات و با سرعت ثابت منتشر می‌شود.

۲ - نور تکرنگ از حرکتی سینوسی بوجود می‌آید که دارای پریود مشخص T است. این پریود وابسته به منبع ارتعاشی است که این نور را تابش می‌کند و به جنس محیطی که در آن نور منتشر می‌شود بستگی ندارد. نور ساده یا تکرنگ عبارت از نوری است که تجزیه

نشود. نور مرکب، از جمله نور سفید، از ترکیب نورهای تک‌رنگ بوجود می‌آید.

۳- شدت نور، مانند دیگر حرکات ارتعاشی، متناسب با مجذور دامنه نوسان ارتعاشات است.

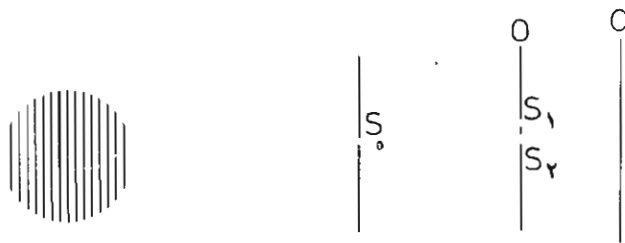
۴- نور از نوع ارتعاشات عرضی است یعنی امتداد ارتعاشات عمود بر امتداد انتشار است.

۱۴۴- طول موج - طول موج يك نور ساده عبارت از مسافتی است که امواج نور در يك پریود طی می‌کند و از رابطه $\lambda = VT$ بدست می‌آید که در آن T پریود ارتعاشات، V سرعت نور در خلأ و λ طول موج در خلأ است. اگر طول موج در خلأ λ باشد، در محیطی شفاف

به ضریب شکست n ، طول موج $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ خواهد بود.

تداخل امواج نوری

۱۴۵- آزمایش یانگ - در مقابل نقطه نورانی S_0 ، که نور آن تک‌رنگ است، صفحه‌ای که دارای دو سوراخ کوچک و نزدیک به هم S_1 و S_2 است، قرار می‌دهیم. فاصله سوراخها در حدود 2mm و قطر هریک در حدود 0.5mm است (شکل ۱۵۰). اکنون اگر نوری را که از این دو سوراخ خارج می‌شود بر پرده سفیدی (C) بیندازیم که در حدود يك متر از صفحه فاصله دارد، مشاهده می‌کنیم که، به جای دو لکه روشن، يك عده نوار تاريك و روشن بر روی پرده می‌افتد. بدین



شکل ۱۵۱

شکل ۱۵۰

ترتیب که در محل تقاطع پرده با عمود منصف $\overline{S_1S_2}$ يك نوار روشن عمود بر $\overline{S_1S_2}$ دیده می‌شود و در اطراف این نوار مرکزی يك سلسله نوارهای تاريك و روشن به فاصله‌های متساوی دیده می‌شود (شکل ۱۵۱)، و هرچه از نوار مرکزی دورتر شویم روشنی نوارهای روشن کمتر می‌شود.

نشود. نور مرکب، از جمله نور سفید، از ترکیب نورهای تک‌رنگ بوجود می‌آید.

۳- شدت نور، مانند دیگر حرکات ارتعاشی، متناسب با مجذور دامنه نوسان ارتعاشات است.

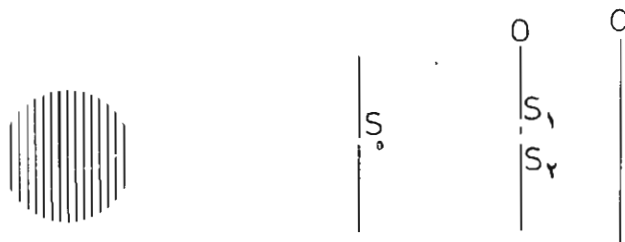
۴- نور از نوع ارتعاشات عرضی است یعنی امتداد ارتعاشات عمود بر امتداد انتشار است.

۱۴۴- طول موج - طول موج يك نور ساده عبارت از مسافتی است که امواج نور در يك پریود طی می‌کند و از رابطه $\lambda = VT$ بدست می‌آید که در آن T پریود ارتعاشات، V سرعت نور در خلأ و λ طول موج در خلأ است. اگر طول موج در خلأ λ باشد، در محیطی شفاف

به ضریب شکست n ، طول موج $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ خواهد بود.

تداخل امواج نوری

۱۴۵- آزمایش یانگ - در مقابل نقطه نورانی S_0 ، که نور آن تک‌رنگ است، صفحه‌ای که دارای دو سوراخ کوچک و نزدیک به هم S_1 و S_2 است، قرار می‌دهیم. فاصله سوراخها در حدود 2mm و قطر هریک در حدود 0.5mm است (شکل ۱۵۰). اکنون اگر نوری را که از این دو سوراخ خارج می‌شود بر پرده سفیدی (C) بیندازیم که در حدود يك متر از صفحه فاصله دارد، مشاهده می‌کنیم که، به جای دو لکه روشن، يك عده نوار تاريك و روشن بر روی پرده می‌افتد. بدین

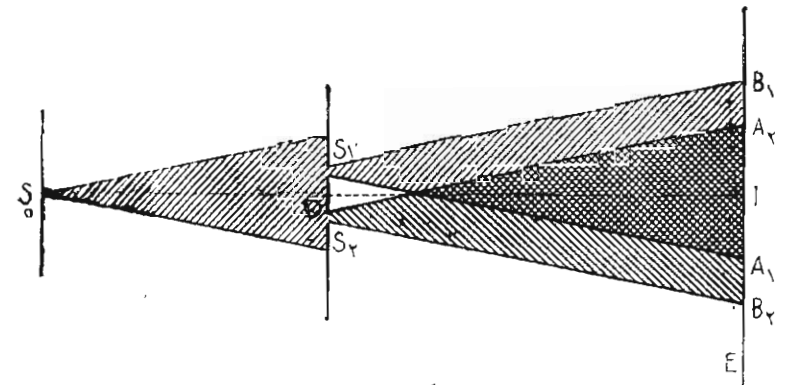


شکل ۱۵۱

شکل ۱۵۰

ترتیب که در محل تقاطع پرده با عمود منصف $\overline{S_1S_2}$ يك نوار روشن عمود بر $\overline{S_1S_2}$ دیده می‌شود و در اطراف این نوار مرکزی يك سلسله نوارهای تاريك و روشن به فاصله‌های متساوی دیده می‌شود (شکل ۱۵۱)، و هرچه از نوار مرکزی دورتر شویم روشنی نوارهای روشن کمتر می‌شود.

این نوارها را **نوارهای تداخلی** می نامند . هر قدر فاصله دو سوراخ کمتر باشد فاصله نوارها از یکدیگر بیشتر خواهد بود . این آزمایش از هر حیث قابل مقایسه با آزمایشی است که پیش از این درباره تداخل امواج گفته شد . نوارهای روشن نظیر نقاط ماکزیمم حرکت است که در اینجا نیز تفاضل فواصلشان از دو منبع S_1 و S_2 ، مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{2}$ است ، و نوارهای تاریک نظیر نقاط بی حرکت است و تفاضل فواصلشان از دو منبع ، مضرب فردی از $\frac{\lambda}{2}$ است . از این رو می توان نتیجه گرفت که منبع S_0 امواجی کروی انتشار می دهد و نقاط S_1 و S_2 ، براثر رسیدن ارتعاشات به آنها ، هر يك بتنهایی يك منبع ارتعاشی مستقل می شود (شکل ۱۵۲) . ارتعاشات این دو منبع ، که کاملاً متساویند (از حیث فاز ، پریود و دامنه) در فضا با یکدیگر ترکیب شده امواج تداخلی تولید



شکل ۱۵۲

کرده است . برای آنکه نوارها بهتر نمایان شوند ، به جای نقطه نورانی S_0 ، يك شكاف نورانی اختیار می کنند (برای تولید نور تکرنگ مانند نور سرخ ، يك شیشه سرخ در مقابل شكاف S_0 می گذارند) و به جای دو



شکل ۱۵۳

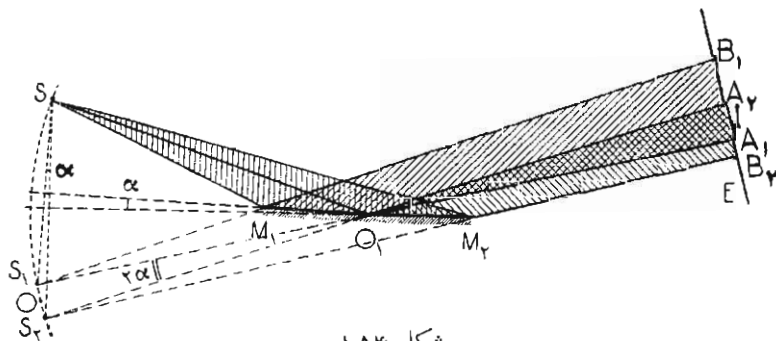
سوراخ S_1 و S_2 ، دو شكاف موازی با S_0 اختیار می کنند (ممکن است به جای دو شكاف S_1 و S_2 ، با يك تیغ ژیلت بر روی شیشه عکاسی سیاه شده ای دو خط نازک موازی رسم کرد) .

در این حالت نوارهای تداخلی موازی شكافها خواهند بود (شکل ۱۵۳) .
تذکره ۱ - اگر به جای نور تکرنگ نور سفید اختیار شود ، در وسط يك نوار سفید و در اطراف آن نوارهایی رنگی مشاهده می شود که به وسیله نوارهای تاریک جدا شده اند .

تذکره ۲ - ممکن است به جای آنکه نوارها را بر روی پردای بدست آوریم ، مستقیماً چشم را در پشت دو سوراخ قرار داده و نوارها را مشاهده کنیم .

۱۴۶- آزمایش دو آینه فرنل - چون شرط اساسی تشکیل

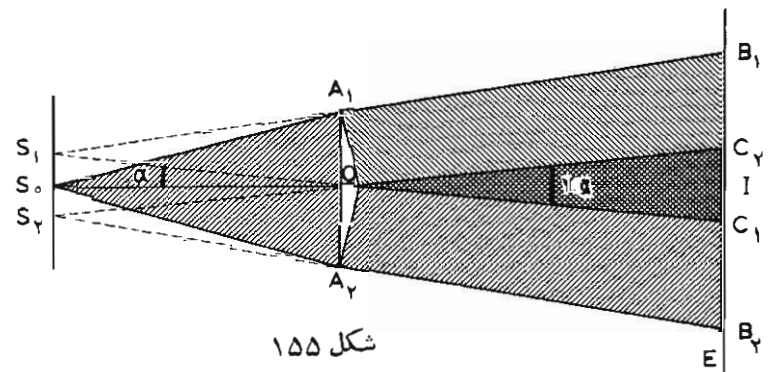
نوارهای تداخلی یکسان بودن دو منبع ارتعاشی است ، در آزمایشهای مربوط به تداخل نور ، به وسایل مختلف دو منبع مشابه S_1 و S_2 را از



شکل ۱۵۴

يك منبع S بدست می آورند . یکی از این وسایل آینه های فرنل است . در مقابل شکاف نورانی و تکرنگ S دو آینه تخت M_1 و M_2 که زاویه بین سطوح صیقلی آنها اندکی از 180° کمتر است می گذاریم (شکل ۱۵۴). از شکاف نورانی S بر روی این دو آینه اشعه نور تکرنگی می تابد. این اشعه پس از انعکاس از آینه ها ، در يك ناحیه از فضا با هم برخورد می کنند و گویی که از دو شکاف S_1 و S_2 (تصویر شکاف S در آینه ها) می آیند . اکنون اگر صفحه ای به فاصله يك متر از آینه ها و در ناحیه مشترك این اشعه بگذاریم ، بر روی صفحه نوارهای تداخلی مشاهده می شود. در این آزمایش دو شکاف S_1 و S_2 که گویی نور از آنها می تابد مانند دو منبع ارتعاشی مشابه عمل می کنند و از ترکیب امواج آنها نوارهای تداخلی ایجاد می شود .

۱۴۷- آزمایش دو منشور فرنل - دستگاه دو منشوری فرنل از دو منشور تشکیل شده است که زاویه رأس هریک مساوی A است و از طرف قاعده به یکدیگر چسبانده شده اند (شکل ۱۵۵). زاویه A خیلی



شکل ۱۵۵

کوچک است (در حدود چند دقیقه) ، منبع کوچک S_0 در مقابل دستگاه و بر روی محور Ox (محور تقارن) قرار گرفته است . اشعه نور پس از

عبور از منشور بالایی به طرف قاعده منشور ، یعنی به طرف پایین ، متوجه می شود و منشور پایینی اشعه را به طرف بالا منحرف می سازد . در قسمت مشترك این اشعه تداخل روی می دهد ، و نوارهای تداخلی را می توان مشاهده کرد .

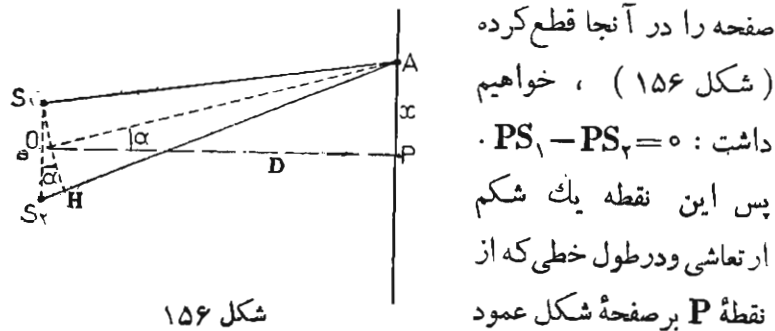
در اینجا نیز ، چون اشعه پس از عبور از دو منشور تشکیل دو تصویر مجازی S_1 و S_2 را می دهد ، می توان گفت که این اشعه از دو منبع مشابه S_1 و S_2 تاییده اند. برای محاسبه فاصله S_1S_2 گوئیم که اگر α زاویه انحراف مربوط به شعاع S_0O باشد :

$$S_1S_2 = 2S_0S = 2 \times S_0O \times \alpha$$

$$S_1S_2 = 2(n-1)A \times S_0O$$

در اینجا نیز اگر به جای سوراخ نورانی شکاف نورانی اختیار شود ، نوارها واضح تر دیده خواهد شد .

۱۴۸- محاسبه طول موج - فرض کنیم که $S_1S_2 = a$ باشد (فاصله دو شکاف نورانی) . اگر P نقطه ای باشد که عمود منصف S_1S_2



شکل ۱۵۶

صفحه را در آنجا قطع کرده (شکل ۱۵۶) ، خواهیم داشت : $PS_1 - PS_2 = 0$. پس این نقطه يك شکم ارتعاشی و در طول خطی که از نقطه P بر صفحه شکل عمود

است ، شدت نور ماکزیمم است . این خط به نوار مرکزی موسوم است . اولین نوار روشن بعد از نوار مرکزی جایی است که اختلاف فاصله اش از

دو منبع S_1 و S_2 مساوی λ است و بطور کلی نوار K ام روشن (از نوار مرکزی) از نقطه‌ای می‌گذرد مانند A که اختلاف فاصله آن از دو منبع $S_2A - S_1A = K\lambda$ است. اگر نقطه A را مرکز قرار داده، به شعاع AS_1 قوسی رسم کنیم تا خط S_2A را در نقطه H قطع کند، آشکار است که $S_2A - S_1A = S_2H$ پس $S_2H = K\lambda$ خواهد بود و در مثلث S_1S_2H داریم $S_2H = S_1S_2 \times \alpha$ و بنابراین $K\lambda = a\alpha$ و چون از مثلث OPA مقدار α را حساب کنیم، $\alpha = \frac{PA}{PO}$ ، اگر فاصله PA را که فاصله K امین نوار روشن از نوار مرکزی است بد x و PO را بد D نمایش دهیم، $\alpha = \frac{x}{D}$ و بنا براین $K\lambda = \frac{ax}{D}$

$$\lambda = \frac{ax}{DK} \quad \text{یا}$$

از این رابطه می‌توان با اندازه‌گیری a ، D ، x و K طول موج نور را حساب کرد.

تذکره - مقدار x از رابطه بالا بدست می‌آید: $x = \frac{KD\lambda}{a}$ ، می‌بینیم که هر قدر طول موج بزرگتر و a کوچکتر باشد x یعنی فاصله نوارها بزرگتر خواهد بود. از آزمایشهایی که برای تعیین طول موج بعمل آمده نتیجه شده است که طول موج نورهای مرئی بین 0.4μ (بنفش) و 0.8μ (سرخ) است.

مثال - در يك تجربه که با آینه‌های فرنل انجام می‌شود، زاویه بین دو آینه $\alpha = 3'$ است. شکاف به فاصله ۲ متر از یال دو آینه واقع است و نوارهای تداخلی بر پرده‌ای تشکیل می‌شود که به فاصله ۳ متر از فصل مشترك دو

آینه است. آزمایش با نور سرخ کادمیوم که طول موج آن $\lambda = 0.6438\mu$ است انجام می‌شود. فاصله دو نوار روشن متوالی را بدست آورید.
حل - بر طبق شکل ۱۵۴ می‌توان نوشت:

$$D = OI = OO_1 + O_1I$$

$$D = 2000 + 3000 = 5000 \text{ mm}$$

$$S_1S_2 = a = 2\alpha.001$$

$$\alpha = 3' = 8/7 \times 10^{-4} \text{ رادیان}$$

$$a = 3/48 \text{ mm} \quad \text{پس}$$

بالاخره فاصله دو نوار متوالی

$$i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{0.6438}{1000} \times \frac{5000}{3/48}$$

$$i = 0.925 \text{ mm}$$

۱۴۹- پریود و تواتر ارتعاشات نوری - پریود ارتعاشات نوری

از رابطه $\lambda = VT$ بدست می‌آید. مثلاً برای نور سرخ به طول موج $\lambda = 0.8\mu$ ، $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{0.8}{3 \times 10^{14}} = 3 \times 10^{-15} \text{ s}$ ، پس پریود چنین است:

ثانیه $T = \frac{0.8}{3 \times 10^{14}} = \frac{8}{3 \times 10^{15}}$ و تواتر N این نور سرخ $N = \frac{1}{T} = \frac{3 \times 10^{15}}{8} = 375 \times 10^{12}$ است. به همین ترتیب تواتر نور بنفش بد طول موج 0.4μ بدست می‌آید:

$$N = \frac{1}{T} = \frac{3 \times 10^{15}}{4} = 750 \times 10^{12}$$

چنانکه مشاهده می‌شود امواج نور مرئی يك اکتاو تشکیل می‌دهند

و نور بنفش اکتاو نور سرخ است.

تمرین

۱- در آزمایش یانگ فاصله دو شکاف که در مقابل منبع نورانی S تکرنگی قرار گرفته اند ، 1 mm و فاصله پرده از صفحه دو شکاف 2 متر و طول موج نور مورد آزمایش 0.6μ است . معین کنید فاصله بین دو نوار روشن متوالی را بر روی پرده .
 $1/2\text{ mm}$

۲- فاصله دو شکاف S_1 و S_2 در آزمایش یانگ مساوی 2 mm است و نوارها بر پرده ای به فاصله 75 cm از سطح دو شکاف تشکیل می شوند . فاصله دو نوار روشن متوالی 0.225 mm است . معین کنید : ۱- طول موج نور مورد آزمایش را ؛ ۲- تواتر آن را .
 0.6μ و 5×10^{14}

۳- در آزمایش یانگ فاصله دو سوراخ 2 mm و فاصله صفحه از منبع نور یک متر است . فاصله پنجمین نوار روشن از نوار مرکزی 1 mm است . معین کنید طول موج نور را .
 0.4μ

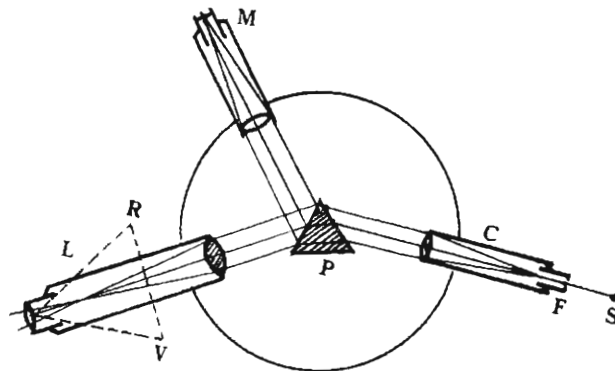
۴- فاصله دو منبع نورانی در آزمایش یانگ $1/5\text{ mm}$ و صفحه ای که نوارهای تداخلی بر روی آن تشکیل می شود به فاصله $2/5\text{ متر}$ از دو منبع واقع شده و فاصله دهمین نوار روشن از نوار مرکزی 10 mm است . طول موج و تواتر نور مورد آزمایش را بدست آورید در صورتی که سرعت نور 300000 km/s باشد .
 0.6μ و 5×10^{14}

فصل دوازدهم

طیفنما (اسپکتر و اسکوپ)

می دانیم که هرگاه در مسیر یک دسته نور مرکب منشوری قرار دهیم ، اشعه پس از عبور از منشور به نورهای ساده تجزیه می شود و اگر آن را بر پردای بیفکنیم نوار رنگینی تشکیل می دهد . این نورهای ساده را طیف نور مرکب می نامند .

۱۵۰- طیفنما - دستگاهی که برای تجزیه نور و تحقیق در طیف اجسام بکار می رود طیفنما نام دارد و از قسمتهای زیر تشکیل شده است (شکل ۱۵۷) :



شکل ۱۵۷

۱- کولیما تور - کولیما تور لوله ای است مانند C که در یکی از دو انتهای آن شکاف کوچک قائم F قرار دارد . گشادی این شکاف را

تمرین

۱- در آزمایش یانگ فاصله دو شکاف که در مقابل منبع نورانی S تکرنگی قرار گرفته اند ، 1mm و فاصله پرده از صفحه دو شکاف 2m و طول موج نور مورد آزمایش 0.6μ است . معین کنید فاصله بین دو نوار روشن متوالی را بر روی پرده .
 $1/2\text{mm}$

۲- فاصله دو شکاف S_1 و S_2 در آزمایش یانگ مساوی 2mm است و نوارها بر پرده ای به فاصله 75cm از سطح دو شکاف تشکیل می شوند . فاصله دو نوار روشن متوالی 0.225mm است . معین کنید : ۱- طول موج نور مورد آزمایش را ؛ ۲- تواتر آن را .
 0.6μ و 5×10^{14}

۳- در آزمایش یانگ فاصله دو سوراخ 2mm و فاصله صفحه از منبع نور یک متر است . فاصله پنجمین نوار روشن از نوار مرکزی 1mm است . معین کنید طول موج نور را .
 0.4μ

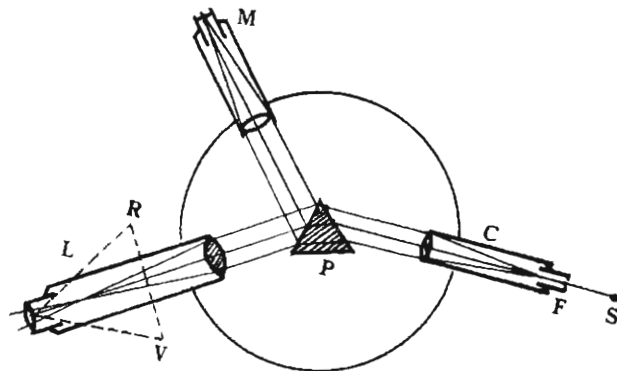
۴- فاصله دو منبع نورانی در آزمایش یانگ $1/5\text{mm}$ و صفحه ای که نوارهای تداخلی بر روی آن تشکیل می شود به فاصله $2/5\text{m}$ از دو منبع واقع شده و فاصله دهمین نوار روشن از نوار مرکزی 10mm است . طول موج و تواتر نور مورد آزمایش را بدست آورید در صورتی که سرعت نور 300000km/s باشد .
 0.6μ و 5×10^{14}

فصل دوازدهم

طیفنما (اسپکتر و اسکوپ)

می دانیم که هرگاه در مسیر یک دسته نور مرکب منشوری قرار دهیم ، اشعه پس از عبور از منشور به نورهای ساده تجزیه می شود و اگر آن را بر پردای بیفکنیم نوار رنگینی تشکیل می دهد . این نورهای ساده را طیف نور مرکب می نامند .

۱۵۰- طیفنما - دستگاهی که برای تجزیه نور و تحقیق در طیف اجسام بکار می رود طیفنما نام دارد و از قسمتهای زیر تشکیل شده است (شکل ۱۵۷) :

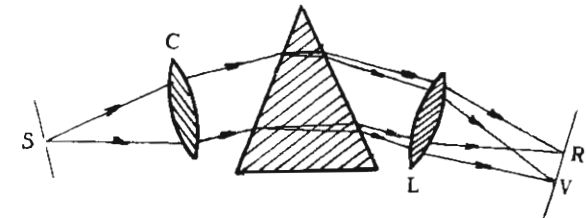


شکل ۱۵۷

۱- کولیماتور - کولیماتور لوله ای است مانند C که در یکی از دو انتهای آن شکاف کوچک قائم F قرار دارد . گشادی این شکاف را

به وسیله پیچی می توان تنظیم کرد . در انتهای دیگر لوله عدسی همگرایی قرار دارد که شکاف F در سطح کانونی آن است . منبع S را که منظور بررسی طیف آن است در مقابل شکاف F می گذارند . اشعه پس از عبور از عدسی بدموازات یکدیگر خارج شده و بر منشور می تابد .

۲- منشور P - این منشور از شیشه فلینت و معمولاً زاویه رأس آن 60° است . اشعه را طوری بر منشور می تابانند که منشور برای اشعه وسطی در مینیمم انحراف باشد . اشعه پس از عبور از منشور تجزیه و در دورین کوچکی وارد می شود . آشکار است که اشعه پس از خروج از منشور دسته دسته با یکدیگر موازیند . بدین معنی که اشعه مربوط به هر رنگ ساده با یکدیگر موازیند ولی اشعه مربوط به دور رنگ متفاوت موازی نیستند (شکل ۱۵۸) .



شکل ۱۵۸

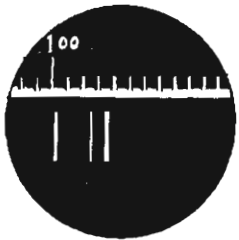
۳- دورین L - دورین L از دو عدسی تشکیل شده است: یکی شیئی که از هر دسته اشعه تک رنگی که به موازات یکدیگرند تصویری حقیقی در سطح کانونی می دهد ، بدین معنی که مثلاً تمام اشعه سرخ تک رنگ در R و تمام اشعه بنفش تک رنگ در V جمع می شود، می بینیم که در سطح کانونی این عدسی هر رنگ ساده ای که در نور مرکب وجود دارد

تصویری جداگانه می دهد . عدسی دوم عدسی همگرایی است که کار یک ذره بین را می کند و از هر یک از تصاویر R و V که در سطح کانونی شیئی واقعند تصویری مجازی ، مستقیم و بزرگتر می دهد و ناظر که در پشت چشمی است آنها را مشاهده می کند .

تذکره - ممکن است که به جای عدسی دوم یک دستگاه عکسبرداری قرار داد و از طیف عکسبرداری کرد .

۴- میکرومتر - برای مدرج کردن طیف و اندازه گیری طول موج ، قسمت دیگری موسوم به میکرومتر اضافه می کنند . میکرومتر تشکیل شده است از یک لوله M که در یکی از دو انتهای آن شیشه ای قرار گرفته که به تقسیمات کوچکی ($\frac{1}{10}$ یا $\frac{1}{100}$ میلیمتر) تقسیم شده است و در انتهای دیگر آن عدسی همگرایی است که شیشه مدرج در سطح کانونی آن واقع است . شیشه مدرج را با منبع روشنایی کوچکی روشن می کنند . اشعه پس از عبور از عدسی به موازات یکدیگر خارج شده و پس از **انعکاس** بر سطح منشور، داخل دورین می شوند . بدین طریق تصویر درجه بندی توأم با تصویر طیف دیده می شود . بدین وسیله می توان

رنگ معینی را بر روی درجه ای از میکرومتر منطبق و آن را در طیف نشان کرد (شکل ۱۵۹) . معمولاً میکرومتر را چنان تنظیم می کنند که درجه ۱۰۰ آن بر خط زرد سدیم منطبق شود . در بعضی از دستگاهها میکرومتر بر حسب طول موج مدرج شده است و طول موج مجهول یک رنگ را می توان مستقیماً بر روی آن خواند .



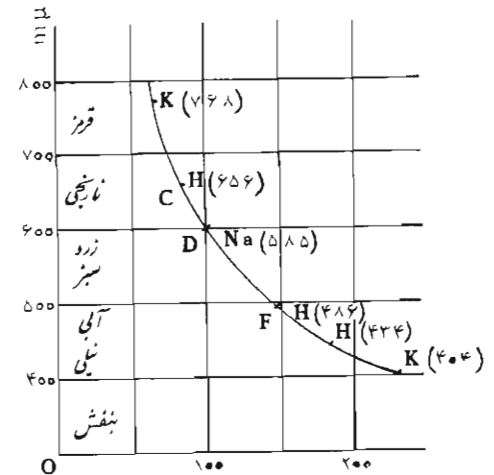
شکل ۱۵۹

۱۵۱ - اندازه گیری طول موج - می توان از میکرومتر برای

اندازه گیری طول موج استفاده کرد . برای این کار چند نور ساده که طول موج آنها معلوم است در جلو شکاف طیفنما می گذاریم و درجه های میکرومتر را که در طیف بر این رنگها منطبق است ، می خوانیم . سپس با این ارقام منحنی نمایش تغییرات طول موج را بر حسب درجه های

میکرومتر رسم می کنیم (شکل ۱۶۰) . مانند

معمول به کمک این منحنی می توان طول موج مجهولی را تعیین کرد . برای این کار فرض می کنیم که نوری در طیف بر روی درجه x میکرومتر منطبق



شکل ۱۶۰

محور x ها عمودی اخراج می کنیم تا منحنی را در يك نقطه قطع کند . از این نقطه خطی بر محور طول موجها عمود می کنیم و طول موج مجهول را در محل تلاقی عمود و محور اخیر می خوانیم .

انواع طیفها

۱۵۲ - طیف اجسام را به دو صورت می توان بررسی کرد : طیف

تابشی (نشری) و طیف جذبی .

I - طیف نشری - يك منبع نور را در مقابل شکاف طیفنما قرار

می دهیم . عکسهایی که از طیف منبع نور گرفته می شود و نیز مشاهدات مستقیم از پشت دور بین L نشان می دهند که تابش منبع از نورهایی با طول موجهای معین تشکیل شده است . طیف ممکن است که به صورت خطوطی منفرد (طیف خطی) یا به صورت زمینه رنگی پیوسته ای (طیف پیوسته) پدیدار شود .

تجربه نشان داده است که در شرایط معمولی طیف يك جسم (گاز ، مایع یا جامد) از مشخصات آن جسم است .

طیف پیوسته - این طیف به شکل يك نوار پهن است که در آن رنگها بطور پیوسته به یکدیگر چسبیده اند؛ به عبارت دیگر در این طیف تغییرات طول موج بطور پیوسته و وسیع است . طیف پیوسته را اتم جسم تابش می کند .

طیف خطی - این طیف از طول موجهای منفرد درست شده است و به کمک طیفنما به صورت يك عده خطوط رنگی دیده می شود . ظاهراً بنظر می رسد که این خطوط رنگی بطور غیر منظم پراکنده شده اند ؛ اما دقت بیشتر نشان می دهد که می توان این خطوط را به دسته های معینی دسته بندی کرد که در هر دسته نظم و ترتیب خاصی وجود دارد و طول موج و شدت خطوط هر دسته تابع فرمول معینی است . هر دسته را يك سری و هریك از طول موجهای منفرد را يك خط می نامند . هر خط ، که معرف يك طول موج معین است ، تصویر شکاف طیفنماست که به آن طول موج مربوط است . طیف خطی را نیز اتم جسم تابش می کند .

تذکره ۱ - طیفی که مولکول اجسام تابش می کند با طیفنماهای

معمولی پیوسته بنظر می‌رسد، اما طیفنماهای دقیق نشان داده است که طیف مولکول اجسام خطی است و از خطوط رنگی نزدیک به هم تشکیل شده است.

تذکره ۲ - برای بدست آوردن طیف نشری اجسام راههای مختلفی متداول است:

۱ - تخلیه الکتریکی - در دو قطب A و B لوله‌ای شیشه‌ای که از هوا تخلیه شده و در آن مقدار کمی از گاز مورد آزمایش مثلاً نئیدروژن وارد شده است، اختلاف پتانسیلی در حدود ۱۰۰۰ ولت (به وسیله مبدل) برقرار می‌سازیم. مشاهده می‌کنیم که لوله روشن و نورسرخ رنگی تابش می‌شود. چون این نور را بر شکاف یک طیفنما بتابانیم، در مورد نئیدروژن ملاحظه می‌شود که طیف از سه خط روشن تشکیل شده است که بترتیب در نواحی سرخ، آبی، و بنفش هستند. در ناحیه ماورای بنفش نیز خطوطی یافت می‌شود که بتدریج ضعیف و به هم نزدیک می‌شوند. این خطوط یک سری تشکیل می‌دهند. اگر اختلاف پتانسیل دو سر لوله را تغییر دهیم طیفهای دیگر نئیدروژن نیز (چه پیوسته و چه خطی) پیدا می‌شوند. لوله‌های محتوی نیتروژن نیز خطوطی به رنگهای دیگر تولید می‌کنند. آزمایش نشان می‌دهد که هر عنصر، در شرایط معین یک عده خطوط معین (نور با طول موج معین) تابش می‌کند.

۲ - گرما - می‌دانیم که هر جسم، در هر دمایی که باشد، تابش می‌کند. اگر دما پایین باشد تابش آن مرئی نیست. ولی اگر دمای جسم بالا رود، از حوالی ۵۰۰° تابش جسم مرئی می‌شود (التهاب). طیف

اجسام جامد ملتهب مانند سیم لامپ، آتش زغال، آهن گداخته، قوس الکتریکی و جز اینها طیف پیوسته است. بررسی این طیفها نشان داده است که شدت نور در تمام قسمتهای طیف یکسان نیست. در یک دمای معین شدت قسمت تقریباً وسط طیف ماکزیمم است و هر قدر که دما بالاتر رود رنگی که شدت آن ماکزیمم است به سوی طول موجهای کوتاهتر می‌گراید، یعنی اگر دمای جسمی را بتدریج بالا ببریم مشاهده خواهیم کرد که در دمای معینی (حدود ۵۰۰°) نور قرمز تیره تابش می‌کند و در ۱۰۰۰° نور بنفش نیز در طیف ظاهر می‌شود و در ۲۰۰۰° نور تابش شده از منبع سفید خیره کننده است، زیرا که در این دما نورهای بنفش و فوق بنفش به مقدار زیاد تابش می‌شود. بنا بر این ازدیاد دما علاوه بر آنکه شدت تابش را زیاده‌تر می‌کند شدت ماکزیمم را به طرف طول موج کوتاهتر سوق می‌دهد.

روی این خاصیت است که برای تعیین دمای اجسام ملتهب (دمای کوره‌ها، قوس الکتریکی، خورشید و ستارگان) از تجزیه نور و بررسی طیف آنها استفاده می‌شود.

باید در نظر داشت که بعضی از اجسام جامد یا مایع می‌توانند در دماهای معمولی تحت تأثیر عواملی جز گرما، نور ایجاد کنند (مانند ترکیب فسفر با اکسیژن). این خاصیت را لومینسانس (Luminescence) نامند، در حالی که اگر تابش جسم بر اثر انرژی گرمایی باشد آن را التهاب (Incandescence) نامند.

۳ - قوس الکتریکی - برای آنکه طیف یک فلز را پیدا کنیم دو میله نازک A و B از آن فلز انتخاب می‌کنیم و بین دوسر آن اختلاف پتانسیل

الکتریکی در حدود ۴۰ ولت برقرار می‌کنیم. اگر این دو فلز را در مدت کوتاهی به یکدیگر بجسبانیم و سپس از هم دور کنیم و به فاصله ۴ تا ۵ میلیمتر از هم نگاه داریم جریانی با شدت زیاد بین دو انتهای میله برقرار می‌شود و میله‌ها سرخ می‌شوند و تابش می‌کنند. طیف تابشی این فلز را می‌توان به کمک طیفنما بررسی کرد. اگر این عمل در هوا یا گاز دیگر انجام گیرد طیف تابشی هوا یا آن گاز دیگر نیز با طیف تابشی فلز توأم می‌شود. به همین علت قوس الکتریکی را به این منظور باید در خلأ بکار انداخت.

۴ - شعله - در مقابل شعله چراغی که در برابر شکاف يك طیفنما قرار گرفته مقدار کمی کلرور سدیم قرار می‌دهیم (یا اینکه میله‌ای از پلاتین را در آب نمک فرو برده بر روی شعله چراغ می‌گذاریم). مشاهده می‌کنیم که رنگ شعله زرد می‌شود. طیف بخار سدیم در قسمت مرئی فقط يك خط زرد رنگ روشن دارد (این خط در حقیقت از دو خط زرد بسیار نزدیک بهم تشکیل شده است). این خط زرد از خاصه‌های عنصر سدیم است بطوری که هر ملح دیگر سدیم نیز همین خط زرد را تابش می‌کند. از این رو می‌توان از طیف اجسام به ساختمان آنها پی برد و عناصر تشکیل دهنده آنها را تعیین کرد.

۵ - جرقه - برای آنکه طیف يك فلز را درست کنیم ممکن است که از نور جرقه‌ای که بین دو قطعه از این فلز، وقتی که اختلاف پتانسیل زیادی بین آن دو برقرار می‌شود، استفاده کرد.

II - طیف جذبی - هرگاه در مسیر يك دسته اشعه نور سفید، مواد گوناگون مانند بخار سدیم یا محلولهای سولفات مس، بیکرومات پتاسیم،

کلرو فیل قرار دهیم، مشاهده می‌کنیم که آن ماده بعضی از نورهای موجود در نور سفید را جذب می‌کند و در نتیجه در طیف نور سفید خطوط یا نوارهای تاریکی پدیدار می‌شود. اینگونه طیف را طیف جذبی آن ماده می‌نامند. طیف جذبی نیز مانند طیف تابشی از خاصه‌های ماده است.

۱۵۳ - قانون کیرشوف - آزمایش - اگر در مسیر يك دسته اشعه نور سفید، اندکی نمک طعام در شعله چراغ بنسن قرار دهیم، مشاهده خواهیم کرد که در طیف نور سفید درست در همان محلی که خط زرد سدیم ایجاد می‌شد، يك خط سیاه تولید می‌شود. از این رو معلوم می‌شود که بخار سدیم از نور سفیدی که از آن عبور می‌کند همان نور زردی را که خود تابش می‌کرد، جذب می‌کند و در طیف نور سفید يك خط سیاه جای خط زرد سدیم را می‌گیرد. این قانون که به قانون کیرشوف موسوم است چنین بیان می‌شود:

هر ماده همان نورهایی را جذب می‌کند که می‌تواند آنها را تابش کند.

۱۵۴ - طیف جذبی خورشید - قسمت درونی خورشید که دمای آن خیلی زیاد است نور سفید تابش می‌کند. این نور سفید، هنگامی که از گازهای قشر خارجی خورشید که دمایشان نسبتاً کم است می‌گذرد، در بعضی از قسمتها جذب می‌شود. این است که طیف نور سفید خورشید عده زیادی خطوط سیاه دارد. با مقایسه این طیف با طیف اجسام مختلف توانسته‌اند وجود مواد مختلف (از قبیل سدیم و آهن) را در قسمت خارجی خورشید به اثبات رسانند.

۱۵۵ - موارد استعمال طیفنما - تجزیه نور به وسیله طیفنما یکی از وسایل دقیق تجزیه عنصری در شیمی است، چه بدین وسیله

می‌توان به وجود مقادیر فوق‌العاده کم از جسمی (در حدود 10^{-6} گرم) پی برد. همچنین به وسیله تجزیه نور اجسام عناصر جدیدی از قبیل سزیم، روبیدیم، تالیم، هلیوم و دیگر گازهای کمیاب هوا کشف شده است. در پزشکی، طیف برای تجزیه خون و تشخیص مسمومیت بکار می‌رود. همچنین چنانکه درباره خورشید گفته شد، برای تشخیص مواد تشکیل‌دهنده ستارگان و اندازه‌گیری دمای کوره‌ها و بسیاری موارد دیگر از طیفنما استفاده می‌شود.

اشعه مرئی و فامرئی

۱۵۶- اثر گرمایی نور - اشعه زیر قرمز (Infrarouge)-

می‌دانیم که تابش شکلی است از انرژی و می‌تواند به شکل‌های دیگر انرژی تبدیل شود. اگر یک دسته نور به جسمی بتابد، قسمتی از انرژی آن به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. گرمایی که در برابر آفتاب احساس می‌کنیم و گرمایی که کف دست ما، هنگامی که اتوی داغی را بالای آن نگاه داشته‌ایم، احساس می‌کند و نیز داغ شدن حباب لامپ برق، بر اثر همین تبدیل انرژی تابشی به انرژی گرمایی است.

آزمایش نشان می‌دهد که میزان این تبدیل برای همه نورها یکسان نیست. اشعه قرمز بیشتر از اشعه بنفش به گرما تبدیل می‌شود. بررسی طیف نور سفید و دیگر تابشها نشان می‌دهد که در دو طرف طیف مرئی، باز هم تابشی وجود دارد که چشم انسان به آن حساس نیست، ولی با وسایل دیگر می‌توان به وجود آن پی برد. مثلاً هرگاه یک دماسنج

جیوه‌ای را که مخزن آن سیاه شده است، یا یک پیل ترموالکتریک را که دماسنج بسیار حساسی است در سراسر طیف مرئی حرکت دهیم، مشاهده می‌کنیم که هرچه رو به قرمز برویم آثار گرمایی شدیدتر می‌شود (جریان بیشتری از پیل می‌گذرد)، و نیز مشاهده می‌کنیم که حتی در آن طرف قرمز، در جایی که ظاهراً نوری دیده نمی‌شود، این اثر گرمایی شدیدتر است. این آزمایش نشان می‌دهد که در آنجا نیز تابشی وجود دارد که فقط اثر گرمایی آن برای ما مشهود است. این قسمت از تابش را که آن طرف قرمز است یعنی طول موج آن بزرگتر از طول موج نور قرمز است، اشعه زیر قرمز (مادون قرمز) می‌نامند. بطوری که گفتیم خاصیت گرمایی این اشعه شدید است و به این علت گاهی آن را اشعه گرمایی می‌نامند. طول موج این اشعه که بزرگتر از طول موج نورهای مرئی است بین $8/10$ تا 3 میکرون است و حتی توانسته‌اند اشعه‌ای گرمایی با طول موج در حدود $14/6$ ظاهر سازند. اشعه گرمایی که طول موج آنها بیشتر از 2 میکرون است، بشدت توسط شیشه جذب می‌شود. اشعه گرمایی با طول موج بیش از 4 میکرون توسط کوارتز و با طول موج بیش از 10 میکرون توسط فلوئوریت و با طول موج بیش از 23 میکرون توسط کلرور کلسیم جذب می‌شود. به همین علت است که برای تحقیق در خواص نور زیر قرمز از منشورهای نمک معدنی مانند فلوئوریت یا کلرور کلسیم استفاده می‌کنند.

۱۵۷- اثر شیمیایی نور - اشعه فوق بنفش - انرژی تابشی

می‌تواند به انرژی شیمیایی نیز تبدیل شود، یعنی نور می‌تواند بعضی از فعل و انفعالات شیمیایی را پدید آورد یا آنها را تسریع کند. می‌دانیم که نور بعضی از مواد را تجزیه و فاسد می‌کند، مثلاً رنگ کاغذ را زرد

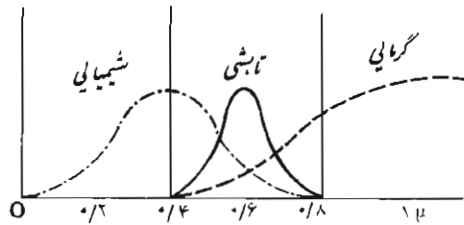
و رنگ بعضی از پارچه‌ها را زایل می‌کند. همچنین موادی از قبیل کلرور و برمور نقره را تجزیه می‌کند. از این خاصیت در عکاسی استفاده می‌شود. بر اثر نور خورشید یا نور منیزیم، مخلوطی از کلر و تیدروژن منفجر می‌شود، در صورتی که این عمل در سایه بکندی و بدون انفجار صورت می‌گیرد.

آزمایش نشان می‌دهد که اثر شیمیایی نورهای مختلف طیف یکسان نیست. هرگاه يك فیلم معمولی عکاسی را در طیف نور سفید قرار دهیم مشاهده خواهیم کرد که اشعه زیر قرمز بر روی آن اثری ندارد در صورتی که هر قدر به طرف نور بنفش پیش رویم، تأثیر شیمیایی نور که از سیاه شدن صفحه مشهود می‌گردد بیشتر می‌شود. نور بنفش از نظر شیمیایی مؤثرتر از سایر نورهاست. پس معلوم می‌شود که هر قدر طول موج نور کوچکتر باشد آثار گرمایی آن ضعیف‌تر و آثار شیمیایی آن شدیدتر است. آزمایش نشان می‌دهد که بعد از بنفش و در سمت طول موجهای کوتاه‌تر طیف سفید نیز اشعه‌ای نامرئی وجود دارد که طول موجشان از بنفش کمتر و ضریب شکست آنها بیش از ضریب شکست نور بنفش است. این قسمت از تابش را، به مناسبت موقعیت آنها در طیف، **اشعه فوق بنفش** می‌نامند. طول موج این اشعه بین $0/4$ تا $0/1$ میکرون است. هوا و شیشه این اشعه را بشدت جذب می‌کنند. این است که برای بررسی اشعه فوق بنفش از منشورهای کوارتزی استفاده می‌کنند.

۱۵۸ - موارد استعمال اشعه فوق بنفش - اشعه فوق بنفش

به علت خواص شیمیایی خود بر روی سلولها اثر کرده آنها را فاسد می‌کند.

آفتابزدگی و میکروب‌کشی نور سفید هم بر اثر این اشعه است. به همین جهت است که از اشعه فوق بنفش که معمولاً به وسیله تخلیه الکتریکی



شکل ۱۶۱

در بخار جیوه بدست می‌آید، در عکاسی و گندزدایی آب آشامیدنی و معالجه بعضی از امراض استفاده

می‌کنند. در منحنی شکل ۱۶۱ تغییرات آثار گرمایی و شیمیایی بر حسب طول موج نشان داده شده است.

۱۵۹ - لومینسانس - چنانکه دیدیم، بعضی از اجسام می‌توانند

بدون آنکه دمایشان بالا رود، نور تابش کنند. این خاصیت را بطور کلی لومینسانس می‌نامند. فلوئورسانس و فسفرسانس دو حالت خاصند از لومینسانس.

۱۶۰ - فلوئورسانس - بعضی از مواد مانند فلوئورین و محلول

سولفات کینین و فلوئورسئین، اگر تحت تأثیر اشعه‌ای با طول موج کوتاه قرار گیرند، خود نورانی می‌شوند. هرگاه در مسیر اشعه يك قوس الکتریکی ظرفی شیشه‌ای قرار دهیم که در آن محلول سولفات کینین و اسید سولفوریک ریخته‌ایم، مشاهده می‌شود که این محلول در جایی که نور از آن می‌گذرد رنگ آبی زیبایی تابش می‌کند. آزمایش نشان می‌دهد که اگر نور را پس از عبور از يك شیشه قرمز وارد محلول کنیم، این پدیده ظاهر نمی‌شود، پس معلوم می‌شود که اشعه‌ای که طول موجشان کوتاه است از قبیل بنفش و فوق بنفش این خاصیت را در اجسام ایجاد

می‌کنند. فلئوئورسانس بر اثر این است که اشعه بنفش و فوق بنفش انرژی خود را به جسم می‌دهند و این جسم دوباره آن را به شکل نور با طول موج بزرگتر تابش می‌کند. پس فلئوئورسانس نتیجه جذب نور محرک و تبدیل آن به نوری است به طول موج بزرگتر.

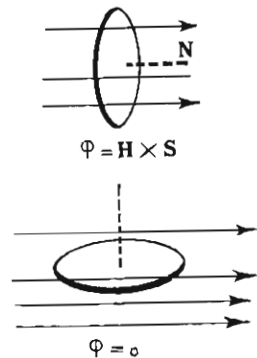
۱۶۱ - فسفرسانس - يك حالت دیگر از پدیده لومینسانس، پدیده فسفرسانس است و آن عبارت از این است که چون به بعضی اجسام مانند سولفور روی تکلیس شده، فسفر، سولفور باریم، سولفور کلسیم و سولفور استرونیسم که کمی سولفور بیسموت یا منگنز یا مس دارند، مدتی نور بتابانیم و سپس نور را قطع کنیم، مشاهده می‌کنیم که در تاریکی و در مدت کمابیش طولانی نورانی می‌مانند. برای آنکه این پدیده مشاهده شود، این مواد جامد باید تحت تأثیر نورهایی که طول موجشان کمتر از $514\text{ m}\mu$ است واقع شوند. در اینجا نیز اشعه فوق بنفش از دیگر اشعه مؤثرتر است. می‌بینیم که در فسفرسانس تابش اشعه نور پس از قطع نور محرک ادامه می‌یابد.

الکتروپدیته

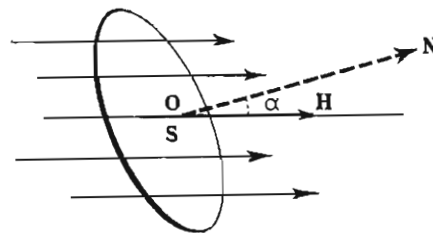
شار (فلو) مغناطیسی

۱۶۲ - تعریف - هرگاه قابی به وسعت $S\text{ cm}^2$ در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{H}$ قرار گیرد (شکل ۱۶۲)، بنا بر تعریف کمیت $\Phi = H.S.\cos\alpha$ را شار یا فلو مغناطیسی از این سطح می‌نامند. α زاویه‌ای است که میدان H با عمود N بر این سطح می‌سازد.

واحد شار مغناطیسی - واحد شار مغناطیسی ماکسول (Maxwell) و آن عبارت است از شاری مغناطیسی که از سطحی برابر با 1 cm^2 می‌گذرد در صورتی که در میدانی به شدت یک غوس و عمود بر آن قرار گیرد.



شکل ۱۶۳



شکل ۱۶۲

می‌کنند. فلوئورسانس بر اثر این است که اشعه بنفش و فوق بنفش انرژی خود را به جسم می‌دهند و این جسم دوباره آن را به شکل نور با طول موج بزرگتر تابش می‌کند. پس فلوئورسانس نتیجه جذب نور محرک و تبدیل آن به نوری است به طول موج بزرگتر.

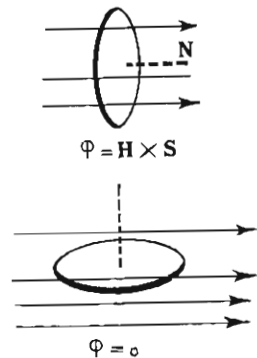
۱۶۱ - فسفرسانس - يك حالت دیگر از پدیده لومینسانس، پدیده فسفرسانس است و آن عبارت از این است که چون به بعضی اجسام مانند سولفور روی تکلیس شده، فسفر، سولفور باریم، سولفور کلسیم و سولفور استرونیسم که کمی سولفور بیسموت یا منگنز یا مس دارند، مدتی نور بتابانیم و سپس نور را قطع کنیم، مشاهده می‌کنیم که در تاریکی و در مدت کمابیش طولانی نورانی می‌مانند. برای آنکه این پدیده مشاهده شود، این مواد جامد باید تحت تأثیر نورهایی که طول موجشان کمتر از $514\text{ m}\mu$ است واقع شوند. در اینجا نیز اشعه فوق بنفش از دیگر اشعه مؤثرتر است. می‌بینیم که در فسفرسانس تابش اشعه نور پس از قطع نور محرک ادامه می‌یابد.

الکتروپدیته

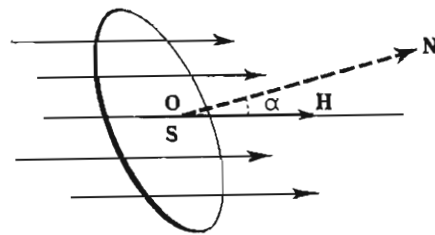
شار (فلو) مغناطیسی

۱۶۲ - تعریف - هرگاه قابی به وسعت $S\text{ cm}^2$ در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{H}$ قرار گیرد (شکل ۱۶۲)، بنا بر تعریف کمیت $\Phi = H.S.\cos\alpha$ را شار یا فلو مغناطیسی از این سطح می‌نامند. α زاویه‌ای است که میدان H با عمود N بر این سطح می‌سازد.

واحد شار مغناطیسی - واحد شار مغناطیسی ماکسول (Maxwell) و آن عبارت است از شاری مغناطیسی که از سطحی برابر با 1 cm^2 می‌گذرد در صورتی که در میدانی به شدت یک غوس و عمود بر آن قرار گیرد.



شکل ۱۶۳

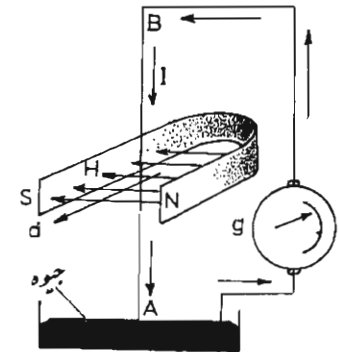


شکل ۱۶۲

تذکر ۱- آشکار است که اگر $\alpha = \frac{\pi}{2}$ باشد، $\phi = 0$ و اگر $\alpha = 0$ باشد، $\phi = H.S$ خواهد بود (شکل ۱۶۳).
تذکر ۲- واحد دیگری برای شار متداول است به نام وِبر که برابر است با 10^8 ماکسول.
 $1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx}$

جریان القایی

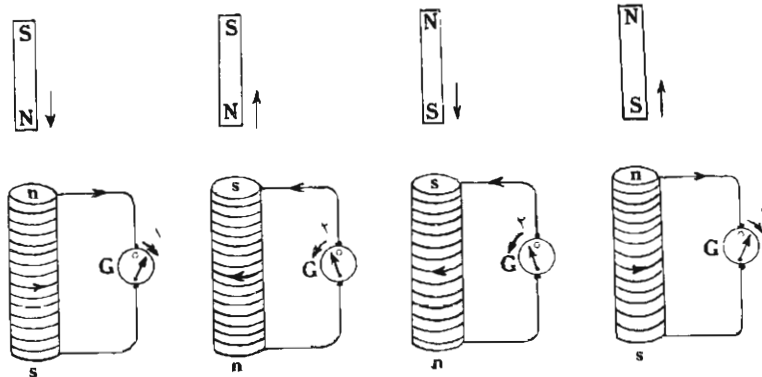
۱۶۳- آزمایش ۱- يك میله مسی را در میدان یکنواخت يك آهنربای نعل اسبی، عمود بر خطوط نیرو و بطور قائم، چنان می آویزیم که بتواند حول محور افقی حرکت کند (شکل ۱۶۴). يك انتهای این میله را در پشتکی بر از جیوه می گذاریم و انتهای دیگر آن را به یکی از دو قطب گالوانومتر حساسی متصل می کنیم و قطب دیگر گالوانومتر را در پشتك جیوه می گذاریم. بدین ترتیب مدار بسته ای از میله به گالوانومتر و جیوه تشکیل می شود که هیچ مولدی در آن نیست. حال اگر میله را در این میدان چنان حرکت دهیم که خطوط نیروی مغناطیسی را قطع کند، مشاهده می کنیم که عقربه گالوانومتر از وضع تعادل خود منحرف می شود، یعنی جریانی از مدار گذشته است. همچنین اگر به جای میله مسی آهنربا را در سطح افقی طوری حرکت دهیم که میله خطوط نیروی مغناطیسی را عموداً



شکل ۱۶۴

قطع کند، باز می بینیم که گالوانومتر منحرف می شود. ولی اگر میله را به موازات خطوط نیروی مغناطیسی، یا آنکه آهنربا را در امتداد قائم چنان حرکت دهیم که خطوط نیروی مغناطیسی قطع نشود، مشاهده می کنیم که عقربه گالوانومتر منحرف نمی شود یعنی جریانی از آن نمی گذرد. همچنین آزمایش نشان می دهد که اگر سوی حرکت را تغییر دهیم، سوی انحراف عقربه گالوانومتر نیز تغییر خواهد کرد. ولی اگر سوی میدان و سوی حرکت را در آن واحد تغییر دهیم، سوی جریان تغییر نخواهد کرد. از این آزمایش نتیجه می شود که:

هرگاه يك هادی در میدان مغناطیسی چنان حرکت کند که خطوط نیروی مغناطیسی را قطع کند، در این هادی نیروی محرکهای ایجاد می شود. این نیروی محرکه را نیروی محرکه القایی می نامند. اگر هادی در يك مدار باز باشد، نیروی محرکه ایجاد يك اختلاف پتانسیل در دو سر هادی می کند و اگر در مدار بسته ای باشد، نیروی محرکه



شکل ۱۶۵

جریانی در مدار تولید می کند که آن را جریان القایی می نامند و در صورتی که هادی خطوط نیرو را قطع نکند جریانی ایجاد نخواهد شد.

آزمایش ۲ - اگر در مقابل سولنوییدی که دو سر آن به دو قطب گالوانومتر G متصل است (شکل ۱۶۵) آهنربای NS را بحرکت درآوریم، مشاهده می شود که چون آهنربا به سولنوییدی نزدیک یا از آن دور شود، جریانی از گالوانومتر می گذرد که عقربه آن را منحرف می کند، و اگر آهنربا را ساکن کنیم عقربه گالوانومتر مجدداً به صفر بازمی گردد.

سوی جریان القایی - قانون لنز

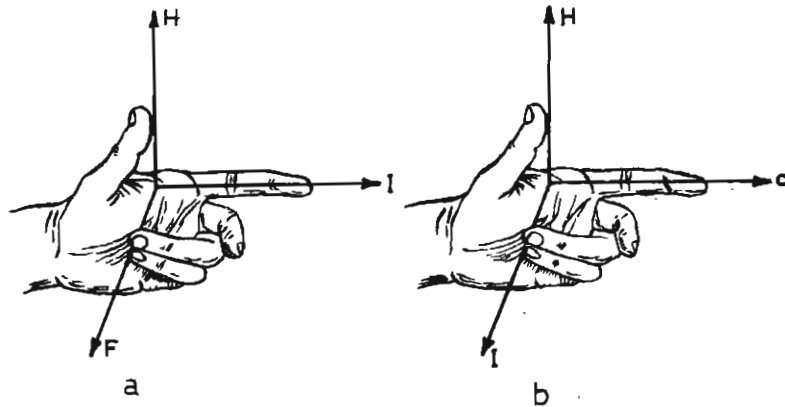
۱۶۴ - قانون لنز - سوی جریان القایی طوری است که همواره به وسیله آثار الکترو مغناطیسی که ایجاد می کند با عاملی که جریان را پدید می آورد مخالفت می کند.

مثلاً در آزمایش ۲، وقتی که قطب شمال آهنربا به سولنویید نزدیک می شود، سوی جریان در مدار طوری است که سطحی از سولنویید که مقابل قطب شمال آهنرباست قطب شمال باشد تا قطب شمال آهنربای نزدیک شونده را از خود براند، و برعکس وقتی که قطب شمال آهنربا دور می شود، سوی جریان در سولنویید تغییر می کند تا سطحی از سولنویید که مقابل قطب شمال است قطب جنوب شود و قطب شمال دور شونده را جذب کند. به بیان دیگر جریان القایی خود يك شار مغناطیسی در سولنویید ایجاد می کند که همواره مخالف با تغییرات شار القاکننده است (شکل ۱۶۵).

۱۶۵ - طرز تعیین سوی جریان القایی - چنانکه در مبحث

الکترومغناطیس دیده ایم، هرگاه شست دست چپ در سوی میدان و انگشت سبابه در سوی جریان قرار گیرد، انگشت وسطای خم شده

(عمود بر کف دست) سوی نیروی الکترومغناطیك را مشخص می کند (شکل ۱۶۶ - a).



شکل ۱۶۶

به موجب قانون لنز اگر بخواهیم جریانی در سوی شکل a در مدار ایجاد کنیم، باید سوی حرکت مخالف سوی نیروی الکترومغناطیسی در شکل a باشد. از این رو دستور زیر نتیجه می شود:

قاعده سه انگشت دست چپ - اگر شست دست چپ در سوی میدان و انگشت سبابه در سوی حرکت قرار گیرد، انگشت وسطای خم شده سوی جریان القایی را مشخص می کند (شکل ۱۶۶ - b).

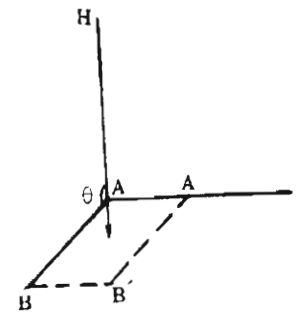
مقدار نیروی محرکه القایی

۱۶۶ - نیروی محرکه القایی در يك هادی AB که دارای

يك حرکت انتقالی است - آزمایش نشان می دهد که نیروی محرکه القایی در يك هادی AB به طول l ، هنگامی که با سرعت ثابت v در میدان یکنواختی به شدت H گوس حرکت می کند، با طول هادی و شدت

میدان مغناطیسی و سرعت حرکت متناسب است (شکل ۱۶۷).

یعنی: $e = KH/v$ (ضریب K ضرب متناسب) و چون $v = \frac{d}{t}$ (مسافت طی شده توسط میله در مدت زمان t است)،
 $e = KH \frac{ld}{t}$ ولی $S = l \times d$ سطح پیموده شده توسط میله است، پس
 $e = \frac{KHS}{t}$ و چون $S.H$ متناسب



شکل ۱۶۷

است با شار قطع شده توسط میله، یعنی نیروی محرکه القایی در يك میله با شار قطع شده به وسیله این میله در واحد زمان متناسب است. اگر ϕ بر حسب ماکسول و t بر حسب ثانیه و e بر حسب ولت بیان شود، $K = 10^{-8}$ خواهد بود. پس:

$$e = 10^{-8} \frac{\phi}{t} \quad \left(\begin{array}{l} \text{ماکسول} \\ \text{ثانیه} \end{array} \right) \text{ (ولت)}$$

مثال - معین کنید نیروی محرکه القایی را در يك هادی به طول ۲ cm که مسافت ۱۰ cm را در $\frac{1}{5}$ ثانیه و عمود بر خطوط نیروی مغناطیسی طی کند در صورتی که شدت میدان مغناطیسی ۱۰۰۰۰ گوس باشد.

$$\text{حل - ولت } e = 10^{-8} \frac{\phi}{t} = 10^{-8} \times \frac{20 \times 10000}{\frac{1}{5}} = \frac{1}{100}$$

تذکر مهم - آزمایش نشان داده است که عامل اصلی در ایجاد نیروی محرکه القایی تغییر شار است. این تغییر شار ممکن است در

نتیجه حرکت مدار باشد (آزمایش شکل ۱۶۷) یا اینکه مدار ثابت بماند و میدان تغییر کند (آزمایش شکل ۱۶۵)، و اگر مدار بسته باشد این نیروی محرکه القایی همواره طوری است که جریان و در نتیجه میدانی که به توسط آن ایجاد می شود با تغییرات شار مخالفت می کند.

۱۶۷ - نیروی محرکه القایی در يك مدار بسته - آزمایش نشان می دهد که نیروی محرکه القایی در يك مدار بسته اولاً با تغییر شار مغناطیسی نسبت مستقیم دارد و ثانیاً با تغییر زمانی که در طول آن تغییر شار صورت گرفته است نسبت معکوس دارد. یعنی:

$$e = K \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1} = K \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

$$\text{ولت} \rightarrow \boxed{e = -10^{-8} \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1} = -10^{-8} \frac{\Delta \phi}{\Delta t}} \quad \left(\begin{array}{l} \text{ماکسول} \\ \text{ثانیه} \end{array} \right)$$

علامت منها این واقعیت را می رساند که e با تغییرات ϕ مخالفت می کند (قانون لنز).

۱۶۸ - شدت جریان القایی - اگر نیروی محرکه القایی e در مدار بسته ای به مقاومت R پدید آید، شدت جریان القایی در مدار از قانون اهم بدست می آید، یعنی:

$$I = \frac{e}{R} = - \frac{10^{-8}}{R} \times \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}$$

۱۶۹ - مقدار الکتریسیته القاشده - رابطه $q = It$ این مقدار را بدست می دهد و چون $t = t_2 - t_1$ است:

$$q = -10^{-8} \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R}$$

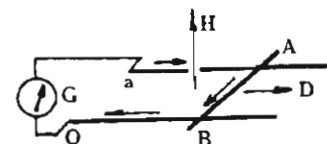
پس مقدار الکتریسته القا شده با تغییرات شار بستگی دارد و با زمان بستگی ندارد.

روشهای مختلف ایجاد جریان القایی

۱۷۰ - چنانکه گفته شد جریان القایی بر اثر تغییرات شار مغناطیسی تولید می شود و چون شار $\varphi = H.S \cos \alpha$ است، تغییر شار φ و در نتیجه جریان القایی را می توان به وسیله تغییر H یا S یا α بدست آورد.

I - ایجاد جریان القایی به وسیله تغییر S - اگر مدار بسته ای

مطابق شکل ۱۶۸ تشکیل دهیم که سطح آن به وسیله حرکت میله AB تغییر پذیر باشد، مشاهده می شود که چون میله را بحرکت

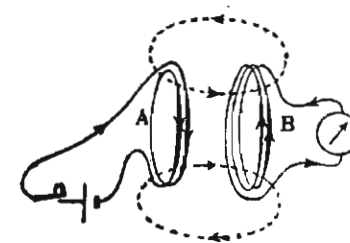


شکل ۱۶۸

در آوریم، جریانی از گالوانومتر می گذرد.

II - تغییرات H - در آزمایش شکل ۱۶۵ تغییرات شار بر اثر

تغییرات H صورت می گیرد و همچنین در شکل ۱۶۹ هنگامی که کلید را در مدار قاب A ببندیم، چون جریان آن از صفر به i و در نتیجه میدان آن تغییر می کند، در

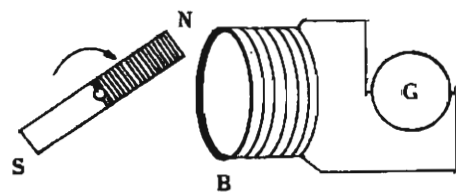


شکل ۱۶۹

مدار قاب B جریانی القایی پدید می آید و عقربه گالوانومتر مدت کوتاهی منحرف می شود.

III - تغییر α - در مقابل بوبین B متصل به گالوانومتر G آهنربایی

قرار گرفته که می تواند حول محور افقی O دوران کند. چون آهنربا را

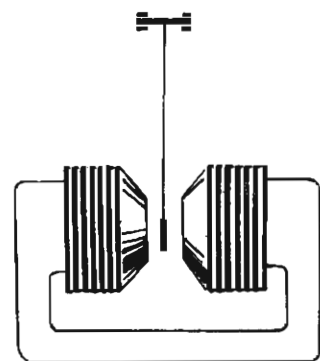


شکل ۱۷۰

بدوران در آوریم، مشاهده می کنیم که جریانی در بوبین ایجاد می شود (شکل ۱۷۰).

ممکن است آهنربا را ساکن نگاه داریم و بوبین را بچرخانیم.

۱۷۱ - جریان فوکو (Foucault) - جریان القایی در ورقه ها



شکل ۱۷۱

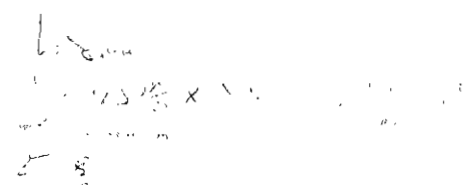
و قطعه های فلزی نیز ایجاد می شود. اینگونه جریانه را جریانه های فوکو می نامند که تابع قانون لنزند.

آزمایش - یک

صفحه مسی می تواند

در فضای بین دو قطب الکتروامانی حرکت آونگی کند (شکل ۱۷۱). اگر جریانی از الکتروامان نگذرد و صفحه را بحرکت در آوریم، صفحه پس از چند نوسان بتدریج از حرکت باز می ایستد. ولی اگر جریانی از الکتروامان بگذرد و صفحه را بنوسان در آورده به میان دو قطب ببریم،

مشاهده می شود که صفحه ، به محض رسیدن در فضای بین دو قطب ، از حرکت باز می ایستد ، زیرا که جریان القاشده ، طبق قانون لنز ، با عامل تغییر شار ، که حرکت صفحه است ، مخالفت می کند (بر اثر نیروهای الکترومغناطیسی) .



تمرین

۱ - میله ای به طول 50cm با سرعت 0.5 متر در ثانیه در میدان مغناطیسی یکنواختی به شدت $H=500$ گوس و عمود بر خطوط نیرو حرکتی انتقالی انجام می دهد . معین کنید نیروی محرکه القایی را در میله .

$$E=0.0125V$$

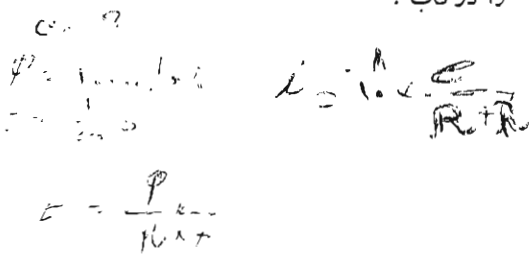
۲ - قاب مدوری به شعاع $R=10\text{cm}$ در حوزة مغناطیسی یکنواختی به شدت 100 گوس و عمود بر خطوط نیرو قرار گرفته است . در مدت زمان 0.1 ثانیه مقدار شدت حوزة را به صفر می رسانیم . معین کنید نیروی محرکه القایی را در قاب .

$$E=0.00314V$$

۳ - مداری تشکیل شده است از قاب مدوری به مقاومت $R=10\Omega$ و گالوانومتر به مقاومت $R'=20\Omega$. در قاب تغییرات شاری برابر با 100000

ماکسول در مدت $\frac{1}{30}$ ثانیه تولید می کنند . معین کنید شدت جریان القایی را در قاب .

$$i=0.001A$$



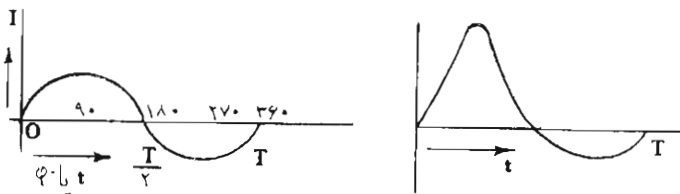
جریان متناوب

۱۷۲ - جریان متغیر - جریان متغیر جریانی است که شدت آن

با زمان تغییر کند ، یعنی $i=f(t)$.

جریان تناوبی - جریان تناوبی یا متناوب جریانی است

که تغییرات شدت در آن بر حسب زمان متناوب باشد ، یعنی پس از فاصله زمانهای T موسوم به زمان تناوب ، شدت جریان به همان مقدار اولیه باز گردد (شکل ۱۷۲) .



شکل ۱۷۳

شکل ۱۷۲

جریان متناوب سینوسی جریانی است که تغییرات شدت آن يك

تابع سینوسی از زمان باشد ، یعنی $i=I_m \sin \omega t$. در جریان سینوسی شکل ۱۷۳ ، علاوه بر آنکه مقدار شدت تغییر می کند ، سوی جریان نیز در هر نیم پریود چنان تغییر می کند که اگر در نیم پریود اول مقادیر شدت جریان را مثبت اختیار کنیم ، در نیم پریود دوم شدت منفی ، یعنی دارای سویی مخالف سوی جریان در نیم پریود اول خواهد بود . در این جریانه

مشاهده می‌شود که صفحه، بمحض رسیدن در فضای بین دو قطب، از حرکت باز می‌ایستد، زیرا که جریان القا شده، طبق قانون لنز، با عامل تغییر شار، که حرکت صفحه است، مخالفت می‌کند (بر اثر نیروهای الکترومغناطیسی).

$$E = 0.0125V$$

تمرین

۱ - میله‌ای به طول 50cm با سرعت 0.5 متر در ثانیه در میدان مغناطیسی یکنواختی به شدت $H = 500$ گوس و عمود بر خطوط نیرو حرکتی انتقالی انجام می‌دهد. معین کنید نیروی محرکه القایی را در میله.

$$E = 0.0125V$$

۲ - قاب مدوری به شعاع $R = 10\text{cm}$ در حوزة مغناطیسی یکنواختی به شدت 100 گوس و عمود بر خطوط نیرو قرار گرفته است. در مدت زمان 0.1 ثانیه مقدار شدت حوزة را به صفر می‌رسانیم. معین کنید نیروی محرکه القایی را در قاب.

$$E = 0.00314V$$

۳ - مداری تشکیل شده است از قاب مدوری به مقاومت $R = 10\Omega$ و گالوانومتری به مقاومت $R' = 20\Omega$. در قاب تغییرات شاری برابر با 100000

ماکسول در مدت $\frac{1}{30}$ ثانیه تولید می‌کنند. معین کنید شدت جریان القایی را در قاب.

$$i = 0.001A$$

$$E = \frac{d\Phi}{dt}$$

$$E = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(B \cdot A)}{dt} = A \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$E = \frac{P}{I \cdot A}$$

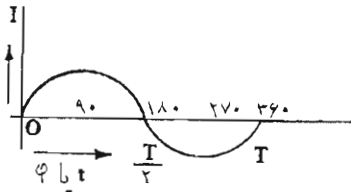
جریان متناوب

۱۷۲ - جریان متغیر - جریان متغیر جریانی است که شدت آن

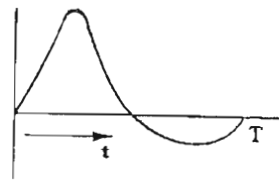
با زمان تغییر کند، یعنی $i = f(t)$.

جریان تناوبی - جریان تناوبی یا متناوب جریانی است

که تغییرات شدت در آن بر حسب زمان متناوب باشد، یعنی پس از فاصله زمانهای T موسوم به زمان تناوب، شدت جریان به همان مقدار اولیه بازگردد (شکل ۱۷۲).



شکل ۱۷۳



شکل ۱۷۲

جریان متناوب سینوسی جریانی است که تغییرات شدت آن یک

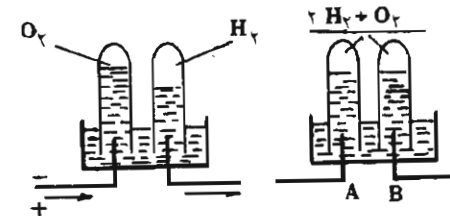
تابع سینوسی از زمان باشد، یعنی $i = I_m \sin \omega t$. در جریان سینوسی شکل ۱۷۳، علاوه بر آنکه مقدار شدت تغییر می‌کند، سوی جریان نیز در هر نیم پریود چنان تغییر می‌کند که اگر در نیم پریود اول مقادیر شدت جریان را مثبت اختیار کنیم، در نیم پریود دوم شدت منفی، یعنی دارای سویی مخالف سوی جریان در نیم پریود اول خواهد بود. در این جریانه

$\omega = 2\pi N$ است که در آن N را توان یا فرکانس جریان متناوب می نامند.

آثار جریان متناوب

۱۷۳ - جریان متناوب نیز مانند جریان پیوسته دارای سه اثر گرمایی، شیمیایی و مغناطیسی است، زیرا می توان در يك مدت زمان فوق العاده كوچك جریان متناوب را ثابت فرض كرد و در نتیجه قوانین جریان پیوسته را برای جریان متناوب در این مدت زمان فوق العاده كوچك صادق دانست. ولی در مدت زمان بزرگ آثار جریان متناوب با آثار جریان پیوسته تفاوت هایی دارد که به ذکر آنها می پردازیم.

I - آثار شیمیایی - اگر ولتاژ را در مدار جریان متناوبی قرار دهیم، ملاحظه می شود که مخلوطی از اکسیژن و هیدروژن به حجم مساوی در زیر لوله ها جمع خواهد شد، چه هر يك از لوله ها متناوباً کاند و آند می شود، و حال آنکه در جریان پیوسته، هیدروژن فقط در يك لوله (کاند) و اکسیژن در لوله دیگر جمع می شود (شکل ۱۷۴).

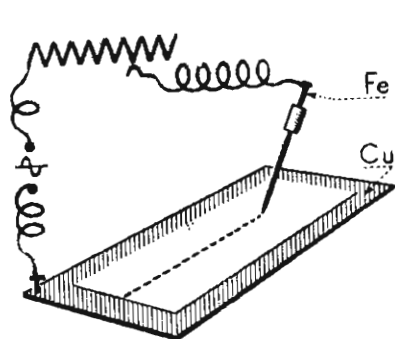


شکل ۱۷۴

آزمایش - اگر در مدار جریان متناوبی، ظرف الکترولیز سولفات مس با الکترودهای مسی قرار دهیم، مشاهده می کنیم که در جرم

الکترودها هیچ تغییری روی نمی دهد، زیرا در نیم پریود ذرات مس بر روی کاند رسوب می کند و در نیم پریود بعد چون کاند و آند با یکدیگر عوض می شوند، مس رسوب شده به جای اولیه خود بازمی گردد. می بینیم که نمی توان برای آب فلزکاری از جریان متناوب استفاده کرد.

استفاده از اثر شیمیایی در تعیین توانر جریان متناوب - آزمایش -
ورقه خشک کنی را که در محلول فروسیانور پتاسیم و نیترات آمونیم فرو برده ایم، بر روی يك صفحه مسی می گذاریم و جریان متناوبی از مس و يك میله آهنی که انتهای آن بر روی ورقه خشک کن متکی است می گذرانیم (شکل ۱۷۵). يك چراغ ۱۰۰ واتن به عنوان مقاومت در مدار اضافه می کنیم. هرگاه میله آهن را بحرکت در آوریم، ملاحظه می شود



شکل ۱۷۵

که يك عدد خطوط آبی رنگ که خطوط سفیدی آنها را از یکدیگر جدا می کنند روی ورقه خشک کن تشکیل می شود. علت این امر آن است که در هر نیم پریود که آهن آند می شود،

NO_3NH_4 تجزیه شده NH_4 به طرف مس (کاند) و NO_3 به طرف آند می رود و با آهن ترکیب شده نیترات آهن می دهد که با فروسیانور پتاسیم آبی پروس می دهد، و در نیم پریود دیگر NH_4 به طرف آهن می رود و در آنجا تجزیه می شود، چون با آهن ترکیب نمی شود، اثری روی کاغذ خشک کن تولید نمی شود. بنابراین عدد خطوط آبی در يك ثانیه برابر

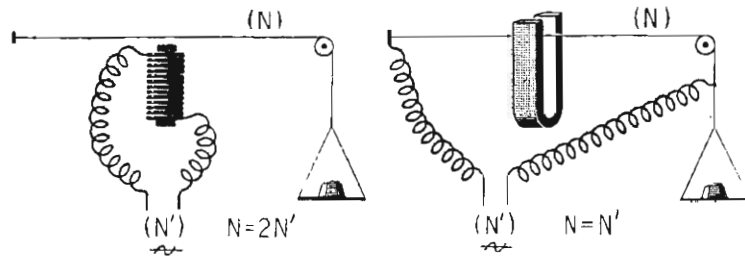
تواتر جریان متناوب است. برای سهولت عمل، ورقه خشك كن را بر روی استوانه دواړی می‌پیچند و انتهای میله آهنی را بر آن تماس می‌دهند و در مجاورت آن ارتعاشات دیابازونی را برای تعیین زمان ثبت می‌کنند.

II - آثار مغناطیسی جریان - آزمایش - هرگاه مداری را

که شامل يك چراغ و سیمی است که در امتداد عقربه مغناطیسی کوچکی قرار گرفته در نظر بگیریم و جریان پیوسته‌ای از آن بگذرانیم، مشاهده می‌کنیم که بر اثر عبور جریان، عقربه مغناطیسی منحرف می‌شود. سوی انحراف عقربه بستگی به سوی جریان دارد (آزمایش ارستد). حال اگر جریان متناوبی از مدار بگذرانیم، می‌بینیم که با آنکه چراغ روشن می‌شود، انحرافی در عقربه مغناطیسی پدید نمی‌آید، زیرا چون از مدار جریان متناوبی می‌گذرد، در هر نیم پریود که سوی جریان تغییر می‌کند سوی انحراف نیز با آن تغییر می‌کند و چون تواتر جریان معمولی ۵۰ است، عقربه باید ۵۰ بار در ثانیه به يك طرف و ۵۰ بار به طرف مخالف منحرف شود و چون نمی‌تواند از این نوسانهای تند جریان متابعت کند ساکن می‌ماند. به همین علت است که آمپرسنجهای جریان پیوسته را نمی‌توان در جریان متناوب بکار برد.

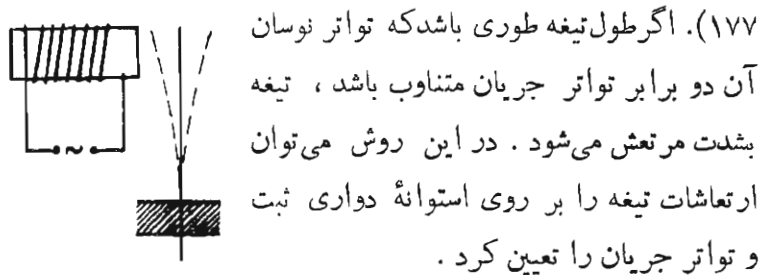
آزمایش - يك سر تار مرتعشی از آهن در نقطه‌ای ثابت شده است؛ به سر دیگر آن که از روی قرقره‌ای گذشته، کفه‌ای آویزان است (شکل ۱۷۶). نیروی کشش تار را می‌توان با گذاشتن وزنه‌های مختلف در کفه، تغییر داد. در زیر تار و در وسط آن، مغناطیسی الکتریکی قرار گرفته است که جریان متناوبی از آن می‌گذرد. اگر بتدریج نیروی کشش تار را تغییر دهیم، هنگامی می‌رسد که تار بشدت مرتعش شده

ويك شكم در وسط آن ایجاد می‌شود، و این وقتی است که تواتر تار دو برابر تواتر جریان متناوب است $N = 2N'$ ، زیرا در هر نیم پریود جریان، تار يك بار جذب و يك بار رها می‌شود و در نتیجه يك نوسان



شکل ۱۷۶

کامل انجام می‌دهد. بنابراین کافی است که تواتر تار را تعیین و از روی آن تواتر جریان را حساب کرد. ممکن است به وسیله دیگری نیز تواتر جریان را اندازه گرفت: تیغه‌ای از آهن که انتهای آن در گیره‌ای محکم شده اختیار می‌کنیم و آن را در مقابل يك سولنوید قرار می‌دهیم (شکل



شکل ۱۷۷

تذکر - در آزمایش بالا، اگر به جای

تیغه، آهنربا بکار ببریم، در هنگام تشدید، تواتر جریان و تیغه برابر است

۱ - چون جریان متناوب است، سطحی از بوبین که مقابل سیم قرار گرفته متناوباً قطب شمال و جنوب می‌شود و چنانکه می‌دانیم سیم آهنی، هم توسط قطب شمال و هم توسط قطب جنوب جذب می‌شود.

$N=N'$. همچنین اگر جریان را از تار عبور دهیم و آن را در يك میدان آهنربای نعلی بگذاریم، در هنگام تشدید تواتر آنها برابر خواهد بود، چه نیروی الکترومغناطیسی که بر اثر میدان مغناطیسی بر تار وارد می‌شود با جریان تغییر سو می‌دهد و این مطلب اساس اسیلوگراف است که بعداً به شرح آن خواهیم پرداخت.

III - آثار گرمایی جریان - جریان متناوب مانند جریان

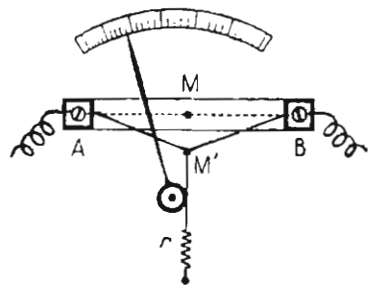
پیوسته چون از سیمی عبور کند، مقداری گرما تولید می‌کند که برای ایجاد روشنایی و گرما از آن استفاده می‌شود. چون گرمای تولید شده متناسب با مجذور شدت است، سوی جریان در مقدار آن مؤثر نیست و گرمای ایجاد شده در دو نیم پریود با یکدیگر برابر است. آشکار است که چون شدت تغییر می‌کند، در طول يك نیم پریود، مقادیر گرمای حاصل در فواصل زمان یکسان Δt با هم مساوی نیست. مثلاً هنگامی که شدت ماکزیمم یا مینیمم است، مقدار گرما ماکزیمم و هنگامی که شدت صفر است مقدار گرما صفر می‌باشد. اگر يك جریان متناوب از چراغی بگذرد، در يك پریود، روشنایی آن تغییر می‌کند ولی چون نواتر زیاد است این تغییرات با چشم محسوس نیست.

۱۷۴ - شدت مؤثر - شدت مؤثر يك جریان متناوب شدت جریان

پیوسته‌ای است که در مدتی معین در يك مقاومت همان مقدار گرما تولید کند که جریان متناوب در همان مدت در آن مقاومت تولید می‌کند. این شدت مؤثر را به I_e نشان می‌دهند. آزمایش و محاسبه نشان می‌دهد

که شدت مؤثر يك جریان متناوب برابر است با $I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ که در آن I_m شدت ماکزیمم است. شدت مؤثر را با آمپرسنج گرمایی اندازه می‌گیرند.

اساس آمپرسنج گرمایی بر روی افزایش طول يك سیم هادی بر اثر گرما قرار گرفته است. آمپرسنج گرمایی تشکیل شده است از سیمی



شکل ۱۷۸

مانند AB که در دو نقطه ثابت شده است. اگر جریانی از آن بگذرد منبسط می‌شود. حرکتی که از این تغییر طول سیم ایجاد می‌شود به عقربه‌ای انتقال می‌یابد که بر روی صفحه مدرجی حرکت

می‌کند (شکل ۱۷۸). این دستگاه را به وسیله يك جریان پیوسته مدرج می‌کنیم. حال اگر از این دستگاه جریان متناوبی عبور کند، شدتی که آمپرسنج نشان می‌دهد، بنا بر تعریفی که برای شدت مؤثر جریان متناوب کردیم، همان I_e خواهد بود.

اختلاف پتانسیل مؤثر و نیروی محرکه مؤثر

۱۷۵ - اختلاف پتانسیل مؤثر - هرگاه جریان متناوبی از مدار

بگذرد که از يك سیم راست (بدون پیچش و حلقه) تشکیل یافته، چون شدت جریان در هر لحظه به صورت $i = I_m \sin \omega t$ است، اختلاف پتانسیل بین دو سر سیم نیز يك اختلاف پتانسیل متناوب سینوسی خواهد بود که معادله آن $v = V_m \sin \omega t$ است، زیرا قانون اهم در هر لحظه صادق است. در اینجا نیز اختلاف پتانسیل مؤثر اختلاف پتانسیل جریان پیوسته‌ای

است که در مقاومت و مدت زمان یکسان مقدار گرمایی برابر با همان مقدار گرمای تولید شده به توسط جریان متناوب تولید کند و $V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ است.

اختلاف پتانسیل مؤثر به وسیله ولت سنچ گرمایی اندازه گیری می شود. ولت سنچ گرمایی همان آمپرسنچ گرمایی است که مقاومت فوق العاده زیادی بطور توالی با آن بسته شده است و آن را به وسیله یک جریان پیوسته و بر حسب ولت مدرج می کنند.

۱۷۶- نیروی محرکه مؤثر - نیروی محرکه تولید شده در بوبین به صورت رابطه $e = E_m \sin \omega t$ است. نیروی محرکه مؤثر عبارت از مقداری است که ولت سنچ گرمایی وقتی نشان می دهد که مستقیماً به دو قطب مولد متصل شود. در واقع نیروی محرکه مؤثر همان اختلاف پتانسیل مؤثر در مدار باز است.

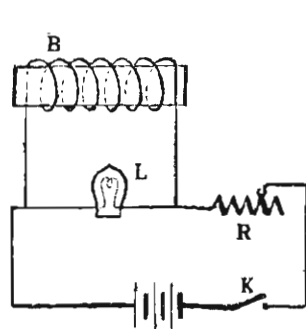
$$E_e = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

خود القا

۱۷۷- خاصیت خود القا - مدار بسته ای در نظر می گیریم که جریانی از آن می گذرد. این جریان در اطراف خود میدانی مغناطیسی تولید می کند و در نتیجه، بر اثر جریان خود مدار، یک شار مغناطیسی از آن می گذرد. حال اگر به علتی جریان در مدار تغییر کند، میدان جریان و در نتیجه شار مغناطیسی نیز که از مدار می گذرد تغییر خواهد کرد. آزمایش نشان می دهد که در این صورت نیز یک نیروی محرکه

القای در مدار ایجاد می شود، درست مانند حالتی که تغییرات شار به وسیله یک عامل خارجی ایجاد شده باشد. اینگونه القا را که توسط خود جریان در مدار خودش تولید می شود **خود القا (Self - induction)** می نامند. قوانین خود القا همان قوانین القاست و قانون لنز نیز در باره آن صادق است، یعنی جریان خود القا با تغییرات جریان القا کننده مخالفت می کند. مثلاً هنگامی که به وسیله یک کلید مدار جریان پبلی را مسدود کنیم، خود القا جریانی ایجاد می کند که با برقراری جریان مخالفت می ورزد و برعکس هنگامی که کلید را باز کنیم جریان خود القا با از بین رفتن جریان مخالفت می کند و در نتیجه جریان دیرتر قطع می شود. آزمایش زیر این پدیده را نشان می دهد.

آزمایش - مداری تشکیل می دهیم که از یک باتری، یک رئوستای



شکل ۱۷۹

R، یک کلید **K** و یک چراغ **L** تشکیل شده باشد. به دوسر چراغ بطور انشعاب بوبین **B** را که عده زیادی سیم پیچ دارد و در داخل آن هسته آهنی جای گرفته است، وصل می کنیم (شکل ۱۷۹). مقدار مقاومت رئوستا را چنان انتخاب

می کنیم که چراغ روشنایی ضعیفی تولید کند (قرمز تیره). حال اگر دفعتاً کلید را باز کنیم، مشاهده می شود که چراغ در یک لحظه با روشنایی زیادی می درخشد و سپس خاموش می شود. بر اثر قطع جریان در بوبین **B**، نیروی محرکه ای ایجاد شده است که حتی از نیروی محرکه باتری زیادتر

است و این نیروی محرکه در مدار چراغ و بوبین شدت زیادی در مدتی کوتاه برقرار کرده است . محاسبه نشان می دهد که در اینجا نیز نیروی محرکه خودالقا متناسب با $\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ است و چون در حالت خودالقا $\Delta \varphi$ متناسب با تغییرات خود جریان یعنی ΔI است ، نیروی محرکه خودالقا از رابطه ای مانند :

$$e = -L \frac{dI}{dt}$$

بدست می آید که در آن e نیروی محرکه خودالقا بر حسب ولت است . L را ضریب خودالقای مدار ، یا سلف ، می نامند و بر حسب واحدی به نام هانری (Henry) بیان می شود و هانری را به حرف H نمایش می دهند . $\frac{dI}{dt}$ مشتق شدت بر حسب زمان است .

واحد ضریب خودالقا هانری است . يك هانری ضریب خودالقای بوبینی است که چون تغییرات جریانی مساوی يك آمپر در يك ثانیه ($\frac{dI}{dt} = 1$) در آن ایجاد شود نیروی محرکه ای برابر با يك ولت در آن تولید شود .

تمرین

۱ - جریان متناوبی به معادله $i = 141 \sin 100\pi t$ مفروض است . معین کنید شدت مؤثر ، تواتر و پریود جریان را .

$$I_e = 100A , N = 50 , T = 0.02s$$

۲ - جریان متناوبی با تواتر ۵۰ از مغناطیسی الکتریکی می گذرد که درمقابل تار مرتعشی از آهن به طول ۵۰cm قرار دارد . جرم هر متر آن ۶ گرم است . تعیین کنید نیروی کششی را که باید به تار وارد شود تا با جریان

و تشدید باشد و يك شکم ایجاد کند . $F = 6/8 kgf$

۳ - در سرراه جریانی به معادله $i = 28/2 \sin 100\pi t$ مقاومتی برابر با ۱۵ اهم قرار گرفته است . ۱ - مطلوب است مقدار گرمای حاصل در سیم در مدت ۱۰ ثانیه . ۲ - این گرما دمای هزار گرم آب را چه اندازه بالا می برد ؟ ۳ - اگر این جریان از بوبینی بگذرد که در مقابل تار آهنی مرتعشی قرار گرفته است ، در هنگام تشدید تار چه نوتی را بیان می دند در صورتی که نیروی کشش تار $16 kgf$ و جرم يك سانتیمتر تار 0.981 گرم باشد ، طول تار و سرعت انتشار ارتعاشات عرضی در تار مرتعش چقدر است ؟

$$1) Q = 14400 cal \quad 2) 14/4^{\circ}C \quad 3) sol, \quad 4) 20 cm \text{ و } 40 m/s$$

۴ - مقاومت يك چراغ ۲۵ اهمی 370Ω است . اختلاف پتانسیل مؤثر در دو سر چراغ ۱۱۰ ولت است . معین کنید : ۱ - اختلاف پتانسیل ماکزیمم در دو سر چراغ را ؛ ۲ - معادله شدت جریان را در صورتی که تواتر جریان ۵۰ باشد ؛ ۳ - توان مصرف شده به ازای هر شمع را .

$$1) 155/54V \quad 2) i = 0.41 \sin 100\pi t \quad 3) 1/3W$$

۵ - معادله شدت جریانی $i = 4\sqrt{2} \sin 100\pi t$ می باشد . معین کنید : ۱ - تواتر جریان را ؛ ۲ - شدت مؤثر را . ۳ - اگر جریان پیوسته ای به شدت ۳ آمپر با این جریان متناوب در يك سیم بفرستیم ، شدت جریان مؤثر کل چقدر است . ۴ - در چه لحظاتی از پریود اول شدت جریان مساوی شدت مؤثر می شود .

$$1) N = 50 \quad 2) 4 \text{ آمپر} \quad 3) 5 \text{ آمپر} \quad 4) \frac{1}{400} \text{ و } \frac{3}{400} \text{ ثانیه}$$

۶ - درمقابل تار مرتعشی از آهن و به محاذات وسط آن الکتروامانی قرار گرفته است . هنگامی که جریان متناوبی از الکتروامان می گذرد ، به ازای نیروی کششی برابر با $10 kgf$ بین تار و جریان تشدید حاصل می شود . اگر تواتر جریان ۳۲ و جرم يك متر تار ۴ گرم باشد ، معین کنید طول تار مرتعش و نوتی را که بیان می کند . $122/3 cm$ ut

کلیه دو ساخته K تشکیل می دهیم . گالوانومتر و خازن AB متوالی قرار
دهیم . آزمایش را به ترتیب زیر انجام می دهیم :

۱- کلید را در Km می بندیم . مشاهده می کنیم که گالوانومتر
صفر می شود ولی فوراً به صفر باز می گردد .

۲- کلید را در Km قطع و دوباره وصل می کنیم . مشاهده می شود
که این بار گالوانومتر هیچ منحرف نمی شود ، یعنی هیچ جریانی از آن
نمی گذرد .

۳- کلید را در Km قطع و در Kn وصل می کنیم . گالوانومتر
در جهت خلاف جهت پیش و به همان اندازه منحرف می شود و فوراً به صفر
باز می گردد . در مدت بسیار کوتاهی جریانی با جهت مخالف جهت
جریان در حالت اول از گالوانومتر گذشته است .

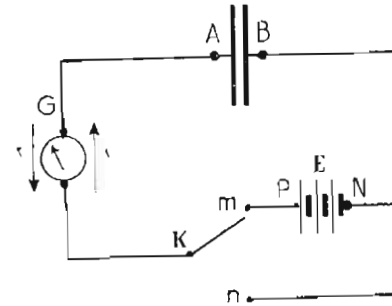
می توان گفت که در آزمایش حالت اول ، جریان مشهود در گالوانومتر
مربوط به انتقال مقداری بار الکتریکی از مولد بر روی جوشنهای خازن
بوده است . این جریان شارژ است که نمی تواند دائمی باشد ، زیرا
وجود عایق در خازن مانع عبور اتصال جریانی است . در پایان آزمایش
حالت اول خازن پر شده است ، و در این لحظه هیچ اختلاف پتانسیلی
نه میان P و A و نه میان B و N وجود ندارد . پس :

$$V_A - V_B = V_P - V_N$$

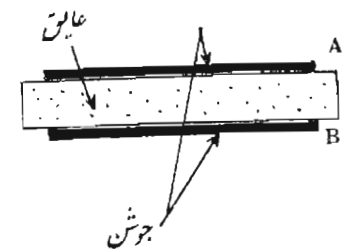
در آزمایش حالت سوم ، مولد از مدار خارج شده است ؛ فقط
جوشنهای A و B به وسیله گالوانومتر به یکدیگر مربوط شده اند . چون
میان A و B اختلاف پتانسیلی وجود دارد ، جریانی از A به B برقرار
می شود که مدت برقراری آن بسیار کوتاه است ، زیرا اختلاف پتانسیل

خازنها

۱۷۸- خازن - مجموعه دو صفحه هادی که به وسیله عایقی
(هوا ، میکا ، شیشه ، پارافین و غیره) از یکدیگر جدا شده باشند خازن
نام دارد . هر یک از دو صفحه را جوشن می نامند . ساده ترین خازنها
خازن مسطح است که در آن دو صفحه هادی دو سطح مستوی موازیند
(شکل ۱۸۰) .



شکل ۱۸۱



شکل ۱۸۰

۱۷۹- پر شدن و خالی شدن خازن - آزمایش - مداری مطابق

شکل ۱۸۱ از مولدی به نیروی محرکه E و یک گالوانومتر بالیستیک
G (گالوانومتری با قاب متحرک که چون مقداری الکتریسیته از آن
بگذرد منحرف شده و مجدداً به صفر برمی گردد و مقدار انحراف متناسب
با مقدار الکتریسیته ای است که از آن می گذرد) و یک خازن AB و یک

میان A و B سرعت صفر می‌شود. این جریان را **جریان دشارژ** (تخلیه) می‌نامند. در این حالت خازن تخلیه شده است و جوشنهای A و B از لحاظ پتانسیل دوباره به یک حالت درآمده‌اند.

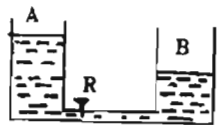
مقدار الکتریسته‌ای را که خازن در هنگام پر شدن در هر یک از دو جوشن خود ذخیره می‌کند **بار خازن** (Q) می‌نامند. دلیل پر شدن خازن آن است که چون دو جوشن A و B خازنی را به دو قطب P و N مولدی به نیروی محرکه E ولت مربوط سازیم، الکترونهایی از قطب منفی N مولد به جوشن مربوط به این قطب می‌روند و این جوشن که قبلاً خنثی بود دارای بار منفی می‌شود و برعکس الکترونهایی از جوشن دیگر جذب قطب مثبت P می‌گردند و این جوشن دارای بار مثبت می‌شود. این انتقال الکترونها که همان جریان در سیمهای رابط است چندان ادامه می‌یابد تا پتانسیل جوشنها برابر با پتانسیل قطبهای مولد شود. در این لحظه جریان قطع می‌شود. در این حالت یک جوشن دارای بار $-Q$ و جوشن دیگر دارای بار $+Q$ است و اختلاف پتانسیلی در دو جوشن خازن برابر با $V_A - V_B$ تولید شده که مساوی است با اختلاف پتانسیل دو سر مولد یعنی $V_P - V_N$ که خود برابر با E نیروی محرکه مولد است:

$$V_A - V_B = V_P - V_N = E$$

اختلاف پتانسیل $V = V_A - V_B$ دو جوشن خازن، چنانکه ملاحظه می‌شود، بستگی به نیروی محرکه مولدی دارد که برای پر کردن خازن از آن استفاده می‌شود و بنا بر این می‌تواند هر مقداری را داشته باشد. ولی عملاً اگر این اختلاف پتانسیل از میزان معینی تجاوز کند جرقه‌ای در داخل عایق بین دو جوشن ایجاد می‌شود و آن را فاسد می‌کند.

اگر دو جوشن A و B را به وسیله سیمی به یکدیگر وصل کنیم، جریانی در سوی پتانسیلهای نزولی برقرار می‌شود تا مجدداً پتانسیل دو جوشن برابر شوند. آن وقت خازن خالی می‌شود. در واقع بارهای $-Q$ که در یک جوشن ذخیره شده بود از سیم رابط به جوشن دیگر رفته و بار $+Q$ آن را خنثی می‌کند.

تذکره - می‌توان خازن پر شده را به دو منبع آب تشبیه کرد که



شکل ۱۸۲

اختلاف سطحی بین سطوح آزاد آب آنها موجود باشد و به وسیله شیر می‌مانند R به یکدیگر مربوط باشند. تا هنگامی که شیر بسته است،

اختلاف سطح برقرار می‌ماند و هنگامی که شیر باز شود جریانی برقرار می‌شود تا اختلاف سطح از بین برود (شکل ۱۸۲).

۱۸۰ - ظرفیت خازن - چنانکه گفته شد، اختلاف پتانسیل

خازن برابر با نیروی محرکه مولدی است که برای پر کردن آن بکار می‌رود. از طرف دیگر آزمایش نشان می‌دهد که مقدار الکتریسته ذخیره شده Q در خازن نیز با اختلاف پتانسیل دو جوشن آن بستگی دارد. اگر آزمایش [۱۷۹] را با مولدهای مختلف تکرار کنیم، مشاهده می‌شود که هرگاه نیروی محرکه مولد و در نتیجه اختلاف پتانسیل دو جوشن خازن دو یا سه برابر شود، مقدار انحراف گالوانومتر و در نتیجه مقدار بار خازن نیز دو یا سه برابر خواهد شد. مثلاً اگر نیروی محرکه ۵۵ ولت باشد و گالوانومتر ۱۵ درجه منحرف شود، هنگامی که نیروی محرکه را به ۱۱۰ یا ۲۲۰ ولت ترقی دهیم، انحراف گالوانومتر ۳۰ یا ۶۰ درجه می‌شود. پس می‌توان گفت:

مقدار الكتریسیته ذخیره شده در يك خازن با اختلاف پتانسیل دو جوشن خازن متناسب است .

به عبارت دیگر ، نسبت مقدار الكتریسیته ذخیره شده در خازن Q به اختلاف پتانسیل V دو جوشن خازن مقداری است ثابت که آن را ظرفیت خازن می نامند و به C نمایش می دهند ، یعنی $\frac{Q}{V} = C_{te} = C$

$$Q = C \cdot V \quad (۱)$$

در رابطه (۱) ، Q بر حسب کولن و V بر حسب ولت و C بر حسب فاراد است .

واحد ظرفیت - از رابطه (۱) واحد ظرفیت نتیجه می شود .

واحد ظرفیت فاراد (F) و آن عبارت است از ظرفیت خازنی که چون اختلاف پتانسیلی برابر يك ولت در دو سر آن برقرار سازیم مقداری الكتریسیته برابر با يك کولن در آن ذخیره شود . چون عملاً فاراد فوق العاده بزرگ است ، واحد عملی ظرفیت را میکروفاراد (μF) که برابر $۱۰^{-۶}$ فاراد است اختیار می کنند .

۱۸۱ - فرمول ظرفیت خازن - برای اندازه گیری ظرفیت يك

خازن ، از گالوانومتر بالیستیک استفاده می کنند ، بدین طریق که با اختلاف پتانسیل ثابتی ، خازنهای مختلفی را پر کرده و با تعیین Q به وسیله انحراف قاب گالوانومتر ظرفیت آنها را با یکدیگر مقایسه می کنند (چون اختلاف پتانسیل ثابت است ، ظرفیت متناسب با Q خواهد بود) . آزمایش نشان می دهد که :

۱ - ظرفیت خازن با سطح مشترك دو جوشن (S) متناسب است ؛

۲ - ظرفیت خازن با ضخامت عایق (e) نسبت معکوس دارد ؛

۳ - ظرفیت خازن با جنس هادی بستگی ندارد ولی به جنس عایق بستگی دارد .

این سه قانون را می توان در فرمول زیر خلاصه کرد :

$$C = A \frac{S}{e}$$

که اگر در آن S بر حسب cm^2 و e بر حسب cm و C بر حسب فاراد بیان شود ، $A = \frac{K}{9 \times 10^{11}} \times \frac{1}{4\pi}$ خواهد بود . K ضریبی است که بستگی به جنس عایق دارد و آن را ضریب القای مخصوص عایق می نامند . برای خلا $K=1$ است ، برای هوا تقریباً ۱ ، برای شیشه ۶ ، برای پارافین ۲ و برای میکا ۸ است . پس فرمول بالا به صورت زیر درمی آید :

$$C(F) = \frac{K}{36 \times 10^{11}} \times \frac{S(cm^2)}{\pi e(cm)}$$

۱۸۲ - انرژی ذخیره شده در خازن - هنگام تخلیه يك خازن ،

مقداری انرژی در سیمهای مدار به شکل گرما ظاهر می شود . پس خازن پر شده دارای انرژی است . آزمایش و محاسبه نشان می دهد که مقدار

انرژی يك خازن برابر است با $W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2$ ژول

می توان دلیل وجود ضریب $\frac{1}{2}$ را در این فرمول چنین بیان کرد : اگر در تمام مدت تخلیه ، اختلاف پتانسیل ثابت می ماند و Q کولن بار از يك جوشن به جوشن دیگر انتقال می یافت ، مقدار انرژی QV می بود . ولی بتدریج که Q کم می شود ، V نیز به همان نسبت کم خواهد شد و هنگامی که خازن کاملاً تخلیه شده ، $V=0$ می شود . پس می توان گفت

که در مدت تخلیه ، اختلاف پتانسیل متوسط $\frac{V+0}{2} = \frac{V}{2}$ ، پس انرژی

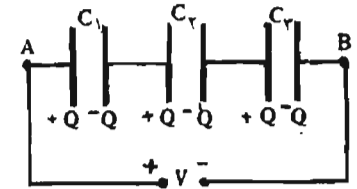
$Q \frac{V}{2}$ است .

اتصال خازنها

۱۸۳- اتصال خازنها به یکدیگر یا برای بالا بردن اختلاف پتانسیل است (اتصال متوالی) یا برای بدست آوردن ظرفیت بیشتر (اتصال متوازی).

I- اتصال خازنها بتوالی - سه خازن را که ظرفیت آنها بترتیب

C_1 و C_2 و C_3 است متوالی به یکدیگر می‌بندیم (شکل ۱۸۳)، می‌خواهیم ظرفیت خازن معادل با



شکل ۱۸۳

این سه خازن را تعیین کنیم. واضح

است که بین اختلاف پتانسیل دو سر مولد V و اختلاف پتانسیل دو جوشن خازنها، که بترتیب V_1 ، V_2 ، V_3 فرض می‌شود، رابطه $V = V_1 + V_2 + V_3$ برقرار است. در آغاز کار همه جوشنها خنثی هستند. اگر مدار را ببندیم، یک مقدار بار $-Q$ به جوشن سمت راست خازن C_3 می‌رود، این بارها به همان میزان الکترونهاى جوشن مقابل را از خود می‌رانند و در نتیجه این جوشن دارای بار $+Q$ و جوشن سمت راست خازن C_2 دارای بار $-Q$ می‌شود (چون جوشن چپ C_3 متصل به جوشن راست C_2 است، و این دو مستقیماً به مولد وصل نیستند، همواره باید مجموع بار این دو صفر باشد). اگر به همین ترتیب پیش برویم نتیجه می‌گیریم که جوشنها متناوباً دارای بار $-Q$ و $+Q$ هستند یعنی بار هر سه خازن برابر است. پس اگر C ظرفیت خازن معادل این سه خازن باشد

$$V_3 = \frac{Q}{C_3} \text{ و } V_2 = \frac{Q}{C_2} \text{ ، } V_1 = \frac{Q}{C_1} \text{ ، } V = \frac{Q}{C}$$

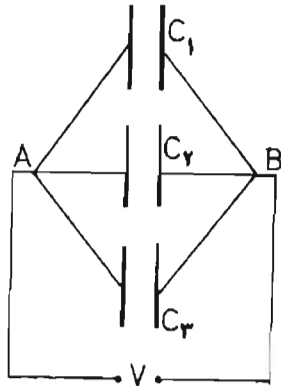
$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \quad \text{و بنابراین}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \text{یا}$$

پس : عکس ظرفیت خازن معادل مساوی است با حاصل جمع عکس

ظرفیت خازنها . اینگونه اتصال خازنها در مواردی بکار می‌رود که یک خازن بتنهایی تواند اختلاف پتانسیل موجود را تحمل کند .

II - اتصال خازنها بتوازی - در اینگونه اتصال مطابق شکل



شکل ۱۸۴

۱۸۴ ، از هر خازن یک جوشن را به نقطه مشترکی مانند A و دیگر جوشنها را به نقطه‌ای مانند B وصل می‌کنند و پس از آن دو قطب مولد را به این دو نقطه اتصال می‌دهند . واضح است که در این صورت اختلاف پتانسیل دو جوشن خازنها برابر با یکدیگر و مساوی اختلاف پتانسیل

دو سر مولد V ، ولی مقدار الکتریسته

آنها متفاوت خواهد بود . اگر بار این خازنها را با Q_1 ، Q_2 و Q_3 و بار کل را که از مولد جریان یافته است با Q نشان دهیم، آشکار است که : $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ است و چون ظرفیت خازنها بترتیب C_1 و C_2 و C_3 و ظرفیت خازن معادل آنها C باشد، از رابطه بالا چنین نتیجه می‌شود :

$$CV = C_1V + C_2V + C_3V \quad \text{یا} \quad C = C_1 + C_2 + C_3$$

یعنی ظرفیت کل مساوی با حاصل جمع ظرفیتهاست. از این نوع اتصال در مواردی که احتیاج به ظرفیت بزرگ است استفاده می شود.

۱۸۴ - انواع خازنها - I - بطری لید - شکل ۱۸۵ يك بطری

لید را نشان می دهد. عایق آن شیشه و جوشن داخلی آن براده مس و جوشن خارجی آن ورقه ای از قلع است. میله ای منتهی به يك کره کوچک جوشن داخلی را به خارج مربوط می سازد. این خازن می تواند تا ۲۰۰۰۰ ولت را حمل کند.



شکل ۱۸۵

II - خازنهای متغیر - این خازنها تشکیل

شده اند از صفحه هایی هادی و ثابت که بین آنها صفحه های دیگر قرار گرفته است که می توانند به دور محوری دوران کنند. اگر این صفحه ها را بچرخانیم، سطح آن قسمت از صفحه ها که

روبروی یکدیگرند کم یا زیاد می شود و در نتیجه ظرفیت خازن تغییر

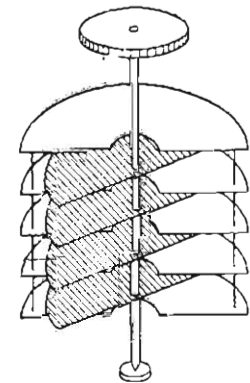
می کند (شکل ۱۸۶). خازن متغیر را با

علامت اختصاری (شکل ۱۸۷) نمایش می-

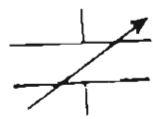
دهند.

III - جعبه های خازن - خازنهایی به ظرفیت

بزرگ و به حجم کوچک هستند که تشکیل شده اند از عدّه زیادی صفحه های نازك میکا که دو طرف آنها نقره اندود شده و بین ورقه های

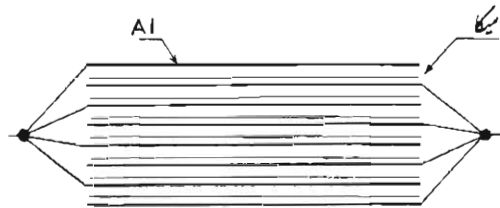


شکل ۱۸۶

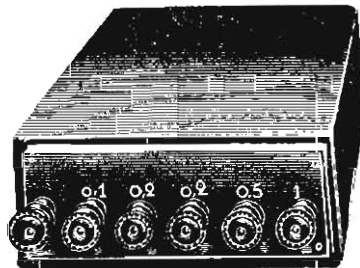


شکل ۱۸۷

از عدّه زیادی از این خازنها را بطور موازی مطابق شکل ۱۸۸ به یکدیگر متصل کرد. شکل ۱۸۹ يك جعبه خازن را نشان می دهد.



شکل ۱۸۸



شکل ۱۸۹

تمرین

- ۱ - خازنی است به ظرفیت $2\mu F$ که اختلاف پتانسیل دو جوشن آن $9000V$ است. معین کنید:
 - ۱ - مقدار الکتریسیته ذخیره شده را در خازن؛
 - ۲ - مقدار انرژی خازن را؛
 - ۳ - مقدار گرمای حاصل از تخلیه خازن را؛
 - ۴ - گرمای حاصل دمای 10 گرم آب را چند درجه بالا می برد.
- ۲ - $t = 20^\circ C$ ۴) $Q = 20 cal$ ۳) $W = 81 J$ ۲) کولن 0.018 ۱) $Q = 0.018$ در صورتی که کلفتی عایق $0.1 mm$ و ضریب القای مخصوص آن 2 باشد. اگر اختلاف

پتانسیلی برابر با هزار ولت در دو جوشن آن برقرار کنیم، مقدار الکتریسیته ذخیره شده و انرژی آن را حساب کنید.

$$5/65 \text{ m}^2 \quad \frac{1}{1000} \text{ C} \quad \text{و} \quad \frac{1}{2} \text{ J}$$

۳- خازن C_1 به ظرفیت $5/8 \mu\text{F}$ را با خازن C_2 به ظرفیت $2 \mu\text{F}$ بطور توازی وصل کرده ایم. ۱- معین کنید ظرفیت دستگاه را. ۲- اگر دستگاه را به مولدی که اختلاف پتانسیل دو سر آن 1000 V است متصل کنیم، معین کنید مقدار الکتریسیته ذخیره شده در دستگاه دو خازن و مقدار الکتریسیته ذخیره شده در هر خازن را.

کولن $Q_1 = 0/0008$ ، کولن $Q_2 = 0/0028$ ، $C = 2/8 \mu\text{F}$ (۱) کولن $Q_2 = 0/002$

۴- خازنی را 50 بار در ثانیه در ظرفی محتوی سولفات مس تخلیه

می کنیم. ظرفیت خازن $1/3 \mu\text{F}$ و اختلاف پتانسیل دو سر مولدی که خازن با آن پرمی شود 7200 V است. تعیین کنید چه مدت زمان باید تخلیه خازن در ظرف ادامه یابد تا یک میلیگرم مس در کاتد رسوب کند ($F = 96000$) ثانیه ۲۵

۵- مولدی تشکیل شده است از 100 پیل که بطور متوالی بسته شده اند.

از این مولد، برای پر کردن خازنی به ظرفیت $1 \mu\text{F}$ استفاده می شود. این خازن 100 بار در هر ثانیه در ولتامتری محتوی نیترات نقره تخلیه می شود و پس از یک ساعت $60/372$ میلیگرم نقره در کاتد رسوب می کند. تعیین کنید نیروی محرکه هریک از پیلها را. $1/5 \text{ V}$

فصل شانزدهم

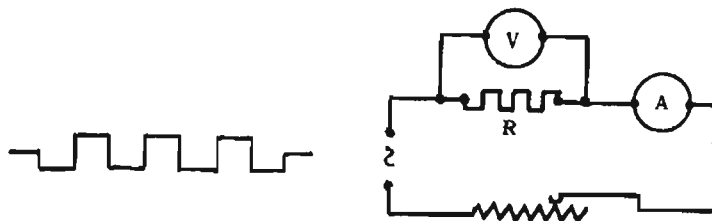
قوانین اهم

تأثیر مقاومت، خودالقا، و خازن بر جریان متناوب

۱۸۵- می دانیم که اگر بخواهیم از مقاومت R جریانی پیوسته به شدت I بگذرانیم، کافی است که اختلاف پتانسیلی برابر با $V = RI$ در دو سر مقاومت R برقرار سازیم. ولی در جریان متناوب در تمام موارد قانون اهم بدین شکل ساده صادق نیست. در اینجا به شرح حالات مختلف می پردازیم:

I- مدار فقط شامل مقاومت است - آزمایش- مداری تشکیل

می دهیم که شامل مقاومت خطی R (منظور از مقاومت خطی، سیمی است که به شکل حلقه یا بوبین نباشد و چنین مداری را بدون خودالقا نیز می نامند و با علامت اختصاری شکل ۱۹۱ نشان می دهند) و یک رئوستا



شکل ۱۹۰

شکل ۱۹۱

باشد (شکل ۱۹۰). در دو سر مقاومت R یک ولت سنج گرمایی V و در

پتانسیلی برابر با هزار ولت در دو جوشن آن برقرار کنیم، مقدار الکتروسیته ذخیره شده و انرژی آن را حساب کنید.

$$J = \frac{1}{4} \text{ و } C = \frac{1}{1000} \text{ m}^2$$

۳- خازن C_1 به ظرفیت $0.8 \mu F$ را با خازن C_2 به ظرفیت $2 \mu F$ بطور توازی وصل کرده ایم. ۱- معین کنید ظرفیت دستگاه را. ۲- اگر دستگاه را به مولدی که اختلاف پتانسیل دو سر آن $1000 V$ است متصل کنیم، معین کنید مقدار الکتروسیته ذخیره شده در دستگاه دو خازن و مقدار الکتروسیته ذخیره شده در هر خازن را.

$$1) C = 2.8 \mu F \quad 2) Q = 0.0028 \text{ کولن}, \quad Q_1 = 0.0008 \text{ کولن}, \quad Q_2 = 0.002 \text{ کولن}$$

۴- خازنی را 50 بار در ثانیه در ظرفی محتوی سولفات مس تخلیه می کنیم. ظرفیت خازن $\frac{1}{3} \mu F$ و اختلاف پتانسیل دو سر مولدی که خازن با آن پر می شود $7200 V$ است. تعیین کنید چه مدت زمان باید تخلیه خازن در ظرف ادامه یابد تا یک میلیگرم مس در کاتد رسوب کند ($F = 96000$) ثانیه ۲۵

۵- مولدی تشکیل شده است از 100 پیل که بطور متوالی بسته شده اند. از این مولد، برای پر کردن خازنی به ظرفیت $1 \mu F$ استفاده می شود. این خازن 100 بار در هر ثانیه در ولتامتری محتوی نیترات نقره تخلیه می شود و پس از یک ساعت $60/372$ میلیگرم نقره در کاتد رسوب می کند. تعیین کنید نیروی محرکه هر یک از پیلها را. $1.5 V$

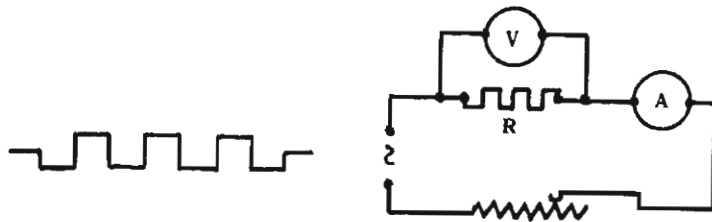
قوانین اهم

تأثیر مقاومت، خود القا، و خازن بر جریان متناوب

۱۸۵- می دانیم که اگر بخواهیم از مقاومت R جریانی پیوسته به شدت I بگذرانیم، کافی است که اختلاف پتانسیلی برابر با $V = RI$ در دو سر مقاومت R برقرار سازیم. ولی در جریان متناوب در تمام موارد قانون اهم بدین شکل ساده صادق نیست. در اینجا به شرح حالات مختلف می پردازیم:

I- مدار فقط شامل مقاومت است - آزمایش - مداری تشکیل

می دهیم که شامل مقاومت خطی R (منظور از مقاومت خطی، سیمی است که به شکل حلقه یا بوبین نباشد و چنین مداری را بدون خود القا نیز می نامند و با علامت اختصاری شکل ۱۹۱ نشان می دهند) و یک رئوستا



شکل ۱۹۰

شکل ۱۹۱

باشد (شکل ۱۹۰). در دو سر مقاومت R یک ولت سنج گرمایی V و در

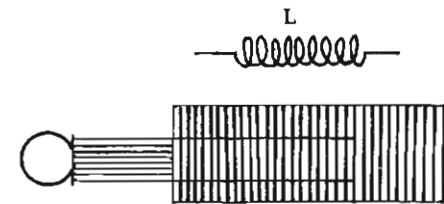
مدار يك آمپرسنج گرمایی A می‌بندیم . حال اگر جریان متناوبی از مدار بگذرانیم، مشاهده می‌کنیم که خارج قسمت اختلاف پتانسیل مؤثر که ولت‌سنج نشان می‌دهد به شدت مؤثر که آمپرسنج نشان می‌دهد همواره ثابت و برابر مقاومت R است، یعنی :

$$V_m = RI_m \quad \text{یا} \quad V_e = RI_e$$

باید دانست که در این مورد اختلاف فازی بین شدت و اختلاف پتانسیل وجود ندارد .

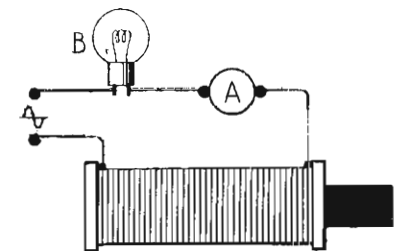
II - مدار شامل خودالقاست -

خودالقاست سیمی است به شکل حلقه یا بوبین ، خواه در داخل آن هسته آهنی باشد یا نباشد (شکل ۱۹۲) .



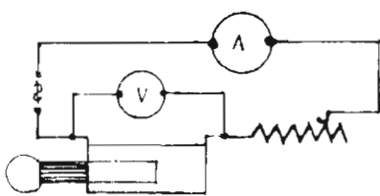
شکل ۱۹۲

آزمایش - مداری مطابق شکل ۱۹۳ از يك چراغ، بوبینی شامل چند حلقه با مقاومت نه چندان زیاد، و يك آمپرسنج تشکیل می‌دهیم. هنگامی که جریان متناوبی از مدار می‌گذرد و هسته آهنی بوبین در خارج قرار گرفته، ملاحظه می‌شود که چراغ با روشنایی معمولی خود روشن می‌شود. حال اگر تدریجاً هسته آهنی را در بوبین داخل کنیم، می‌بینیم که روشنایی



شکل ۱۹۳

چراغ کم می‌شود و آمپرسنج بتدریج شدتهای کمتری را نشان می‌دهد و حتی ممکن است چراغ خاموش شود. از این آزمایش معلوم می‌شود که اگر قسمتی از مدار به شکل حلقه باشد، مخصوصاً اگر هسته‌ای آهنی نیز در مدار باشد، قانون اهم به صورت $V = RI$ در آن صدق نمی‌کند، چه در این آزمایش، بی‌آنکه R و اختلاف پتانسیل دوسر مدار



شکل ۱۹۴

تغییر یابد، شدت جریان تغییر کرده است. حال اگر مداری مطابق شکل ۱۹۴ ترتیب دهیم اختلاف پتانسیل دوسر بوبین را با ولت‌سنج گرمایی V اندازه

بگیریم، مشاهده می‌شود که برای هر وضعیت ثابت از هسته آهنی در داخل بوبین، نسبت اختلاف پتانسیل مؤثر در دوسر بوبین به شدت جریان مؤثر مقداری است ثابت، ولی این مقدار ثابت بزرگتر از مقاومت حقیقی R است که در صورت پیوسته بودن جریان بدست می‌آید. این نسبت را مقاومت ظاهری (**Impédance**) می‌نامند و به Z نمایش می‌دهند. پس اگر شدت جریان را در مدار، به وسیله رئوستا، دو یا سه برابر کنیم بی‌آنکه سایر مشخصات بوبین (R و جای هسته آهنی و جزاینها) تغییر کند، اختلاف پتانسیل دوسر بوبین نیز دو یا سه بار بزرگ می‌شود. بنابراین قانون اهم در دوسر بوبین با رابطه $V_e = ZI_e$ یا $\frac{V_e}{I_e} = Z$ بیان می‌شود.

آزمایش و محاسبه نشان می‌دهد که مقاومت ظاهری Z با مقاومت

حقیقی R ، با عده وسطح حلقه‌ها، با تواتر جریان و نیز با وضعیت هسته آهنی در داخل بوبین بستگی دارد و اگر هر یک از چهار عامل اول زیاد شود و نیز اگر هسته آهنی را بیشتر به داخل بوبین فرو ببریم، مقاومت ظاهری بیشتر خواهد شد.

علت ازدیاد ظاهری مقاومت این است که چون جریان متناوبی از بوبین می‌گذرد، از بوبین شار مغناطیسی متغیر سینوسی می‌گذرد و در نتیجه نیروی محرکه خودالقایی در بوبین پدید می‌آید که آن را نیروی محرکه خودالقا نامیدیم. این نیروی الکتروموتوری جریانی ایجاد می‌کند که به موجب قانون لنز همواره مخالف تغییرات جریانی است که مولد در مدار فرستاده است. می‌بینیم که اختلاف پتانسیل دوسر بوبین فقط اختلاف پتانسیلی نیست که مولد ایجاد می‌کند، بلکه مجموع این اختلاف پتانسیل و نیروی محرکه خودالقایی $e = -L \frac{di}{dt}$ است، و همین نیروی محرکه است که موجب ازدیاد ظاهری مقاومت می‌شود. اگر مقاومت خطی باشد (nS کوچک)، تأثیرات خودالقا قابل اغماض خواهد بود ($e \neq 0$) و مقاومت‌های حقیقی و ظاهری باهم برابر و $V_e = RI_e$ خواهد بود. ولی اگر مدار شامل بوبین یا حلقه باشد (مدار شامل خودالقا)، تأثیرات خودالقا قابل ملاحظه و مقاومت ظاهری بزرگتر از مقاومت حقیقی خواهد بود. محاسبه نشان می‌دهد که در این صورت Z از رابطه

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

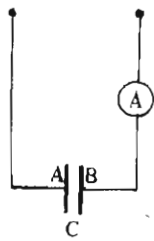
بدست می‌آید که در آن L ضریب خودالقایی بوبین، $\omega = 2\pi N$ (تواتر جریان متناوب)، R مقاومت حقیقی بر حسب اهم و Z مقاومت

ظاهری بر حسب اهم است، و قانون اهم به صورت $V_e = ZI_e$ یا $V_m = ZI_m$ بیان می‌شود.

چنانکه ملاحظه می‌شود اگر R و L و تواتر جریان بیشتر شود، مقدار Z نیز بیشتر می‌شود.

وجود سلف در مدار اثر دیگری نیز دارد و آن این است که سبب ایجاد اختلاف فازی بین شدت و اختلاف پتانسیل می‌شود. مقدار این اختلاف فاز (φ) از رابطه $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ یا $\tan \varphi = \frac{L\omega}{R}$ بدست می‌آید. پس اگر معادله شدت $i = I_m \sin \omega t$ باشد، معادله اختلاف پتانسیل $v = V_m \sin(\omega t + \varphi)$ خواهد بود و در نتیجه شدت جریان و اختلاف پتانسیل با هم به مقدار ماکزیمم و صفر نمی‌رسند.

III - مدار شامل ظرفیت (خازن) است - چنانکه در پیش دیدیم، هرگاه در مسیر یک جریان پیوسته خازنی بگذاریم، به علت مقاومت فوق‌العاده زیاد عایق، جریان از مدار نمی‌گذرد و فقط جریانی در مدت بسیار کوتاه از سیم‌های مدار می‌گذرد و خازن پر می‌شود. ولی



شکل ۱۹۵

اگر مطابق شکل ۱۹۵ در مسیر جریان متناوبی یک آمپرسنج گرمایی A و یک خازن AB قرار دهیم، مشاهده می‌شود که آمپرسنج عبور جریانی را نشان می‌دهد که قطع نمی‌شود. پس ظاهراً خازن مانع عبور جریان نیست (اگر چراغی در مسیر جریان قرار دهیم چراغ روشن می‌ماند).

علت این است که هنگامی که اختلاف پتانسیل در دو جوشن A و B ترقی

می‌کند ، خازن پر می‌شود و هنگامی که اختلاف پتانسیل تنزل می‌کند خازن در مدار تخلیه می‌شود . این پر و خالی شدنهای متوالی خازن در مدار معادل جریان متناوبی است که از مدار می‌گذرد و شدت مؤثر آن را آمپرسنج گرمایی نشان می‌دهد .

در اینجا نیز اگر با يك ولت‌سنج V اختلاف پتانسیل دو سر مدار

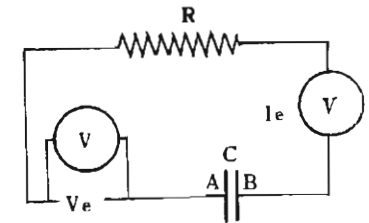
را اندازه بگیریم (شکل ۱۹۶)،

مشاهده می‌شود که بین اختلاف

پتانسیل و شدت مؤثر رابطه

$$\frac{V_e}{I_e} = Cte \quad \text{برقرار است ، یعنی}$$

برای يك ظرفیت معین خازن ،



شکل ۱۹۶

خارج قسمت اختلاف پتانسیل مؤثر بر شدت مؤثر ثابت می‌ماند و این مقدار ثابت را نیز که بزرگتر از مقاومت حقیقی مدار است به Z نمایش داده و آن را مقاومت ظاهری می‌نامند و قانون اهم به این صورت بیان می‌شود : $\frac{V_e}{I_e} = Z$ یا $V_e = ZI_e$. محاسبه نشان می‌دهد که مقاومت ظاهری Z از رابطه :

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}$$

بدست می‌آید که در آن R مقاومت حقیقی مدار و C ظرفیت خازن بر حسب فاراد و $\omega = 2\pi N$ است . چنانکه ملاحظه می‌شود اگر تواتر جریان و ظرفیت خازن بیشتر شود ، مقدار Z کمتر خواهد بود. در این

محاسبه و آزمایش نشان می‌دهد که وجود خازن در مدار ، اختلاف فازي ، شدت و اختلاف پتانسیل ایجاد می‌کند و در اینجا جریان بر اساس پتانسیل تقدم فازی دارد که از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{یا} \quad \tan \varphi = -\frac{1}{RC\omega}$$

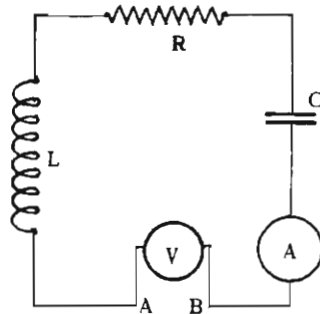
یعنی اگر معادله شدت $i = I_m \sin \omega t$ باشد ، معادله اختلاف پتانسیل $v = V_m \sin(\omega t - \varphi)$ خواهد بود .

تذکر - اگر مقاومت $R = 0$ باشد ، $Z = \frac{1}{C\omega}$ خواهد بود .

در این صورت $V_e = \frac{I_e}{C\omega}$ اختلاف پتانسیل دو سر خازن را مشخص می‌کند .

IV- حالت کلی- مدار شامل مقاومت و سلف و ظرفیت است -

هرگاه مدار جریان متناوبی شامل مقاومت R و سلف L و ظرفیت C باشد ، آزمایش نشان می‌دهد که بین اختلاف پتانسیل مؤثر V_e در دوسر مدار و شدت مؤثر I_e (شکل ۱۹۷) رابطه $\frac{V_e}{I_e} = Cte$ برقرار است .



شکل ۱۹۷

این مقدار ثابت را به Z نمایش می‌دهند ($Z = \frac{V_e}{I_e}$) و آن را مقاومت ظاهری مدار می‌نامند . مقدار Z از مقاومت حقیقی کل مدار بیشتر است . محاسبه نشان می‌دهد که Z از رابطه :

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

بدست می آید .

از طرف دیگر وجود سلف و خازن در مدار ، اختلاف فازی بین شدت و اختلاف پتانسیل برقرار می کند که از این رابطه بدست می آید :

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{یا} \quad \tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

چنانکه فرمول کلی Z می رساند ، مقدار Z به تواتر جریان ، مقاومت R ، سلف L و ظرفیت C بستگی دارد .

۱۸۶ - تشدید در مدار - از فرمول کلی Z پیداست که در آن تأثیرات سلف و ظرفیت در دو جهت مخالفند ، یعنی این دو از اثر یکدیگر می کاهند . در يك مدار می توان سلف و خازن را چنان اختیار کرد که اثر

یکدیگر را کاملاً خنثی کنند . برای این کار باید $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$ شود .

در این حالت Z کوچکترین مقدار خود (R) را دارد و شدت مؤثر حداکثر است و می گویند که در مدار **تشدید** حاصل شده است . همچنین می توان مداری با سلف و ظرفیت معین را ، با تغییر دادن تواتر جریان ، به تشدید درآورد . برای این کار باید $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$ پس $\omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}$

شود ، و چون $\omega = 2\pi N = \frac{2\pi}{T}$ است ، باید $T = 2\pi\sqrt{CL}$ باشد . پس

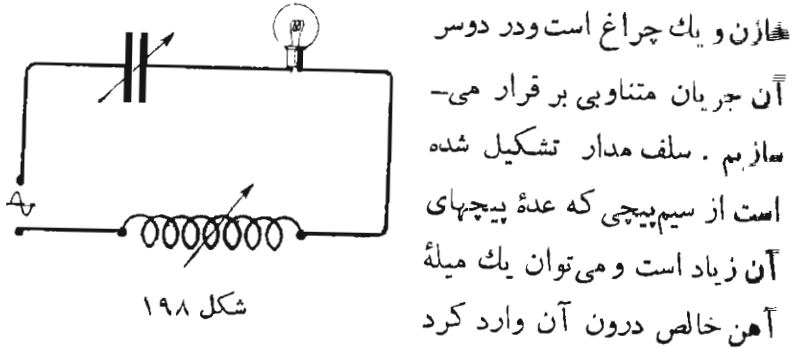
در صورتی در يك مدار تشدید روی می دهد که $L.C.\omega^2 = 1$ یا

$$T = 2\pi\sqrt{CL} \quad \text{باشد .}$$

آزمایش - با آزمایش زیر می توان به چگونگی ایجاد تشدید

در مدار به وسیله تغییر سلف یا خازن پی برد .

مداری مطابق شکل ۱۹۸ تشکیل می دهیم که شامل يك سلف و يك



(سلف متغیر) . ظرفیت خازن در حدود $20\mu F$ است . در ابتدا روشنی چراغ بسیار ضعیف است ، ولی چون میله آهن را متدرجاً در بوبین داخل کنیم ، مشاهده می کنیم که روشنائی چراغ بیشتر می شود و در يك وضعیت معین میله از ما بزرگتری می گذرد . در این هنگام است که در مدار تشدید حاصل شده یعنی سلف و خازن اثر یکدیگر را خنثی کرده اند . واضح است که هر قدر مقاومت حقیقی مدار کمتر باشد ، حالت تشدید نمایانتر و روشنائی چراغ خیره کننده تر خواهد شد . حال اگر به داخل نمودن میله ادامه دهیم ، مجدداً روشنائی چراغ کم می شود . این آزمایش را می توان با تغییر ظرفیت خازن نیز انجام داد (خازن متغیر) .

توان جریان متناوب
توان حقیقی - توان ظاهری

۱۸۷ - در جریان پیوسته دیدیم که اگر جریانی به شدت I آمپر

ار مداری بگذرد که اختلاف پتانسیل دو سر آن V ولت باشد، توان مصرف شده در مدار از رابطه $P = VI$ (برحسب وات) بدست می آید. در جریان متناوب چون شدت و اختلاف پتانسیل تابع زمانند، توان مصرف شده در مدار نیز تابع زمان است. این است که در جریان متناوب متوسط توان را در یک پریود در نظر می گیرند.

اگر مدار تنها شامل سلف و مقاومت و ظرفیت باشد و گیرنده ای در آن نباشد، توان مصرف شده به شکل گرما در مقاومت R ظاهر می شود که از رابطه $P = RI_e^2$ بدست می آید. اگر اختلاف پتانسیل مؤثر دوسر مدار V_e و مقاومت ظاهری Z باشد، $V_e = ZI_e$ خواهد بود و بنابراین $I_e = \frac{V_e}{Z}$. بنا بر این توان مصرف شده به صورت زیر نوشته می شود:

$P = RI_e^2 = RI_e \frac{V_e}{Z} = V_e I_e \frac{R}{Z}$ مقدار $\frac{R}{Z}$ را به K نمایش می دهند و آن را ضریب توان می نامند پس $P = KV_e I_e$. اگر جریان سینوسی باشد، چنانکه دیدیم $\frac{R}{Z} = \cos \varphi$ است. بنا بر این توان مصرف شده در

مدار از رابطه $P = V_e I_e \cos \varphi$ نیز بدست می آید. حاصل ضرب $V_e I_e$ را توان ظاهری می نامند و برحسب ولت آمپر $(V.A)$ بیان می کنند و $V_e I_e \cos \varphi$ را توان حقیقی می نامند و برحسب وات (W) بیان می کنند. در صورتی که مدار شامل مقاومت تنها یا در حال تشدید باشد،

ضریب توان مساوی یک خواهد بود، چه $R = Z$ و $\cos \varphi = 1$ و $P = V_e I_e$ است، و اگر مدار فقط شامل سلف باشد ($R = 0$)، ضریب توان صفر خواهد بود چه $\cos \varphi = 0$ و $\varphi = 90^\circ$ است و در این حالت $P = 0$ است.

اگر مدار فقط شامل ظرفیت باشد ($R = 0$)، $\varphi = -90^\circ$ و $\cos \varphi = 0$ است و در این حالت نیز $P = 0$ است.

چنانکه می بینیم، هر قدر $\cos \varphi$ به یک نزدیکتر شود، توان مصرف شده در مدار زیادتر خواهد بود. به این علت است که خازن را برای کاستن تأثیرات سلف و برقراری تشدید در مدار بکار می برند.

۱۸۸ - توان گیرنده - اگر مدار شامل گیرنده باشد، قسمتی از توان در گیرنده به صورت گرما (RI_e^2) مصرف می شود که معمولاً به علت کوچک بودن مقاومت موتور ناچیز است و در نتیجه تقریباً تمام توان موتور به صورت مکانیکی ظاهر می شود و از رابطه $P = KV_e I_e$ یا $P = V_e I_e \cos \varphi$ بدست می آید.

۱۸۹ - توان مولد - توان تولید شده به توسط یک مولد که نیروی محرکه مؤثر آن E_e است از رابطه $P = KE_e I_e$ بدست می آید و اگر نیروی محرکه سینوسی باشد، توان از رابطه:

$$P = E_e I_e \cos \varphi$$

بدست می آید و چون مقاومت داخلی ناچیز است، معمولاً نیروی محرکه مؤثر با اختلاف پتانسیل مؤثر دوسر مولد برابر است. پس:

$$P = V_e I_e \cos \varphi$$

تمرین

۱ - از بوبینی به مقاومت R هنگامی که اختلاف پتانسیل پیوسته ای برابر با $25V$ در دوسر آن برقرار سازیم، جریانی به شدت $2/5$ آمپر

می‌گذرد. اگر اختلاف پتانسیل متناوبی که مقدار مؤثر آن $V = ۱۰۰$ است در دو سر آن برقرار سازیم، شدت جریان مؤثر ۳ آمپر می‌شود. در صورتی که تواتر جریان $N = ۵۰$ باشد، مطلوب است محاسبه مقاومت و ضریب سلف بوبین.

۲- در دو سر بوبینی به مقاومت $R = ۱۵\Omega$ و ضریب خودالقای هانری $L = ۰/۱$ اختلاف پتانسیل متناوبی به معادله $v = ۱۴۱ \sin ۳۰۰\pi t$ برقرار می‌کنیم. معین کنید: ۱- شدت مؤثر جریان در بوبین را؛ ۲- معادله شدت را.

۳- بردوسرمداری اختلاف پتانسیل متناوب $v = ۱۱۰\sqrt{2} \sin ۳۰۰\pi t$ برقرار شده است. این مدار شامل مقاومت $R = ۲۲\Omega$ و بوبینی به ضریب القای هانری $L = ۰/۸$ و یک ظرفیت C است. شدت مؤثر جریان در مدار ۵ آمپر است. معین کنید مقدار ظرفیت C را.

۴- معین کنید تواتر جریانی را که اگر از مداری بگذرد که شامل بوبینی به ضریب خودالقای $H = ۰/۸$ و ظرفیت $۲۰\mu F$ است، در مدار تشدید حاصل شود.

۵- اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مدار $V = ۱۰۰$ و قدرت مصرف شده در این مدار $۴/۴ kW$ و شدت مؤثر ۵۵ آمپر است. مطلوب است محاسبه توان ظاهری و توان حقیقی و ضریب توان.

$K = ۰/۸$ ، $۴۴۰۰ W$ ، ولت آمپر ۵۵۰۰

۶- مطلوب است محاسبه ضریب توان بوبینی به مقاومت ۱۰Ω و ضریب سلف $۰/۰۱$ هانری در صورتی که تواتر جریان ۵۰ باشد. $K = ۰/۹۵$

۷- جریان متناوبی به تواتر ۵۰ از یک مقاومت $R = ۲۰\Omega$ و یک سلف L هانری می‌گذرد. معین کنید: ۱- مقدار L را در صورتی که ضریب توان $۰/۸$ باشد؛ ۲- ظرفیت خازنی را که باید در مدار اضافه کرد تا ضریب توان مساوی واحد شود. $۲۱ F$ ، $۰/۰۰۰۰۲$ (۲) هانری $۰/۰۴۸$ (۱)

۸- بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل مؤثر $V = ۱۱۰$ بتوالی یک مقاومت $R = ۲۰\Omega$ و یک بوبین به ضریب خودالقای $L = ۰/۲$ هانری و یک خازن به ظرفیت $۲۰\mu F$ قرار می‌دهیم. تواتر جریان $N = ۵۰$ است. مطلوب است: ۱- مقاومت ظاهری مدار؛ ۲- شدت مؤثر جریان؛ ۳- اختلاف

پتانسیل در دو سر مقاومت و سلف و ظرفیت؛ ۴- کسینوس اختلاف فاز بین شدت و اختلاف پتانسیل مدار.

و V_n و $v_r = ۲۲/۴ V$ (۳) $۱/۱۲ A$ (۲) $Z = ۹۸\Omega$ (۱)

$$v_r = ۱۷۸ V \quad (۴) \quad \cos \varphi = \frac{۱۰}{۴۹}$$

۹- اختلاف پتانسیل دوسر سیمی $v = ۱۰۰\sqrt{2} \sin ۱۰۰\pi t$ مقاومت R و شدت مؤثر جریان مساوی یک آمپر است. ۱- مقاومت R و تواتر جریان را بدست آورید. ۲- این مقاومت در گرماسنجی قرار گرفته است که محتوی ۴۰۰ گرم آب ۱۰° است. پس از یک دقیقه دمای گرماسنج چند درجه می‌شود؟ ۳- اگر این سیم را به صورت بوبینی در آوریم و همان اختلاف پتانسیل را در دو سر آن برقرار سازیم، شدت جریان مؤثر ۵/۸ آمپر می‌شود. معین کنید ضریب سلف بوبین را.

هانری $L = \frac{۳}{۴\pi}$ (۳) $۱۳/۶^\circ$ (۲) ۱۰۰Ω و ۵۰ (۱)

۱۰- جریان متناوبی به معادله $i = ۲ \sin ۵۰۰\pi t$ از مداری می‌گذرد که شامل مقاومت $AB = ۱۰\Omega$ و بوبین BC به ضریب خودالقای $L = ۱$ هانری و خازن CD به ظرفیت $۴\mu F$ می‌باشد. معین کنید: ۱- تواتر و شدت مؤثر جریان را؛ ۲- توان مصرف شده در مدار را؛ ۳- اختلاف پتانسیل را بین دو نقطه A و B و بین B و C و بین C و D و بین D و A .

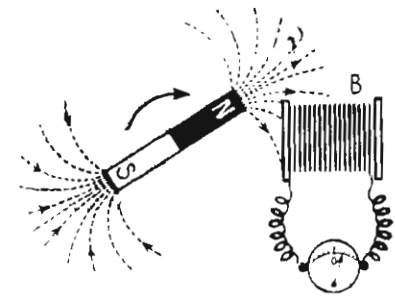
$V = ۵۰۰\sqrt{2}$ و $V = ۱۰\sqrt{2}$ (۲) $۲۰ W$ (۳) $۷۹/۶$ و $V = ۲\sqrt{2}$ (۱)

۱۱- بوبینی به مقاومت ۱۰Ω را بین دو نقطه با اختلاف پتانسیلی به معادله $v = ۲۰۰\sqrt{2} \sin ۱۰۰\pi t$ قرار می‌دهیم. بوبین در گرماسنجی قرار گرفته است و ۱۴۴ کالری بزرگ در ۵ دقیقه تولید می‌کند. معین کنید ضریب توان و توان ظاهری بوبین را. ولت آمپر ۲۸۲۰ و $۰/۷$

مولد جریان متناوب = آلترناتور

۱۹۰ - اساس آلترناتور - آزمایش - اگر در مقابل بوبین

B که به گالوانومتری متصل است آهنربای NS را حول يك محور افقی با حرکت دورانی متشابه بدوران در آوریم ، در بوبین يك جریان متناوب سینوسی تولید می شود (شکل ۱۹۹) ، زیرا هنگامی که قطب شمال به بوبین نزدیک می شود شاری که از حلقه ها عبور می کند



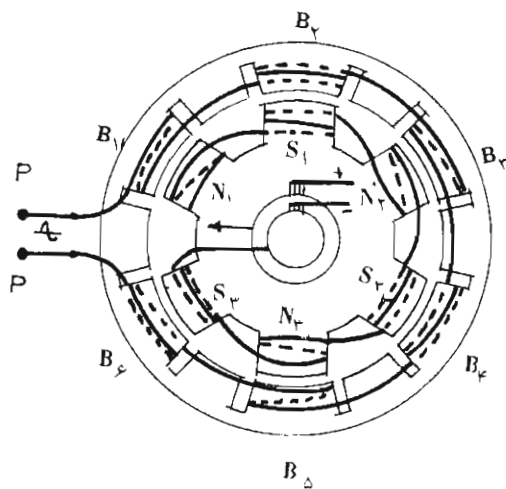
شکل ۱۹۹

زیاد می گردد و در نتیجه جریانی در سوی معین از گالوانومتر می گذرد که به وسیله انحراف عقربه گالوانومتر مشخص می شود . وقتی که قطب شمال مقابل بوبین واقع می شود ، شدت جریان صفر می شود (چون در این لحظه شار ماکزیمم و مشتق آن صفر است) و هنگامی که قطب شمال از بوبین دور می شود سوی جریان القایی تغییر می کند (عقربه گالوانومتر در خلاف سوی سابق منحرف می شود) . بدین ترتیب ، بر اثر دوران آهنربا ، عقربه گالوانومتر نوساناتی در اطراف درجه صفر انجام می دهد . می بینیم که چون آهنربا را بچرخانیم ، در بوبین جریان متناوب ایجاد

می شود ، این آزمایش اساس کار آلترناتور (مولد جریان متناوب) است . توانر جریان برابر با N یعنی عدد دورهایی است که آهنربا در يك ثانیه می زند ، چه پس از يك دور ، آهنربا به وضع اولیه خود باز می گردد و همه چیز از نو شروع می شود ، بنا بر این جریان در این مدت يك ارتعاش کامل انجام می دهد .

تذکر - می توان آهنربا را ثابت نگاه داشت و بوبین را چرخاند . این روش در مولدهای جریان پیوسته (دینامو) بکار می رود .

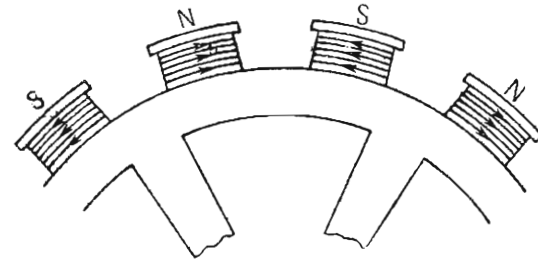
۱۹۱ - آلترناتور - هر آلترناتور (شکل ۲۰۰) تشکیل شده است از يك القا کننده متحرك (Rotor) که میدان مغناطیسی را ایجاد می کند و يك القا شونده ثابت (Stator) که شامل بوبینهایی است که جریان متناوب در آنها تولید می شود .



شکل ۲۰۰

زوجی قطبهای (شمال و جنوب) آهنربای الکتریکی قرار گرفته است (شکل ۲۰۱) . برای مغناطیس کردن این آهنرباها از جریان پیوسته مولد کوچکی استفاده می شود . در آهنرباها سیم چنان پیچیده شده است که

قطبها متناوباً یکی شمال و دیگری جنوب است . دوران القاکننده به وسیله يك توربین یا موتور انجام می شود .



شکل ۲۰۱

القا شونده تشکیل شده است از يك استوانه توخالی که محور آن منطبق بر محور القاکننده است و دور تا دور القا کننده را فرا گرفته است .

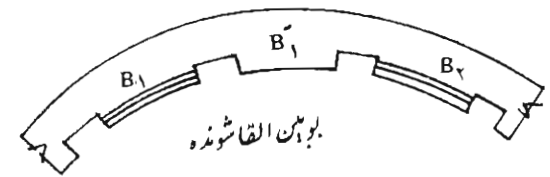
در قسمت داخلی این

استوانه شیارهایی

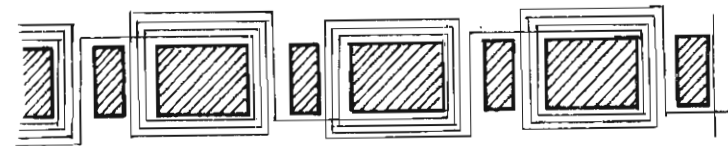
مطابق شکل ۲۰۲

وجود دارد که در آنها

سیم پیچها را جا می دهند . طرز قرار گرفتن سیم پیچها در شیارهای القا شونده مطابق شکل های ۲۰۲ و ۲۰۳ است .



شکل ۲۰۲



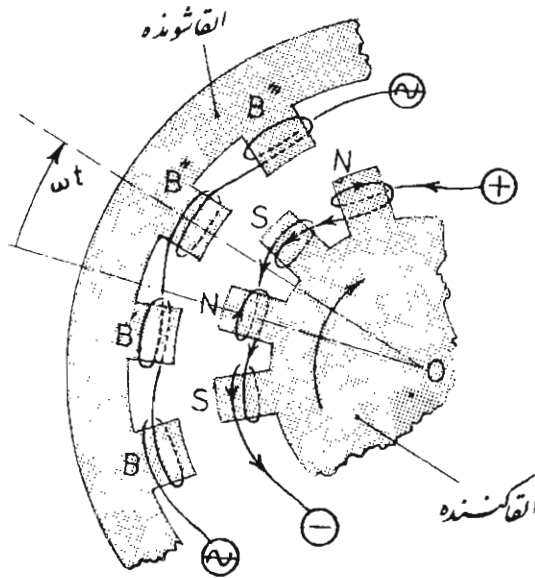
شکل ۲۰۳

در اینجا نیز سوی پیچیده شدن سیمها در بوبینها متناوباً عکس یکدیگر است تا نیروهای الکتروموتوری القا شده در آنها در يك سو

باشند و بدیکی دیگر اضافه شوند (چه اگر يك بوبین در برابر قطب شمال باشد ، بوبین بعدی در برابر قطب جنوب خواهد بود) .

۱۹۲ - طرز کار آلترناتور - چون القاکننده بدوران در آید

يا ، قطب شمال N به بوبین B نزدیک می شود ، شار القایی قطب شمال افزایش می یابد و يك نیروی محرکه القایی در آن ایجاد می شود (شکل ۲۰۴) ؛ همین پدیده در "B و يك در میان در دیگر بوبینها روی می دهد . اما در همین لحظه يك قطب جنوب به بوبین B' و به دیگر بوبینها که يك در میان نسبت به آن هستند نزدیک می شود : در این بوبینها نیز يك نیروی محرکه القایی پدید می آید که جهت آن خلاف جهت نیروی محرکه بوبینهای مقابل قطب شمال است . ولی چون جهت سیم پیچی در



شکل ۲۰۴

بوبینها متناوب است ، در نتیجه تمام نیروهای محرکه برهم افزوده می شوند .

پس از آن يك

قطب جنوب به بوبینهای

B ، B' ، ... و غیره

و يك قطب شمال به

بوبینهای B' ، B'' ، ... و غیره

نزدیک می شوند

و پدیده سابق منتها با

علامت مخالف روی می دهد : به این ترتیب در دو قطب آلترناتور يك

نیروی محرکه متناوب ایجاد می شود .

۱۹۳- تواتر جریان - پریود جریانی که بدین ترتیب در

آلترناتور القا می شود برابر با مدت زمانی است که يك قطب شمال جای قطب شمال دیگر را می گیرد . بنابراین اگر عدد قطبهای شمال یا جنوب p باشد (عدد کل قطبها $2p$) و القاکننده n دور در ثانیه بزند، در هر ثانیه np قطب همنام از مقابل هر بوبین می گذرد . پس مدت لازم برای آنکه قطبی جای قطب همنام خود را بگیرد، یعنی پریود جریان متناوب، مساوی است با $T = \frac{1}{np}$ و تواتر جریان $N = n \times p$ خواهد بود .

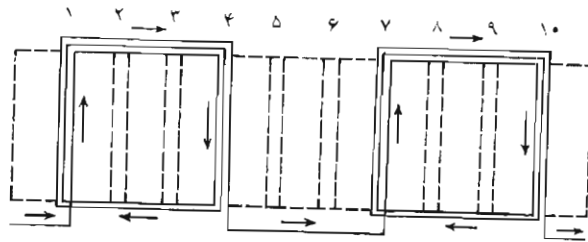
جریانهای چند فاز

۱۹۴- آلترناتورهای چند فاز - در آلترناتورهای که تا

کنون شرح دادیم، عدد قطبهای القاکننده با عدد شیارهای القا کننده برابر بود. اما ممکن است آلترناتورهای ساخت که در آنها دو یا سه یا چهار یا ... شیار در مقابل هر قطب القاکننده قرار گیرد . در چنین آلترناتورهایی به عدد شیارها، مدار القا کننده مستقل وجود دارد و بنابراین به عدد شیارها جریانهای متناوب مستقلی تولید می شود . چنین آلترناتورهایی را **آلترناتورهای چند فاز** می نامند. و جریانهایی را که در چنین آلترناتورهایی تولید می شود **جریانهای چند فاز** می نامند .

در آلترناتورهای سه فاز مطابق شکل ۲۰۵ در مقابل هر قطب سه شیار وجود دارد. شیارها را بترتیب با اعداد ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ... شماره گذاری می کنیم . مدار (۱) مطابق شکل از شیارهای ۱ و ۴ و ۷ و ۱۰

می گذرد . مدار (۲) از شیارهای ۳ و ۶ و ۹ و ۱۲ می گذرد . و مدار (۳) از شیارهای ۵ و ۸ و ۱۱ و ... می گذرد .



شکل ۲۰۵

آثار القاکننده بر این سه مدار متشابه است ؛ بنابراین نیروهای محرکه ای که در این سه مدار القا می شود یکسان است ، فقط این سه مدار با هم اختلاف فاز دارند . تأخیر فاز مدار (۲) نسبت به مدار (۱) برابر $\frac{1}{3}$ پریود یعنی $\frac{2\pi}{3}$ رادیان است و تأخیر فاز مدار (۳) نسبت به مدار (۱) برابر $\frac{2}{3}$ پریود یعنی $\frac{4\pi}{3}$ رادیان است. در حقیقت پریود در مدار (۱) عبارت از مدت زمانی است که قطب القاکننده از مقابل شیار ۱ به مقابل شیار ۷ می رسد . پس برای اینکه این قطب از مقابل شیار ۱ به مقابل شیار ۳ برسد ، مدت زمانی برابر $\frac{1}{3}$ پریود لازم دارد و نیز برای اینکه این قطب از مقابل شیار ۱ به مقابل شیار ۵ برسد، مدت زمانی برابر $\frac{2}{3}$ پریود لازم دارد .

اگر جریانهایی که در این آلترناتور تولید می شود جیبی و مقاومت مدارها برابر باشد ، می توان معادلات آنها را به صورت زیر نوشت :

شدت در مدار (۱) :

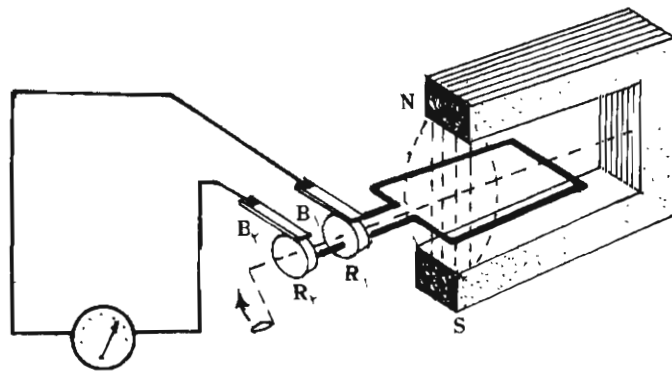
$$i_1 = I_m \sin \omega t$$

مولد جریانهای يك طرفه = دینامو

۱۹۵- اساس دینامو- دیناموها نیز بر اساس خاصیت القا ساخته

شده است. چنانکه پیش از این هم دیدیم، جریان متناوب را می توان با روش زیر نیز بدست آورد:

آزمایش- قاب مستطیلی اختیار می کنیم که بتواند به دور يك



شکل ۲۰۶

محور افقی دوران کند (شکل ۲۰۶). دو سر سیم قاب به دو حلقه R_1 و R_2 متصل است و حلقه ها می توانند به دور محور دوران قاب و با آن بچرخند. دو هادی ثابت B_1 و B_2 (زغال) همواره با حلقه ها تماس دارند و با قاب مدار بسته ای تشکیل می دهند که در آن گالوانومتری قرار دارد.

شدت در مدار (۲): $i_2 = I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$

شدت در مدار (۳): $i_3 = I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$

در آلترناتورهای دوفاز در مقابل هر قطب القاکننده دو شیار وجود دارد. پس دو رشته سیم پیچ وجود دارد و در نتیجه چهار سیم از آلترناتور خارج می شود. جریانهای را که در چنین آلترناتورهای تولید می شود: **جریانهای دوفاز** می نامند. معادلات شدت جریان در دو مدار چنین است:

شدت در مدار (۱): $i_1 = I_m \sin \omega t$

شدت در مدار (۲): $i_2 = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = -I_m \cos \omega t$

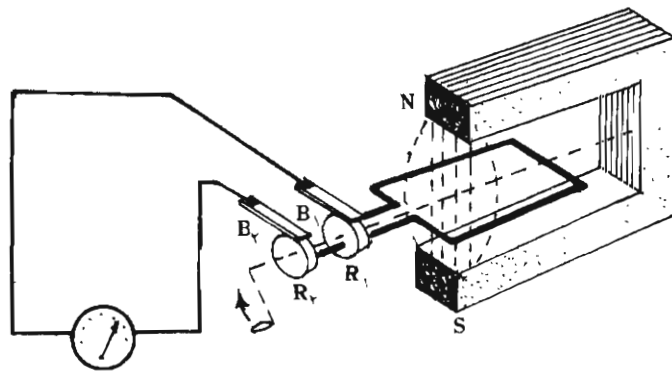
چنانکه ملاحظه می شود هر يك از فازها يك جریان متناوب مستقل است. چنانکه خواهیم دید جریانهای چند فاز بر جریانهای يك فاز از نظر انتقال و موارد استعمال آنها در موتورهای الکتریکی رجحان دارد.

مولد جریانهای يك طرفه = دینامو

۱۹۵- اساس دینامو- دیناموها نیز بر اساس خاصیت القا ساخته

شده است. چنانکه پیش از این هم دیدیم، جریان متناوب را می توان با روش زیر نیز بدست آورد:

آزمایش- قاب مستطیلی اختیار می کنیم که بتواند به دور يك



شکل ۲۰۶

محور افقی دوران کند (شکل ۲۰۶). دو سر سیم قاب به دو حلقه R_1 و R_2 متصل است و حلقه ها می توانند به دور محور دوران قاب و با آن بچرخند. دو هادی ثابت B_1 و B_2 (زغال) همواره با حلقه ها تماس دارند و با قاب مدار بسته ای تشکیل می دهند که در آن گالوانومتری قرار دارد.

شدت در مدار (۲): $i_r = I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$

شدت در مدار (۳): $i_r = I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$

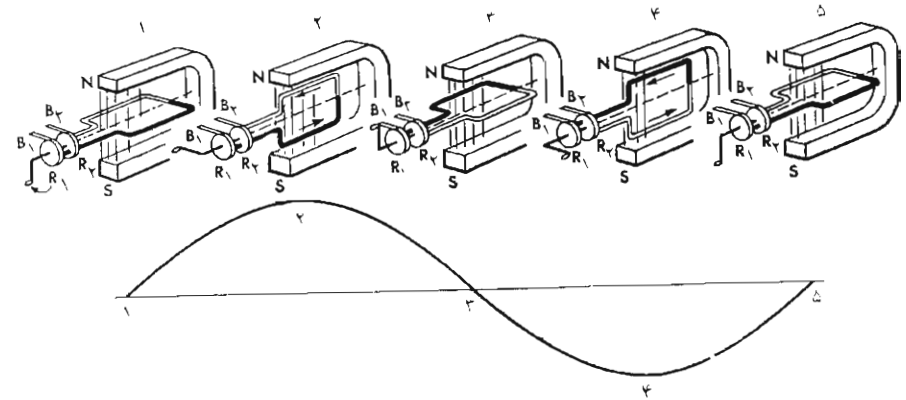
در آلترناتورهای دوفاز در مقابل هر قطب القاکننده دو شیار وجود دارد. پس دو رشته سیم پیچ وجود دارد و در نتیجه چهار سیم از آلترناتور خارج می شود. جریانهای را که در چنین آلترناتورهای تولید می شود: **جریانهای دوفاز** می نامند. معادلات شدت جریان در دو مدار چنین است:

شدت در مدار (۱): $i_1 = I_m \sin \omega t$

شدت در مدار (۲): $i_2 = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = -I_m \cos \omega t$

چنانکه ملاحظه می شود هر يك از فازها يك جریان متناوب مستقل است. چنانکه خواهیم دید جریانهای چند فاز بر جریانهای يك فاز از نظر انتقال و موارد استعمال آنها در موتورهای الکتریکی رجحان دارد.

قاب در میدان مغناطیسی يك آهنربای نعلی NS جا گرفته است . چون قاب را بدوران در آوریم ، مشاهده می کنیم که گالوانومتر عبور جریان متناوبی را نشان می دهد . علت پیدایش جریان در مدار قاب آن است که قاب ، در حین دوران ، خطوط نیروی مغناطیسی را قطع می کند و تغییر شار مغناطیسی در قاب سبب بروز نیروی الکتروموتوری القایی می شود و در نتیجه يك جریان متناوب در مدار بسته قاب تولید می کند ، زیرا چنانکه در شکل ۲۰۷ دیده می شود ، در وضعیت (۱) که قاب عمود بر خطوط نیروست جریان صفر است (شار ماکزیمم ، پس مشتق آن صفر

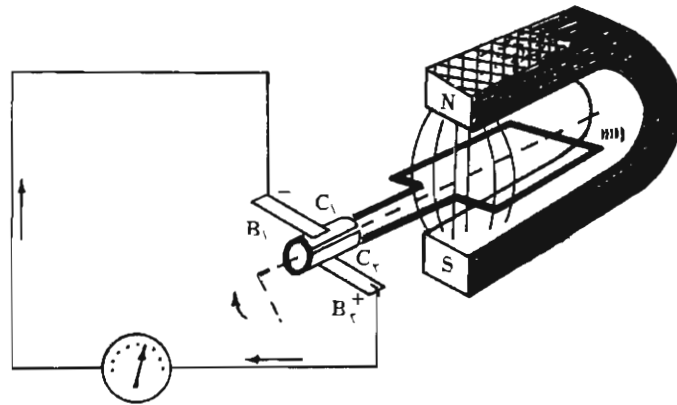


شکل ۲۰۷

است) ؛ از این لحظه به بعد جریانی در مدار تولید می شود که دائماً شدت آن رو به افزایش است تا قاب به وضعیت (۲) برسد که شدت به حداکثر خود می رسد . از آن لحظه به بعد شدت جریان شروع به کاهش می کند تا در وضعیت (۳) که مجدداً جریان صفر می شود . در این موقع قاب نیم دور زده است و بنابراین از این لحظه به بعد ، در نیم دور دوم ، جریان همان تغییرات نیم دور اول را تکرار می کند با این تفاوت که سوی جریان

در خلاف سوی جریان در نیم دور اول است . از وضعیت ۳ تا ۴ شدت از يك مقدار ترقی می کند تا در وضعیت ۴ به حد اکثر خود از حیث مقدار می رسد و مجدداً در وضعیت ۵ شدت به صفر می رسد . در این هنگام قاب به وضعیت اولیه خود باز گشته است و همه چیز تکرار می شود . پس در قاب يك جریان متناوب تولید می شود .

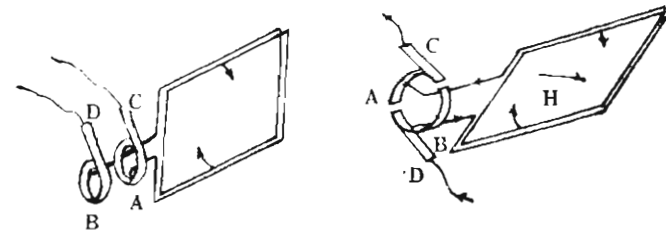
۱۹۶ - يك طرفه کردن جریان - با يك تغییر ساده در حلقه های



شکل ۲۰۸

R_1 و R_2 می توان جریان متناوب قاب را در مدار خارج يك طرفه کرد تا در مدار خارج جریان همیشه در يك سو باشد . برای این کار به جای دو حلقه R_1 و R_2 ، فقط يك حلقه اختیار می شود . حلقه را از وسط قطع می کنند و دو نیمه را به وسیله عایقی از یکدیگر جدا می سازند . سپس يك سر سیم قاب را به يك نیمه و سر دیگر را به نیمه دیگر حلقه متصل می کنند . دو هادی ثابت B_1 و B_2 نیز هر يك با یکی از دو نیمه حلقه در تماس است (شکل ۲۰۸) . حال اگر دو نیم حلقه را چنان روی محور قاب سوار کنیم که درست هنگامی که سوی جریان می خواهد در قاب

عوض شود (لحظه‌ای که قاب عمود بر خطوط نیروست و جریان صفر است) هادیهای B_1 و B_2 در برابر شکاف دو نیم حلقه قرار گیرد، در این صورت آشکار است که سوی جریان در مدار خارج تغییر نمی‌کند، زیرا هنگامی

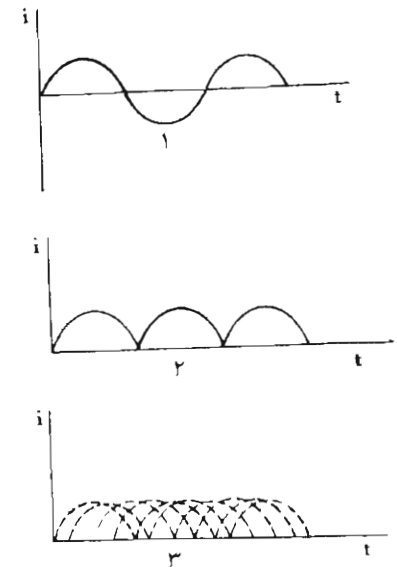


شکل ۲۰۹

شکل ۲۱۰

که سوی جریان در دو سیم تغییر می‌کند در همان لحظه نیز اتصال

هادیهای B_1 و B_2 با دو نیم حلقه عوض می‌شود، بدین معنی که B_1 با نیم حلقه‌ای در تماس می‌شود که قبلاً B_2 با آن در تماس بود و برعکس، و در نتیجه سوی جریان در مدار خارج تغییر نمی‌کند. در شکلهای ۲۰۹ و ۲۱۰ اختلاف عمل دو حلقه و دو نیم حلقه دیده می‌شود. در يك دینامو، به واسطه عمل دو نیم حلقه، منحنی نمایش جریان که قبلاً به شکل سینوسی ۲۱۱-۱



شکل ۲۱۱

بود، به شکل منحنی ۲۱۱-۲ در می‌آید. چنانکه این منحنی نشان

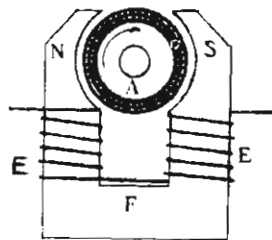
می‌دهد، گرچه جریان از لحاظ سو ثابت است، از لحاظ مقدار خیلی متغیر است. برای آنکه مقدار آن نیز تقریباً ثابت بماند در دیناموها به جای يك قاب چند قاب می‌پیچند که هر يك با قاب بعدی زاویه یکسان α می‌سازد. در این صورت جریان هر قاب با جریان قاب بعدی اختلاف فاز کوچکی خواهد داشت (شکل ۲۱۱-۳) و اگر این جریانه‌ها با یکدیگر جمع شوند مقدار متوسط مجموع تقریباً ثابت خواهد بود.

ماشین گرام

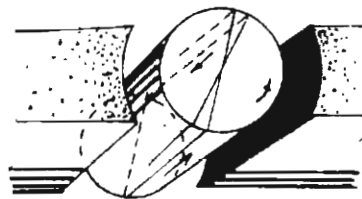
گرام از آزمایشهای بالا برای ساختن دیناموی جریان پیوسته به نام ماشین گرام استفاده کرد. ماشین گرام بر دو قسم است: ماشین گرام مولد و ماشین گرام گیرنده.

۱۹۷- ماشین گرام مولد - این ماشین از سه قسمت اساسی تشکیل شده است: القاکننده، القاشونده و کولکتور.

القاکننده قسمتی است از ماشین که میدان مغناطیسی را تولید



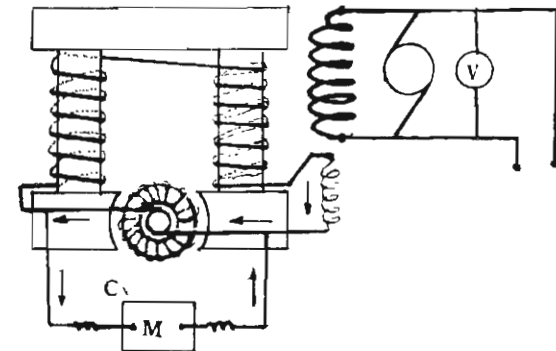
شکل ۲۱۳



شکل ۲۱۲

می‌کند. در بعضی از دیناموها القاکننده يك آهنربای دائمی است. در این صورت مولد را **مافیتو (Magnet)** نامند (شکل ۲۱۲). ولی در دیناموها

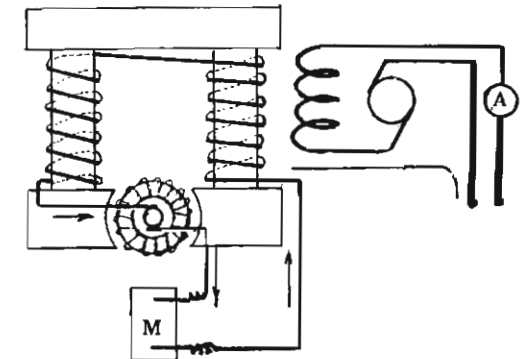
به جای آهنربای دائمی از آهنربای الکتریکی استفاده می کنند. برای این کار به دور شاخه های يك میله آهنی خالص به شکل نعل دو رشته سیم در خلاف جهت یکدیگر می پیچند (شکل ۲۱۳). چون جریانی از سیم پیچ بگذرد، میله آهن خاصیت مغناطیسی پیدا می کند و در فضای بین دو قطب S و N که القا شونده در آنجا قرار گرفته میدان یکنواختی ایجاد می شود.



شکل ۲۱۴

این جریان مغناطیس کننده را یا توسط يك مولد خارجی تأمین می کنند یا از جریان خود مولد. در این صورت مدار القا کننده و القا شونده را

یا بطور توافقی (شکل ۲۱۴) یا بطور سری (شکل ۲۱۵) می بندند. در مولدهایی که جریان مغناطیس کننده را خود مولد تأمین می کند، در

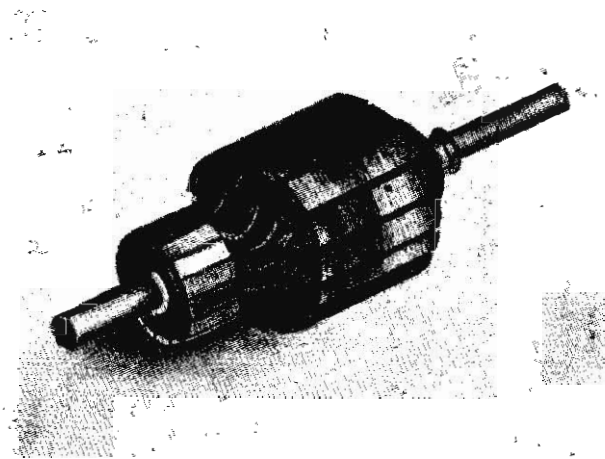


شکل ۲۱۵

آغاز کار این جریان صفر است، و بنظر می رسد که مولد نمی تواند کار

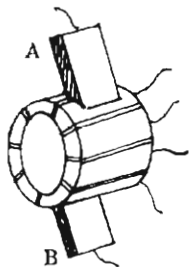
بکند. ولی در عمل میدان مغناطیسی بسیار ضعیفی که از دفعه های پیش در آهن نرم باقی مانده است، جریان ضعیفی ایجاد می کند که برای بیشتر مغناطیس کردن القا کننده کافی است.

القا شونده استوانه ای است از آهن که در آن شیارهایی به موازات مولد درست شده است (شکل ۲۱۶) و سیمها را در این شیارها جاداده اند. این استوانه در میدان مغناطیسی بین دو قطب القا کننده قرار گرفته و می تواند به دور محوری دوران کند.



شکل ۲۱۶

کولکتور استوانه ای است که بر محور القا شونده سوار شده و تشکیل یافته است از تیغه هایی مسی که به وسیله ورقه های عایق مانند میکا از یکدیگر جدا شده اند. دو هادی A و B (زغالها) که جریان را به خارج منتقل می سازند، و قطبهای مولد را تشکیل می دهند، همواره با دو تیغه هادی کولکتور تماس دارند (شکل ۲۱۷).

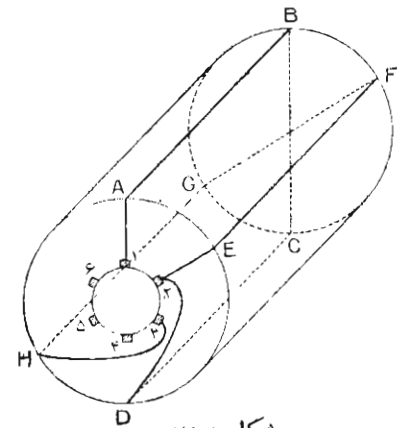


شکل ۲۱۷

۱۹۸- طرزسیم پیچی و کار دینامو - فرض کنیم که روی استوانه

القاشونده $2K$ شیار و روی استوانه کولکتور $2K$ تیغه مسی باشد. اینها را با شمارههای $2, 1, \dots, 2K$ نشان می دهیم. برای سیم پیچ کردن دینامو، از تیغه شماره ۱ شروع و يك سر سیم را به این تیغه وصل می کنیم، سپس سیم را مثلاً از شیار ۱ (شیار AB از شکل ۲۱۸) می گذرانیم و آن را از پشت استوانه و از شیار مقابل شیار ۱ (شیار CD) گذرانده به

تیغه شماره ۲ وصل می کنیم. بدین ترتیب يك قاب کامل درست می شود (قاب ۱). مجدداً سیم دیگری را به همین تیغه شماره ۲ وصل کرده و آن را از شیار ۲ و سپس از شیار مقابل این شیار گذرانده به تیغه شماره ۳



شکل ۲۱۸

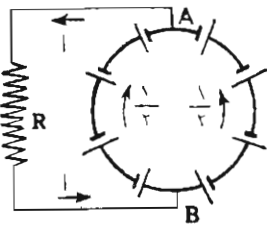
وصل می کنیم و همین عمل را ادامه می دهیم. آشکار است که وقتی که نیم دور زدیم، یعنی K تیغه بکار رفت و K قاب درست شد، از تمام شیارها يك سیم خواهد گذشت (چه هر قاب دو شیار را اشغال می کند). برای اینکه يك دور کامل زده باشیم، سیم کشی را به همین ترتیب ادامه می دهیم. پس از يك دور کامل $2K$ قاب خواهیم داشت و در نتیجه از هر شیار دو سیم خواهد گذشت و تمام این قابها بطور سری به یکدیگر وصل شده اند.

برای اینکه طرز کار دینامو روشن شود، قابی را که در سطح عمود بر میدان مغناطیسی است شماره ۱ می نامیم. این سطح عمود بر میدان

قابها را به دو دسته متمایز تقسیم می کند. قابهای شماره ۱ تا K را دسته اول و قابهای شماره $K+1$ تا $2K$ را دسته دوم می نامیم. شار مغناطیسی که از هر قاب می گذرد برابر با $\Phi = \Phi_m \cos \theta$ است که در آن θ زاویه ای است که میدان با عمود بر سطح قاب می سازد، مثلاً این زاویه برای قاب شماره ۱ صفر و برای قاب $K+1$ ام π است و در نتیجه برای همه قابهای دسته اول $0 \leq \theta < \pi$ و در صورتی که برای دسته دوم $\pi \leq \theta < 2\pi$ می باشد. بر اثر گردش استوانه القاشونده، θ و در نتیجه Φ تغییر می کند و ایجاد

نیروی محرکه القایی $E_m \sin \theta = -10^{-8} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ می شود. این نیروی

محرکه القایی و در نتیجه جریانهای ناشی از آن در همه قابهای دسته اول در يك سوست چه برای همه آنها $\sin \theta$ مثبت است و همچنین در همه قابهای دسته دوم نیز همسوست، ولی این نیروی محرکه القایی و جریان



شکل ۲۱۹

در دو دسته قاب در سوسو مخالفند. برای اینکه نیروهای محرکه این دو دسته قاب یکدیگر را خنثی نکنند باید همواره بطور انشعابی به یکدیگر وصل باشند. در این صورت يك دینامو را می توان

مانند دو دسته مولد سری دانست که بطور انشعابی وصل شده اند. آشکار است که نقاط انشعاب A و B (شکل ۲۱۹) باید همواره در قابهایی باشد که در لحظه t عمودند بر میدان H (سطح جداکننده دسته ۱ و دسته ۲)، پس زغالها را جایی سوار می کنیم که با دو تیغه ای در تماس باشند که قاب مربوط به آنها عمود بر میدان است. آشکار است که اگر استوانه

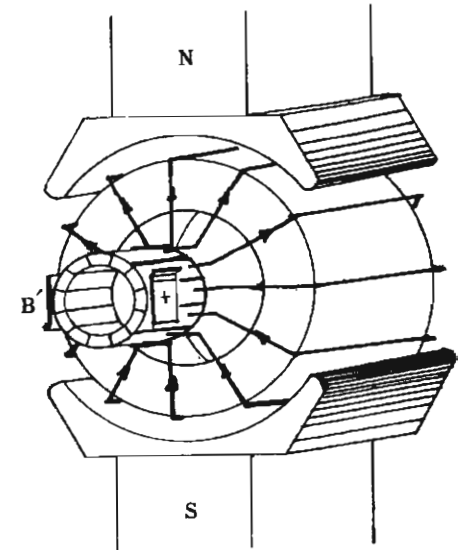
القاشونده بچرخد ، در هر لحظه تماس زغالها با تیغه‌هایی خواهد بود که در آن لحظه قابهای مربوط با آنها عمود بر میدان است .
در شکل ۲۲۰ القاکننده ، القاشونده ، و کولکتور با هم دیده می‌شوند .

۱۹۹ - نیروی محرکه دینامو - هنگامی که القا شونده را در

میدان مغناطیسی القاکننده می‌چرخانیم ، در سیمهای آن جریانی القایی تولید می‌شود که نیروی محرکه آن متناسب است :

۱- با عدد کل سیمهایی که در شیارهای استوانه القا شونده قرار گرفته‌اند ؛

۲- با عدد دورهایی که القا شونده در یک ثانیه می‌زند ؛



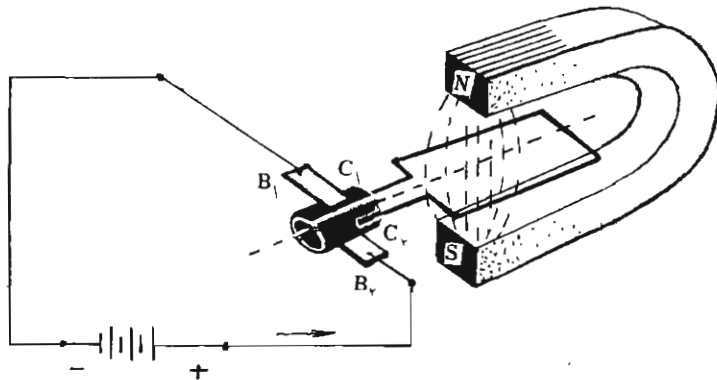
شکل ۲۲۰

۳- با شار ماکزیمی که القاکننده از القا شونده عبور می‌دهد .

۲۰۰ - مقاومت داخلی ماشین گرام - مقاومت داخلی ماشین گرام يك چهارم مقاومت کل القا شونده است ، زیرا اگر مقاومت کل القا شونده R باشد ، مقاومت نیمی از سیمها $\frac{R}{۴}$ خواهد بود و چون دو نیمه بطور انشعاب هستند مقاومت مولد $\frac{R}{۴}$ می‌شود .

۲۰۱ - ماشین گرام گیرنده یا موتور الکتریکی - ساختمان ماشین گرام گیرنده مانند مولد گرام است ، جز آنکه در آن انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود . اساس آن بر تأثیر میدان مغناطیسی بر جریان قرار گرفته است .

آزمایش - هرگاه دو قطب دینامویی را به يك باتری وصل کنیم ، القا شونده شروع به دوران می‌کند . علت این امر آن است که سیمهای القا شونده که در میدان مغناطیسی القاکننده واقع می‌شوند ، چون جریان از آنها بگذرد تحت تأثیر يك نیروی الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند ،



شکل ۲۲۱

و در نتیجه القا شونده بدوران در می‌آید . پس در این حالت دینامویی که انرژی الکتریکی می‌گیرد و انرژی مکانیکی پس می‌دهد موتوری است که نیروی ضد محرکه آن برابر است با

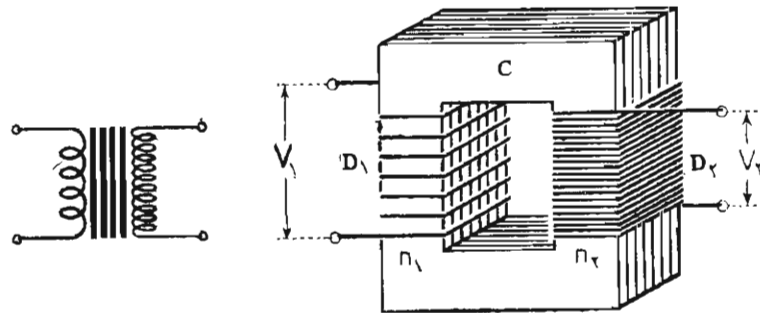
$$e = ۱۰^{-۸} N n \Phi$$

در شکل ۲۲۱ اگر جریان يك باتری را از دو هادی B_1 و B_2 وارد قاب کنیم ، قاب در میدان مغناطیسی شروع به دوران می‌کند .

برای کم کردن R باید به موجب رابطه $R = \rho \frac{l}{s}$ ، فلزانی مانند مس و آلومینیم که قابلیت هدایت آنها زیاد است اختیار کنیم و سطح مقطع سیم انتقال را زیاد کنیم (تا حد امکان این دو نکته مراعات می شود) ، ولی عامل مؤثرتر V است ، زیرا چنانکه رابطه P' نشان می دهد توان تلف شده با مجذور V نسبت معکوس دارد. از این روست که از لحاظ انتقال انرژی الکتریکی جریان متناوب بر جریان پیوسته رجحان دارد ، چه با آنها باسانی می توان به کمک مبدلها اختلاف پتانسیلهای زیاد بدست آورد .

مبدل (Transformateur)

۲۰۳ - اساس مبدل - مبدل تشکیل شده است از هسته ای از آهن



شکل ۲۲۲

شکل ۲۲۳

خالص (به شکل قاب یا حلقه) که بر روی آن دو رشته سیم D_1 و D_2 (شکل ۲۲۲) پیچیده اند که عده حلقه های آنها متفاوت و از یکدیگر مجزا است . یکی از سیم بیچها مثلاً D_1 که عده حلقه های آن n_1 است به دو قطب آلترناتوری متصل می شود که اختلاف پتانسیل دو قطب آن V_1

انتقال انرژی الکتریکی - مبدلها

۲۰۲ - انتقال انرژی الکتریکی - می خواهیم انرژی الکتریکی

مولدی به توان مفید P وات را از مرکز برق A به محل مصرف B انتقال دهیم . این انرژی به وسیله سیمهایی به مقاومت R که بین A و B کشیده شده منتقل می شود. اگر اختلاف پتانسیل دو سر مولد V باشد، $P = VI$ خواهد بود . شدت جریان در خط $I = \frac{P}{V}$ و در نتیجه مقداری انرژی به شکل گرما در سیمهای انتقال تلف می شود که مقدار آن $P' = RI^2$ است . چون به جای I مقدارش $\frac{P}{V}$ را بگذاریم ، خواهیم داشت :

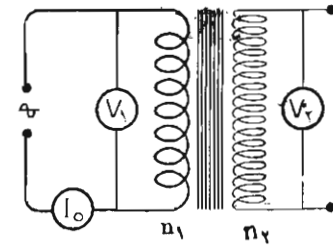
$$P' = R \frac{P^2}{V^2}$$

بنابراین انرژی قابل استفاده در مقصد $P_1 = P - P' = P - R \frac{P^2}{V^2}$ خواهد بود .

آشکار است که هر قدر انرژی تلف شده در خط ، یعنی $R \frac{P^2}{V^2}$ ، کمتر باشد انرژی قابل استفاده در مقصد بیشتر خواهد بود . رابطه P' نشان می دهد که برای کم کردن انرژی تلف شده در خط باید اختلاف پتانسیل دو قطب مولد را بفرزاییم و مقاومت خط انتقال را کم کنیم .

و توانر آن N است. سیم پیچ D_1 را مدار اولیه (Primaire) مبدل می نامند. بر اثر عبور جریان متناوب از حلقه های سیم پیچ D_1 میدان متغیری در داخل قاب آهنی ایجاد می شود و در نتیجه شار متغیری از حلقه های سیم پیچ D_2 که عده حلقه های آن n_2 و به مدار ثانویه (Secondaire) موسوم است، می گذرد و در آن نیروی محرکه متناوبی القا می کند. در نتیجه اختلاف پتانسیل متناوبی که مقدار آن V_2 است در دو سر ثانویه تولید می شود. حال اگر به وسیله دو ولت سنج گرمایی، اختلاف پتانسیل های V_1 و V_2 را در دو سر اولیه و ثانویه اندازه بگیریم (شکل ۲۲۴)، مشاهده خواهیم کرد که بین مقادیر V_1 و V_2 رابطه

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1}$$



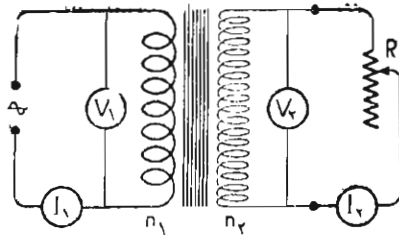
شکل ۲۲۴

برقرار است، یعنی نسبت اختلاف پتانسیل مؤثر در ثانویه به اختلاف پتانسیل مؤثر در اولیه مساوی است با نسبت عده حلقه های ثانویه به عده

حلقه های اولیه. این نسبت را به K نمایش داده ($\frac{n_2}{n_1} = K$) و آن را ضریب تبدیل می نامند. پس: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = K$. اگر $K > 1$ باشد مبدل را افزاینده نامند. در این صورت عده حلقه های اولیه کمتر از عده حلقه های ثانویه است و سیم های اولیه از سیم کلفت و سیم های ثانویه از سیم نازک است. اگر $K < 1$ باشد، مبدل را کاهنده می نامند. در این صورت

عده حلقه های اولیه که از سیم نازک است بیشتر است از عده حلقه های ثانویه که از سیم کلفت است. مبدل را باختصار با شکل ۲۲۳ نمایش می دهند.

۲۰۴ - توان مصرف شده در مبدل - هنگامی که مبدل کار می کند (مثلاً دو قطب ثانویه به وسیله یک رثوستا به یکدیگر متصل شده است)، اگر مطابق شکل ۲۲۵ یک آمپرسنج گرمایی در اولیه و یکی نیز در



شکل ۲۲۵

ثانویه مبدل قرار دهیم، ملاحظه می کنیم که نسبت شدتهایی که دو آمپرسنج نشان می دهند به نسبت عکس عده دورهای سیم پیچهاست. یعنی $\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$.

بنابراین در مبدل $\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ است، یعنی توانهای ظاهری $V_1 I_1$ مصرف شده در اولیه و $V_2 I_2$ در ثانویه با یکدیگر برابرند. پس مبدل می تواند پتانسیل و شدت را بدخواه تغییر دهد بدون آنکه حاصل ضریبشان یعنی توان تغییر کند.

باید دانست که اگر مبدل کار نکند یعنی ثانویه باز باشد، توان مصرف شده در اولیه نیز قابل ملاحظه نیست، زیرا به علت خودالقایی شدید مدار اولیه شدت در آن فوق العاده کم خواهد بود.

۳۰۵- بازده مبدل - در حقیقت ، توان مدار اولیه کمی بیشتر

از توان مدار ثانویه است . یعنی بازده مبدل $P = \frac{P_2}{P_1}$ اندکی کوچکتر از واحد و در حدود ۹۵ در صد است و این ۵ در صد انرژی به صورت های زیر تلف می شود :

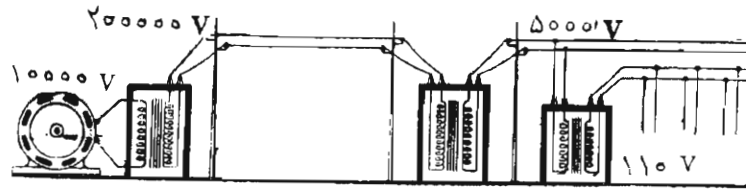
۱- گرما در مدار اولیه؛ ۲- گرما در هسته آهنی بر اثر جریان فوکو؛ ۳- گرمای ناشی از پدیده های به نام **Hysteresis** بر اثر تغییرات شدت مغناطیسی هسته آهنی مبدل .

تذکره - اگر ضریب توان مدار ثانویه $\cos \phi$ و بازده مبدل P باشد ، اختلاف پتانسیل از رابطه $\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1}$ ولی شدت جریان در ثانویه از رابطه $V_1 I_1 \times P = V_2 I_2 \cos \phi$ بدست می آید .

۳۰۶- شرح ساختمان مبدل - برای آنکه از تولید جریان فوکو جلوگیری شود ، هسته آهنی مبدل را از ورق های آهن اختیار می کنند و میان آنها عایق می گذارند . سیم ها از سیم روپوش دار مسی است . مقاومت مدار اولیه در حدود یک اهم و ضریب تبدیل مبدل معمولاً ۱۰ است . در مبدل های بزرگ چون انرژی تلف شده به شکل گرما در مدار اولیه زیاد است ، آنها را با جریان آب سرد می کنند و گاهی نیز آنها را در روغن می گذارند .

۳۰۷- موارد استعمال مبدل - مبدل را در انتقال انرژی ، برای کم کردن انرژی تلف شده در خط بکار می برند . بدین طریق که در مبدأ **A** ، به توسط یک مبدل افزاینده ، اختلاف پتانسیل آلتروناطوری را که مثلاً $10000V$ است به $200000V$ رسانده و در خط می فرستند و

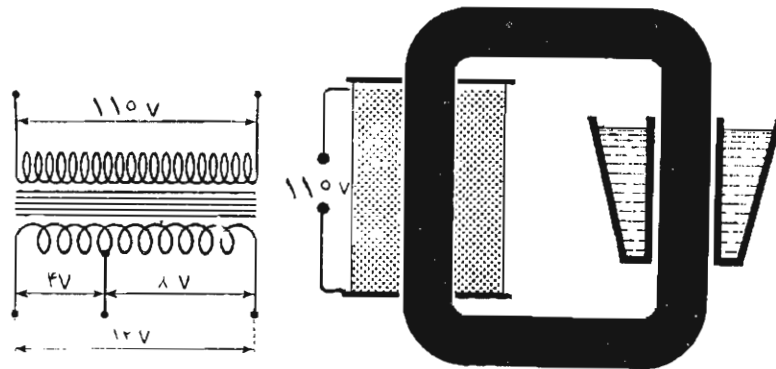
در مقصد **B** به توسط مبدل های کاهنده ، اختلاف پتانسیل را متوالیاً به ۵۰۰۰ و سپس به ولت شهری (۲۲۰ یا ۱۱۰ ولت) که مورد احتیاج مدار



شکل ۲۲۶

مصرفی **C** است می رسانند . مبدل ها را در زنگ اخبار و در لامپ های نئون و برای ایجاد اشعه **X** و جز اینها و نیز در جوش الکتریکی و کوردهای القایی بکار می برند .

نورده القایی مبدل کاهنده ای است که اولیه آن دارای عده زیادی حلقه و ثانویه آن فقط از یک حلقه پهن مسی که دارای شیار است تشکیل



شکل ۲۲۸

شکل ۲۲۷

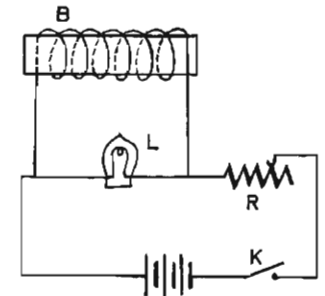
شده است . هرگاه در این شیار مواد زودگذاری مانند سرب و قلع و جر اینها بریزیم و مدار اولیه را به جریان متناوب وصل کنیم ، شدت جریان

فوق العاده زیادی در ثانویه ایجاد می شود که مقدار زیادی گرما تولید و این مواد را ذوب می کند (شکل ۲۲۷).

تذکر - بعضی از مبدل های کاهنده چند ضریب تبدیل دارند و با آنها می توان از برق شهر، ولتهای مختلفی بدست آورد. شکل ۲۲۸ طرز سیم بندی مبدلی را نشان می دهد که با آن می توان از برق شهر اختلاف پتانسیلهای ۴ و ۸ و ۱۲ ولت گرفت.

قرقره القا - بوبین رومکورف

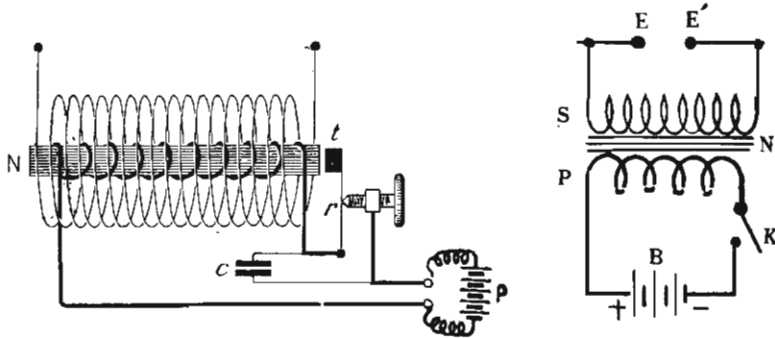
۲۰۸-آزمایش - در مدار یک باتری چند ولتی، یک چراغ و یک سلف و یک رئوستا می گذاریم (شکل ۲۲۹). کلید را می بندیم و رئوستا را چنان تنظیم می کنیم که چراغ روشنایی ضعیفی داشته باشد. حال اگر کلید **K** را دفعاتاً باز کنیم، می بینیم که چراغ در یک لحظه روشنایی خیره کننده ای تولید می کند. این روشنایی شدید چنانکه گفته شد بر اثر نیروی محرکه پیل نیست، بلکه در نتیجه پیدایش نیروی الکتروموتوری خود القاست که بر اثر قطع جریان پدید آمده است و مقدار آن خیلی زیادتر از نیروی محرکه باتری است که بیش از چند ولت نیست.



شکل ۲۲۹

از این آزمایش نتیجه می شود که اگر مداری شامل سلف باشد، حتی در جریان پیوسته، در یک زمان کوتاه هنگام وصل یا قطع جریان که شدت از صفر به i یا از i به صفر تغییر می کند، آثار خود القا بشدت ظاهر و منجر به ایجاد نیروی محرکه خود القا می شود، این نیروی

محرکه در بعضی موارد، مخصوصاً هنگام قطع جریان، ایجاد جرقه های شدیدی در محل قطع جریان می کند. آشکار است که هر قدر تغییرات شار بیشتر و مدت این تغییرات کوتاهتر باشد، نیروی محرکه القایی شدیدتر و جرقه طویل تر خواهد بود. رومکورف با استفاده از این کیفیت اسبابی ساخت موسوم به بوبین رومکورف که به وسیله آن می توان با اختلاف پتانسیلی پیوسته و چند ولتی (مثلاً باتری ۶ ولتی) اختلاف پتانسیلی بیش از $150000V$ بدست آورد که جرقه هایی به طول $50cm$ بین دو نقطه ایجاد می کند.



شکل ۲۳۰

شکل ۲۳۱

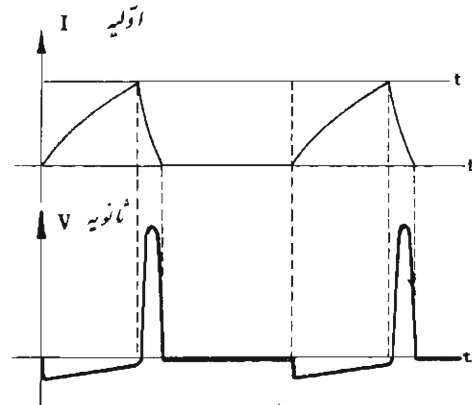
۲۰۹-اساس کار بوبین رومکورف - بوبین رومکورف در واقع مبدل مخصوصی است که به وسیله آن می توان اختلاف پتانسیلی در حدود چند هزار ولت به وسیله یک مولد جریان پیوسته (باتری) که نیروی محرکه آن در حدود چند ولت است بدست آورد. در چنین مبدلی، تغییر شار مغناطیسی، به جای آنکه بر اثر تغییرات شدت یک جریان متناوب ایجاد شود، به واسطه قطع و وصل جریان پیوسته بوبین **P** (مدار اولیه) به وسیله کلید **K** ایجاد می شود و در نتیجه در بوبین **S** (ثانویه) که عده حلقه های

آن خیلی بیشتر است نیروی محرکه‌ای القا می‌شود و اختلاف پتانسیل خیلی بزرگی در دو انتهای S بدست می‌آید (شکل ۲۳۰).

بوبین رومکورف تشکیل شده است از يك میله آهن خالص که بر روی آن مدارهای اولیه و ثانویه پیچیده شده است (شکل ۲۳۱). اولیه از چند صد حلقه سیم کلفت روپوش‌دار و ثانویه از عدۀ زیادی حلقه از سیم نازک تشکیل شده است. جریان مولدی که از چند آکومولاتور بدست می‌آید به وسیله آلت قطع و وصل خودکاری وارد اولیه می‌شود و در هر ثانیه چند صد بار جریان در مدار قطع و وصل و جریان متغیری در اولیه برقرار می‌شود. در نتیجه تغییر سریع میدان در اولیه که موجب تغییر سریع شار در ثانویه می‌شود، نیروی محرکه فوق‌العاده شدیدی در ثانویه القا می‌شود، زیرا که عدۀ حلقه‌های ثانویه خیلی بیشتر از عدۀ حلقه‌های اولیه است. این نیروی محرکه شدید القایی ایجاد اختلاف پتانسیل شدیدی در دو قطب ثانویه می‌کند که منجر به ایجاد جرقه بین دو قطب E و E' می‌شود.

آزمایش نشان می‌دهد که اختلاف پتانسیل در دو سر ثانویه متناوب است، چه سوی جریان در ثانویه هنگام وصل و قطع متناوب است (هنگام وصل i زیاد می‌شود در حالی که هنگام قطع i کم می‌شود) و در نتیجه جرقه يك بار از E به E' و بار دیگر از E' به E برقرار می‌شود. از طرف دیگر آزمایش نشان می‌دهد که اگر بتدریج فاصله E و E' را زیاد کنیم، هنگامی می‌رسد که جرقه فقط در هنگام قطع تولید می‌شود و اختلاف پتانسیل وصل برای برقراری جرقه کافی نیست. دلیل این امر آن است که مدت قطع فوق‌العاده کوتاهتر از مدت وصل است و در نتیجه بد موجب
$$v = -10^{-8} \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

۲۳۲ منحنی نمایش تغییرات شدت را در اولیه (منحنی بالایی) و تغییرات V را در ثانویه (منحنی پایینی) نشان می‌دهد. چنانکه در منحنی بالایی پیداست، شدت جریان در اولیه که به وسیله يك باتری تولید می‌شود به وسیله آلت قطع و وصل به جریان منقطعی تبدیل می‌شود. مشاهده



شکل ۲۳۲

می‌شود که جریان در مدار اولیه همواره در يك سوست. اختلاف پتانسیل ثانویه در موقع قطع زیادتر از اختلاف پتانسیل هنگام وصل است و متناوباً مثبت و منفی می‌شود.

۲۱۰- آلت قطع و وصل - آلت قطع و وصل شبیه به آلت قطع

و وصل زنگ اخبار است، بدین معنی که هنگام برقراری جریان در اولیه، هسته آهنی بوبین آهنربا شده و چکش t را جذب می‌کند. در نتیجه تیغه فنری چکش از نوک پیچ r جدا شده و جریان قطع می‌شود، آهن خاصیت آهنربایی خود را از دست داده و چکش آزاد می‌گردد و تماس بین پیچ و تیغه چکش مجدداً حاصل شده و جریان در مدار برقرار می‌گردد (شکل ۲۳۱).

۲۱۱- خازن فیزو (Fiscu) - این اسباب خازنی است مانند

C که بطور انشعاب در دوسر کلید قطع و وصل قرار می دهند . اثر این خازن این است که در هنگام قطع جریان خازن پر می شود و از شدت جرقه که بین پیچ تیغه و چکش تولید می شود می کاهد و در نتیجه مدت قطع کوتاهتر و اختلاف پتانسیل هنگام قطع شدیدتر می شود . ظرفیت خازن بستگی به مشخصات بوبین دارد و تا چند میکرو فاراد است . بوبین رومکورف برای ایجاد جرقه در شمع اتوموبیل ، پر کردن خازن و تخلیه الکتریکی در گازها بکار می رود .

تمرین

۱ - يك مبدل کاهنده تشکیل شده است از دو رشته سیم که عده حلقه های آنها بترتیب ۸۵۰۰ و ۴۵۰ است و اگر در دوسر اولیه اختلاف پتانسیل مؤثر $V = 2000$ برقرار سازیم ، جریانی به شدت مؤثر ۴ آمپر از آن می گذرد . معین کنید اختلاف پتانسیل و شدت جریان مؤثر را در ثانویه .

$$V_p = 100V \text{ و } I_p = 80A$$

۲ - عده حلقه های اولیه و ثانویه مبدلی بترتیب ۱۲۵۰ و ۳۰ است . دو قطب اولیه را به آلترناتوری که اختلاف پتانسیل ماکزیم آن $V = 7200$ است متصل می کنیم . شدت جریان ماکزیم در اولیه ۸ آمپر است . معین کنید شدت ماکزیم در ثانویه و توان ظاهری آن را .

$$I_p = 320A \text{ و } 28/8kVA$$

۳ - به وسیله مبدلی می خواهیم اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولتی را به ۶ ولت تبدیل کنیم . عده حلقه های اولیه $n_1 = 110$ است . ۱ - معین کنید عده حلقه های ثانویه را . ۲ - اگر شدت مؤثر در اولیه ۵/۵ آمپر باشد شدت مؤثر در ثانویه را حساب کنید در صورتی که بازده مبدل ۹۰ درصد و ضریب

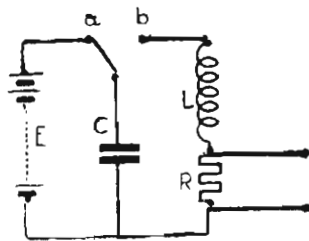
$$\text{توان ثانویه } \frac{5}{6} \text{ باشد . } 1) \quad 3 \quad 2) \quad 19/8A$$

نوسانات الکتریکی - جریان با تواتر زیاد (پرتواتر)

۲۱۲ - تعریف - جریانهای با تواتر زیاد جریانهای متناوبند که

تواتر آنها در حدود چند میلیون تا چند میلیارد است . معمولاً تواتر اینگونه جریانها را بر حسب هرتز یا سیکل (يك تناوب) بیان می کنند . هر هزار هرتز یا سیکل را کیلو هرتز یا کیلوسیكل می نامند . این قبیل جریانهای با تواتر زیاد را به وسیله تخلیه خازنها ایجاد می کنند .

۲۱۳ - تخلیه نوسانی خازنها - مداری مطابق شکل ۲۳۳ از



شکل ۲۳۳

يك باتری E و يك خازن C و يك مدار که شامل خود القای L و مقاومت R است تشکیل می دهیم . به وسیله کلید دو شاخه a و b می توان خازن را متناوباً پر و در مدار سلف و مقاومت تخلیه کرد . در تخلیه خازن دو حالت

اتفاق می افتد :

حالت ۱ - اگر مقاومت مدار زیاد ولی سلف آن کم باشد ، منحنی

نمایش تغییرات جریان هنگام تخلیه خازن به صورت شکل ۲۳۴ - ۱ خواهد بود . چنانکه در این شکل دیده می شود ، در این حالت شدت

۲۱۱- خازن فیزو (Fiscu) - این اسباب خازنی است مانند

C که بطور انشعاب در دوسر کلید قطع و وصل قرار می دهند . اثر این خازن این است که در هنگام قطع جریان خازن پر می شود و از شدت جرقه که بین پیچ تیغه و چکش تولید می شود می کاهد و در نتیجه مدت قطع کوتاهتر و اختلاف پتانسیل هنگام قطع شدیدتر می شود . ظرفیت خازن بستگی به مشخصات بوبین دارد و تا چند میکرو فاراد است . بوبین رومکورف برای ایجاد جرقه در شمع اتوموبیل ، پر کردن خازن و تخلیه الکتریکی در گازها بکار می رود .

تمرین

۱ - يك مبدل کاهنده تشکیل شده است از دو رشته سیم که عده حلقه های آنها بترتیب ۸۵۰۰ و ۴۵۰ است و اگر در دوسر اولیه اختلاف پتانسیل مؤثر $V = 2000$ برقرار سازیم ، جریانی به شدت مؤثر ۴ آمپر از آن می گذرد . معین کنید اختلاف پتانسیل و شدت جریان مؤثر را در ثانویه .

$$V_p = 100V \text{ و } I_p = 80A$$

۲ - عده حلقه های اولیه و ثانویه مبدلی بترتیب ۱۲۵۰ و ۳۰ است . دو قطب اولیه را به آلترناتوری که اختلاف پتانسیل ماکزیم آن $V = 7200$ است متصل می کنیم . شدت جریان ماکزیم در اولیه ۸ آمپر است . معین کنید شدت ماکزیم در ثانویه و توان ظاهری آن را .

$$I_p = 320A \text{ و } 28/8kVA$$

۳ - به وسیله مبدلی می خواهیم اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولتی را به ۶ ولت تبدیل کنیم . عده حلقه های اولیه $n_1 = 110$ است . ۱ - معین کنید عده حلقه های ثانویه را . ۲ - اگر شدت مؤثر در اولیه ۵/۵ آمپر باشد شدت مؤثر در ثانویه را حساب کنید در صورتی که بازده مبدل ۹۰ درصد و ضریب

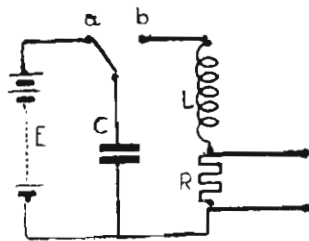
$$\text{توان ثانویه } \frac{5}{6} \text{ باشد . } 1) \quad 3 \quad 2) \quad 19/8A$$

نوسانات الکتریکی - جریان با تواتر زیاد (پرتواتر)

۲۱۲ - تعریف - جریانهای با تواتر زیاد جریانهای متناوبند که

تواتر آنها در حدود چند میلیون تا چند میلیارد است . معمولاً تواتر اینگونه جریانها را بر حسب هرتز یا سیکل (يك تناوب) بیان می کنند . هر هزار هرتز یا سیکل را کیلو هرتز یا کیلوسیكل می نامند . این قبیل جریانهای با تواتر زیاد را به وسیله تخلیه خازنها ایجاد می کنند .

۲۱۳ - تخلیه نوسانی خازنها - مداری مطابق شکل ۲۳۳ از



شکل ۲۳۳

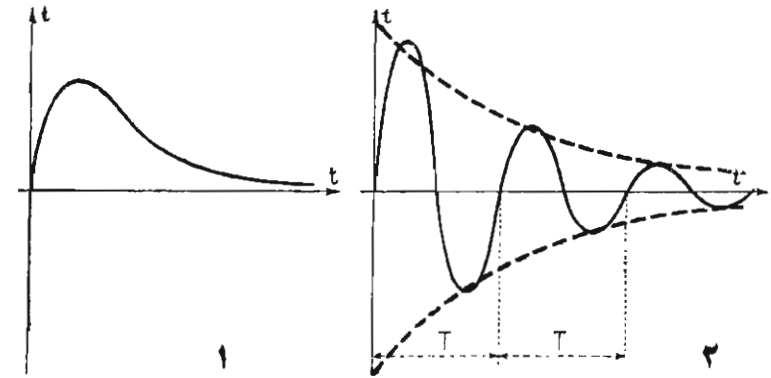
يك باتری E و يك خازن C و يك مدار که شامل خود القای L و مقاومت R است تشکیل می دهیم . به وسیله کلید دو شاخه a و b می توان خازن را متناوباً پر و در مدار سلف و مقاومت تخلیه کرد . در تخلیه خازن دو حالت

اتفاق می افتد :

حالت ۱ - اگر مقاومت مدار زیاد ولی سلف آن کم باشد ، منحنی

نمایش تغییرات جریان هنگام تخلیه خازن به صورت شکل ۲۳۴ - ۱ خواهد بود . چنانکه در این شکل دیده می شود ، در این حالت شدت

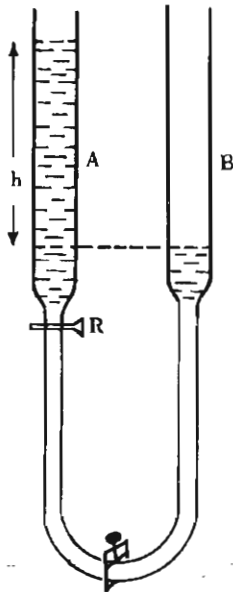
جریان پس از يك ماكزیمم منظماً و بتدریج كم می شود تا به صفر برسد .
حالت ۲ - اگر مقاومت مدار كم و سلف آن بزرگ باشد ، آزمایش
 و محاسبه نشان می دهد كه منحنی نمایش تغییرات جریان هنگام تخلیه



شكل ۲۳۴

به صورت شكل ۲-۲۳۴ خواهد بود. چنانكه این شكل نشان می دهد، در
 این حالت تخلیه خازن حالت نوسانی دارد، بدین معنی كه تخلیه به صورت
 جریانی كه سوی آن متناوباً در مدار تغییر می كند انجام می شود. پریود
 نوسانها از فرمول $T = 2\pi\sqrt{LC}$ بدست می آید كه در آن L ضریب سلف
 بوبین و C ظرفیت خازن است و می گویند در مدار نوسانهای الكتریکی
 تولید شده و بوبین و خازن تشکیل يك مدار نوسان كننده را داده اند . تواتر
 این نوسانها فوق العاده زیاد است ، مثلاً اگر $C = 1\mu F$ و $L = 0.1001$
 هانری باشد ، پریود نوسانها $T = 2\pi\sqrt{10^{-6} \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-4}$ s
 و تواتر آن $N = \frac{1}{T} = 5000$ یا ۵ کیلوسیكل خواهد بود. شكل ۲-۲۳۴
 نشان می دهد كه دامنه نوسانها ثابت نیست بلكه بتدریج كم می شود تا به
 صفر برسد .

۲۱۴ - تشبیه نوسان الكتریکی با نوسان آب در لوله - این
 نوسانهای الكتریکی را می توان به نوسان آب در آزمایش زیر تشبیه كرد:



شكل ۲۳۵

دو استوانه A و B را به وسیله لوله
 كائوچویی شیرداری به يكدیگر متصل می كنیم
 (شكل ۲۳۵). مقطع این لوله را، به كمك گیره ای،
 می توان كم یا زیاد كرد. ارتفاع آب در A بیشتر
 از ارتفاع آن در B است (مانند اختلاف پتانسیل
 دو جوشن خازن) . پس ، وقتی كه شیر R را باز
 می كنیم ، آب از A به B جریان پیدا می كند:
 اگر گیره چندان فشاری بر لوله نیاورد (مقاومت
 در مقابل عبور آب كم باشد) آب بسرعت از ظرفی
 به ظرف دیگر منتقل و پس از چند نوسان
 متوقف می شود (تخلیه نوسانی با مقاومت كم) ؛

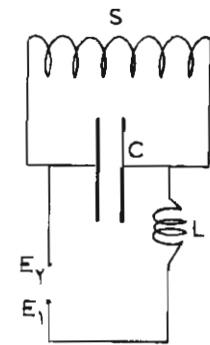
در حالی كه اگر گیره را بر لوله محكم كنیم (مقاومت در مقابل عبور
 آب زیاد باشد) آب بتدریج و بدون نوسان در دو لوله هم سطح خواهد
 شد (تخلیه عادی خازن با مقاومت زیاد) .

تولید نوسانهای الكتریکی

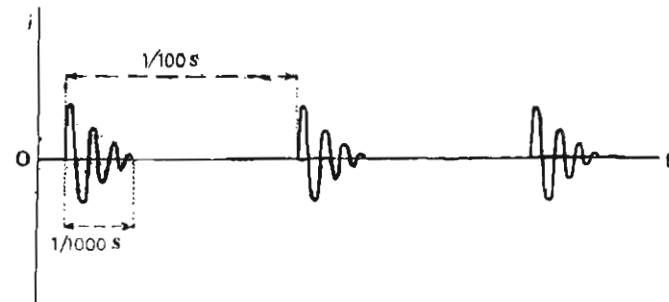
۲۱۵ - روش تسلا - در تخلیه نوسانی خازن در يك سلف، نوسانها

پس از مدت بسیار کوتاهی مستهلك می شوند (نوسانهای میرا) . برای
 برقراری نوسانهای دائمی ، از روشی موسوم به روش تسلا استفاده
 می شود . دو سر ثانویه S قرقره القایی را به خازن C و سلف L وصل

می‌کنیم (شکل ۲۳۶). در قسمتی از این مدار دو گلوله E_1 و E_2 در مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند. هنگامی که اختلاف پتانسیل خازن به مقدار کافی رسید، جرقه‌ای بین دو گلوله E_1 و E_2 می‌زند و تخلیه نوسانی خازن در این مدار صورت می‌گیرد و مانند این است که دو نقطه E_1 و E_2 به وسیله مقاومت کمی (جرقه) به یکدیگر مربوط شده‌اند. هنگامی که تخلیه نوسانی خازن پایان یافت، مجدداً خازن پر شدن آغاز می‌کند تا اینکه جرقه دیگری بین E_1 و E_2 می‌زند و مجدداً تخلیه نوسانی خازن تکرار می‌شود (باید دانست که تخلیه نوسانی خازن فقط در مدار E_1 و E_2 انجام می‌شود و بهیچ وجه این نوسانها در S به علت سلف



شکل ۲۳۶

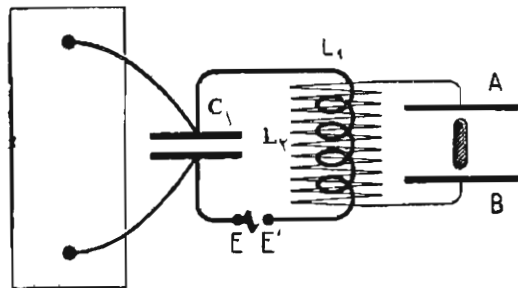


شکل ۲۳۷

زیاد آن تأثیر ندارد). چنانکه دیدیم در فاصله زمان میان دو جرقه (که معمولاً در حدود $\frac{1}{100}$ ثانیه است) یک دسته نوسانهای میرا در مدار تولید می‌شود. شکل ۲۳۷ سه دسته از این نوسانهای میرا را نشان می‌دهد.

جریانهای با تواتر خیلی زیاد را با علامت H.F. (Haute fréquence) نشان می‌دهند.

۲۱۶- آثار جریان با تواتر زیاد - در مدار ثانویه يك بوبین رومکورف، خازن C_1 و سلف L_1 را قرار می‌دهیم (شکل ۲۳۸). چنانکه دیدیم وقتی که جرقه کار می‌کند، در مدار ثانویه جریانی با تواتر خیلی زیاد، مثلاً ۱۰۰۰۰۰ که چندین برابر تواتر جریان ثانویه بوبین القاست، تولید می‌شود. اینگونه جریان خواص مهمی دارد:



شکل ۲۳۸

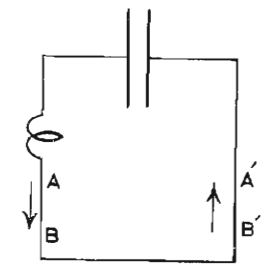
۱- اگر روی سیم پیچ L_1 با سیم روپوش دار نازکی يك رشته سیم دیگر L_2 را که عده حلقه‌های آن خیلی بیشتر از عده حلقه‌های سیم پیچ L_1 است قرار دهیم و دو سر آن را به دو صفحه A و B وصل کنیم، در این سیم پیچ جریانی با تواتر و ولت خیلی زیاد تولید می‌شود. در حقیقت سیم پیچهای L_1 و L_2 کار يك مبدل افزاینده را انجام می‌دهند. چنین جریانهایی بر روی اجسام هادی مجاور خود اثرات القایی بسیار شدیدی دارند، بطوری که اگر يك لامپ نئون را میان دو صفحه A و B نگه داریم، مشاهده می‌کنیم که حتی وقتی که لامپ با صفحه‌ها تماس ندارد، روشن می‌شود.

۲- جریانهای پر توانر از اجسام کمایش عایق مانند چوب و بدن انسان بیشتر از جریانهای کم توانر می گذرد. عبور این جریانها، حتی با ولتهای خیلی زیاد، هیچ تأثیر خطرناکی در بدن انسان ندارد (برعکس جریانهای با ولت زیاد و فرکانس کم که آنرا می کشد)، بلکه برعکس برای تسهیل عمل جذب اکسیژن توسط خون و معالجات امراض عصبی از آن استفاده می کنند. همچنین بر اثر عبور این جریانها از بدن در قسمتهای داخلی آن تولید گرما بدون سوختگی سطحی می شود که از آن در معالجه رماتیسم و کبد و غیره استفاده می شود (دیاترمی Diathermie).
یک مورد استعمال دیگر آن « بیستوری برقی » است که بر اثر بالا بردن موضعی دما، یاخته ها را از میان می برد.

میدان مغناطیسی در مجاورت یک مدار نوسان کننده

۲۱۷- می دانیم که هر جریان در اطراف خود یک میدان مغناطیسی تولید می کند. اگر جریان متناوب سینوسی باشد میدان مغناطیسی نیز متناوب سینوسی خواهد بود. اگر مدار نوسان کننده کوچک و بسته باشد،

چون سوی جریان در دو طرف AB و $A'B'$ از مدار مخالف یکدیگر است (شکل ۲۳۹)، در یک نقطه نسبتاً دور از این مدار میدان نتیجه صفر خواهد بود. علت آن این است که شعاع عمل اینگونه مدارهای نوسان کننده کوچک چندان بزرگ نیست و می توان گفت که تمام

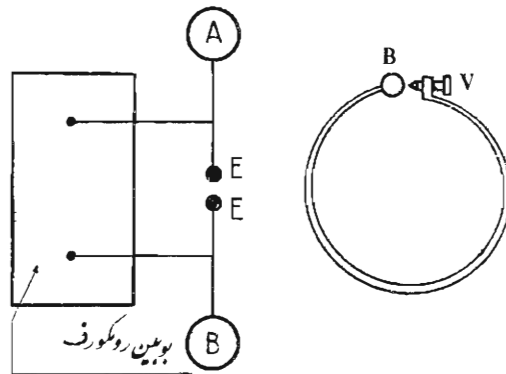


شکل ۲۳۹

انرژی الکتریکی در مجاورت آنها متمرکز می شود. برای بزرگ

کردن شعاع عمل، هرتز مدار نوسان کننده بازی بکار برد که آن را آنتن می نامند.

۲۱۸- نوسان کننده هرتز - نوسان کننده هرتز تشکیل شده است از دو میله (شکل ۲۴۰) که به یک سر هر یک گلوله بزرگی مانند A و B و به سر دیگر آنها گلوله کوچکی مانند E و E' نصب شده

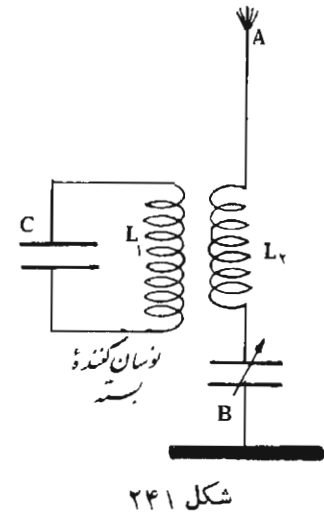


شکل ۲۴۰

است. اگر این دو میله را به وسیله دو سیم به ثانویه قرقه القا متصل کنیم، بین دو گلوله E و E' جرقه برقرار می شود و در A و B که در حکم خازنی هستند تخلیه نوسانی ایجاد می شود (متذکر می شویم که هر دو جسم هادی به هر شکل که باشند ایجاد یک خازن می کنند و هر قدر این دو جسم بزرگتر و به یکدیگر نزدیکتر باشند ظرفیت خازن بیشتر است). بدین وسیله می توان نوسانهای با فرکانس ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ کیلوسیکل ایجاد کرد. آزمایش نشان می دهد که انرژی نوسانهای الکتریکی در فضا به شکل موج منتشر می شود و سرعت این انتشار برابر با سرعت نور است، چنانکه اگر وسیله ای در اختیار باشد، می توانیم آثار این انرژی را در هر نقطه از فضا ضبط کنیم.

۲۱۹- آنتن - چنانکه گفته شد میدان عمل مدارهای نوسان-

کننده بسته محدود است . برای بزرگ کردن میدان عمل، مدار نوسان کننده بسته را بر روی مدار نوسان کننده بازی به نام آنتن اثر می دهند (شکل ۲۴۱) . معمولاً يك سرسیم آنتن آزاد است و سر دیگر آن B به وسیله يك خازن متغیرو يك سلف L_r که در برابر سلف L_1 قرار گرفته است به زمین مربوط می شود .



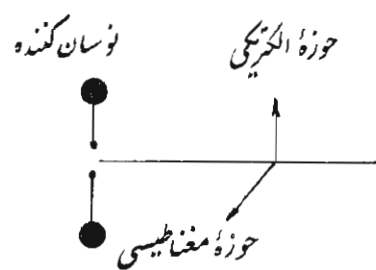
شکل ۲۴۱

امواج الکترومغناطیك یا امواج هرتز

۲۲۰- جریان متغیری که در آنتن تولید می شود در هر نقطه از فضا مانند A ، میدان مغناطیسی متغیری تولید می کند و اگر يك جسم هادی در این نقطه باشد، يك نیروی الکتروموتوری القایی در آن ایجاد می شود . برای اثبات این موضوع هرتز از اسباب ساده ای موسوم به مشدّد هرتز استفاده کرد . این اسباب حلقه مسی بازی است (شکل ۲۴۰) که بر يك سر آن گلوله B و بر سر مقابل آن پیچ V نصب شده است . میدان مغناطیسی متغیر ناشی از يك نوسان کننده هرتز، در این حلقه يك نیروی محرکه القایی ایجاد می کند و اگر فاصله پیچ و گلوله میزان شود ، بین آنها جرقه تولید می شود . هرتز این گیرنده ساده را برای اثبات وجود

آثار ناشی از نوسان الکتریکی بکار برد و از طول جرقه های ایجاد شده بین گلوله و نوک پیچ به شدت و ضعف این آثار پی برد . امروز می دانیم که انرژی تابشی و میدان مغناطیسی ناشی از نوسانهای الکتریکی ، از يك نقطه به نقاط دیگر فضا آنّا منتقل نمی شوند ، بلکه با سرعت ثابت 300000 km/s در فضا منتشر می شوند (مثلاً اگر آنتنی در پاریس ، ارتعاشات الکتریکی تولید کند در واشینگتن که به فاصله تقریباً 6200 km از پاریس است پس از تقریباً $2/5$ ثانیه به وسیله مشدّد هرتز گرفته می شود) . انتشار این میدان مغناطیسی به صورت امواج عرضی است ، بدین معنی که میدان نوسان کننده در سطح موج و عمود بر شعاع انتشار است .

از طرف دیگر بر اثر نوسانهای الکتریکی ، در هر نقطه از فضا يك میدان الکتریکی سینوسی نیز تولید می شود که همان پریود میدان مغناطیسی را دارد و با همان سرعت در فضا منتشر می شود ولی امتداد آن عمود است بر امتداد میدان مغناطیسی (شکل ۲۴۲) . این مجموعه دو میدان سینوسی مغناطیسی و الکتریکی عمود برهم را که پریود آنها برابر

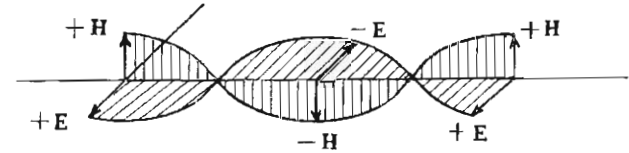


شکل ۲۴۲

است و با سرعت نور منتشر می شوند،
امواج هرتز یا امواج الکترو-
مغناطیك می نامند . طول موج
این امواج (شکل ۲۴۳) ، مانند
دیگر امواج ، از این رابطه
$$\lambda = VT = \frac{V}{N}$$

بدست می آید

که در آن N تواتر نوسانها و V سرعت سیر امواج الکتروماتیکی یعنی همان سرعت 300000 km/s نور است. طول موج امواج الکتروماتیکی



شکل ۲۴۳

رادیویی متفاوت است. طول موجهای از 3 km تا 800 متر را موج بلند و از 800 متر تا 100 متر را موج متوسط و از 100 متر تا 10 متر را موج کوتاه می نامند. طول موج امواج رادار خیلی کوتاهتر و در حدود سانتیمتر و میلیمتر است.

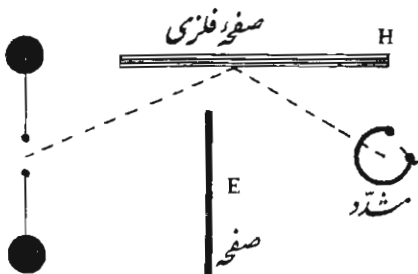
امروز می دانیم که این امواج الکتروماتیکی قسمتی از انرژی تابشی است و اشعه زیر قرمز، نور مرئی، فوق بنفش، اشعه X و اشعه γ نیز قسمتهای دیگر از این شکل انرژی هستند و تنها تفاوت آنها در تواترشان است.

خواص امواج الکتروماتیکی

۲۲۱-۱- امواج الکتروماتیکی از محیطهایی که هادی برق نیستند عبور می کند ولی از اجسام هادی عبور نمی کند، بلکه توسط آنها جذب می شود. اگر مولد نوسانها را به وسیله يك صفحه نازك فلزی بپوشانیم، این صفحه از خروج این امواج بکلی جلوگیری می کند.

۲- امواج الکتروماتیکی مانند نور منعکس می شود و می شکند. برای نشان دادن پدیده انعکاس کافی است که در برابر يك مدار نوسان

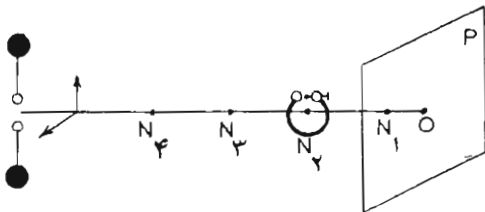
کننده هرگز يك مانع فلزی E مطابق شکل ۲۴۴ بگذاریم و وجود امواج



منعکسی را که بر روی صفحه فلزی دیگر H منعکس شده به وسیله مشدد هرگز در پشت مانع E تحقیق کنیم. ۳- در امواج الکترو-

ماتیکی نیز مانند نور پدیده

تداخل مشاهده می شود. مثلاً این امواج، پس از انعکاس، با امواج تابش ترکیب می شوند و يك دستگاه امواج ساکن تولید می کنند. برای نشان دادن پدیده تداخل کافی است که جلو يك مدار نوسان کننده هرگز يك



شکل ۲۴۵

صفحه فلزی بگذاریم (شکل ۲۴۵) و بد وسیله يك مشدد، وجود گرهمها و شکمها را در طول مسیر مشاهده و از این رو طول موج را حساب کنیم. یا اگر تواتر نوسانها از پیش معلوم باشد، با این آزمایش می توان تحقیق کرد که این امواج با سرعت نور در فضا منتشر می شود. از این آزمایشها نتیجه می شود که آثار نوری و الکتروماتیکی کاملاً شبیه یکدیگرند و فقط اختلاف در تواتر آنهاست. نام و حدود طول موجهای نواحی مختلف انرژی تابشی بدین قرار است:

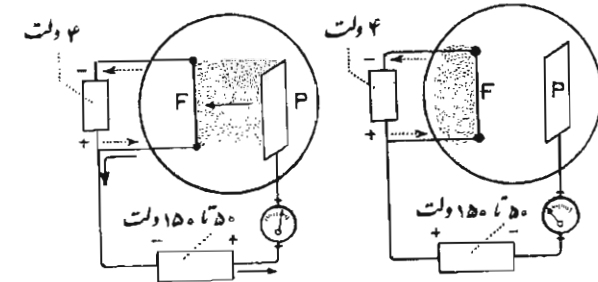
۱۵km	تا ۰/۴mm امواج الکترومغناطیسی
۰/۴mm	تا ۰/۸μ زیر قرمز
۰/۸μ	تا ۰/۴μ نور مرئی
۰/۴μ	تا ۲۰Å فوق بنفش
۲۰Å	تا ۰/۱۰۵Å اشعه X
۰/۱۰۵Å	تا ۰/۱۰۱Å اشعه γ

تذکر - Å (آنگستروم) واحدی است برابر با ۱۰-۴ میکرون

اثر ادیسون

۲۲۲- خروج الکترون از اجسام گرم - ادیسون در سال ۱۸۸۴ ثابت کرد که اجسام گرم از خود الکترون به خارج می‌فرستند.

لامپ دو قطبی - آزمایش - در حبایی شیشه‌ای که فشار هوای داخل آن در حدود چند صد هزارم میلیمتر جیوه است یک صفحه فلزی P (پلاک) که با الکتروود خارجی مربوط است در مقابل سیم F

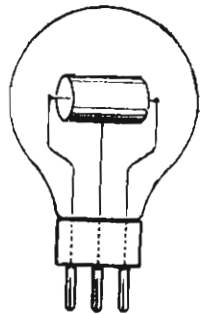


شکل ۲۴۶ - الف

شکل ۲۴۶ - ب

(رشته) قرار دارد. رشته F را به وسیله جریان یک باتری دو ولتی می‌توانیم گرم و ملتهب کنیم. صفحه P را به قطب مثبت یک باتری حدود

۱۰۰ ولتی وصل می‌کنیم و قطب منفی باتری را به رشته F اتصال می‌دهیم (شکل ۲۴۶ - الف). یک میلی آمپرسنج حساس نیز در مدار می‌گذاریم. مشاهده می‌کنیم که هنگامی که رشته F سرد است، جریانی از آمپرسنج نمی‌گذرد. ولی اگر رشته را گرم کنیم، جریانی از مدار می‌گذرد و هر چه دمای رشته بیشتر شود شدت جریان نیز بیشتر خواهد شد (ممکن است به ۲۰۰ میلی آمپر برسد). ولی اگر قطب منفی باتری را به پلاک P و قطب مثبت آن را به رشته وصل کنیم، حتی وقتی که سیم ملتهب است جریانی از مدار پلاک نمی‌گذرد (شکل ۲۴۶ - ب). علت این پدیده جالب آن است که از اجسام ملتهب، مخصوصاً فلزات، الکترونیهای خارج می‌شوند که پس از خروج از فلز به وسیله پلاک، که دارای پتانسیل مثبت است، جذب می‌شوند و در نتیجه جریانی از مدار می‌گذرد. در واقع این الکترونها از فضای خالی میان پلاک و رشته می‌گذرند و مدار را در این قسمت می‌بندند.



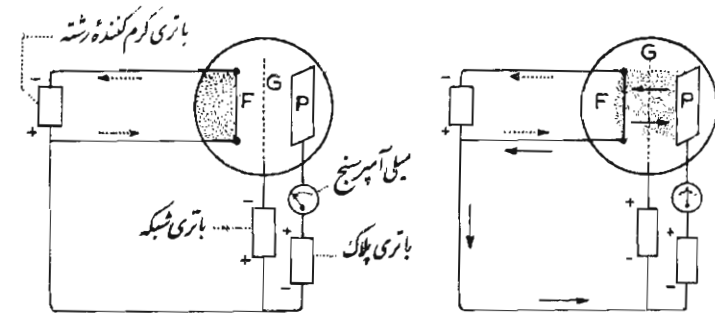
شکل ۲۴۷

هر چه دمای رشته بالاتر باشد (حرکت گرمایی الکترونها شدیدتر باشد) و نیز هر چه اختلاف پتانسیل میان پلاک P و رشته بیشتر باشد، جریان شدیدتر خواهد بود. این پدیده به اثر ادیسون معروف است و موارد استعمال زیادی مثلاً در لامپهای دو قطبی (شکل ۲۴۷) برای

یک طرفه کردن جریان متناوب و در لامپهای چند قطبی و در تمام

دستگاههای الکترونیک دارد .

لامپ سه قطبی - در لامپ دو قطبی ، هرگاه يك شبکه فلزی G بین پلاك P و رشته F اضافه كنیم يك لامپ سه قطبی خواهیم داشت . وجود این شبکه تغییرات مهمی در خواص لامپ می دهد . چون شبکه خیلی نزدیک به رشته است، يك تغییر جزئی در پتانسیل آن موجب تغییرات بزرگی در جریان پلاك می شود . اگر شبکه را به يك پتانسیل كوچك منفی ببریم (شكل ۲۴۸ - الف) ، چون الكترونهاى رشته را از خود می راند ، از شدت جریان پلاك به نسبت زیادی كاسته می شود

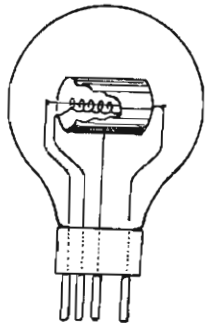


شكل ۲۴۸ - الف

شكل ۲۴۸ - ب

(در شكل ۲۴۸ - الف ، باتری شبکه طوری انتخاب شده است كه هیچ جریانی از مدار پلاك نمی گذرد) ؛ بر عكس اگر آن را به يك پتانسیل كوچك مثبت ببریم (شكل ۲۴۸ - ب) ، جریان پلاك خیلی شدیدتر می شود . بدین ترتیب می بینیم كه با دادن يك انرژی ناچیز به شبکه می توانیم جریان پلاك را چند برابر كنیم . از این خاصیت برای

تقویت يك جریان ضعیف استفاده می شود (Amplification) . مثلاً



شكل ۲۴۹

ممکن است انرژی ناچیزی را كه آنتن گیرنده می گیرد چندان بزرگ كرد كه بتواند بلندگویی را بكار اندازد . لامپ سه قطبی (شكل ۲۴۹) را برای ایجاد نوسانات الكتريکی با دامنه محفوظ نیز بكار می برند كه بعداً به ذكر آن خواهیم پرداخت .

در مورد جریانهای که اختلاف پتانسیل آنها زیاد و تا ۱۵۰۰۰۰ ولت است از لامپهای دوقطبی بزرگی استفاده می شود که آنها را کنوترون (Kenotron) می نامند .

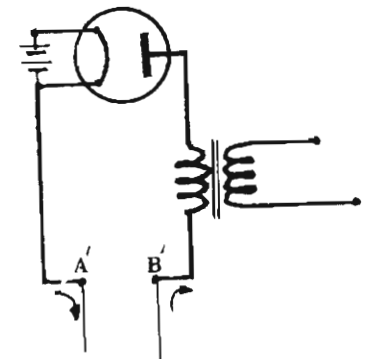
طرق تبدیل جریان متناوب به جریان يك طرفه

۲۲۳- در بعضی از موارد (مثلاً برای پرکردن باتری) لازم است که جریان متناوب به جریان يك طرفه تبدیل شود . برای این کار طرق مختلفی متداول است که اکنون بعضی از آنها را شرح می دهیم :

۱- دستگاه «مولد - موتور» - در این طریقه موتوری را به وسیله جریان متناوب بکار می اندازند. این موتور به نوبه خود دینامویی را بکار می اندازد و بدین ترتیب جریان پیوسته ای از دینامو بدست می آید. این طریقه در مورد انرژیهای زیاد بکار می رود .

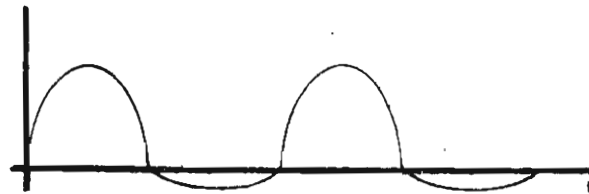
۲- اگر در مدار پلاک يك لامپ دوقطبی ، به جای باتری يك

آلترناتور یا ثانویه مبدلی را (شکل ۲۵۰) قرار دهیم ، آشکار است که در نیم پریودی که پتانسیل پلاک منفی است ، جریان عبور نمی کند و در نیم پریود دیگر ، که پتانسیل آن مثبت می شود ، جریان از مدار می گذرد . بنا بر این بین دو نقطه



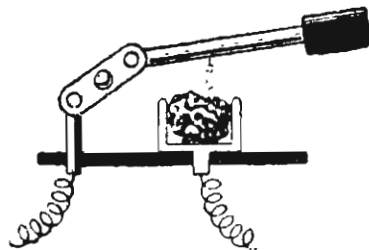
شکل ۲۵۰

A' و B' جریان يك طرفه ای پدید می آید .



شکل ۲۵۱

می بینیم جریان کمایش يك طرفه می شود . در این يك طرفه کننده ساده ،



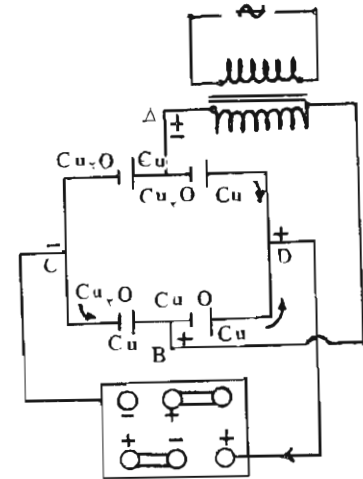
شکل ۲۵۲

جریان متناوب را به وسیله يك میله كوچك فنری (شکل ۲۵۲) که به گالن تکیه دارد وارد می کنند . جریان فقط از جهت گالن به میله عبور می کند ولی در جهت عکس

عملاً عبور نمی کند .

۴ - صفحات فلزی - در اینجا نیز از یکسان نبودن مقاومت در دو سوی مخالف استفاده می شود . این دستگاه تشکیل شده است از چهار ورقه مسی که روی آنها از یک لایه اکسید مس Cu_2O پوشیده شده است . آزمایش نشان می دهد که جریان بخوبی از اکسید مس به مس عبور می کند در حالی که در جهت عکس یعنی از مس به اکسید مس عبور نمی کند .

از این خاصیت برای یک طرفه کردن جریان استفاده می کنند بدین ترتیب که چهار صفحه فلزی را مطابق شکل ۲۵۳ به دنبال یکدیگر می بندند و بین دو نقطه A و B جریان متناوبی را که از مبدل کاهنده ای بدست آمده است وصل می کنند و از دو نقطه C و D همواره جریان یک طرفه ای می گیرند که می توان از آن مثلاً برای پر



شکل ۲۵۳

کردن باتری استفاده کرد .

تلگراف و تلفن بی سیم - تلگراف بی سیم

۲۲۴ - اساس تلگراف بی سیم - می توان از امواج الکترومغناطیسی

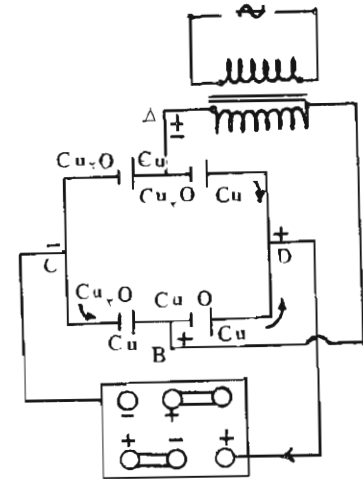
برای فرستادن علائم تلگرافی استفاده کرد . برای این کار ممکن است هم از امواج میرا و هم از امواج محفوظ استفاده کرد ، ولی چون امروز از امواج میرا کمتر استفاده می شود ، در اینجا فقط به ذکر یک دستگاه فرستنده با امواج محفوظ می پردازیم .

دستگاه فرستنده با امواج محفوظ از یک لامپ سه قطبی تشکیل شده است (شکل ۲۵۴) . مدار نوسان کننده بسته L و C را در مدار پلاک این لامپ و یک سلف L' نیز در مدار شبکه آن می گذارند . این سلف تأثیر القایی بر روی بوبین L می کند . هنگامی که کلید K را می بندیم ، آزمایش نشان می دهد که همواره نوسانهای محفوظی در مدار پلاک تولید می شود که پریود آن از فرمول $T = 2\pi\sqrt{LC}$ بدست می آید . علت این امر آن است که بر اثر بستن کلید ، جریانی در مدار پلاک برقرار می شود که دو اثر متفاوت دارد: یکی آنکه خازن را پر می کند و دیگری آنکه جریانی در مدار L' القا می کند و این جریان که از شبکه نیز می گذرد به نوبه خود بر جریان پلاک اثر می کند و طبق قانون لنز مانع استهلاک نوسانهای آن می شود . بدین ترتیب نوسانهای محفوظی در مدار نوسان -

عملاً عبور نمی کند .

۴ - صفحات فلزی - در اینجا نیز از یکسان نبودن مقاومت در دو سوی مخالف استفاده می شود . این دستگاه تشکیل شده است از چهار ورقه مسی که روی آنها از یک لایه اکسید مس Cu_2O پوشیده شده است . آزمایش نشان می دهد که جریان بخوبی از اکسید مس به مس عبور می کند در حالی که در جهت عکس یعنی از مس به اکسید مس عبور نمی کند .

از این خاصیت برای یک طرفه کردن جریان استفاده می کنند بدین ترتیب که چهار صفحه فلزی را مطابق شکل ۲۵۳ به دنبال یکدیگر می بندند و بین دو نقطه A و B جریان متناوبی را که از مبدل کاهنده ای بدست آمده است وصل می کنند و از دو نقطه C و D همواره جریان یک طرفه ای می گیرند که می توان از آن مثلاً برای پر



شکل ۲۵۳

کردن باتری استفاده کرد .

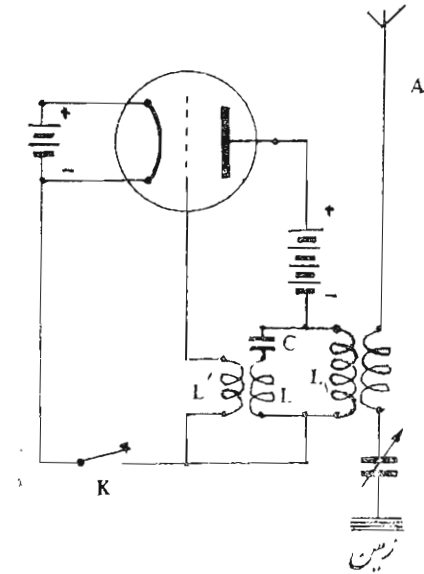
تلگراف و تلفن بی سیم - تلگراف بی سیم

۲۲۴ - اساس تلگراف بی سیم - می توان از امواج الکترومغناطیسی

برای فرستادن علائم تلگرافی استفاده کرد . برای این کار ممکن است هم از امواج میرا و هم از امواج محفوظ استفاده کرد ، ولی چون امروز از امواج میرا کمتر استفاده می شود ، در اینجا فقط به ذکر یک دستگاه فرستنده با امواج محفوظ می پردازیم .

دستگاه فرستنده با امواج محفوظ از یک لامپ سه قطبی تشکیل شده است (شکل ۲۵۴) . مدار نوسان کننده بسته L و C را در مدار پلاک این لامپ و یک سلف L' نیز در مدار شبکه آن می گذارند . این سلف تأثیر القایی بر روی بوبین L می کند . هنگامی که کلید K را می بندیم ، آزمایش نشان می دهد که همواره نوسانهای محفوظی در مدار پلاک تولید می شود که پریود آن از فرمول $T = 2\pi\sqrt{LC}$ بدست می آید . علت این امر آن است که بر اثر بستن کلید ، جریانی در مدار پلاک برقرار می شود که دو اثر متفاوت دارد: یکی آنکه خازن را پر می کند و دیگری آنکه جریانی در مدار L' القا می کند و این جریان که از شبکه نیز می گذرد به نوبه خود بر جریان پلاک اثر می کند و طبق قانون لنز مانع استهلاک نوسانهای آن می شود . بدین ترتیب نوسانهای محفوظی در مدار نوسان -

کننده ایجاد می شود . حال برای آنکه این نوسانها در فضا منتشر شوند ، يك سلف دیگر مانند L_1 در مدار نوسان کننده اضافه می کنند که بر روی سلف آنتن A جریانی القا می کند و آنتن این نوسانها را در فضا منتشر می سازد .



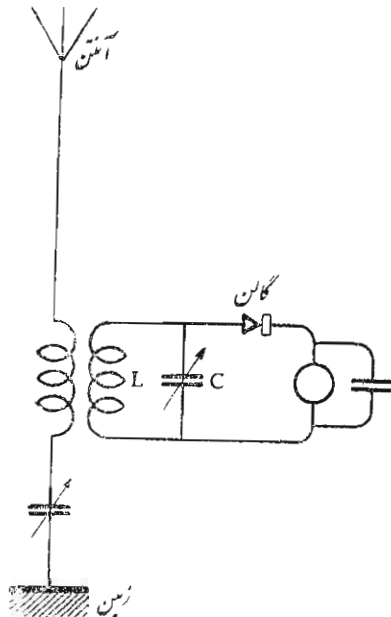
شکل ۲۵۴

۲۲۶- دستگاه گیرنده امواج - دستگاه گیرنده از قسمتهای زیر

تشکیل شده است :

- ۱- يك آنتن که باید آن را چنان تنظیم کرد که پر بود ارتعاشات آن مساوی پر بود ارتعاشات فرستنده شود تا تشدید روی دهد ؛
- ۲- گوشی تلفن که به وسیله آن علایم مورش شنیده می شود ؛
- ۳- دتکتور - چون تواتر امواج الکتروماتیکی فوق العاده زیاد است ، امواج نمی توانند برگوشی اثر کنند. این است که باید این امواج را به وسیله دستگاهی به نام دتکتور (Detecteur) يك طرفه کرد و از تواتر آن کاست تا قابل شنیدن باشد و صفحه گوشی را به ارتعاش درآورد. دتکتورها عبارتند از لامپهای دو قطبی و سه قطبی ، بلورهای گالن و جز

اینها که از جریان متناوب جریانی يك طرفه تولید می کنند. شکل ۲۵۵ يك دستگاه گیرنده امواج میرا با دتکتور گالن را نشان می دهد. جریان متغیری که در آنتن تولید می شود جریانی با همان پر بود در مدار نوسان کننده L و C تولید می کند که پس از عبور از دتکتور وارد گوشی می شود .



شکل ۲۵۵

تلفن بی سیم

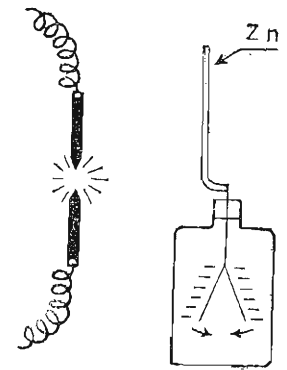
۲۲۷- در تلفن بی سیم، صوت به وسیله امواج الکتروماتیکی منتقل می شود. دستگاه تلفن بی سیم از سه قسمت تشکیل شده است :

- ۱- میکروفون M - به وسیله این دستگاه می توان جریان متغیری همواتر با صوت و متناسب با شدت آن بدست آورد .
- ۲- مدار نوسان کننده با امواج محفوظ - این مدار که دستگاه ایجاد کننده موج حامل است جریان کم تواتری را که از میکروفون تولید می شود ، بر امواج محفوظ مدار نوسان کننده يك لامپ سه قطبی (موج حامل) سوار کرده و به وسیله آنتن در فضا منتشر می کند .
- ۳- دستگاه گیرنده - این دستگاه امواج را می گیرد و به وسیله بلندگو یا گوشی ، صوتی نظیر صوت اول تولید می کند .

فتو الکتریسیته

۲۲۸ - مقدمه - آزمایش هرتز - در ۱۸۸۷ هرتز پدیده فتو

الکتریسیته را کشف کرد. اگر در مقابل يك قوس الکتریکی که مقدار زیادی اشعه فوق بنفش تابش می کند، صفحه بسیار تمیزی از جنس روی قرار دهیم که به الکتروسکوپ که بار منفی دارد متصل است، مشاهده می کنیم که الکتروسکوپ خالی می شود (شکل ۲۵۶) و ورقه های آن به یکدیگر نزدیک می شوند. این آزمایش نشان می دهد که بر اثر تابش نور به صفحه روی، بارهای منفی این صفحه از آن خارج می شوند. اگر الکتروسکوپ بار مثبت داشته باشد، ورقه های آن به یکدیگر نزدیک نمی شوند، یعنی الکتروسکوپ تخلیه نمی شود. با این آزمایش می توان نشان داد که این پدیده



شکل ۲۵۶

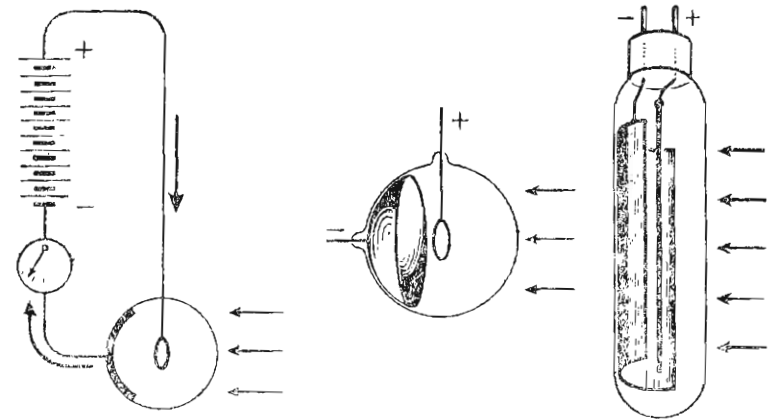
بیشتر بر اثر اشعه فوق بنفش است، چه اگر بین قوس الکتریکی و صفحه روی تیغه ای از کوآرتز (کوآرتز در مقابل اشعه فوق بنفش شفاف است) قرار دهیم، مشاهده می کنیم که الکتروسکوپ مانند پیش خالی می شود در حالی که اگر به جای تیغه

کوآرتز يك تیغه شیشه ای (شیشه در مقابل اشعه مرئی شفاف ولی در مقابل اشعه فوق بنفش کدر است) بگذاریم، مشاهده خواهیم کرد که الکتروسکوپ خیلی کندتر خالی می شود.

هر تر از این آزمایش نتیجه گرفت که علت خالی شدن الکتروسکوپ آن است که صفحه روی، بر اثر تابش اشعه فوق بنفش، عدای از الکترونهاى خود را از دست می دهد. پس پدیده فتوالکتریک عبارت از این است که اگر بر بعضی از فلزها اشعه نور مخصوصاً اشعه فوق بنفش یا اشعه X بتابانیم، از آنها الکترون خارج می شود. باید دانست که طول موج نور تابنده باید از يك حد معین λ_0 کوتاهتر باشد که آن را حد حساسیت می نامند. این حد بستگی به جنس فلز دارد.

کشف این پدیده بسیار مهم و بررسی آن نشان داد که همه پدیده های ناشی از نور از جمله پدیده فتوالکتریک را نمی توان تنها با فرضیه موجی نور توجیه کرد. امروز دانشمندان معتقدند که انرژی تابشی از ذره های بینهایت ریزی (فوق العاده ریزتر از الکترون و پروتون) تشکیل یافته است که آنها را فوتون می نامند. هر فوتون دارای مقداری انرژی است که برابر $W = hN$ است که در آن N تواتر نور و h ضریب ثابتی است به نام ضریب پلانک که در دستگاه C.G.S. برابر است با $6.62 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$. چون فوتونها به يك فلز برخورد کنند الکترون را از آن خارج می سازند. اگر فلز بار الکتریکی مثبت داشته باشد، الکترون فوراً دوباره جذب خود فلز می شود، ولی اگر دارای بار منفی باشد، الکترونهاى خارج شده بکلی رانده می شوند.

۲۲۹- سلول فتوالکتریک حبایی است خالی از هوا که به قسمتی از سطح درونی آن یک ورقه بسیار نازک فلزی چسبانده شده و در مقابل آن یک حلقه فلزی نصب شده است (شکلهای ۲۵۷ و ۲۵۸). این ورقه نازک و حلقه توسط دو قطب فلزی با خارج مربوطند. حال اگر قطب



شکل ۲۵۸

شکل ۲۵۷

مثبت یک باتری را به حلقه و قطب منفی آن را به ورقه فلزی وصل کنیم و گالوانومتری در مدار بگذاریم، مشاهده می شود که اگر دستگاه در تاریکی باشد، جریانی از گالوانومتر نمی گذرد. ولی هنگامی که یک دسته اشعه نور را برکاتد بتابانیم، جریان خفیفی از گالوانومتر می گذرد که هر قدر اختلاف پتانسیل و همچنین شدت نور تابنده زیادتر شود شدیدتر می گردد. آزمایش نشان می دهد که اگر فلز کاتد از فلزهای قلیایی یا قلیایی خاکی باشد اثر فتوالکتریک شدیدتر است (بتاسیم با نور مرئی و سزیم حتی با نور زیر قرمز نیز عمل می کند). این جریان بر اثر این است که انرژی تابشی، عده ای از الکترونهای فلز را بیرون می راند و این

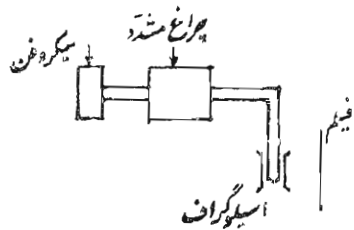
الکترونها که بار منفی دارند به وسیله آنند جذب می شوند و یک جریان برق از کاتد به آنند برقرار می شود. آزمایش نشان می دهد که شدت جریان بستگی به طول موج نور، شدت آن، و جنس فلز دارد.

۲۳۰- موارد استعمال سلول فتوالکتریک - ۱- چشم الکتریکی-

چشم الکتریکی تشکیل شده است از یک سلول فتوالکتریک که به آن نور فوق بنفش (نامرئی) می تابد. اگر کسی از مقابل چشم الکتریکی عبور کند مانعی در مقابل اشعه فوق بنفش تولید و در نتیجه جریان قطع می شود. این قطع و وصل جریان بر روی دستگاه ثباتی ثبت می شود. از چشم الکتریکی برای «فرمان خودکار» مثلاً درهای خودکار که بمحض نزدیک شدن شخص خود بخود باز می شوند و همچنین برای اعلام خطر و برای شمردن عده وارد شدگان به یک سالن و جز اینها نیز استفاده می شود، ولی مهمترین مورد استعمال سلول فتوالکتریک در سینمای ناطق و تلویزیون است.

۲- سینمای ناطق - اساس سینمای ناطق در ثبت ارتعاشات صوتی

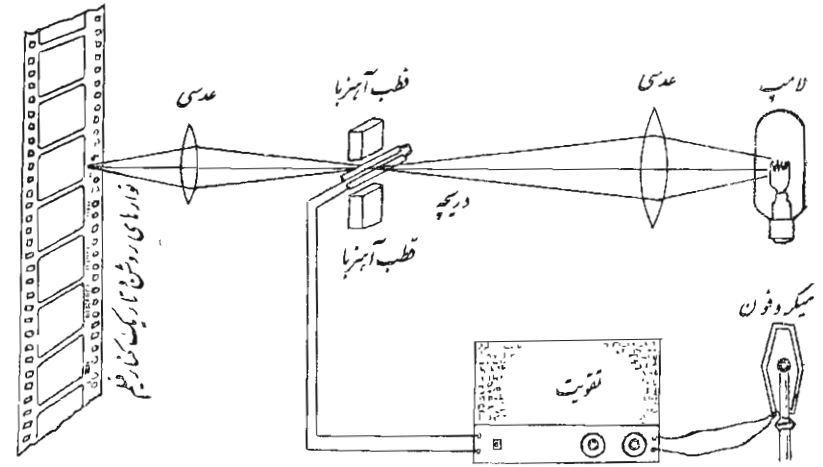
بر روی فیلم است. برای این کار نخست صوت را به وسیله میکروفون به الکتریسته تبدیل می کنند تا بدین وسیله جریان متغیری در مدار میکروفون تولید شود. این جریان پس از تقویت (به وسیله یک دستگاه لامپ) وارد اسیلوگراف می شود.



شکل ۲۵۹

اسیلوگراف بر اثر عبور جریان متغیر نوسان آغاز می کند. تواتر این نوسان برابر تواتر صوت است و دامنه آن بستگی به شدت وضعف

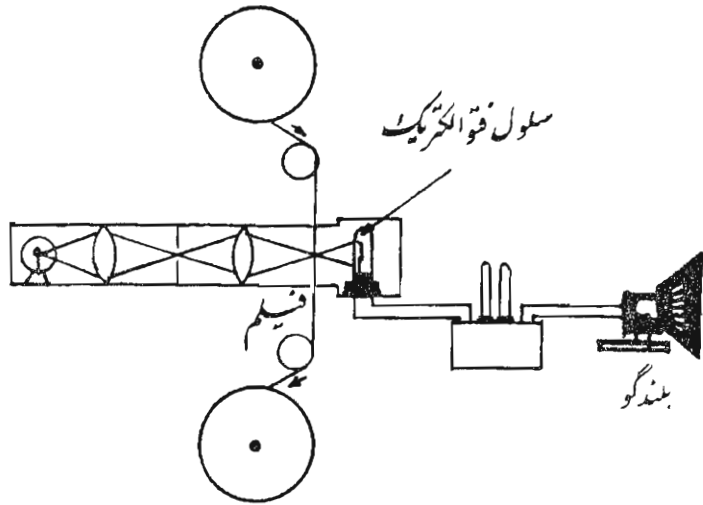
جریان دارد که آن هم به نوبه خود به شدت و ضعف صوت بستگی دارد .
حال با يك منبع روشنایی، يك باریکه نور را به وسیله يك عدسی
همگرا بر روی آینه اسیلوگراف می تابانند که پس از انعکاس بر روی حاشیه
فیلم می تابد و از نوسانهای اسیلوگراف عکسبرداری می شود (شکل ۲۵۹) .



شکل ۲۶۰

به جای اسیلوگراف می توان مطابق شکل ۲۶۰ جریان را از دو تیغه
مرتعش فازی که بین دو قطب يك آهتر بای طبیعی قرار گرفته اند عبور داد.
بین دو تیغه مرتعش شکاف کوچکی موجود است و يك باریکه نور را که
از چراغی بوجود می آید ، بر شکاف بین دو تیغه می تابانند . هنگامی که
در مقابل میکروفون صوتی تولید نمی شود ، شکاف بسته است و نور عبور
نمی کند . ولی وقتی که صوت در مقابل میکروفون تولید می شود ، بر حسب
تغییرات جریان میکروفون ، دو تیغه مرتعش می شود و فضای بین دو تیغه
کم یا بیش و با همان تواتر صوت باز می شود و در نتیجه نور کمتر یا
بیشتری از شکاف عبور کرده و بر روی حاشیه فیلم ثبت می شود .

برای برگرداندن صوت ، چنانکه در شکل ۲۶۱ دیده می شود ،
حاشیه فیلم را توسط يك لامپ پرنور روشن می کنند و بعد نوری را که
از آن می گذرد بريك سلول فتوالکتریک می تابانند . جریان متغیری که
در مدار این سلول ایجاد می شود از لحاظ تواتر و شدت نظیر صوت اولیه

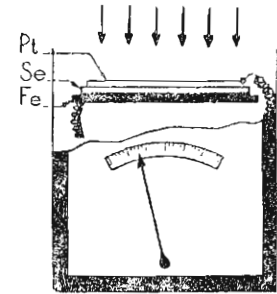


شکل ۲۶۱

است . این جریان را پس از تشدید وارد بلندگو می کنند و بدین صورت
صوتی مشابه با صوت اولیه ایجاد می شود .

۳ - نورسنج یا پوزومتر - در عکاسی ، برای تعیین مدت لازم برای
عکسبرداری (مدت زمان کوتاهی که دوربین باز و نور وارد دستگاه
می شود) از اسبابی به نام نورسنج استفاده می شود . در این دستگاه ،
برخلاف سلول فتوالکتریک ، مولد جریانی وجود ندارد و این دستگاه
در واقع يك پیل نوری است بدین معنی که اشعه نور از يك صفحه فوقه
العاده نازک (شفاف) طلا یا پلاتین (شکل ۲۶۲) عبور می کند و به يك

لایه از سلنیم که بر روی يك صفحه آهنی اندود شده است ، برخورد می کند . آزمایش نشان می دهد که اگر يك میلی ولت سنج بین دو صفحه انتهایی پلاتین و آهن قرار دهیم ، وجود نیروی محرکدای را نشان می دهد که با شدت نور زیاد می شود . این میلی ولت سنج را مستقیماً بر حسب مدت زمان عکاسی (زمان پوز) مدرج می کنند .

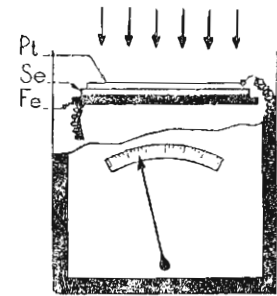


شکل ۲۶۲

تخلیه الکتریکی در گازها

۲۳۱- تخلیه در هوا - اختلاف پتانسیل انفجاری - هرگاه مدار بسته ای از يك پیل و يك آمپرسنج و يك چراغ و کلیدی تشکیل دهیم ، هنگامی که کلید بسته است چراغ روشن می شود و آمپرسنج عبور جریانی را نشان می دهد . ولی اگر کلید را باز کنیم ، چراغ خاموش می شود و آمپرسنج صفر را نشان می دهد . علت این است که هوا و بطور کلی گازها عایق الکتریسیته اند . ولی آزمایش نشان می دهد که اگر اختلاف پتانسیل بین دو نقطه به میزان کافی باشد جریان از هوا عبور می کند و این جریان به شکل جرقه صورت می گیرد . اینگونه جریان را که از يك گاز می گذرد **تخلیه الکتریکی** می نامند. جرقه الکتریکی معمولاً بین دو هادی نزدیک به هم تولید می شود . در پیش گفتیم که برای ایجاد جرقه هایی به طول چند سانتیمتر ، اختلاف پتانسیلهای فوق العاده زیاد در حدود $150000V$ لازم است . اختلاف پتانسیل لازم برای آنکه بین دو نقطه جرقه تولید شود ، اختلاف پتانسیل **انفجاری** نامیده می شود . آزمایش نشان می دهد که اختلاف پتانسیل انفجاری بستگی باجنس گاز و شرایط فیزیکی آن و شکل دو جسم هادی و فاصله آنها دارد. مرقدر فاصله بین دو نقطه زیادتر باشد ، اختلاف پتانسیل انفجاری بیشتر خواهد بود ولی متناسب با فاصله دو هادی نیست . آزمایش نشان می دهد

لایه از سلنیم که بر روی يك صفحه آهنی اندود شده است ، برخورد می کند . آزمایش نشان می دهد که اگر يك میلی ولت سنج بین دو صفحه انتهایی پلاتین و آهن قرار دهیم ، وجود نیروی محرکدای را نشان می دهد که با شدت نور زیاد می شود . این میلی ولت سنج را مستقیماً بر حسب مدت زمان عکاسی (زمان پوز) مدرج می کنند .



شکل ۲۶۲

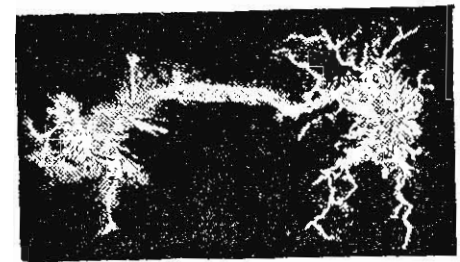
تخلیه الکتریکی در گازها

۲۳۱- تخلیه در هوا - اختلاف پتانسیل انفجاری - هرگاه مدار بسته ای از يك پیل و يك آمپرسنج و يك چراغ و کلیدی تشکیل دهیم ، هنگامی که کلید بسته است چراغ روشن می شود و آمپرسنج عبور جریانی را نشان می دهد . ولی اگر کلید را باز کنیم ، چراغ خاموش می شود و آمپرسنج صفر را نشان می دهد . علت این است که هوا و بطور کلی گازها عایق الکتریسیته اند . ولی آزمایش نشان می دهد که اگر اختلاف پتانسیل بین دو نقطه به میزان کافی باشد جریان از هوا عبور می کند و این جریان به شکل جرقه صورت می گیرد . اینگونه جریان را که از يك گاز می گذرد **تخلیه الکتریکی** می نامند . جرقه الکتریکی معمولاً بین دو هادی نزدیک به هم تولید می شود . در پیش گفتیم که برای ایجاد جرقه هایی به طول چند سانتیمتر ، اختلاف پتانسیلهای فوق العاده زیاد در حدود $150000V$ لازم است . اختلاف پتانسیل لازم برای آنکه بین دو نقطه جرقه تولید شود ، **اختلاف پتانسیل انفجاری** نامیده می شود . آزمایش نشان می دهد که اختلاف پتانسیل انفجاری بستگی با جنس گاز و شرایط فیزیکی آن و شکل دو جسم هادی و فاصله آنها دارد . مرقدر فاصله بین دو نقطه زیادتر باشد ، اختلاف پتانسیل انفجاری بیشتر خواهد بود ولی متناسب با فاصله دو هادی نیست . آزمایش نشان می دهد

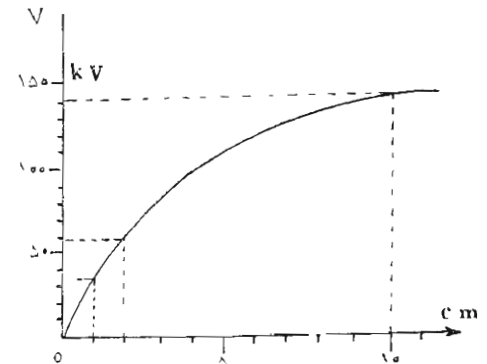
که در هوا، بین دو گلوله که فاصله شان يك ميليمتر است، اختلاف پتانسیل انفجاری ۵۰۰۰V است. در صورتی که اگر فاصله ۱۰mm شود، اختلاف پتانسیل انفجاری ۳۲۰۰۰V خواهد بود. اختلاف پتانسیل



شکل ۲۶۳



شکل ۲۶۴



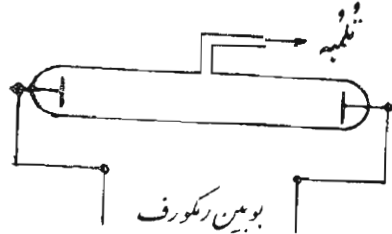
شکل ۲۶۵

طرفی نیز دارد (شکلای ۲۶۳ و ۲۶۴). شکل ۲۶۵ منحنی نمایش تغییرات پتانسیل انفجاری را (بر حسب kV) با تغییر فاصله دو هادی

(بر حسب cm) نشان می دهد. مثلاً در هوای ۱۵° و فشار ۷۶ سانتیمتر جیوه، نتایج زیر بدست آمده است:

۱۲	۱۰	۲	۱	۵/۰	۱/۰	d (سانتیمتر)
۱۵۳۰۰۰	۱۴۲۰۰۰	۵۹۰۰۰	۳۲۰۰۰	۱۸۰۰۰	۷۴۹۰۰	(ولت)

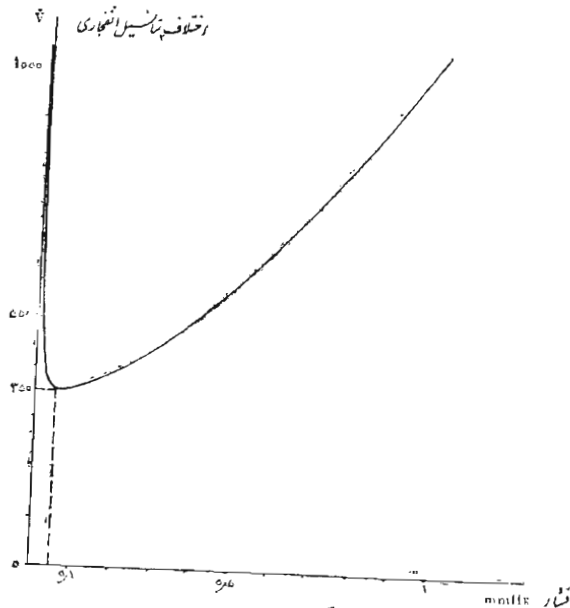
۲۳۲- تخلیه الکتریکی در گازهای رقیق- اختلاف پتانسیل



شکل ۲۶۶

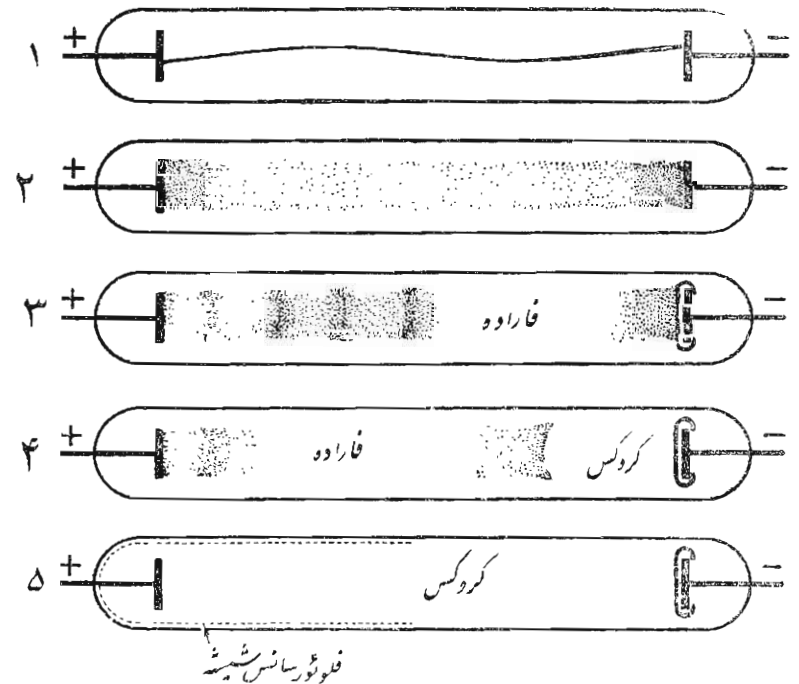
لازم برای آنکه تخلیه بین دو هادی انجام گیرد، بستگی به فشار گازی دارد که دو هادی در آن قرار گرفته اند. هرگاه این دو هادی را در لوله ای قرار دهیم (شکل ۲۶۶) و بتدریج هوای لوله را تخلیه

کنیم، و فاصله دو هادی را ثابت نگاه داریم، مشاهده می شود که اختلاف



شکل ۲۶۷

پتانسیل انفجاری با کم شدن فشار تنزل می‌کند و به مینیمی می‌رسد که در فشار $\frac{1}{4}$ میلیمتر جیوه است و برای فشارهای کمتر، اختلاف پتانسیل تخلیه سرعت ترقی می‌کند بطوری که در فشارهای کمتر از $\frac{1}{1000}$ میلیمتر جیوه دیگر تخلیه صورت نمی‌گیرد. منحنی شکل ۲۶۷ تغییرات اختلاف پتانسیل تخلیه را با تغییرات فشار نشان می‌دهد (برای فاصله ۱۰ cm).



شکل ۲۶۸

آزمایش نشان می‌دهد که شکل تخلیه نیز بستگی به فشار درون لوله دارد (شکل ۲۶۸). اگر فشار داخل لوله ۱۰۰ میلیمتر جیوه باشد، تخلیه به شکل جرقه‌ای است که دو الکترود را که به قطبهای ثانویه بوبین رومکورف مربوط شده‌اند به یکدیگر متصل می‌سازد (شکل ۲۶۸ - ۱). اگر فشار

۱۰ میلیمتر جیوه باشد، نورضعیفی تقریباً تمام لوله را پر می‌کند و رنگ آن بستگی به جنس گاز دارد (شکل ۲۶۸ - ۲)، مثلاً با گاز نئون قرمز رنگ و با هوا سبز است. اگر فشار یک میلیمتر جیوه باشد، یک ستون

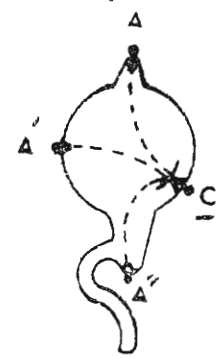


نورانی لایه دار در لوله ایجاد می‌شود (در طول این ستون و به فواصل تقریباً مساوی لایه‌های پر نورتری دیده می‌شود). این ستون را که یک سر آن چسبیده به قطب مثبت است ستون مثبت می‌نامند (شکل ۲۶۸ - ۳). اگر لوله دارای قسمت باریکی باشد، تراکم جریان و در نتیجه شدت نور در این قسمت لوله خیلی بیشتر است (شکل ۲۶۹). از تجزیه این نور به وسیله اسپکتروسکوپ، طیف خطی گاز درون لوله بدست می‌آید. این نور در بعضی از شیشه‌ها فلوئورسانس پدید می‌آورد و نور سبزرنگی در آنها ایجاد می‌کند. ستون مثبت در حوالی کاتد از بین می‌رود و لیکن

اطراف کاتد را یک غلاف نورانی فرا می‌گیرد. بین شکل ۲۶۹

کاتد و ستون مثبت فضای تاریکی وجود دارد که موسوم به فضای تاریک فاراده است. این لوله‌ها را لوله‌های **گیمسیر** نیز می‌نامند که برای روشنایی و اعلانات تبلیغاتی و جز اینها بکار می‌برند. اختلاف پتانسیل لازم به وسیله مبدلی فراهم می‌شود. ستون مثبت همواره از آنند به کاتد می‌رود. این موضوع را می‌توان به وسیله لوله‌ای تحقیق کرد که چند الکترود مانند A و A' و A'' داشته باشد و بتوان بدخواه هریک از آنها را آنند اختیار کرد (شکل ۲۷۰). ستون مثبت مانند جریانی که از آنند

به کاتد برود به وسیله يك آهنربا منحرف می شود. اگر فشار به يك دهم میلیمتر جیوه برسد ، مشاهده می شود که طول ستون مثبت کوتاهتر می شود و پس از این ستون، فضای تاریک فاراده F و پس از آن يك ناحیه روشن دیگر بوجود می آید که به نور منفی موسوم است و از کاتد با فضای تاریک دیگری موسوم به فضای تاریک کروکس جدا شده است (شکل ۲۶۸-۴). اگر به کم کردن فشار گاز درون لوله ادامه دهیم ، مشاهده می کنیم که بتدریج ستون مثبت باز هم کوتاهتر می شود و در فشار در حدود يك صدم میلیمتر جیوه، لوله کاملاً تاریک می شود یعنی فضای تاریک کروکس تمام لوله را پر می کند و از این پس تخلیه به شکل اشعه کاتدیک انجام می گیرد که جریان الکترونها می باشند (شکل ۲۶۸-۵).

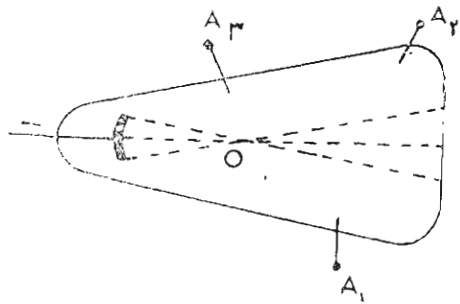


شکل ۲۷۰

اشعه کاتدیک و اشعه X

۲۳۳- اشعه کاتدیک - چنانکه گفتیم ، اشعه کاتدیک وقتی ایجاد می شود که فشار داخل لوله کمتر از يك صدم میلیمتر جیوه باشد. این اشعه از الکترونهايي تشکیل شده است که از کاتد جدا شده رو به آند می روند و چون فشار گاز در داخل لوله خیلی کم است ، بیشتر این الکترونها بدون برخورد با مولکولهای گاز ، به خط راست راه خود را با سرعت زیاد ادامه می دهند. لوله ای که اشعه کاتدیک در آن تولید می شود به لوله کروکس (Crookes) موسوم است .

۲۳۴- خواص اشعه کاتدیک - ۱ - اشعه کاتدیک بر روی بعضی از اجسام ایجاد فلورئورسانس می کنند- اشعه کاتدیک به چشم دیده نمی شود، ولی در برخورد با بعضی از



شکل ۲۷۱

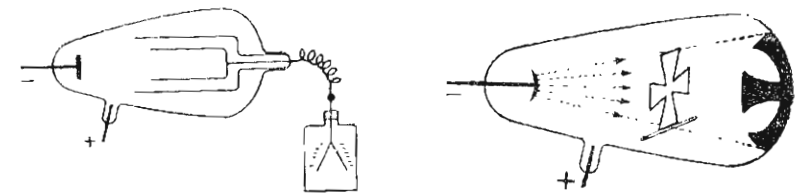
مواد، مخصوصاً شیشه، ایجاد فلورئورسانس می کند، چنانکه اگر لوله کروکسی (شکل ۲۷۱) را بکار بیندازیم ، اشعه کاتدیک که به جدار روبروی کاتد می تابند در این

قسمت شیشه را به رنگ سبز در می آورند و از این روست که می توان از مسیر آنها آگاه شد . همچنین این اشعه صفحه ای از پلاتینو سیانور باریم $[Pt(CN)_4Ba]$ را سبز و تنگستات کلسیم (WO_4Ca) را آبی می کنند .

۲- اشعه کاتدیک عمود بر سطح کاتد خارج می شوند و مسیر آنها به موقعیت آند بستگی ندارد- برای آزمایش لوله ای اختیار می کنیم که دارای چند الکتروود (A_1 و A_2 و A_3) باشد که بتوان هر يك از آنها را آند اختیار کرد . مشاهده می شود که همواره همان قسمت از جدار شیشه که درست در مقابل کاتد است به رنگ سبز در می آید و وضع این قسمت بستگی به جای آند ندارد ، و بعلاوه آزمایش نشان می دهد که اشعه عموداً از سطح کاتد خارج می شود، چه اگر کاتد کروی باشد (آینه مقعر) اشعه در مرکز O این کره متمرکز می شود (شکل ۲۷۱).

۳- اشعه کاتدیک به خط راست منتشر می‌شوند و از اجسام جامد عبور نمی‌کنند. اگر در مسیر اشعه کاتدیک صلیبی از آلومینیم بگذاریم، بر روی جدار مقابل، سایه صلیب که شبیه خود صلیب است دیده می‌شود (شکل ۲۷۲). وجود سایه نشان می‌دهد که اشعه کاتدیک از آلومینیم نمی‌تواند عبور کند و شباهت سایه به خود جسم می‌رساند که اشعه کاتدیک به خط راست منتشر می‌شود.

۴- اشعه کاتدیک از دانه‌های الکتریسته منفی (الکترون) تشکیل شده‌اند. برای تحقیق این مطلب کافی است که اشعه کاتدیک را وارد استوانه‌ای کنیم که به گلوله یک الکتروسکوپ وصل است. به وسیله این الکتروسکوپ می‌توان تحقیق کرد که در استوانه مقداری الکتریسته منفی جمع می‌شود (شکل ۲۷۳).

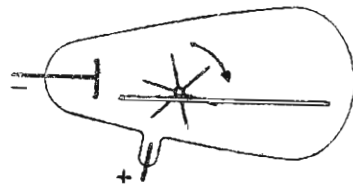


شکل ۲۷۲

شکل ۲۷۳

۵- اشعه کاتدیک دارای انرژی است. درون یک لوله کروکس، بین کاتد و آنند آن، چرخ کوچک و سبکی که بتواند به دور یک محور قائم بچرخد نصب می‌کنیم (شکل ۲۷۴). چون لوله را بکار بیندازیم مشاهده می‌کنیم که چرخ بدوران درمی‌آید و اگر جای کاتد و آنند را بایکدیگر عوض کنیم، جهت دوران چرخ نیز تغییر می‌کند. همچنین

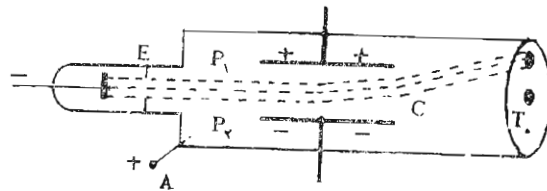
اگر در مرکز یک کاتدکروی (مقعر) O یک قطعه پلاتین بگذاریم، مشاهده



شکل ۲۷۴

می‌شود که قطعه پلاتین بر اثر برخورد اشعه کاتدیک با آن گرم و سرخ و حتی گاهی ذوب می‌شود. این انرژی همان انرژی جنبشی الکترونهاي اشعه است که با سرعت زیاد در حرکتند.

۶- اشعه کاتدیک به وسیله یک میدان الکتریکی منحرف می‌شوند. هرگاه در یک لوله کروکس دسته اشعه را به وسیله صفحه سوراخدار یا محدود کنیم تا دسته باریکی ایجاد شود و آن را از فضای بین دو جوشن خازن C بگذرانیم، ملاحظه می‌شود در ابتدا که خازن خالی است لکه کوچک سبزرنگی در نقطه T جدار لوله تشکیل می‌شود. ولی چون خازن

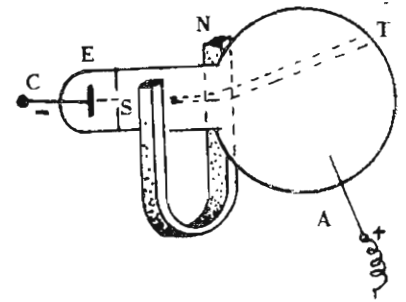


شکل ۲۷۵

را پر کنیم، این لکه منحرف می‌شود و به طرف جوشن P_1 که بار مثبت دارد متمایل می‌گردد (شکل ۲۷۵). از این آزمایش نیز نتیجه می‌شود که اشعه کاتدیک از الکترونهاي تشکیل شده است که بار منفی دارند.

۷- میدان مغناطیسی اشعه کاتدیک را منحرف می‌کند. هرگاه لوله کروکس را میان دو قطب یک آهنربای نعلی شکل با دهانه گشاد (شکل ۲۷۶) قرار دهیم، ملاحظه خواهیم کرد که اشعه کاتدیک در این حالت

نیز منحرف می‌شوند. در اینجا نیز می‌توان جهت انحراف را پیش بینی کرد، چه این اشعه که از الکترون‌ها تشکیل شده است و بار منفی دارد معادل جریانی است که از T به C (بر خلاف سوی واقعی حرکت الکترون‌ها) برود. چون این جریان

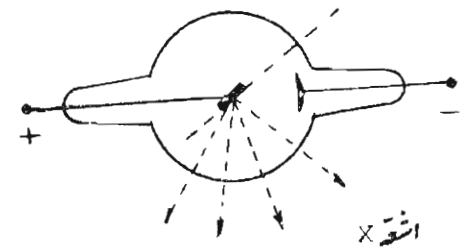


شکل ۲۷۶

در میدان مغناطیسی آهنربا واقع شود، تحت تأثیر نیروی الکترومغناطیسی قرار می‌گیرد که سوی آن به وسیله قاعده سه انگشت دست چپ بدست می‌آید (اگر شست در سوی میدان و انگشت سبابه در سوی جریان قرار گیرد، انگشت وسطای خم شده سوی نیرو یعنی سوی انحراف لکه T را مشخص می‌کند).

۸- اشعه کاتدیک در برخورد با مانع ایجاد اشعه X می‌کند- هرگاه

در مسیر اشعه کاتدیک، صفحه‌ای از پلاتین یا تنگستن بگذاریم (شکل ۲۷۷)، اشعه کاتدیک در برخورد با این فلزها اشعه جدیدی



شکل ۲۷۷

تولید می‌کند که از جنس اشعه تابشی با طول موج خیلی کوتاه است. این اشعه را اشعه X می‌نامند که بعداً به ذکر خواص آنها خواهیم پرداخت.

۹- اشعه کاتدیک سمازها را هادی می‌کند - يك خازن پر شده، که عایق آن گاز است، بر اثر تابش این اشعه تخلیه می‌شود.

۲۳۵- جنس اشعه کاتدیک - چنانکه گفته شد اشعه کاتدیک از دانه‌های کوچکی موسوم به الکترون یا رنگاتون تشکیل شده است که بشدت از کاتد رانده می‌شوند و سرعت زیادی پیدا می‌کنند. این دانه‌ها که همانند یکدیگرند دارای جرم والکتریسیته هستند. جرم هر الکترون 9×10^{-28} گرم و بار برقی آن 1.59×10^{-19} کولن است. سرعت این الکترون‌ها بستگی به فشار گاز درون لوله و اختلاف پتانسیل بین الکترودها دارد. این سرعت در لوله‌های معمولی در حدود 200000 km/s است و حتی گاهی به 300000 km/s می‌رسد، بطوری که الکترون‌ها می‌توانند از ورقه‌های نازک عبور کنند. جریان الکتریسیته در فلزها، در واقع حرکت همین الکترون‌هاست. چنانکه دیدیم از طرق دیگر نیز می‌توان الکترون‌های آزاد بدست آورد. بعضی از اجسام از قبیل کربن، پلاتین یا تنگستن چون به حالت التهاب در آیند عده زیادی الکترون از خود خارج می‌سازند. از همین روش است که امروز برای ایجاد اشعه X استفاده می‌کنند.

۲۳۶- اشعه X یا اشعه رنتگن (Roentgen) - طرز ایجاد اشعه X - برای ایجاد اشعه X کافی است که در مسیر اشعه کاتدیک (لوله کروکس) صفحه‌ای از پلاتین یا تنگستن قرار داد. این صفحه را آنتی کاتد می‌نامند (شکل ۲۷۸).

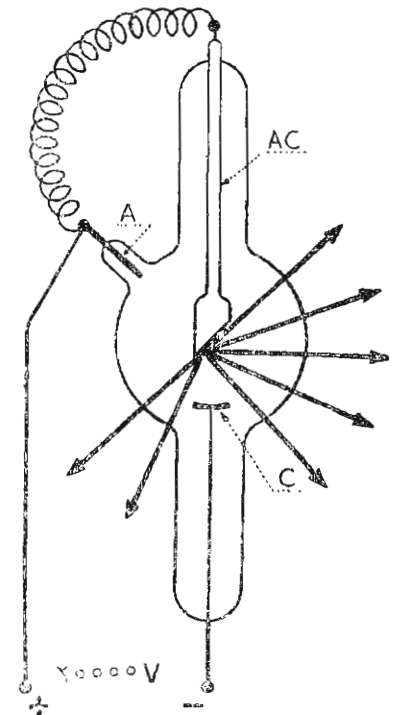
دستگاه قدیم (کاتد سرد) تشکیل شده است از يك لوله کروکس که آنتی کاتدی از تنگستن دارد (شکل ۲۷۸). کاتد به شکل آینه مقعری است که مرکز آن روی آنتی کاتد است و اشعه کاتدیک را با سرعت زیادی بر روی آنتی کاتد که زاویه 45° با محور لوله می‌سازد متمرکز می‌کند.

آنتی کاند از خود اشعه X تابش می کند و چون خیلی گرم می شود ، باید آن را از فلزی اختیار کرد که دیرگداز باشد وبعلاوه باید آن را به وسیله ای سرد کرد .

دستگاه جدید (کاند ملتیب)-

لوله کولیدج (Coolidge)- امروز اشعه X را به وسیله لوله کولیدج بدست می آورند . لوله کولیدج شامل قسمتهای زیر است (شکل ۲۷۹):

۱- سیمی از تنگستن (F) که بد وسیله یک باتری چند ولتی B به حالت التهاب در می آید و از خود عده زیادی الکترون تابش می کند . این سیم را درون یک کاند



شکل ۲۷۸

استوانه ای گذاشته اند تا الکترونها به سوی آنتی کاند هدایت شوند .

۲- آنتی کاند M که صفحه ای است از پلاتین یا تنگستن که با محور لوله زاویه 45° می سازد و بد وسیله جریان آب یا جریان هوا ، خنک می شود . آنتی کاند ضمناً آند نیز هست .

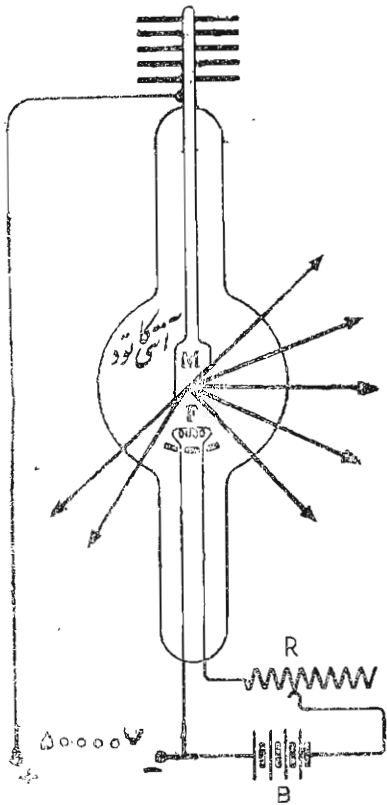
۳- یک مبدل افزاینده اختلاف پتانسیل زیادی در حدود ۵۰۰۰۰ الی ۱۰۰۰۰۰ ولت بین آند و کاند برقرار می کند . در نتیجه الکترونها یی که به وسیله سیم ملتیب تابش می شوند ، با سرعت زیاد به سوی آنتی کاند

حرکت می کنند و بر اثر برخورد با آنتی کاند ، اشعه X از آنها در تمام جهات جلو M تابش می شود .

۲۳۷- خواص اشعه X - اشعه X از لحاظ جنس کاملاً با اشعه

کاتدیک متفاوت و دارای خواص زیر است :

۱- اشعه X از جنس اشعه نور است - طول موج اشعه X از اشعه نور خیلی کوتاهتر و بین 0.000025μ و 0.00005μ است . طول موج اشعه X را به علت کوچکی فوق العاده آن بر حسب آنکستروم بیان می کنند . با این واحد طول موج اشعه X بین 20 و $0.05\text{\AA}$ است .



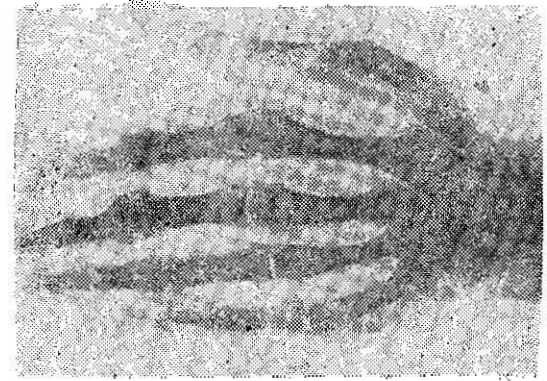
شکل ۲۷۹

۲- اشعه X در اغلب اجسام فلوئورسانس تولید می کند - هرگاه در مسیر اشعه X یک صفحه سولفور

روی قرار دهیم ، صفحه روشن می شود و نور سبزی تابش می کند . در اینجا نیز رنگ نوری که تابش می شود بستگی به جنس جسم دارد ، مثلاً بر اثر اشعه X پلاتینوسیانور باریم نور سبز رنگ و تنگستات کادمیم (WO_4Cd) نور آبی رنگ تابش می کند .

۳- قابلیت نفوذ اشعه X فوق العاده زیاد است و از اغلب مواد عبور

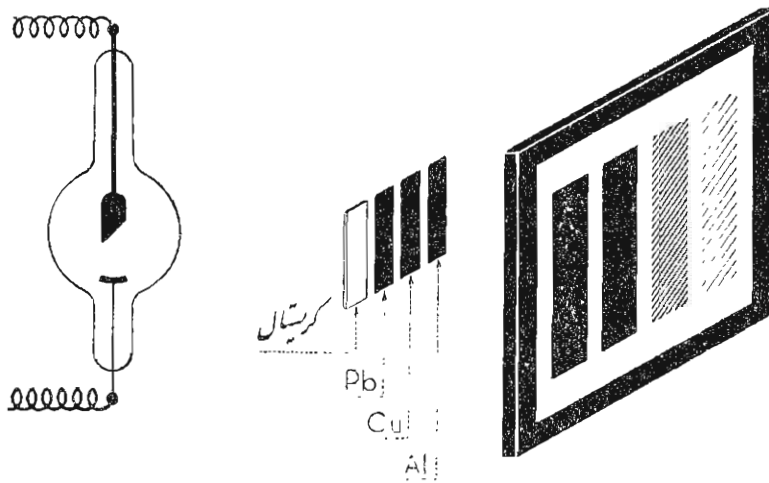
می کند - هرگاه دست خود را در مسیر اشعه X و جلو يك صفحه پلاتینو سیانور باریم قرار دهیم ، ملاحظه می شود که فقط سایه استخوانهای دست بطور مشخص بر روی صفحه



شکل ۲۸۰

می افتد (شکل ۲۸۰). علت این است که اشعه X ، بدون آنکه چندان جذب شود ، از گوشت عبور می کند در حالی که از استخوانها عبور نمی کند. قابلیت جذب اشعه X بستگی با جنس مواد و طول موج اشعه دارد . بطور کلی عناصری که جرم اتمی آنها زیاد است ، اشعه X را بیشتر از عناصر سبک جذب می کنند و جسم مرکبی که در مولکول آن اتم سنگین باشد ، اشعه X را بیشتر جذب می کند . می بینیم که قابلیت جذب يك ماده بستگی به اتمهای مولکول آن دارد . هوا و شیشه و کاغذ که مولکولهای آنها از اتمهای خیلی سبک ساخته شده ، کاملاً شفافند . قابلیت جذب چوب و گوشت نیز فوق العاده کم است در صورتی که قابلیت جذب استخوانها ، به علت وجود عنصر کلسیم و فلزهایی با جرم اتمی بزرگ ، زیاد است . مثلاً قابلیت جذب سرب فوق العاده زیاد است بطوری که يك ورقه ۳ سانتیمتری سرب مانع عبور اشعه X می شود. همچنین کریستال که برای

نور کاملاً شفاف است ، به علت دارا بودن سیلیکات سرب برای اشعه X کاملاً کدر است . الماسهای مصنوعی برای اشعه X کدرند در صورتی که الماس طبیعی شفاف است . شکل ۲۸۱ قابلیت نفوذ اشعه X را در اجسام مختلف نشان می دهد . چنانکه گفتیم ، قابلیت نفوذ اشعه X بستگی



شکل ۲۸۱

به طول موجشان دارد . اشعه X با طول موج خیلی کوتاه را ، که قابلیت نفوذشان زیاد است ، اشعه سخت می نامند . برعکس اشعه X با طول موج بزرگ را ، که قابلیت نفوذشان کمتر است ، اشعه نرم می نامند .

۴- اشعه X بر روی فیلم عکاسی اثر می کند - هرگاه در رادیو -

سکوپی يك قسمت از بدن ، به جای صفحه پلاتینو سیانور باریم ، يك صفحه حساس عکاسی قرار دهیم ، پس از ظهور مشاهده می شود که صفحه حساس متأثر شده است . بر روی کلیشه منفی می توان تصویر عضو مورد آزمایش را دید (رادیوگرافی) .

۵ - اشعه X بر روی نسوج حیوانی اثر می‌کند - نسوج بدن اگر مدت زیادی تحت تأثیر اشعه X قرار گیرند ، فاسد می‌شوند ، بدین معنی که سوختگیهای درونی و خطرناکی در آنها ایجاد می‌شود . اثر اشعه X بر روی سلولهایی که در حال نمو و تولید مثل هستند ، زیاده‌تر است . برای همین است که اشعه X را در معالجه سرطان بکار می‌برند ، چه این اشعه سلولهای سرطانی را که جوان و در حال رشدند ، زودتر از سلولهای سالم فاسد می‌کند . اشخاصی که دائماً با اشعه X سر و کار دارند باید به وسیله پوششهای سربی خود را از آسیب اشعه X محفوظ دارند .

۲۳۸ - موارد استعمال اشعه X در پزشکی و صنعت رادیوسکوپی که عبارت از این است که جسمی را در مسیر اشعه X بگذاریم و سایه آن را بر يك صفحه فلوئورسان پلاتینوسیانور باریم بررسی کنیم . چنانکه در آزمایش دست دیده شد ، استخوانها ایجاد سایه و گوشت ایجاد سایه خفیفی می‌کنند و بدین وسیله شکستگی استخوانها یا وجود يك جسم خارجی (مانند سوزن) در بدن تشخیص داده می‌شود . در مورد بیماریهای جهاز هاضمه ، برای رادیوسکوپی از روده یا معده ، قبلاً بیمار مقداری محلول سولفات باریم می‌آشامد و در نتیجه معده ورود بیمار برای اشعه X کدر می‌شوند و سایه آنها بر صفحه می‌افتد . رادیوگرافی عکسبرداری از اعضای درون بدن است . برای این کار به جای صفحه پلاتینوسیانور باریم يك صفحه عکاسی یا فیلم می‌گذارند . در صنعت ، اشعه X را برای تشخیص معایب و ناهمگنیهای قطعات فلزی در ریخته‌گری بکار می‌برند . مثلاً شکستگی در يك قطعه فاز لکه‌روشنی ایجاد می‌کند .

فصل بیست و پنجم

ساختمان اتم

۲۳۹ - فرضیه اتمی - از آزمایشهایی که در قسمتهای پیش دیدیم و از آزمایشهای گوناگون دیگر به این نتیجه رسیده‌اند که الکترون در ساختمان همه اتمهای عناصر مختلف وجود دارد . الکترونهايي که از مواد متفاوت و با روشهای مختلف بدست آمده‌اند همه دارای خواص مشترك و یکسان بوده‌اند . از این رو تامسن (J.J. Thomson) فرضیه الکترونی را در سال ۱۸۸۱ بیان کرد . بنابراین فرضیه همه اتمها از ذره‌های مشابهی تشکیل یافته‌اند که یکی از آنها الکترون و دیگری پروتون است . الکترون بار منفی و پروتون بار مثبت دارد که اثر بار منفی الکترون را خنثی می‌کند (چه اتم خنثاست و دارای آثار الکتریکی نیست) . وجود ذره‌های الکتریسته مثبت را در سال ۱۸۸۶ گلدشتین (Goldstein) به توسط اشعه مثبت به اثبات رساند .

۲۴۰ - اشعه مثبت یا اشعه آندی - در يك لوله کروکس هنگام تخلیه ، الکترونها با برخورد شدید بعضی از اتمهای گاز را یونیزه می‌کنند . یونهای مثبت به سوی کاتد و الکترونها به سوی آند می‌روند . اگر فشار گاز در لوله کمتر از $\frac{1}{100}$ میلیمتر جیوه باشد و تخلیه به صورت اشعه کاتدیک انجام شود ، بیشتر یونهای مثبت ، بدون برخورد با الکترونهاي

۵ - اشعه X بر روی نسوج حیوانی اثر می‌کند - نسوج بدن اگر مدت زیادی تحت تأثیر اشعه X قرار گیرند ، فاسد می‌شوند ، بدین معنی که سوختگیهای درونی و خطرناکی در آنها ایجاد می‌شود . اثر اشعه X بر روی سلولهای که در حال نمو و تولید مثل هستند ، زیادتر است . برای همین است که اشعه X را در معالجه سرطان بکار می‌برند ، چه این اشعه سلولهای سرطانی را که جوان و در حال رشدند ، زودتر از سلولهای سالم فاسد می‌کند . اشخاصی که دائماً با اشعه X سر و کار دارند باید به وسیله پوششهای سربی خود را از آسیب اشعه X محفوظ دارند .

۲۳۸ - موارد استعمال اشعه X در پزشکی و صنعت
رادیوسکوپی که عبارت از این است که جسمی را در مسیر اشعه X بگذاریم و سایه آن را بر يك صفحه فلوئورسان پلاتینوسیانور باریم بررسی کنیم . چنانکه در آزمایش دست دیده شد ، استخوانها ایجاد سایه و گوشت ایجاد سایه خفیفی می‌کنند و بدین وسیله شکستگی استخوانها یا وجود يك جسم خارجی (مانند سوزن) در بدن تشخیص داده می‌شود . در مورد بیماریهای جهاز هاضمه ، برای رادیوسکوپی از روده یا معده ، قبلاً بیمار مقداری محلول سولفات باریم می‌آشامد و در نتیجه معده ورود بیمار برای اشعه X کدر می‌شوند و سایه آنها بر صفحه می‌افتد .
رادیوگرافی عکسبرداری از اعضای درون بدن است . برای این کار به جای صفحه پلاتینوسیانور باریم يك صفحه عکاسی یا فیلم می‌گذارند . در صنعت ، اشعه X را برای تشخیص معایب و ناهمگنیهای قطعات فلزی در ریخته‌گری بکار می‌برند . مثلاً شکستگی در يك قطعه فلز لکه‌روشنی ایجاد می‌کند .

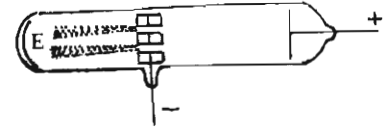
فصل بیست و پنجم

ساختمان اتم

۲۳۹ - فرضیه اتمی - از آزمایشهایی که در قسمتهای پیش دیدیم و از آزمایشهای گوناگون دیگر به این نتیجه رسیده‌اند که الکترون در ساختمان همه اتمهای عناصر مختلف وجود دارد . الکترونهاي که از مواد متفاوت و باروشهای مختلف بدست آمده‌اند همه دارای خواص مشترك و یکسان بوده‌اند . از این رو تامسن (J.J. Thomson) فرضیه الکترونی را در سال ۱۸۸۱ بیان کرد . بنا بر این فرضیه همه اتمها از ذره‌های مشابهی تشکیل یافته‌اند که یکی از آنها الکترون و دیگری پروتون است . الکترون بار منفی و پروتون بار مثبت دارد که اثر بار منفی الکترون را خنثی می‌کند (چه اتم خنثاست و دارای آثار الکتریکی نیست) . وجود ذره‌های الکتریسته مثبت را در سال ۱۸۸۶ گلدشتین (Goldstein) به توسط اشعه مثبت به اثبات رساند .

۲۴۰ - اشعه مثبت یا اشعه آندی - در يك لوله کروکس هنگام تخلیه ، الکترونها با برخورد شدید بعضی از اتمهای گاز را یونیزه می‌کنند . یونهای مثبت به سوی کاتد و الکترونها به سوی آند می‌روند . اگر فشار گاز در لوله کمتر از $\frac{1}{10}$ میلیمتر جیوه باشد و تخلیه به صورت اشعه کاتدیك انجام شود ، بیشتر یونهای مثبت ، بدون برخورد با الکترونهاي

دیگر، بد کاند می‌رسند. اگر در جنین لوله‌ای بر روی کاند سوراخهای کوچکی تعبید شده باشد و الکترودها مقابل هم باشند (شکل ۲۸۲)، مشاهده می‌شود که از این سوراخها اشعه کم نوری در سوی مخالف سوی حرکت اشعه کاندیک خارج می‌شود.



شکل ۲۸۲

این اشعه را **اشعه مثبت** یا **اشعه آندی** می‌نامند. این اشعه از دانهایی که الکتریسته مثبت دارند تشکیل شده است. جرم این دانها تقریباً برابر با جرم اتم گاز داخل لوله است. این دانها در واقع همان اتمهای یونیزه شده‌اند و در میدان مغناطیسی و الکتریکی منحرف می‌شوند.

از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که اتم هر عنصر از اجتماع الکترونها و ذره‌های دیگری که الکتریسته مثبت دارند تشکیل شده است و تقریباً تمام جرم اتم مربوط به ذره‌هایی است که الکتریسته مثبت دارند. در سال ۱۹۱۱ **راترفرد (Rutherford)** ثابت کرد که ذرات مثبت خیلی کوچکتر از خود اتم هستند و در قسمت مرکزی اتم که آن را **هسته** اتم می‌نامند، جمع شده‌اند. او با آزمایش تاریخی خود توانست مقدار بار هسته مرکزی اتم و در نتیجه عدده الکترونها موجود در اطراف هسته مرکزی را بدست آورد. می‌دانیم که اتم از لحاظ الکتریکی خنثاست و بارهای مثبت و منفی آن با هم برابرند. پس اگر q بار هسته مرکزی و e بار يك الكترون باشد، عدده الکترونهاي يك اتم از رابطه $\frac{q}{e}$ بدست می‌آید. در نتیجه این آزمایشها و آزمایشهای دیگر، امروز فرضیه اتمی چنین بیان می‌شود:

هر اتم از دو قسمت تشکیل شده است: یکی هسته مرکزی که الکتریسته مثبت دارد و تقریباً تمام جرم اتم در آنجا متمرکز است، و دیگری الکترونها که الکتریسته منفی دارند و با سرعت زیاد به دور هسته اتم می‌چرخند. مقدار الکتریسته مثبت هسته يك اتم خنثی با مجموع الکتریسته منفی الکترونهاي آن برابر است.

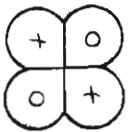
هسته مرکزی اتم نیز یکپارچه نیست، بلکه از دو نوع ذره‌های مشابه به نام **پروتون** و **نوترون** تشکیل شده است. ذره پروتون که جرم آن تقریباً برابر با جرم اتم ئیدروژن و ۱۸۴۰ برابر جرم الکترون است باری مثبت دارد که از لحاظ مقدار مساوی با بار الکترون است. ذره نوترون بار الکتریکی ندارد (خنثی) و جرم آن تقریباً برابر با جرم پروتون است. چون بارهای الکترون و پروتون از لحاظ مقدار برابرند، در يك اتم خنثی عدده الکترونها برابر با عدده پروتونها هستند است.

جنس يك عنصر فقط بستگی با عدده پروتونهاي هسته دارد. مثلاً همه اتمهای ئیدروژن يك پروتون و همه اتمهای سدیم یازده پروتون دارند. اگر به وسیله‌ای عدده پروتونهاي يك اتم را کم یا زیاد کنیم، جنس آن اتم تغییر خواهد کرد، در صورتی که با تغییر عدده الکترونها یا نوترونهاي يك اتم جنس آن تغییر نخواهد کرد. می‌بینیم که هر عنصر با عدده پروتونهاي آن مشخص می‌شود که آن را **شماره یا عدد اتمی** **عنصر** می‌نامند و با Z نشان می‌دهند. اکنون ببینیم که حرکت الکترونها به دور هسته مرکزی چگونه است.

۲۴۰- هسته مرکزی اتم - چنانکه گفته شد، هسته مرکزی اتم از دو نوع ذره به نام **پروتون** و **نوترون** تشکیل شده است، هر ذره پروتون مانند هسته مرکزی اتم ئیدروژن است و جرم آن ۱۸۴۰ مرتبه

از جرم الکترون بیشتر و دارای بار الکتریکی مثبت است که مقدار آن از حیث قدر مطلق با بار يك الکترون برابر است. نوترونها ذره‌هایی هستند که الکتریسیته ندارند یعنی خنثی هستند و جرم هر نوترون با جرم يك پروتون برابر است. آزمایش نشان داده است که جزئیدروژن معمولی، در هسته همه آنها يك یا چند نوترون وجود دارد و عده اینها برابر و اکثراً بیشتر از عده پروتونهای هسته است و هر قدر به طرف عناصر سنگین‌تر برویم اختلاف عده پروتونها و نوترونها بیشتر می‌شود.

جرم اتم يك عنصر عبارت از مجموع جرم پروتونها و نوترونهای آن است (از جرم الکترونهای اتم به علت فوق‌العاده كوچك بودن صرف نظر می‌کنیم). در فیزيك اتمی برای مقایسه جرم اتمها، جرم يك پروتون را به عنوان واحد جرم اختیار کرده و آن را واحد جرم اتمی می‌نامند. جرم يك اتم را، بر حسب این واحد، جرم اتمی آن اتم نامند. آشکار است که با این واحد، جرم يك اتم باید يك عدد صحیح یعنی برابر با مجموع عده پروتونها و نوترونهای هسته باشد. در فیزيك اتمی مجموع عده پروتونها و نوترونهای هسته يك اتم را **عدد یا شماره جرمی** اتم می‌نامند و آن را با A نشان می‌دهند. واضح است که عده نوترونهای يك اتم برابر $A - Z$ خواهد بود. مثلاً هسته اتم هلیم (شکل ۲۸۳) با شماره اتمی $Z = 2$ و عدد جرمی $A = 4$ ، دو پروتون و دو نوترون دارد و اتم کربن با شماره اتمی $Z = 6$ شش الکترون و شش پروتون دارد، و چون عدد جرمی آن ۱۲ است، ۶ نوترون دارد.



He^{++}

شکل ۲۸۳

بطور کلی برای عنصری که شماره اتمی آن Z و شماره جرمی آن A (جرم اتمی) باشد:

اولاً عده الکترونهای آن Z است؛

ثانیاً هسته مرکزی آن از Z پروتون و

$$N = A - Z$$

نوترون تشکیل شده است.

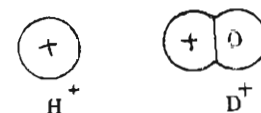
۲۴۱- ایزوتوپها - از آنچه گفته شد معلوم می‌شود که جرم اتمی همه عناصر، بر حسب واحد اتمی جرم، باید عدد صحیح باشد، و حال آنکه همواره چنین نیست. مثلاً جرم اتمی عنصر کربن ۳۵/۵ است. علت این امر وجود ایزوتوپهاست. بحث در باره ایزوتوپهای يك عنصر به وسیله سدی (Soddy) در سال ۱۹۰۴ در ضمن طبقه‌بندی عناصر رادیوآکتیو شروع شده است. او ثابت کرد که در تبدیلات رادیوآکتیو، اتمهایی بدست می‌آید که شماره اتمی آنها یکی است ولی جرم اتمی آنها متفاوت است. چنین اتمهایی چون در هسته خود دارای عده یکسانی پروتون هستند، از يك جنس و دارای خواص شیمیایی کاملاً مشابهند. بدین جهت باید آنها را در يك خانه جدول تناوبی قرار داد. و بدین علت آنها را **ایزوتوپ** (همجا) می‌نامند. در دو ایزوتوپ يك عنصر فقط عده نوترونها با هم فرق دارند و عده پروتونها و لایه‌های الکترونی آنها یکسان و در نتیجه دارای خواص شیمیایی یکسانند. مثلاً عنصر کربن ($Z = 12$) دو ایزوتوپ دارد: هسته کربنی که جرم اتمی آن ۳۵ است از ۱۲ پروتون و ۱۸ نوترون تشکیل شده در صورتی که هسته کربن دیگر که جرم اتمی آن ۳۷ است از ۱۲ پروتون و ۲۵ نوترون تشکیل شده است. کربن که در طبیعت یافت می‌شود همواره مخلوطی با نسبت ثابت از این دو کربن است. عناصری که جرم اتمی آنها عدد صحیح نیست مخلوطی از ایزوتوپهای آن

جسمند . مثلاً کُر که جرم اتمی آن ۳۵/۴۵۷ است مخلوطی است از دو ایزوتوپ ۳۵ و ۳۷ که شماره اتمی هر دو $Z=17$ است .

خلاصه اینکه ایزوتوپها دو یا چند نوع اتم از يك عنصر هستند که هسته مرکزی آنها دارای عدد مساوی پروتون ولی عدد نوترونهاي آنها متفاوت است .

۲۴۲- ئیدروژن سنگین و آب سنگین - ئیدروژن موجود در طبیعت مخلوطی است از دو ایزوتوپ : یکی ئیدروژن معمولی که هسته آن نوترون ندارد و شماره های اتمی و جرمی آن يك است ، دیگری ئیدروژن سنگین یا **دوتریم (Deuterium)** که جرم اتمی آن ۲ و

شماره اتمی آن يك است . هسته آن که **دوتن (Deuton)** نامیده می شود يك پروتون و يك نوترون دارد (شکل ۲۸۴)



و با علامت **D** نشان داده می شود. هنگامی

شکل ۲۸۴

که با اکسیژن ترکیب شود تولید آب سنگین D_2O می کند .

۲۴۳- علامتگذاری اتمها - برای آنکه مشخصات يك اتم بهتر معلوم شود و ایزوتوپها از یکدیگر مشخص شوند ، علامت عنصری اتم را می نویسند و در بالا و در قسمت چپ این علامت ، جرم اتمی و در پایین و در سمت چپ شماره اتمی آن را می گذارند ، همچنین در بالا و در طرف راست حالت یونیزاسیون اتم را نشان می دهند. مثلاً اتم کُر با عدد جرمی ۳۵ را با علامت $^{35}_{17}Cl$ و یون آن را به صورت $^{35}_{17}Cl^{-}$ نمایش می دهند.

۲۴۴- انرژی اتمی - فرمول اینشتین - به وسیله آزمایشهای دقیق ثابت شده است که در فعل و انفعالات هسته ای ، مثلاً متلاشی شدن

يك عنصر رادیوآکتیو به عناصر سبکتر و ذرها (شکافت هسته) ، و همچنین در ترکیب عناصر با ذرها و تشکیل عنصر سنگین تر (جوش هسته) مقدار زیادی انرژی داده یا گرفته می شود و ضمناً مجموع جرم دو طرف معادله با هم برابر نیستند و اختلاف کوچکی دارند . این اختلاف جرم خیلی کم ولی قابل اندازه گیری است. مانند این است که در این فعل و انفعالات جرم به انرژی یا انرژی به جرم تبدیل شده است . امروز دانشمندان عقیده دارند که جرم شکل خاص و مترامی است از انرژی . مثلاً برای شکافت هسته اکسیژن به پروتون و نوترون باید انرژی صرف کرد و بر عکس تشکیل هسته اکسیژن با ۸ پروتون و ۸ نوترون انرژی تولید می کند . اینشتین این ارتباط جرم و انرژی را پیش بینی کرده بود . به موجب فرمول مشهور او ، در تغییر جرم به انرژی از شکل دیگر یا بر عکس ، رابطه $|W=mc^2|$ بر قرار است که در آن m مقدار جرم ، c سرعت نور و W مقدار انرژی است . مثلاً از شکافت يك گرم اورانیم و تبدیل آن به سزیم و زیرکونیم ، قسمت فوق العاده کوچکی از جرم آن تبدیل به انرژی می شود و تقریباً 22000 kWh انرژی آزاد می شود (این انرژی برابر انرژی حاصل از سوختن يك گرم زغال است) . این انرژی بزرگ مبنای انرژی اتمی (پیل و بمب اتمی) است . همچنین دانشمندان معتقدند که مبنای انرژی تابشی خورشید، در تبدیل ئیدروژن به هلیوم است که با کاهش جرم همراه است و در نتیجه مقداری انرژی آزاد می شود . این تبدیل در دمای ۱۵ میلیون درجه صورت می گیرد .

تذکر - بطوری که قبلاً گفته ایم، اینشتین ثابت کرد که جرم يك

جسم ثابت نیست بلکه بستگی به سرعت آن دارد. این بستگی با رابطه

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

بیان می شود که در آن m_0 جرم جسم در حال سکون

و m جرم در حالتی است که با سرعت v در حرکت باشد و c سرعت نور است. از این رابطه معلوم می شود که نمی توان سرعتی برابر با سرعت نور بدست آورد، چه در این صورت جرم جسم بینهایت می شود. فرمول بالا نشان می دهد که در سرعت های معمولی تغییرات m فوق العاده کوچک است ($\frac{v^2}{c^2}$ خیلی کوچک) و قابل اندازه گیری نیست و تغییر جرم هنگامی قابل ملاحظه می شود که v خیلی بزرگ شود (مثلاً در حرکت الکترون ها به دور هسته مرکزی، در اشعه β و مانند اینها).

۲۴۵- اصل بقای انرژی - چنانکه دیده شد جرم و انرژی قابل تبدیل به یکدیگرند و بنا بر این اصل بقای جرم چنین بیان می شود:

مقدار کل انرژی و جرم در یک دستگاه منفرد ثابت است.

رادیو آکتیویته (Radio - activité)

۲۴۶- اجسام رادیو آکتیو - در سال ۱۸۹۶ بکرل (Becquerel)

دانشمند فرانسوی متوجه شد که يك صفحه حساس عكاسی که با کاغذ سیاه پوشیده شده بود و نزدیک يك قوطی فلزی محتوی املاح اورانیم قرار داشت، متأثر شده است و گویی که اشعه خاصی از قوطی بر آن تابیده که حتی از کاغذ سیاه هم گذشته است. از بررسی این پدیده به این نتیجه رسید که این خاصیت مربوط به املاح اورانیم است. در سال ۱۸۹۸ مادام کوری مشاهده کرد که این خاصیت در توریم نیز وجود دارد و پس از آن موفق به کشف ماده دیگری از سنگ معدن اورانیم (پچبلند $Pechblende$) شد که این خاصیت در آن فوق العاده شدیدتر از اورانیم خالص است. این ماده را **رادیوم** نام نهاد.

این خاصیت که بعضی از اجسام همواره از خود اشعه خاصی خارج می سازند، **رادیو آکتیویته** و خود این اجسام **رادیو آکتیو** نام یافته است. تا امروز بیش از ۴۵ ایزوتوپ از ۹ عنصر رادیو آکتیو بدست آورده اند.

امروز می دانیم که رادیو آکتیویته از خواص اتم است و در نتیجه تلاشی شدن هسته مرکزی اتم پدید می آید. هسته اتم چنین اجسامی

جسم ثابت نیست بلکه بستگی به سرعت آن دارد. این بستگی با رابطه

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

بیان می شود که در آن m_0 جرم جسم در حال سکون

و m جرم در حالتی است که با سرعت v در حرکت باشد و c سرعت نور است. از این رابطه معلوم می شود که نمی توان سرعتی برابر با سرعت نور بدست آورد، چه در این صورت جرم جسم بینهایت می شود. فرمول بالا نشان می دهد که در سرعت های معمولی تغییرات m فوق العاده کوچک است ($\frac{v^2}{c^2}$ خیلی کوچک) و قابل اندازه گیری نیست و تغییر جرم هنگامی قابل ملاحظه می شود که v خیلی بزرگ شود (مثلاً در حرکت الکترون ها به دور هسته مرکزی، در اشعه β و مانند اینها).

۲۴۵- اصل بقای انرژی - چنانکه دیده شد جرم و انرژی قابل تبدیل به یکدیگرند و بنا بر این اصل بقای جرم چنین بیان می شود:

مقدار کل انرژی و جرم در یک دستگاه منفرد ثابت است.

رادیو آکتیویته (Radio - activité)

۲۴۶- اجسام رادیو آکتیو - در سال ۱۸۹۶ بکرل (Becquerel)

دانشمند فرانسوی متوجه شد که يك صفحه حساس عكاسی که با کاغذ سیاه پوشیده شده بود و نزدیک يك قوطی فلزی محتوی املاح اورانیم قرار داشت، متأثر شده است و گویی که اشعه خاصی از قوطی بر آن تابیده که حتی از کاغذ سیاه هم گذشته است. از بررسی این پدیده به این نتیجه رسید که این خاصیت مربوط به املاح اورانیم است. در سال ۱۸۹۸ مادام کوری مشاهده کرد که این خاصیت در توریم نیز وجود دارد و پس از آن موفق به کشف ماده دیگری از سنگ معدن اورانیم (پچبلند $Pechblende$) شد که این خاصیت در آن فوق العاده شدیدتر از اورانیم خالص است. این ماده را **رادیوم** نام نهاد.

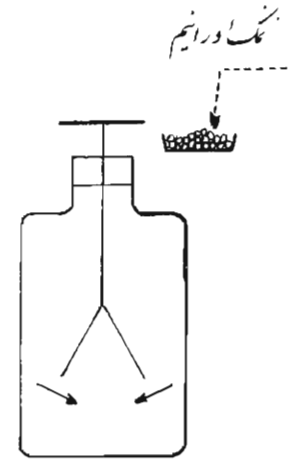
این خاصیت که بعضی از اجسام همواره از خود اشعه خاصی خارج می سازند، **رادیو آکتیویته** و خود این اجسام **رادیو آکتیو** نام یافته است. تا امروز بیش از ۴۵ ایزوتوپ از ۹ عنصر رادیو آکتیو بدست آورده اند.

امروز می دانیم که رادیو آکتیویته از خواص اتم است و در نتیجه تلاشی شدن هسته مرکزی اتم پدید می آید. هسته اتم چنین اجسامی

ناپایدار است و گاهی خود بخود متلاشی می شود . مهمترین عناصر رادیو-آکتیو عبارتند از اورانیم، توریم، رادیم، آکتنیم، پولونیم و جزاینها.

۲۴۷ - جنس اشعه رادیو آکتیو - آزمایش ۱ - اگر يك ملح

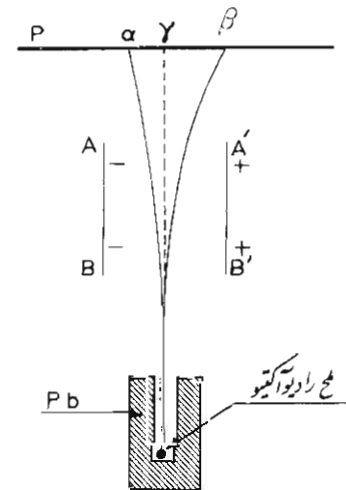
رادیو آکتیو (مثلاً نمك اورانیم) را به الكتروسكوپ بارداری نزدیک كنیم (شكل ۲۸۵)، خواهیم دید كه ورقه های الكتروسكوپ بتدریج بسته و الكتروسكوپ تخلیه می شود و بنظر می رسد كه اجسام رادیو آکتیو از خود ذرات بارداری خارج ساخته اند كه فضای اطراف خود را یونیزه کرده و آن را كمایش هادی ساخته اند .



شكل ۲۸۵

آزمایش ۲ - كمی ملح رادیم

را در استوانه ای سربی می گذاریم (شكل ۲۸۶) . اشعه رادیو آکتیو بطور قائم از آن خارج می شود و بر صفحه حساس عكاسی P می تابد . این اشعه را از وسط دو جوشن خازن پر شده ای عبور می دهیم . از اثری كه این اشعه بر صفحه حساس می گذارد به این نتیجه می رسم



شكل ۲۸۶

كه رادیم سه نوع اشعه از خود تابش می كند :

۱ - اشعه α كه از ذراتی تشکیل شده است كه الكتریسته مثبت

دارند . اندازه گیریهای دقیق نشان داده است كه این ذرات همان هسته مرکزی اتم هلیم هستند (هلیون He^{++} با جرم ۴ واحد اتمی و بار $+2e$ كه شامل دو پروتون و دو نوترون است) . این اشعه به طرف جوشن منفی منحرف می شود ، هوا را یونیزه می كند ، و قابلیت نفوذ آن خیلی كم است بطوری كه يك صفحه كاغذ مانع عبور آن می شود ، چه این ذره ها نسبتاً بزرگ و سرعتشان كم است .

۲ - اشعه β كه از ذراتی كه الكتریسته منفی دارند تشکیل

شده اند ، چه به طرف جوشن مثبت منحرف می شوند . این ذره ها همان الكترونها هستند كه با سرعت فوق العاده زیاد ، در حدود سرعت نور حرکت می كنند و به این جهت قابلیت نفوذشان خیلی بیشتر از اشعه كاتیك است .

۳ - اشعه γ كه از جنس اشعه X ولی با طول موج فوق العاده

كوتاه است . میدان الكتریکی بر روی آن اثر ندارد و آن را منحرف نمی كند . چون طول موج آن خیلی كوتاه و در حدود 10^{-10} م است ، قابلیت نفوذش فوق العاده زیاد است بطوری كه بعضی از انواع آن كه از رادیم تابش می شود ، از ورقه ای از سرب به كلفتی چند سانتیمتر عبور می كند . امروز فرض می كنند كه اشعه γ از برخورد اشعه β با اتمهای اجسام رادیو آکتیو حاصل می شود .

این آزمایش را می توان با میدان مغناطیسی نیز انجام داد .

۲۴۸ - موارد استعمال مواد رادیو آکتیو - یکی از موارد

استعمال این مواد در پزشکی است برای معالجه بعضی از بیماریها از قبیل سرطان . برای این منظور بیشتر از رادیم استفاده می شود .

۲۴۹ - خواص رادیوآکتیویته - ۱ - خاصیت رادیوآکتیویته ناشی از خود اتم عنصر رادیوآکتیو است . این خاصیت بر اثر ترکیب جسم رادیوآکتیو با عناصر دیگر تغییر نمی کند ، یعنی خاصیت رادیوآکتیویته یک عنصر رادیوآکتیو در همه ترکیبات آن و به همان میزان وجود دارد . رادیوآکتیویته فعل و انفعالاتی است که در هسته اتم صورت می گیرد و به این علت آن را فعل و انفعال هسته ای می نامند . بر اثر این فعل و انفعالات ممکن است جنس اتم تغییر کند (Transmutation) .

۲ - شرایط فیزیکی مانند دماهای معمولی و فشار که بر روی فعل و انفعالات شیمیایی مؤثرند ، هیچ اثری بر روی فعل و انفعالات هسته ای ندارد .

۳ - بر اثر تابش و تغییر جنس ، به مرور زمان از جرم خود عنصر رادیوآکتیو کاسته می شود . آزمایش نشان می دهد که تغییرات نسبی جرم در مدت زمانهای متساوی برای یک عنصر رادیوآکتیو یکسان است ، ولی از یک عنصر به عنصر دیگر فرق می کند . این تغییر نسبی جرم از خاصه های عنصر رادیوآکتیو است و آن را با نیم عمر مشخص می کنند .

بر حسب تعریف ، نیم عمر یک عنصر رادیوآکتیو مدت زمانی است که پس از آن مدت ، جرم جسم رادیوآکتیو نصف شود (نصف دیگر به تابش و عناصر دیگر تبدیل می شود) . نیم عمر مواد رادیوآکتیو متفاوت و از 10^{-6} ثانیه الی 10^{10} سال است . مثلاً نیم عمر رادیم $^{226}_{88}\text{Ra}$ برابر ۱۶۲۲ سال و نیم عمر اورانیم $^{238}_{92}\text{U}$ برابر 4.5×10^9 سال است .

۴ - تبدیلات رادیوآکتیو مقدار زیادی انرژی به شکل گرما آزاد

می کنند . مادام کوری و شوهرش با قراردادن یک قطعه رادیم در یک گرماسنج ، ثابت کردند که یک گرم رادیم ۱۳۲ کالری در ساعت گرما تولید می کند که در سال در حدود $10^6 \times 16$ کالری می شود ، در حالی که فقط $\frac{1}{2500}$ گرم آن در این مدت شکسته است . بنابراین یک گرم رادیم اگر تماماً تبدیل شود ، $10^8 \times 29$ کالری یا تقریباً ۳۳۰۰ کیلووات ساعت انرژی تولید می کند که ۷ مرتبه کمتر از انرژی آزاد شده به وسیله یک گرم اورانیم (U_{238}) است . چنانکه گفتیم ، این انرژی که بر اثر فعل و انفعالات هسته ای ظاهر می شود ، انرژی اتمی یا انرژی هسته ای نامیده می شود .

۲۵۰ - تبدیل مواد رادیوآکتیو به یکدیگر - چنانکه مشاهده شد تشعشعات رادیوآکتیو که بر اثر فعل و انفعالات هسته ای صورت می گیرد منجر به تبدیل اتمی به اتم دیگر می شود ، اگر اتم اخیر نیز رادیوآکتیو باشد ، به نوبه خود به اتم جدیدی تبدیل می شود و به همین ترتیب عمل ادامه پیدا می کند تا وقتی که اتم حاصل رادیوآکتیو نباشد . بدین ترتیب اتمهایی که از تبدیل یک عنصر رادیوآکتیو بدست می آید تشکیل یک خانواده رادیوآکتیو مربوط به آن عنصر را می دهند . این است که عناصر رادیوآکتیو طبیعی را به سه خانواده بزرگ تقسیم کرده اند :

۱- خانواده اورانیم ، ۲- خانواده آکتنیم ، ۳- خانواده توریم .
مثلاً خانواده اورانیم از عناصری تشکیل شده اند که در جدول مندلیف از ۸۱ تا ۹۲ هستند . این خانواده به سرب پایدار ($^{206}_{82}\text{Pb}$) ختم می شود . این خانواده شامل یک عنصر رادیوآکتیوگازی به نام رادون

است که جزء گازهای کمیاب است. علامت آن (${}^{222}_{86}\text{Rn}$) است و از اولین تبدیلات رادیم بدست می آید.

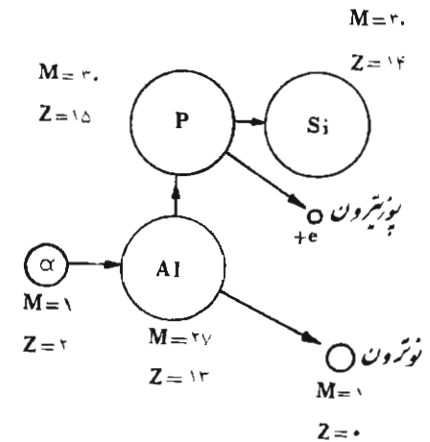
خانواده های دیگر رادیوآکتیو به ایزوتوپهای سرب ختم می شوند (${}^{208}_{82}\text{Pb}$ و ${}^{207}_{82}\text{Pb}$) و تمام آنها بر اثر تبدیل، ایزوتوپ رادون را تولید می کنند.

رادیوآکتیویته مصنوعی و طرز تهیه ایزوتوپها

۲۵۱- در ۱۹۳۲ ایرن و ژولیو کوری، آلومینیم را با اشعه α بمباران و مشاهده کردند که از این عمل یکی از ایزوتوپهای رادیوآکتیو فسفر (${}^{30}_{15}\text{P}$) که تا آن زمان بطور طبیعی یافت نشده بود، بدست می آید. اکنون می دانیم که این جسم با صدور تشعشعات حاصل از ذره هایی به نام الکترون مثبت یا پوزیترون (الکترون با بار مثبت) به یکی از ایزوتوپهای سیلیسیم (${}^{30}_{14}\text{Si}$) تبدیل می شود (شکل ۲۸۷). از این رو معلوم شد که می توان با بمباران بعضی از عناصر به وسیله اشعه α ، عناصر رادیوآکتیوی بدست آورد.

بعدها که نوترون کشف شد، با بمباران کردن اجسام غیر رادیوآکتیو به وسیله نوترون توانستند عده زیادی عناصر رادیوآکتیو مصنوعی بدست آورند.

امروز با دستگاههایی به نام سیکلوترون و بتاترون، به ذرات هلیون، دوتن و

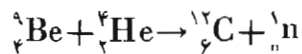


شکل ۲۸۷

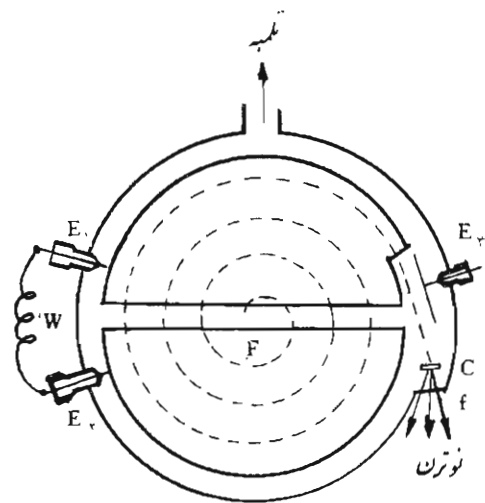
نگاتن انرژی جنبشی فوق العاده زیاد می دهند و با بمباران عناصر، با این ذره های فوق العاده سریع، عناصر جدیدی می سازند که بطور طبیعی یافت نمی شوند (مثلاً همه عناصری که در جدول مندلیف پس از اورانیم آمده است). از شکستن هسته بعضی از این عناصر مصنوعی انرژیهای فوق العاده زیادی بدست می آید که برای ساختن پیل اتمی و بمب اتمی بکار می رود. این دستگاهها را **شتاب دهنده** می نامند.

۲۵۲- نوترون - نخستین بار در ۱۹۳۵ بوت و بکر (Bothe و

Becker) در آلمان متوجه شدند که چون بریلیم یا بور یا لیتیم را به وسیله اشعه α که دارای سرعت زیاد باشد بمباران کنند، تابشی از آن پدید می آید که قدرت نفوذش خیلی بیشتر از اشعه α است. ولی این دانشمندان نتوانستند به ماهیت این تابش پی ببرند تا آنکه یک دانشمند انگلیسی به نام چادویک متوجه شد که این تابش از ذره هایی تشکیل شده است که بار الکتریکی ندارند و جرمشان برابر جرم پروتون است و آنها را **نوترون** نامید. آشکار است که علامت نوترون ${}_0^1n$ است. معادله فعل و انفعال بریلیم چنین است:



چون نوترون بار الکتریکی ندارد، به وسیله میدان الکتریکی هسته اتم منحرف نمی شود و بنابراین در بمباران اتم به وسیله نوترون، احتمال برخورد نوترون با هسته بیشتر می شود. به این علت است که در فعل و انفعالات هسته ای بمباران با نوترون خیلی مؤثرتر از بمباران با ذره های باردار است. آشکار است که هر قدر سرعت نوترون کمتر باشد



شکل ۲۸۸

(شکل ۲۸۸). بین دو
الکتروود E_1 و E_2 و
به کمک مولد W
(مبدل یا آلترناتور با
تواتر زیاد) اختلاف
پتانسیل متناوبی با
تواتر زیاد برقرار
می سازند. این دستگاه
را میان دو قطب یک

الکتروامان خیلی بزرگ

چنان می گذارند که میدان الکتروامان عمود بر سطح جعبه باشد .
در مرکز استوانه و در نقطه F یک منبع ایجادکننده اشعه α (هلیون)
قرار گرفته است .

فرض کنیم که این اشعه نخستین بار به سوی الکتروود E_1 ، که در
آن لحظه قطب منفی است، جذب شود. در داخل نیم استوانه E_1 در میدان
مغناطیسی آهنربا ، اشعه مسیری به شکل دایره طی می کند و در همان
لحظه که می خواهد E_1 را ترک کند و به سوی E_2 برود ، سوی اختلاف
پتانسیل بین دو الکتروود هم تغییر می کند و در نتیجه باز هم یک جاذبه
تندکننده ، این بار از طرف E_2 ، بر آن وارد می شود که سرعتش را زیاد
و شعاع دایره مسیر را بزرگتر می کند . بد همین ترتیب هر دفعه که اشعه
 α از E_1 به E_2 یا برعکس می رود سوی میدان الکتریکی میان E_1 و E_2
تغییر می کند و در نتیجه اشعه α عدّه زیادی از این دوایر را که شعاع

بازهم احتمال برخورد بیشتر می شود ، این است که در بمباران اتم از
نوترونهای 'کند استفاده می کنند . برای بدست آوردن نوترون کند ،
نوترونهای سریع را از آب سنگین یا پارافین یا گرافیت عبور می دهند .

۲۵۳ - سیکلوترون (Cyclotron) - چنانکه دیده شد برای

بمباران و شکافت اتم به نوترون کند یا به ذره های باردار فوق العاده
سریع محتاج هستیم . برای آنکه به ذره های باردار، مثلاً اشعه α ، سرعت
کافی داده شود ، آنها را تحت تأثیر اختلاف پتانسیل فوق العاده زیاد (بیش
از یک میلیون ولت) قرار می دهند و سپس این اشعه را بر روی هدفی
که منظور بمباران آن است می تابانند . برای بدست آوردن اختلاف
پتانسیلهای زیاد در حدود یک تا شش میلیون ولت ، می توان از مولدهای
برق ساکن مانند هاشین وان دوگراف استفاده کرد . امروز برای
سرعت های خیلی زیاد از دستگاهی به نام سیکلوترون استفاده می کنند .
اساس سیکلوترون این است که ، به جای آنکه ذره باردار را یک بار از
پتانسیل خیلی زیاد که ایجاد آن کار مشکلی است بگذرانند، آن را چند
بار از پتانسیل کمتر می گذرانند . مثلاً اگر پروتونی ۱۰ بار تحت تأثیر
اختلاف پتانسیل ۲۰۰۰۰۰۰ ولتی قرار گیرد ، همان سرعت را پیدا خواهد
کرد که اگر تحت تأثیر ۲۰۰۰۰۰۰ ولت قرار می گرفت . برای آنکه
دستگاه فوق العاده دراز نباشد ، به کمک یک میدان مغناطیسی ، کاری
می کنند که مسیر ذره باردار به جای خط راست یک مارپیچ باشد .

سیکلوترون از جعبه پهنی به شکل استوانه کاملاً بسته تشکیل
یافته است. در این جعبه دو الکتروود تندکننده E_1 و E_2 قرار دارد که به شکل
دو نیم استوانه مجوفند که به فاصله کمی از یکدیگر قرار گرفتند

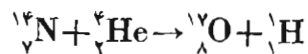
آنها رو بدفزونی است می پیماید ، و هر بار که از فاصلهٔ میان دو الکتروند می گذرد برسرعتش افزوده می شود تا اینکه به محیط خود برسد. در آنجا به وسیله ای این اشعه را از مسیر دایره ای خود منحرف ساخته و به سمت هدف C با سرعت فوق العاده ای که پیدا کرده اند می تابانند . آشکار است که تغییر علامت قطبهای E_1 و E_2 درست باید در لحظه ای انجام شود که ذره از داخل الکتروند وارد فاصلهٔ میان این دو الکتروند می شود . برای این کار تواتر اختلاف پتانسیل متناوب را چنان اختیار می کنند که این منظور تأمین شود .

موارد استعمال مواد رادیو آکتیو

۲۵۴- مواد رادیو آکتیو طبیعی در پزشکی برای معالجهٔ برخی از امراض مانند سرطان بکار برده می شود . در بکار بردن این اجسام باید دقت فراوان شود ، زیرا این اشعه سلولها را بر سرعت فاسد می کند . از مطالعهٔ سنگهای رادیو آکتیو توانسته اند سن زمین را به یک میلیارد و شش صد میلیون سال تخمین کنند. از مواد رادیو آکتیو که ایجاد فلورسانس می کنند ، برای خاصیت شبنمایی ساعتها استفاده می کنند . با خوردن مقدار کمی مادهٔ رادیو آکتیو مصنوعی می توان محل غده ها را در بدن تشخیص داد. مثلاً در بیماری غده های تیروئیدی، از ید رادیو آکتیو استفاده می شود ($^{131}_{53}\text{I}$) . فسفر رادیو آکتیو نیز در معالجهٔ بعضی از امراض خون بکار می رود. در صنعت نیز برای تشخیص شکستگی نامرئی قطعات ماشین و اثر روغن موتور از مواد رادیو آکتیو مصنوعی استفاده می کنند .

شکافت اتم و استفاده از انرژی اتمی

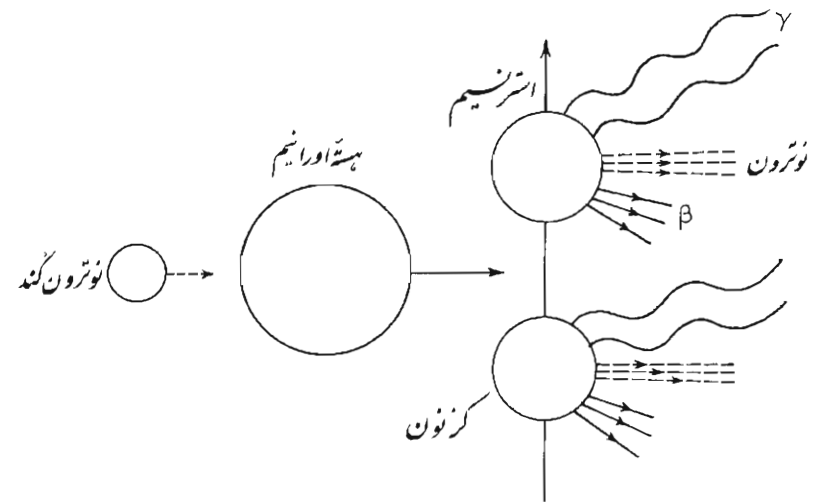
۲۵۵- چنانکه در پیش گفته شد ، از تبدیل يك مادهٔ رادیو آکتیو مقدار قابل ملاحظه ای انرژی تولید می شود . از این رو دانشمندان بر آن شدند که هستهٔ اتم را بشکافند و از انرژی فوق العاده زیادی که از آن بوجود می آید استفاده کنند. در سال ۱۹۱۹ راترفرد (دانشمند انگلیسی) اتمهای نیتروژن را به وسیلهٔ اشعهٔ α حاصل از رادیم یا پلونیوم ($^{214}_{84}\text{Po}$) (که دارای انرژی جنبشی فوق العاده زیادند) بمباران و مشاهده کرد که مقدار کمی نیتروژن و يك ایزوتوپ اکسیژن ایجاد شده است . معادلهٔ فعل و انفعال چنین است :



این نخستین باری بود که انسان به هستهٔ مرکزی اتم دست یافت و توانست آن را بشکافد و از يك عنصر، عنصری دیگر بسازد. این فعل و انفعال بر روی مقدار فوق العاده کمی نیتروژن و بکندی انجام می گیرد . پس از آنکه نوترون کشف شد ، وسیلهٔ بسیار مؤثری برای شکافت اتم در اختیار دانشمندان قرار گرفت، چه نوترونها بار الکتریکی ندارند و در نتیجه ، هنگام نزدیک شدن به هستهٔ اتم ، مانند اشعهٔ α رانده نمی شوند و از مسیر خود منحرف نمی گردند و احتمال برخورد آنها با هسته بیشتر می شود .

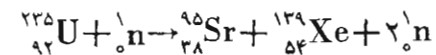
هنگامی که هستهٔ يك اتم ، بر اثر تصادم با ذراتی ، به هسته های سبکتر تقسیم شوند گویند که اتم شکافته شده است (Fission) . مثلاً

اگر نوترون کند^۱ (با سرعت کم) به هسته مرکزی یکی از ایزوتوپهای کیمیا ب اورانیم ($^{235}_{92}\text{U}$) یا به هسته پلوتونیم ($^{239}_{94}\text{Pu}$) برخورد کند (شکل



شکل ۲۸۹

(۲۸۹)، اتم ممکن است به چند شکل مختلف شکافته شود (اورانیم به ۳۰ شکل مختلف شکافته می شود). مثلاً:



چنانکه مشاهده می شود، همیشه در شکافت اتم اورانیم عده ای نوترون (۲ یا ۳) آزاد می شود. این نوترونهای فرعی ممکن است به نوبه خود در دیگر هسته های اورانیم شکافت پدید آورند، مشروط بر آنکه از ماده شکافت پذیر خارج نشوند، یعنی وقتی که جرم ماده شکافت پذیر بیش از

۱- نوترونهای کند نوترونهایی هستند که سرعت آنها در حدود ۳ کیلومتر در ثانیه باشد، در صورتی که نوترونهایی که از فعل و انفعالات هسته ای بوجود می آیند سرعتشان در حدود 20000 km/s می باشد.

مقدار معینی باشد که آن مقدار را جرم بحرانی آن ماده می نامند. در این صورت عمل شکافت ادامه می یابد و فعل و انفعالی پدید می آید که آن را فعل و انفعال زنجیری می نامند.

پیل اتمی

۲۵۶- مقدمه - اتمهایی که از شکافت اتم اورانیم تولید می شوند خاصیت رادیو اکتیو بوده دارند. مثلاً، از شکافت اتم اورانیم، دو یست عنصر رادیو اکتیو بدست می آورند و امروز اغلب ایزوتوپهای رادیو اکتیو شناخته شده نتیجه شکافت اتمهاست.

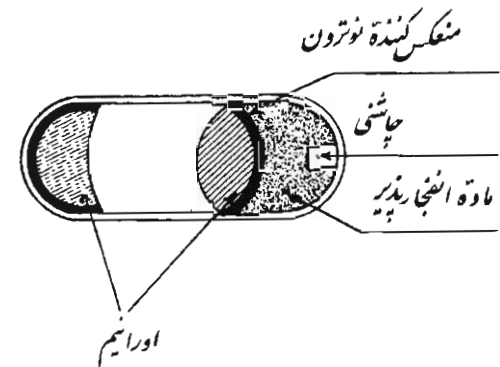
از طرف دیگر یک هسته اورانیم ($^{235}_{92}\text{U}$) و پلوتونیم ($^{239}_{94}\text{Pu}$)، هنگام شکافت، مقدار زیادی انرژی تولید می کند و از این انرژی است که در پیل اتمی استفاده می کنند (Pu از عناصر مصنوعی است که از اورانیم بدست می آید و از لحاظ ایجاد انرژی از خود اورانیم با صرفه تر است).

۲۵۷- بمب اتمی - قسمت اساسی در یک بمب اتمی عبارت از چند کیلوگرم مواد رادیو اکتیو از ^{235}U و ^{239}Pu (سوخت) است. باید دانست که، هنگامی فعل و انفعالات زنجیری صورت می گیرد که مقدار ماده موجود زیاد و متراکم باشد تا نوترونهای ایجاد شده احتمال تصادم با هسته های جدیدی را داشته باشند، چه اگر نوترونهای ایجاد شده بدون برخورد با اتمهای دیگر از ماده رادیو اکتیو خارج شوند فعل و انفعال متوقف خواهد شد.

در یک بمب اتمی ماده انفجار پذیر به دو قسمت تقسیم می شود که از یکدیگر مجزا هستند، و چون هر یک از این دو قسمت به اندازه کافی

بزرگ نیست ، فعل و انفعال زنجیری صورت نمی گیرد . برای منفجر کردن بمب مقداری مواد منفجره شیمیایی معمولی را آتش می زنند تا قسمتی از این مواد رادیوآکتیو را به طرف دیگری پرتاب کند و در این صورت اگر مجموع این دو قسمت به میزان کافی باشد آناً فعل و انفعالات

زنجیری بر اثر نوترونهایی که همواره در فضای درون بمب ، بر اثر شکافت ماده رادیوآکتیو ، به میزان کم وجود دارند آغاز شده و بمب منفجر و

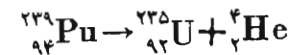


شکل ۲۹۰

مقدار زیادی انرژی تولید می شود (شکل ۲۹۰) .

۲۵۸ - تهیه سوخت اتمی - از آنچه گفته شد نتیجه می شود که

برای بمب اتمی باید U_{235} یا Pu_{239} داشته باشیم . اورانیم 235 در اورانیم طبیعی به میزان خیلی کم یافت می شود (0.7 درصد) که با 99.3% از ایزوتوپ 238 آن همراه است . جدا کردن این ایزوتوپها از هم کار بسیار پیچیده ای است . Pu از اورانیم بدست می آید ، بدین ترتیب که در پیلها ، پس از یک سلسله فعل و انفعال هسته ای ، U_{238} که فراوانتر است به Pu_{239} تبدیل می شود و پلوتونیم نیز به نوبه خود با از دست دادن هلیوم به U_{235} تبدیل می شود .



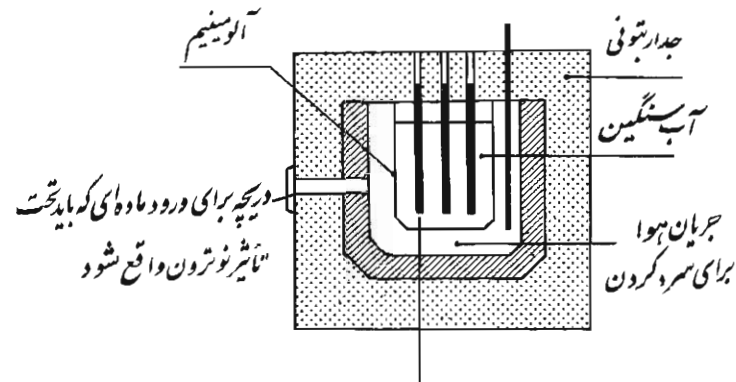
می بینیم که پلوتونیم یکی از محصولات فرعی است که خود بخود در

پیلهای اتمی از U_{238} ساخته می شود و بدین ترتیب U_{238} که قابل استفاده نبود به عنصر قابل استفاده تبدیل می شود .

۲۵۹ - پیل اتمی - در پیلهای اتمی از ایزوتوپهایی که با سانی

شکسته می شوند مانند U_{235} و Pu_{239} ، استفاده می شود . برای آنکه پیل اتمی یکنواخت کار کند ، باید عده اتمهای شکافته در واحد زمان ثابت بماند . برای این کار باید دو یا چند نوترونی که از شکافت هر اتم ایجاد می شود همه مورد استفاده واقع نشوند و گر نه انفجار رخ خواهد داد (بمب) . پس باید به وسیله ای عده ای از نوترونها را حذف کرد . این عمل را مهار کردن فعل و انفعال می نامند . در پیلهای اتمی ، برای مهار کردن ، از فلز کادمیم استفاده می کنند که نوترونها را جذب می کند . مسئله دیگری که در پیل اتمی باید مورد توجه قرار گیرد این است که نوترونهای حاصل از انفجار هسته سرعتی فوق العاده زیاد دارند ، و حال آنکه در پیلهای اتمی نوترونهای کند برای ایجاد انفجار هسته لازم است . از این روست که در پیلهای اتمی به وسیله آب سنگین یا گرافیت از سرعت نوترونها می کاهند . نوترونها بر اثر برخورد با هسته ئیدروژن آب یا هسته کربن سرعتشان کم می شود . یک پیل اتمی از چند میله اورانیم تشکیل شده است که در یک محیط کند کننده (آب سنگین یا گرافیت) جای گرفته اند (شکل ۲۹۱) . در این پیل U_{235} منفجر و در ضمن از U_{238} پلوتونیم تهیه می شود . در این عمل مقدار زیادی انرژی گرمایی پدید می آید . پیلهای اتمی ، برای تولید پلوتونیم و مواد رادیوآکتیو مصنوعی و نیز برای مصارف صنعتی و علمی بکار می رود . امروز از انرژی پیلهای اتمی برای بکار انداختن موتورهای کارخانه های برق و در زیر -

دریاینها استفاده می شود و در این قبیل دستگاهها بهتر است که به جای اورانیم طبیعی مستقیماً اورانیم ۲۳۵ یا پلوتونیم را بکار برد .



شکل ۲۹۱

۲۶۰- جوش هسته (Fusion) - چنانکه گفتیم ، شکافت اتم عبارت از این است که هسته یك اتم بر اثر فعل و انفعالات هسته ای به هسته های سبکتر تبدیل شود (مانند شکافت اورانیم و رادیم) . برعکس اگر هسته یك اتم ذره های دیگر به خود بگیرد و به هسته سنگین تر (عنصر یا ایزوتوپ سنگین تر) تبدیل شود ، چنین فعل و انفعالی را **جوش** هسته می نامند . دانشمندان معتقدند که در خورشید هسته های ئیدروژن (پروتون) با هم جوش می خورند و اتم هلیوم ایجاد می کنند . در این فعل و انفعال مقداری جرم به انرژی تبدیل می شود (جرم یك اتم هلیوم اندکی کوچکتر از چهار برابر جرم ئیدروژن است) . این انرژی فوق العاده بزرگتر از انرژی است که در شکافت اتم اورانیم ایجاد می شود . برای آنکه این فعل و انفعال روی دهد باید دما در حدود چند میلیون درجه باشد . اساس کار بمبهای ئیدروژنی همین فعل و انفعال است . در این بمبها دمای چند میلیون درجه توسط یك بمب اتمی ایجاد می شود و در نتیجه آن بمب ئیدروژنی بکار می افتد .

فیزیک در زندگی جدید

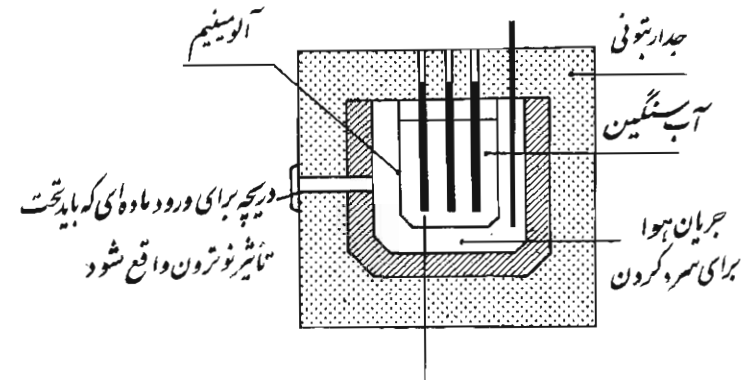
۲۶۱- در قسمتهای مختلف فیزیک که تاکنون دیدیم ، بعضی از موارد استفاده از قوانین فیزیک در پیشرفت علم و صنعت بیان شده است : هواپیما ، رادیو ، تلگراف ، سینمای ناطق ، دوربین عکاسی ، میکروسکوپ ، دوربین نجومی ، یخچالهای برقی ، دینامو ، موتور ، آلترناتور ، مبدل ، تلمبه های مختلف ، ماشینهای بخار ، لوکوموتیو ، اتوموبیل و بسیاری دیگر . در این قسمت به ذکر چند مورد دیگر درباره استفاده از فیزیک در بهبود زندگی بشر می پردازیم .

دستگاه تقویت صوت = بلندگو

چنانکه در تشدید دیدیم ، جعبه های تقویت در آلات موسیقی مانند ویولون ، تار و غیره سبب تقویت صوت می شوند . دستگاههای دیگری که برای تقویت صوت بکار می روند عبارتند از :

۲۶۲- سمعک - اشخاصی که گوششان سنگین است از دستگاهی به نام سمعک استفاده می کنند . سمعک تشکیل شده است از یك میکروفون که ارتعاشات صوتی را به جریان متغیری تبدیل می کند . این جریان متغیر پس از تقویت وارد دستگاه گوشی (شبه گوشی تلفن) می شود و در

دریاینها استفاده می شود و در این قبیل دستگاهها بهتر است که به جای اورانیم طبیعی مستقیماً اورانیم ۲۳۵ یا پلوتونیم را بکار برد .



شکل ۲۹۱

۲۶۰- جوش هسته (Fusion) - چنانکه گفتیم ، شکافت اتم عبارت از این است که هسته یك اتم بر اثر فعل و انفعالات هسته ای به هسته های سبکتر تبدیل شود (مانند شکافت اورانیم و رادیم) . برعکس اگر هسته یك اتم ذره های دیگر به خود بگیرد و به هسته سنگین تر (عنصر یا ایزوتوپ سنگین تر) تبدیل شود ، چنین فعل و انفعالی را **جوش هسته** می نامند . دانشمندان معتقدند که در خورشید هسته های ئیدروژن (پروتون) با هم جوش می خورند و اتم هلیوم ایجاد می کنند . در این فعل و انفعال مقداری جرم به انرژی تبدیل می شود (جرم یك اتم هلیوم اندکی کوچکتر از چهار برابر جرم ئیدروژن است) . این انرژی فوق العاده بزرگتر از انرژی است که در شکافت اتم اورانیم ایجاد می شود . برای آنکه این فعل و انفعال روی دهد باید دما در حدود چند میلیون درجه باشد . اساس کار بمبهای ئیدروژنی همین فعل و انفعال است . در این بمبها دمای چند میلیون درجه توسط يك بمب اتمی ایجاد می شود و در نتیجه آن بمب ئیدروژنی بکار می افتد .

فصل بیست و هفتم

فیزیک در زندگی جدید

۲۶۱- در قسمتهای مختلف فیزیک که تاکنون دیدیم ، بعضی از موارد استفاده از قوانین فیزیک در پیشرفت علم و صنعت بیان شده است : هواپیما ، رادیو ، تلگراف ، سینمای ناطق ، دوربین عکاسی ، میکروسکوپ ، دوربین نجومی ، یخچالهای برقی ، دینامو ، موتور ، آلترا تور ، مبدل ، تلمبه های مختلف ، ماشینهای بخار ، لوکوموتیو ، انوموبیل و بسیاری دیگر . در این قسمت به ذکر چند مورد دیگر درباره استفاده از فیزیک در بهبود زندگی بشر می پردازیم .

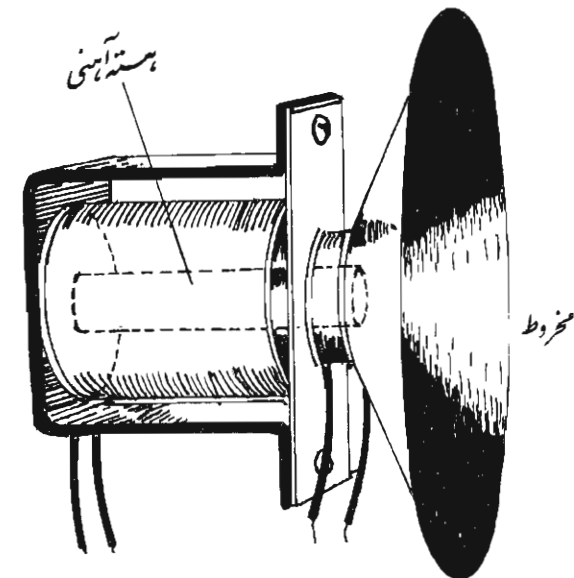
دستگاه تقویت صوت = بلندگو

چنانکه در تشدید دیدیم ، جعبه های تقویت در آلات موسیقی مانند ویولون ، تار و غیره سبب تقویت صوت می شوند . دستگاههای دیگری که برای تقویت صوت بکار می روند عبارتند از :

۲۶۲- سمعک - اشخاصی که گوششان سنگین است از دستگاهی به نام سمعک استفاده می کنند . سمعک تشکیل شده است از يك میکروفون که ارتعاشات صوتی را به جریان متغیری تبدیل می کند . این جریان متغیر پس از تقویت وارد دستگاه گوشی (شبیه گوشی تلفن) می شود و در

آنجا جریان متغير به امواج صوتی تبدیل می گردد . تمام قسمتهای مختلف این دستگاه در يك جعبه پلاستیکی قرار گرفته است و فقط گوشی كوچك آن خارج جعبه است كه آن را در سوراخ گوش می گذارند . ميكروفون در جعبه پلاستیکی قرار گرفته است و دستگاه تقویت نظیر لامپهای كوچك رادیو است كه همراه با باتری در درون همان جعبه قرار گرفته است .

۲۶۳- تقویت به وسیله لامپهای سه قطبی - امواج رادیو ، پس از خروج از دستگاه دتکسیون ، باید پیش از ورود در بلندگو ، از يك یا چند لامپ تقویت کننده عبور کنند (شكل ۲۴۸ دستگاه تقویت کننده با يك لامپ سه قطبی را بطور اختصار نشان می دهد).

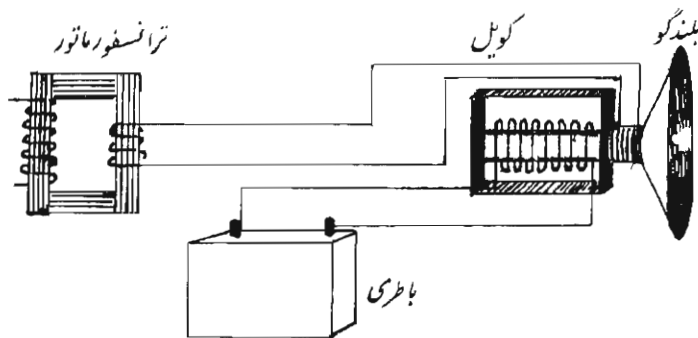


شكل ۲۹۲

جریان ضعیفی را كه باید تقویت شود در شبكه لامپ وارد می کنند و در نتیجه يك جریان قوی ، با همان توان ، در مدار پلاك ایجاد می شود .

سپس این جریان را به توسط يك مبدل كاهنده قویتر می کنند و به بلندگو می رسانند ..

۲۶۴- بلندگو - بلندگو انواع مختلف دارد . بلندگوهای امروزی (بلندگوی دینامیکی) تشکیل شده است از يك قرقره القای كوچك (شكل ۲۹۲) كه آهن داخل آن به يك مخروط سبك مقوایی متصل است . این قرقره در میدان مغناطیسی يك الكتروامان خیلی قوی قرار دارد . جریان برق تلفن یا رادیو یا گراموفون را كه می خواهند پس از تقویت منتشر کنند ، از سیم پیچ این قرقره كوچك می گذرانند . سیم پیچهای قرقره كه جریان متغیری از آنها می گذرد بر میدان مغناطیسی الكتروامان عمودند و در نتیجه قرقره القای كوچك به وسیله الكتروامان با نیروی جاذبه یا دافعه ای جذب و دفع می شود كه متناسب با شدت جریانی است كه از قرقره می گذرد ، و بنابراین صفحه مخروطی شدیداً به ارتعاش در می آید . این ارتعاش شبیه به ارتعاش جریان و بنابراین ارتعاش صوت اولیه است . بر اثر این ارتعاشات صفحه مخروطی ، هوای مجاور آن مرتعش شده و تولید صوت می شود .



شكل ۲۹۳

چون بلندگو با جریان شدید و ولت کم کار می کند ، جریان را پیش از ورود در قرقره الفا از مبدل کاهنده ای می گذرانند (شکل ۲۹۳) .

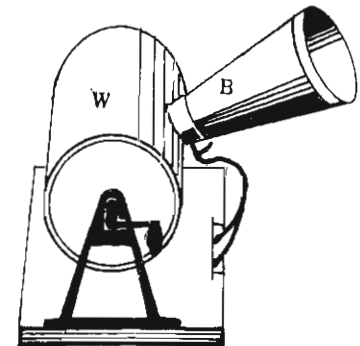
دستگاه ثبت صوت

۲۹۵ - I - گراموفون - در قسمت ارتعاشات ، طریقه ثبت

ارتعاشات يك دیاپازون یا يك میله مرتعش را بر روی استوانه چرخانی که دوده اندود شده است شرح دادیم . ادیسون در سال ۱۸۷۸ بر اساس آزمایش زیر ، اولین دستگاه ثبت صوت یعنی گراموفون را اختراع کرد.

آزمایش - مقابل استوانه چرخانی که روی آن موم اندود شده بوقی (B) قرار گرفته که دهانه آن به وسیله صفحه ای از میکا یا آلومینیم بسته شده است (شکل ۲۹۴) . در وسط صفحه ، سوزنی لحیم شده که انتهای آن بر روی موم استوانه متکی است . اگر استوانه را بچرخانند و در مقابل بوق صحبت کنند ، سوزن بر روی استوانه فرورفتگیهایی پدید می آورد و در نتیجه ارتعاشات صوتی بر روی موم ثبت می شود .

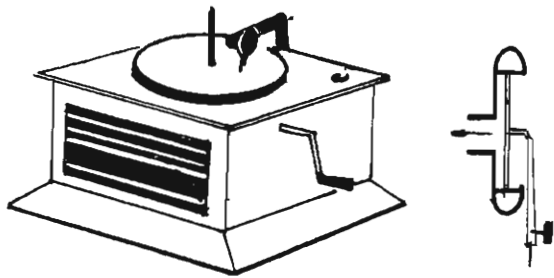
برای برگرداندن صوت ثبت شده ، کافی است که سوزن را در شیارهای موم قرار داد و استوانه را با همان سرعت چرخاند . بر اثر عبور سوزن از فرورفتگیها



شکل ۲۹۴

و برآمدگیهای شیار ، صفحه میکا به ارتعاش در می آید و هوای داخل

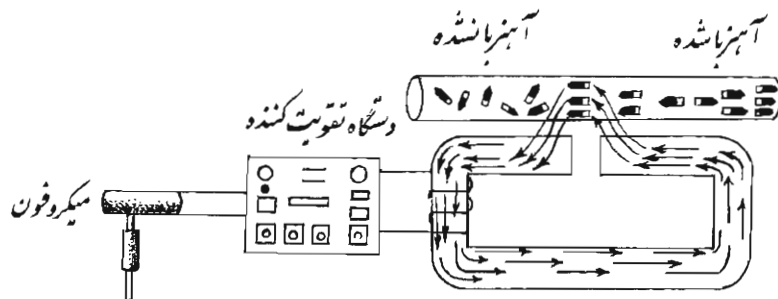
بوق را نیز مرتعش می کند . در نتیجه صوتی شبیه صوت اولیه ایجاد می شود . این دستگاه را ادیسون فونوگراف نام نهاد . بعدها این دستگاه تکمیل شد و به صورت گراموفونهای امروزی درآمد . در گراموفون ، به جای استوانه ، از قرصهایی موسوم به صفحه گراموفون استفاده می شود و حرکت صفحه به وسیله دستگاه فنردار شبیه به ساعت ، یا يك موتور الکتریکی تأمین می شود . دستگاه سوزن و صفحه مرتعش را دیافراگم می نامند (شکل ۲۹۵) .



شکل ۲۹۵

II - دستگاه ضبط صوت مغناطیسی - این دستگاه تشکیل

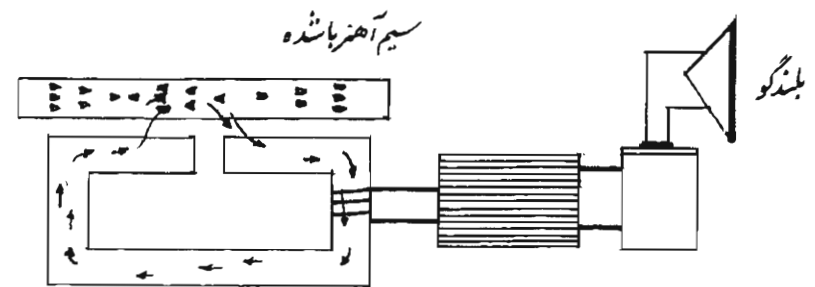
شده است از نواری که روی آن از يك لایه اکسید آهن پوشیده شده است (در بعضی از دستگاهها به جای نوار از يك سیم آهنی استفاده می شود) .



شکل ۲۹۶

برای ضبط صوت بر روی نوار، صوت را در مقابل میکروفونی تولید می کنند. میکروفون امواج صوتی را به جریان متغیری تبدیل می کند. این جریان پس از تقویت وارد الکتروامانی می شود که نوار از مقابل آن با حرکتی یکنواخت می گذرد. چون جریان الکتروامان متغیر است، در نقاط مختلف نوار خاصیت مغناطیسی متفاوتی تولید می شود که متناسب با شدت و ضعف صوت میکروفون است (شکل ۲۹۶).

برای برگرداندن صوت، کافی است که این نوار را در مقابل همان الکتروامان و با همان سرعت عبور دهیم. در نتیجه جریان متغیری در سیم پیچ الکتروامان پدید می آید که پس از تقویت وارد بلندگو می شود و همان صوت اولیه را تولید می کند (شکل ۲۹۷).

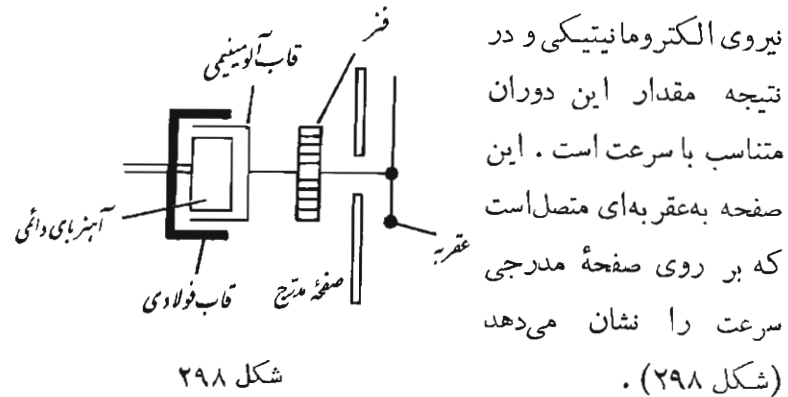


شکل ۲۹۷

سرعت سنج اتوموبیل

۲۶۶- سرعت سنج اتوموبیل تشکیل شده است از یک آهنربای دائمی که با سرعتی متناسب با سرعت چرخها می چرخد. در مقابل این آهنربا، قابی از آلومینیم قرار گرفته که می تواند به دور محوری بچرخد و به فنری بسته شده است که در برابر چرخش صفحه مقاومت می کند.

هنگامی که آهنربا می چرخد، جریانی القایی در صفحه آلومینیمی تولید می شود و در نتیجه یک نیروی الکترومغناطیسی از طرف آهنربا بر این جریان القایی وارد می شود که می خواهد صفحه آلومینیمی را با خود بچرخاند. این صفحه آنقدر می چرخد تا نیروی مقاومت فنر این نیرو را خنثی کند.

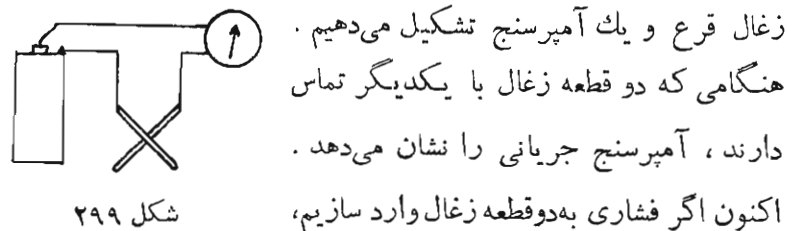


شکل ۲۹۸

تلفن

۲۶۷- تلفن - تلفن دستگاهی است که برای انتقال صوت بکار می رود.

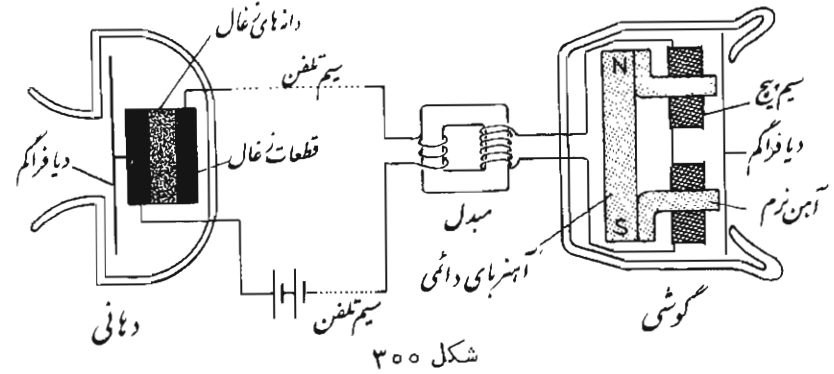
آزمایش - مداری مطابق شکل ۲۹۹ از یک پیل جیبی، دو قطعه



شکل ۲۹۹

زغال قرع و یک آپرسیج تشکیل می دهیم. هنگامی که دو قطعه زغال با یکدیگر تماس دارند، آپرسیج جریانی را نشان می دهد. اکنون اگر فشاری به دو قطعه زغال وارد سازیم، مشاهده خواهیم کرد که شدت جریان در مدار زیاد می شود و برعکس،

با کم کردن فشار شدت نیز کم می شود. علت این است که بر اثر فشار، تماس بهتر می شود و مقاومت اتصالی دو قطعه زغال کاهش می یابد. از این خاصیت زغال قرع (تغییر مقاومت با فشار) در تلفن برای انتقال صوت استفاده می شود. تلفن از دو قسمت تشکیل شده است: میکروفون (دهانی) و گوشی. شکل ۳۰۰ دهانی يك تلفن را که به گوشی تلفن دیگر متصل است نشان می دهد. دهانی تلفن از دو قطعه زغال، که بین آنها دانه های ریزی از زغال موجود است، تشکیل شده است. یکی از این دو قطعه زغال به يك



شکل ۳۰۰

صفحه نازک فلزی به نام « دیافراگم » مربوط است. امواج صوتی که به دیافراگم برخورد می کنند، موجب ارتعاش دیافراگم، و در نتیجه موجب تغییر فشار بر دانه های زغال می شوند. تراکم دانه های زغال موجب کاهش مقاومت الکتریکی آنها می شود. بنابراین جریان در سیم تلفن هماهنگ با تغییرات فشار امواج صوتی تغییر می کند.

گوشی تلفن از يك آهنربای دائمی و يك دیافراگم فولادی تشکیل شده است. در محل قطبهای آهنربا، دو قطعه آهن نرم قرار دارد که به دور آنها سیم پیچی پیچیده شده است. جریان متغیری که توسط دهانی ایجاد شده است از سیم پیچ گوشی عبور می کند و موجب تغییر نیروی جاذبه

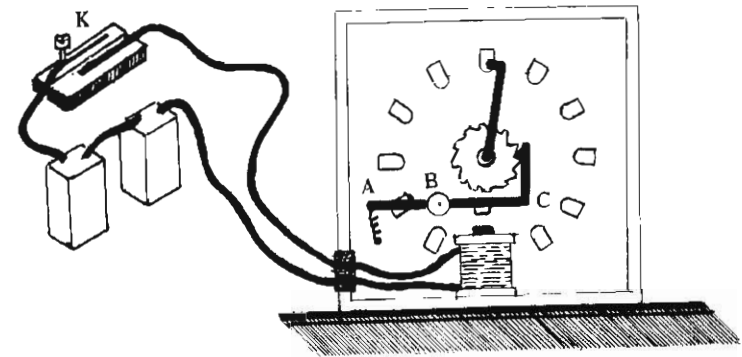
مغناطیسی بر دیافراگم می شود. در نتیجه دیافراگم بر ارتعاش درمی آید و امواجی صوتی نظیر امواجی که بر دهانی تلفن برخورد کرده اند تولید می کند. منظور از قراردادن آهنربای دائمی در گوشی تلفن، تولید يك جاذبه مغناطیسی یکنواخت بر دیافراگم می باشد. با این عمل دیافراگم، در مقابل تغییرات جریان سیم پیچها، شدیدتر مرتعش می شود. بعلاوه اگر در گوشی تلفن، آهنربای دائمی نباشد، علامت دریافت شده، يك اکتاو بالاتر از علامت ارسالی خواهد شد.

مقاومت دهانی کم و در حدود يك اهم است، و حال آنکه مقاومت گوشی در حدود ۱۰۰ اهم است، زیرا سیم پیچ گوشی دارای پیچهای متعدد است و از سیم نازک تشکیل شده است. مبدل در عین حالی که تغییرات جریان را به گوشی می رساند، از کاهش جریان در سیم جلوگیری می کند. اگر مبدل نباشد، به علت وجود مقاومت بسیار زیاد گوشی، جریان در سیم فوق العاده کاهش می یابد.

تلفن خود کار

۲۶۸- آزمایش - به محور چرخ دنداندار خاصی (مانند چرخ دنداندار رقاصک ساعت) مطابق شکل ۳۰۱ يك میله فلزی به نام «کلیکت» متصل است. این میله می تواند بر روی دگمه هایی فلزی به نام «کنتاکت» بلغزد. از طرف دیگر اهرمی مانند ABC در مقابل الکتروامانی چنان قرار گرفته است که می تواند به دور نقطه B دوران کند و سبب

دوران چرخ دندانه‌دار شود. الکتروامان به وسیله کلید **K** به یک باتری متصل است. هرگاه کلید **K** را ببندیم، جریان برق از الکتروامان عبور می‌کند و در نتیجه هسته آهنی داخل الکتروامان مغناطیس شده و آهن را جذب می‌کند. در نتیجه چرخ دندانه‌دار فقط به اندازه یک دندانه می‌چرخد و کلیکت از کنتاکتی به کنتاکت بعدی منتقل می‌شود. اگر مدار را در این هنگام قطع کنیم، آهن **ABC** به وضع اول خود باز می‌گردد، ولی کلیکت در همان محل بر روی کنتاکت ثابت می‌ماند.



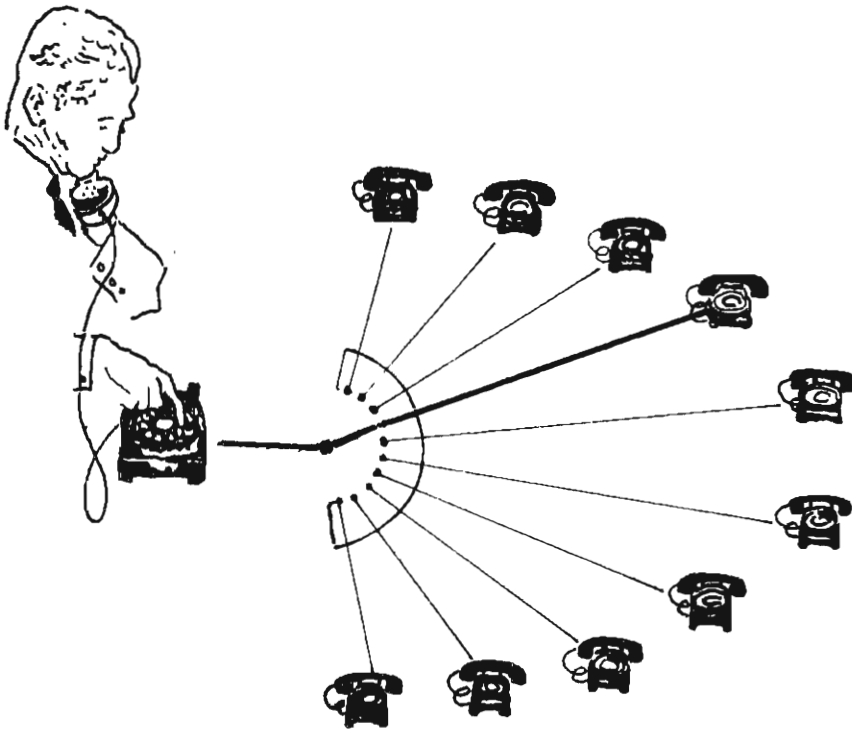
شکل ۳۰۱

بدین ترتیب چرخ دندانه‌دار یک دندانه به جلو رفته است. حال اگر این عمل (قطع و وصل جریان) چهار بار تکرار شود، کلیکت بر روی کنتاکت شماره ۴ قرار می‌گیرد.

۲۶۹ - اساس تلفن خودکار - اساس تلفن خودکار بر روی

آزمایش بالا قرار گرفته است، بدین ترتیب که سیم هر مشترک به محور

کلیکت مربوط است. فرض کنیم که بیش از ده شماره تلفن نباشد و مثلاً یک مشترک بخواهد با مشترکی مربوط شود که شماره تلفنش ۷ است. کافی است که نمره ۷ را بچرخاند، در این صورت هفت بار مدار قطع و

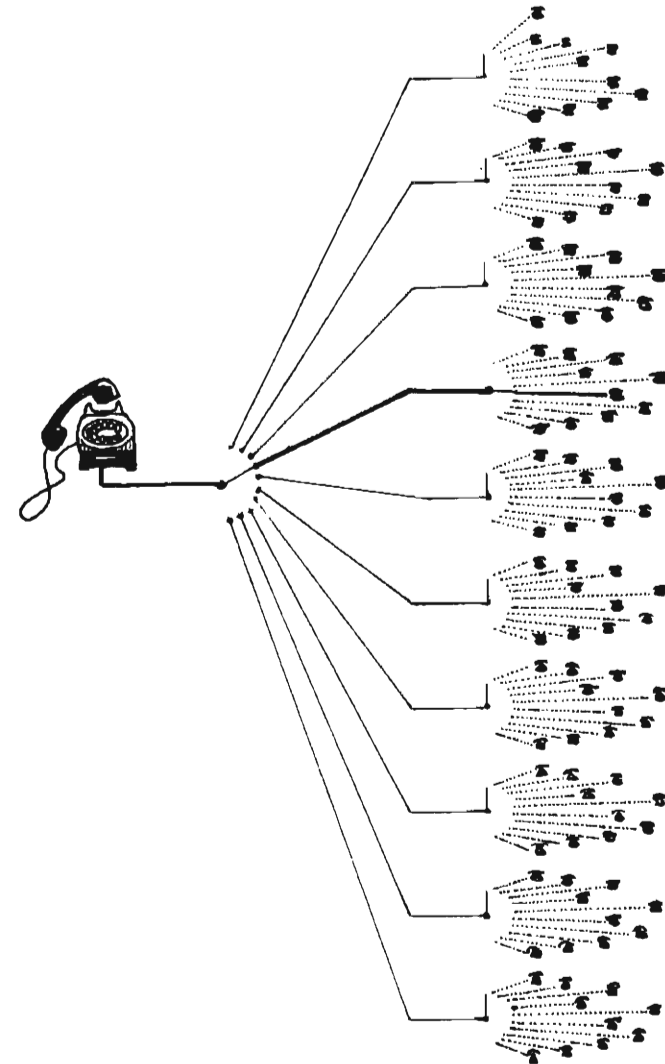


شکل ۳۰۲

وصل شده و کلیکت بر روی کنتاکت ۷ قرار می‌گیرد و تماس بین دو مشترک بطور خودکار برقرار می‌شود (شکل ۳۰۲).

حال اگر عدد مشترکان صد باشد، تلفن هر مشترک باید دو شماره

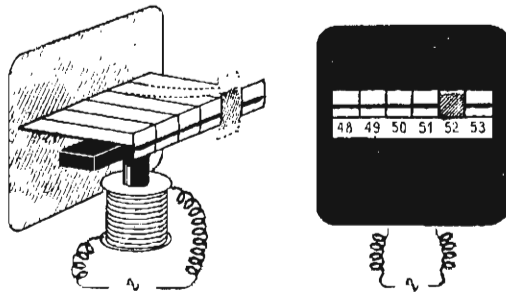
داشته باشد . اولین شماره خط را مشخص کند و دومین شماره ، دومشترك را به یکدیگر مربوط سازد . در شکل ۳۰۳ تلفن به خط شماره ۷ و در داخل این خط به مشترك شماره ۵ وصل شده است .



شکل ۳۰۳

تواتر سنج (فرکانس متر) - نوسان سنج (اسیلو گراف).

۳۷۰- تواتر سنج - چنانکه دیدیم ، اگر جریان متناوبی را از تار مرتعشی که در میدان مغناطیسی يك آهنربای نعل اسبی قرار گرفته است عبور دهیم ، هنگام تشدید ، تواتر تار و تواتر جریان برابر خواهند بود . از این نتیجه در صنعت استفاده کرده دستگاهی به نام تواتر سنج ساختند (شکل ۳۰۴) که برای تعیین تواتر جریان بکار می رود . این دستگاه تشکیل شده است از يك الكتروامان که در مقابل آن میله های آهنی مختلف نصب شده است . می دانیم که با الكتروامان فرکانس جریان

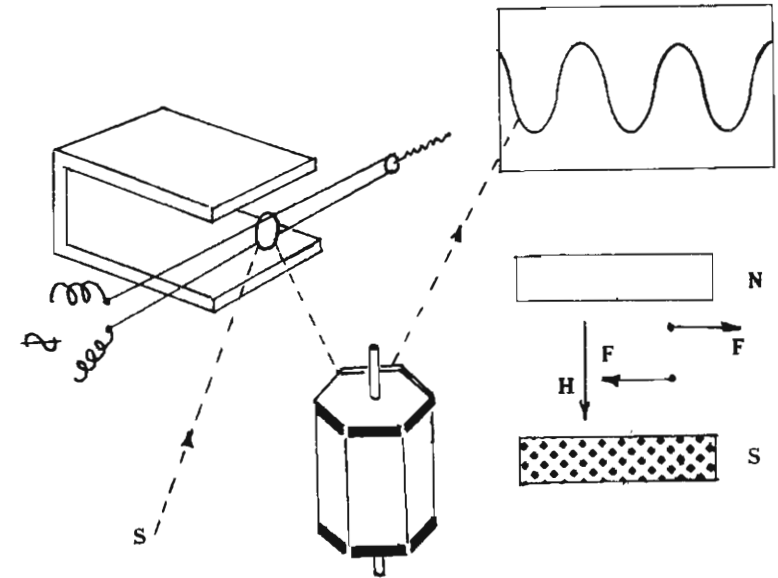


شکل ۳۰۴

نصف فرکانس میله (در حال تشدید) است . این رقم روی صفحه نوشته شده است . هر يك از میله ها به تشدید در آمد ، تواتر جریان را بر روی صفحه و در برابر همین میله می خوانند .

۳۷۱- نوسان سنج - نوسان سنج تشکیل شده است از يك گالوانومتر با قاب متحرك (شکل ۳۰۵) که قاب آن به شکل مربع مستطیل درازی است که از يك سیم نازك ساخته شده است . هنگامی که جریان متناوبی

از قاب می‌گذرد ، چون سوی جریان در دو ضلع مربع مستطیل مخالف یکدیگر است، قاب تحت تأثیر یک جفت نیرو واقع می‌شود و شروع به نوسان می‌کند . چون سیم نازک و سبک است ، حرکت آن کاملاً



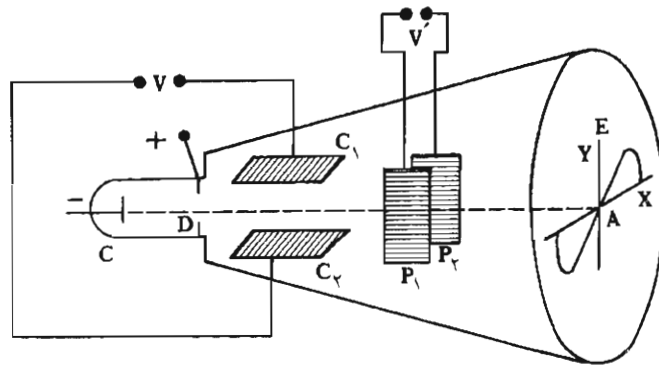
شکل ۳۰۵

از تغییرات جریان تبعیت می‌کند و تواتر آن برابر با تواتر جریان است. روی قاب یک آینه خیلی کوچک و سبک نصب می‌کنند و از منبع S برای آینه نور می‌تابانند . نوری را که از آن منعکس می‌شود روی یک فیلم عکاسی که به موازات قاب حرکت یکنواخت دارد می‌اندازند و بدین ترتیب از نوسان قاب عکسبرداری می‌کنند. به جای عکسبرداری ممکن است که نور منعکس از آینه کوچک را روی آینه دواری بیندازند که به دور محوری که موازی با سطح قاب و عمود بر اضلاع قاب است یکنواخت می‌چرخد و نور منعکس از آن را روی یک پرده بیفکنند . لکه نورانی

منحنی تغییرات جریان را رسم می‌کند . البته باید حرکت آینه چرخان چنان باشد که وقتی که یک دور کامل چرخید ، جریان نیز یک یا چند تناوب کامل را انجام داده باشد تا لکه دوباره همان منحنی را رسم کند.

۳۷۲- نوسان سنج کاندی - اسیلوگراف کاندی دستگاه بسیار

ارزنده‌ای است که در صنعت و در دستگاه گیرنده تلویزیون و رادار بکار می‌رود ، در آزمایشگاهها هم از این دستگاه ، مانند اسیلوگراف معمولی،



شکل ۳۰۶

برای مطالعه جریانهای متناوب با تواتر زیاد استفاده می‌شود. این دستگاه از جابجایی خالی از هوا تشکیل شده است که قسمتهای زیر در آن نصب است (شکل ۳۰۶) :

۱ - یک منبع تابش کننده الکترون (C) ، که یک کاتد سرد یا معمولاً یک سیم هلتهب است .

۲ - یک صفحه شیشه‌ای فلوئورسان (E) که سطح داخلی آن با تنگستات کادمیم اندود شده است . اشعه کاندیکی که از کاتد C تابش می‌شود به وسیله دریچه خیلی کوچک فلزی D محدود شده و بر روی صفحه

E يك نقطه نورانی A ایجاد می کند .

۳- دو خازن $C_1 C_2$ و $P_1 P_2$ ، که جوشنهای خازن اول ($C_1 C_2$) افقی و جوشنهای خازن دوم ($P_1 P_2$) قائم قرار گرفته اند . بین دو جوشن خازن $C_1 C_2$ اختلاف پتانسیل متناوب V را که منظور مطالعه آن است برقرار می کنیم و بین دو جوشن خازن قائم $P_1 P_2$ يك اختلاف پتانسیل متناوب V' خاص برقرار می کنیم . V' طوری است که در هر دوره تناوب تغییرات جریان متناسب با زمان است (منحنی نمایش تغییرات این جریان با زمان مانند دندانه های اره است) . هنگامی که دستگاه را بکار می اندازیم ، الکترونها تحت تأثیر دو میدان متناوب عمود برهم که توسط خازنهای ایجاد شده ، قرار می گیرند و در نتیجه لکه نورانی A ، منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل V را بر حسب زمان بر روی صفحه E رسم می کند (حرکت افقی لکه که بر اثر $P_1 P_2$ ایجاد می شود يك حرکت یکنواخت است و در نتیجه این حرکت زمان را نشان می دهد) .

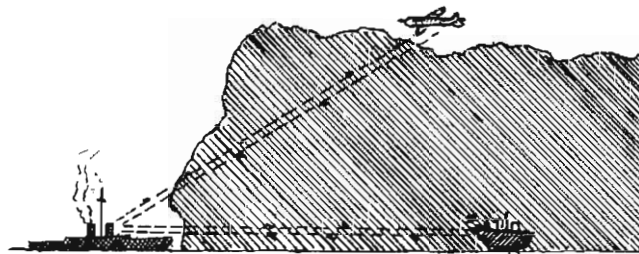
تذکر - می توان به جای دو خازن ، دو بوبین عمود بر یکدیگر قرار داد . در این صورت به جای میدان الکتریکی خازنهای ، میدان مغناطیسی دو بوبین مؤثر خواهد بود .

رادار

۲۷۳ - چنانکه در قسمتهای پیش دیدیم ، امواج الکترومغناطیسی (امواج رادیو) مانند امواج نوری و صوتی پس از برخورد به مانع منعکس

می شوند . رادار در جنگ جهانی دوم برای پیدا کردن محل هواپیماها در آسمان و کشتیها بکار می رفت .

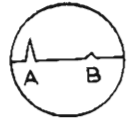
امروز رادار بیشتر برای راهنمایی هواپیماها در شب و فرود آمدن آنها در هوای مه آلود نیز بکار می رود . دستگاه رادار تشکیل شده است از يك فرستنده امواج رادیویی با طول موج کوتاه (در حدود دسیمتر) که يك دسته امواج باریک در يك امتداد به فضا می فرستد . این امواج بطور منقطع در حدود ۵۰ الی ۱۰۰ بار در ثانیه در فضا فرستاده می شود . هنگامی که این امواج به مانعی برخورد می کنند (مثلاً با بال هواپیما) ، به عقب منعکس می شوند . قسمتی از این امواج منعکس که طبیعتاً دارای انرژی کمی هستند وارد دستگاه گیرنده ای می شوند که توسط آن تقویت شده و جریان آن به يك اسیلوگراف کاندی فرستاده می شود . در نتیجه



شکل ۳۰۷

يك لکه نورانی روی صفحه اسیلوگراف دیده می شود که نشانه وجود هواپیماست . از بررسی وضعیت این لکه روی صفحه می توان به محل هواپیما پی برد . آشکار است که مانع (هدف) در همان امتدادی است که در آن امتداد دستگاه فرستنده موج فرستاده است (شکل ۳۰۷) و

علاوه بر این می توان فاصله هدف را تا دستگاه گیرنده از روی زمان رفت و بازگشت موج محاسبه کرد . برای این منظور می توان از فاصله دو علامت A و B که موجهای تابش و منعکس بر روی صفحه اسیلوگراف به جا می گذارند ، فاصله هدف را از دستگاه اندازه گرفت ، زیرا چنانکه در شرح اسیلوگراف گفتیم ، فاصله AB با زمان و در نتیجه با مسافت حقیقی در فضا متناسب است (شکل ۳۰۸) .

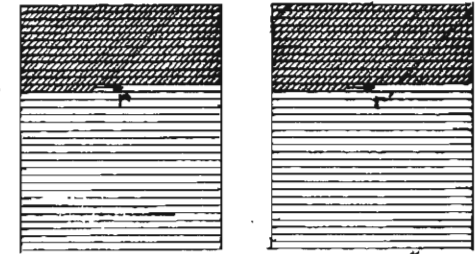


شکل ۳۰۸

ارسال تلگرافی تصاویر

۲۷۴ - اساس فرستادن تصاویر به وسیله تلگراف بر تبدیل نور به الکتریسیته و الکتریسیته به نور است . چون فرستادن تمام نقاط تصویر در آن واحد امکان ندارد ، باید آن را به قسمتهای کوچکی تجزیه کرد و این قسمتهای کوچک را جداگانه و پشت سر هم فرستاد . اگر این

قسمتها خیلی کوچک باشند ، چشم احساس پیوستگی می کند و تصویر واحدی می بیند (مانند تصاویری که برای روزنامه ها می -



فرستنده

گیرنده

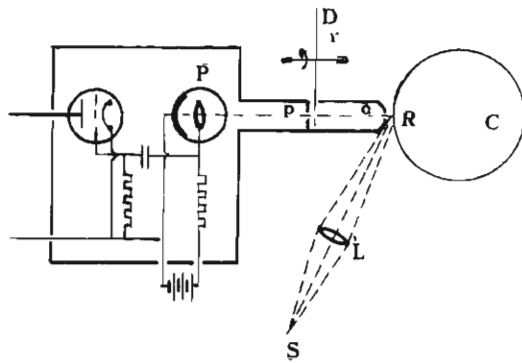
فرستند) (شکل ۳۰۹) .

شکل ۳۰۹

طرز عملی ساختن این هدف بدین قرار است که تصویر را بر روی استوانه ای که حرکت مارپیچی دارد می پیچند و سپس به وسیله يك

عدسی ، يك دسته اشعه باریك را از يك منبع نور كوچك بر روی تصویر می تابانند . این دسته اشعه باریك با سرعت روی قسمتهای مختلف تصویر را می پیماید . اشعه پس از انعکاس ، وارد عدسی همگرای دیگری می شود که نور را بر روی يك سلول فتوالکتریک می فرستد (شکل ۳۱۰) و بدین ترتیب نور به جریان برق متغیری تبدیل و پس از عبور از دستگاه تقویت به وسیله سیم یا بی سیم به مقصد فرستاده می شود . شدت جریان در هر لحظه متناسب با روشنی قسمتی از عکس است که در آن لحظه روشن شده است .

در مقصد این جریان متغیر وارد يك لامپ كوچك نئون (لوله های



شکل ۳۱۰

گیسلر) شده به نور تبدیل می شود . سپس اشعه را بر روی صفحه حساس عکاسی که بر روی استوانه ای پیچیده شده است ، و درست همان حرکت استوانه فرستنده را دارد ، می اندازند و بدین ترتیب عکس نقطه بنقطه انتقال می یابد .

تلویزیون

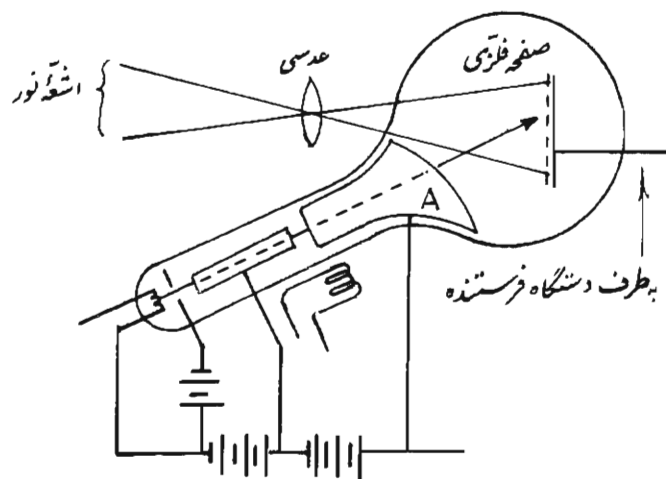
۲۷۵- اساس تلویزیون - طرز کار تلویزیون مانند ارسال

تلگرافی تصاویر است . فقط در اینجا باید لکه نور روشن کننده با سرعت خیلی بیشتری نقاط مختلف صحنه را چنان ببیند که تمام صحنه در مدتی کمتر از $\frac{1}{۱۶}$ ثانیه پیموده شود تا چشم در آن واحد تمام صحنه را پیوسته احساس کند . در پست فرستنده تلویزیون ، به وسیله يك منبع نور ، يك دسته اشعه باریك بر چیزی که می خواهند عکس آن را منتقل سازند می تابانند . این دسته باریك با سرعت زیادی قسمتهای مختلف این چیز را می پیماید . اشعه نور پس از انعکاس بر روی آن ، به يك سلول فتوالکتریک می تابد و بدین ترتیب نور به جریان برق متغیری تبدیل می شود که شدت آن بستگی به روشنی نقطه ای از صحنه دارد که در آن لحظه لکه نور به آن تابیده است .

این جریان ، پس از تقویت ، به وسیله امواج الکترومغناطیسی در فضا منتشر می شود . این امواج به وسیله دستگاه گیرنده تقویت شده سپس به نور تبدیل می شود . در تلویزیونهای اولیه جریان متغیر گیرنده را در يك اسیلوگراف وارد می کردند که آن را بنوسان در می آورد و يك دسته اشعه باریك بر آینه گالوانومتر آن می تابانند . اشعه پس از انعکاس بر روی صفحه فلئورسانسی می تابید و تصویری که از مجموع نقاط فوق العاده نزدیک به هم که یکی پس از دیگری تشکیل می شد بر روی صفحه نمایان می گشت . امروز دستگاه تلویزیون تکمیل شده و از قسمتهای زیر تشکیل یافته است :

در فرستنده تلویزیون ، دستگاهی که نور را به الکتریسته تبدیل

و سپس به وسیله امواج رادیویی (امواج الکترومغناطیسی) در فضا منتشر می کند ایکونوسکوپ (Iconoscope) نام دارد . این دستگاه مطابق

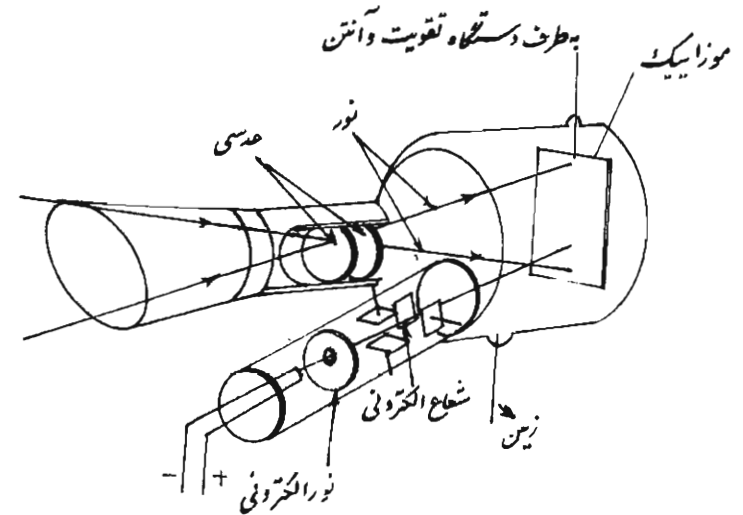


شکل ۳۱۱

شکل ۳۱۱ از حبایی خالی از هوا تشکیل شده که محتوی مقداری گاز با فشار فوق العاده کم است . چیز یا صحنه ای را که می خواهند به وسیله تلویزیون منتقل سازند ، به وسیله يك منبع نور بشدت روشن می کنند و اشعه نوری که از نقاط مختلف شیء صادر می شود به وسیله يك عدسی همگرا بر روی صفحه ای به نام موزایک فرستاده می شود . موزایک تشکیل شده است از ورقه نازکی از میکا که در طرف پشت آن صفحه ای از نقره قرار گرفته و قسمت جلو آن از دانه های ریز نقره اندود با سزیم پوشانده شده است . هریک از دانه های موزایک مانند يك سلول فتوالکتریک عمل می کند و بر اثر تابش نور ، الکترون از خود به خارج می فرستد . بنابراین قسمتهایی از صفحه موزایک که مورد تابش نور قرار می گیرند

مقداری الکترون از خود خارج می کنند که جذب آند A می شود .
این جریان حادث بین صفحه هادی و آند A ، پس از تقویت به
دستگاه فرستنده تلویزیون منتقل و به وسیله امواج الکترومغناطیسی در
فضا ارسال می شود . برای خنثی کردن موزاییک (تخلیه خازن) و مهیا
نمودن آن برای دریافت اشعه نورانی جدید ، یک لوله کاندی (لوله
کروکس) در قسمت مقابل موزاییک در محل C قرار گرفته است که آن را
(توپ الکترونی) می نامند . این دستگاه یک دسته الکترون با سرعت
فوق العاده زیاد بر روی صفحه موزاییک می فرستد که تمام سطح موزاییک
را در مدتی برابر با $\frac{1}{30}$ ثانیه طی می کند .

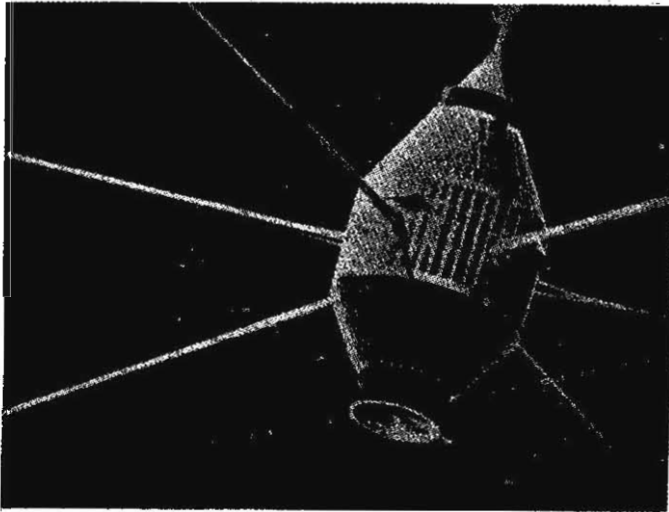
دستگاه گیرنده تلویزیون یا کینسکوپ (Kinescope) تشکیل
شده است از یک نوسان سنج کاندی که یک صفحه فلئوئورسان در مقابل



شکل ۳۱۲

اشعه الکترونی صادر از آن قرار گرفته است . جریانی که در آنتن گیرنده
القا می شود سبب ایجاد تغییراتی در اشعه کاندیک حادث از اسیلوگراف
می شود و در نتیجه بر روی صفحه فلئوئورسان عین تصویر ارسالی ایجاد و
رؤیت می شود . در شکل ۳۱۲ دستگاه فرستنده دیده می شود .

تذکر - باید دانست که در تلویزیون همراه با دستگاه فرستنده
تصاویر ، یک دستگاه فرستنده صوت نیز وجود دارد که دستگاه گیرنده
این دو موج را از یکدیگر جدا می کند و در ضمن رؤیت تصویر صوت هم
شنیده می شود .



يك ماه
مصنوعی

مخابره کنند. بعضی از ماههای مصنوعی با دوربین تلویزیونی نیز مجهزند تا ایستگاههای زمینی موفق به دریافت عکسهایی بشوند که منظره دنیا را در فاصله ۴۵۰ تا ۶۵۰ کیلومتری زمین نشان می دهند.

ماههای مصنوعی را به وسیله موشک در يك مدار قرار می دهند. برای آنکه موشکی بتواند جسمی را به فضا ببرد و آن را به صورت يك ماه مصنوعی در مداری بر گرد زمین قرار دهد، لازم است که بتواند در حدود ۵۰۰ کیلومتر بالا برود تا به ارتفاعی برسد که در آنجا مقاومت هوا ناچیز است، و نیز باید بتواند سرعتی افقی در حدود ۷ کیلومتر در ثانیه به ماه مصنوعی بدهد تا آن ماه در این مدار به چرخش به دور زمین در آید.

ناکنون ماههای مصنوعی متفاوتی به فضا پرتاب شده و پژوهشهای علمی شگفت انگیزی بعمل آمده و اطلاعات جالب و وسیعی جمع آوری گردیده است. از زمانی که بشر نخستین ماه مصنوعی خود را در مدار به دور

ماه مصنوعی = سفینه فضایی

دوران معاصر، به علت موفقیت بشر در امر مسافرتهای فضایی، بدعصر فضا موسوم شده است. از دیرباز فکر مسافرت در فضا و پژوهشهای فضایی در محیله بشر بوده است. توفیقی که امروز بر اثر سعی و کوشش و مجاهدت در راه پیشرفت علم نصیب بشر شده فصل تازه ای در مسافرتهای فضایی و جمع آوری اطلاعات دقیق علمی گشوده است. امروز بشر توانسته است وسایلی اختراع کند تا با آنها آزمایشهایی برای فرستادن مسافر به خارج از جو زمین انجام دهد.

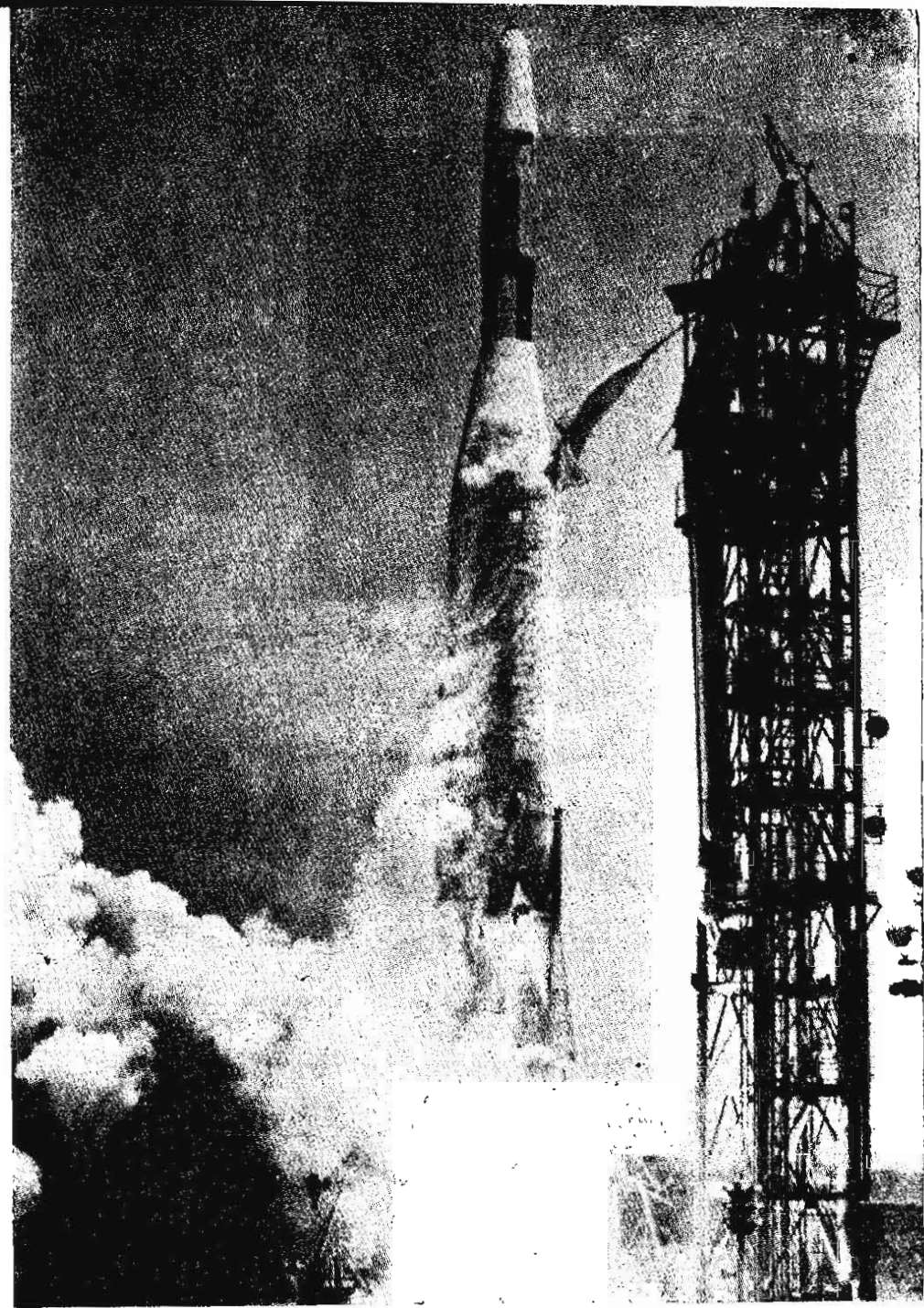
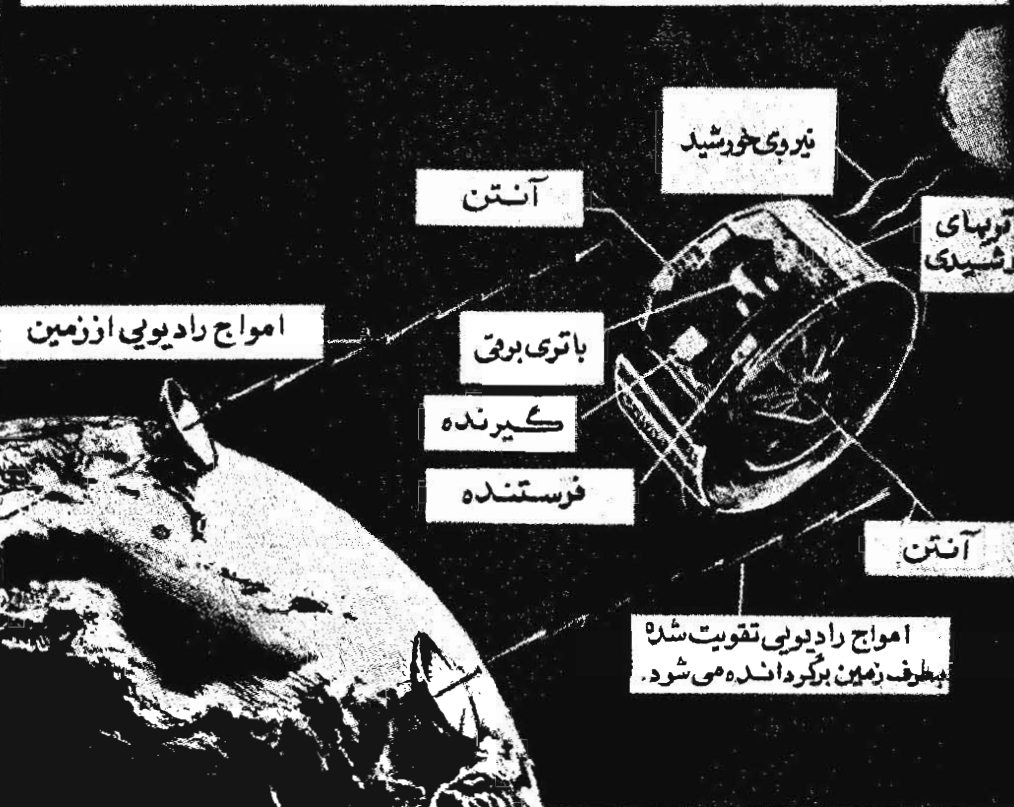
وسیله نقلیه ای که در این مسافرتها بکار می رود غیر از هواپیماهایی است که برای مسافرتهای فضایی در ارتفاعات کم و نزدیک به زمین ساخته شده است. چنانکه می دانید وسیله مسافرت به ارتفاعات زیاد و خارج از جو زمین موشک (Rocket) است.

ماه مصنوعی - اختراع ماههای مصنوعی که در مداری به گرد زمین بچرکت درمی آیند یکی از مراحل مهم در راه مسافرت به فضا بوده است. اغلب این ماههای مصنوعی که به وسایل علمی مجهزند دارای فرستنده رادیویی هستند تا اطلاعات کسب شده به وسیله دستگاههای علمی را به زمین

زمین قراردادۀ تاکنون موفقیت‌های بزرگی نصیب او گردیده است. آهنگ پیشرفت در امور فضایی بقدری سریع است که تمام این موفقیت‌های بزرگ در برابر آنچه در آینده تحقق خواهد پذیرفت كوچك و ناچیز جلوه‌گر خواهد شد.

نخستین ماه مصنوعی به نام اسپو تنیک I (Sputnik) در ۴ اکتبر سال ۱۹۵۷ به فضا پرتاب شد. دومین ماه مصنوعی به نام اسپو تنیک II

استفاده از ماه مصنوعی برای مخابره پیام‌های رادیویی و تلویزیونی بین قاره‌ها



موشك پرتاب کننده ماه مصنوعی

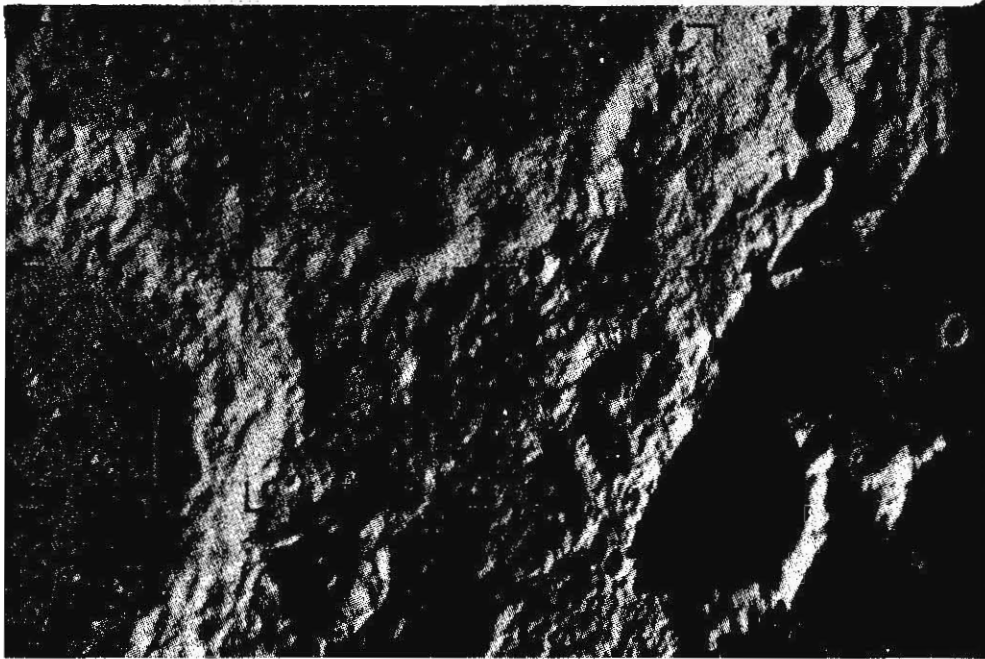
نیز يك ماه بعد در مدار زمین قرار گرفت . این ماه شامل محفظه‌ای بود که سگی زنده در آن قرار داشت، علت قراردادن سگ در این ماه مصنوعی آن بود که عکس العمل موجود زنده را در شرایط فضایی مورد مطالعه قرار دهند و راه را برای پرواز انسان به فضا باز کنند .

تاکنون ماههای مصنوعی مختلفی از طرف کشورهای امریکا و شوروی به منظوره‌ای مختلف به گردش به دور زمین درآمده است .

مرحله موفقیت آمیز دیگری که در راه تسخیر فضا طی شد فراهم آمدن امکان ارسال موشک‌هایی به خارج از میدان نیروی جاذبه زمین بود. در پرتاب موشک به خارج از میدان نیروی جاذبه زمین مسئله مهم بدست آوردن سرعت زیاد و رسیدن به سرعت گریز است . سرعت گریز سرعتی است که با آن سرعت، موشک می تواند از تأثیر نیروی جاذبه زمین خارج شود . محاسبه نشان داده است که مقدار این سرعت 11.2 km/s است. در فوق سرعت گریز ، انرژی جنبشی موشک از انرژی پتانسیل آن نسبت به کره زمین تجاوز می کند و در نتیجه نیروی ثقل زمین از کشیدن موشک به سوی خود ناتوان می ماند .

با پرتاب قمرهای مصنوعی به خارج از میدان نیروی جاذبه زمین بشر توانسته است که اطلاعات جالب و دقیقی از کرات ماه و ناهید و مریخ بدست آورد و حتی عکس‌هایی از آن قسمت ماه که رو به زمین نیست فراهم آورد. **سفینه فضایی -** در دوازدهم آوریل سال ۱۹۶۱ نخستین ماه مصنوعی با سر نشین به خارج از جو زمین پرتاب شد . این ماه مصنوعی،

واستوک I (Vostok I) و فضا نورد آن **گگارین (Gagarin)** نام داشت. **واستوک I** به وسیله موشک چند طبقه در مدار به دور زمین قرار گرفت و يك بار گرد آن چرخید و اولین ماه مصنوعی بود که توانست يك انسان زنده را به دور زمین در فضا بگرداند و سپس به زمین برگردد. چهار ماه بعد، سفینه دیگری به نام **واستوک II** به فضا پرتاب شد و هفده بار گرد زمین چرخید. پس از آن،



قسمتی از سطح کره ماه که توسط دوربین تلویزیونی یکی از ماههای مصنوعی از فاصله ۱۲۴۰ کیلومتری برداشته شده است

سفینه‌های دیگری با سر نشین در مدار زمین قرار گرفت که سه یا چهار روز به دور زمین در چرخش بودند. فضا نوردان بعضی از این سفینه‌ها توانسته اند که در فضا از سفینه خود خارج شده به رادیمایی فضایی پردازند .

مه نوردهایی که تا کنون از زمین به طرف ماه پرتاب شده است

توانسته اند بآرامی بر سطح ماه بنشینند و عکسهایی از چند متری این کره برداشته بدزمین مخابره کنند. فرود انسان بر ماه، و نصب دستگاه های علمی در سطح این کره و آوردن نمونه ای از خاک ماه به زمین و بالاخره تمام این فعالیت های فضایی که باموفقیت انجام گرفته است آشکار می سازد که اولاً بشر توانایی رفتن به فضا را دارد و ثانیاً ساختن ایستگاه های فضایی که بتوان از آنها برای مسافرت به کره ماه یا گردآوری



يك فضاءنورد هنگام راه پیمایی فضایی

اطلاعات علمی استفاده کرد امکان پذیر است.

داستان تفحصات فضایی پایان ندارد. دامنه تحقیقات و استفاده هایی که از این راه عاید بشر خواهد شد بی انتهاست و مشکل بتوان پیش بینی کرد که در آینده چه خواهد شد. اما آنچه مسلم است این که مجموعه این کاوش های اساسی دریچه تازه ای از جهان هستی به روی بشر خواهد گشود و از مسائل ناشناخته ای پرده بر خواهد داشت.

مسائل امتحانات نهایی

۱- از نقطه A بر سطح شیب دار AB که با سطح افقی زاویه α درست می کند، ادا به ای به جرم يك تن بدون سرعت اولیه رها می شود. بعد از ۴ ثانیه و پیمودن مسافت $۳۹/۲$ متر به پایین سطح می رسد. اولاً - زاویه α را به فرض صرف نظر کردن از مقاومتها حساب کنید ($g = ۹/۸ \text{ m/s}^2$). ثانیاً - سرعت جسم را در پایین سطح در نقطه B و انرژی جنبشی آن را بر حسب کیلوگرم متر حساب کنید.

۱) $\alpha = ۳^\circ$ ۲) $۱۹/۶ \text{ m/s}$ ۱۹۶۰۰ kgm
۳- روی سطح شیب دار AB که زاویه اش با سطح افقی ۳۰° است گلوله ای بدون سرعت اولیه از نقطه A رها می شود. فاصله $AB = ۳۹/۲$ متر و شتاب ثقل $۹/۸ \text{ m/s}^2$ است. از اصطکاکها صرف نظر می شود.
۱- معین کنید بعد از چه مدت گلوله به نقطه B خواهد رسید؟
۲- در نقطه B سرعت گلوله چقدر است؟
۳- در نقطه B گلوله از سطح AB خارج شده و روی سطح شیب دار BC بالا می رود و این سطح زاویه اش با سطح افقی ۴۵° است. معلوم کنید گلوله روی این سطح چه مسافتی را خواهد پیمود و در چه نقطه خواهد ایستاد؟

۱) ۴ s ۲) $۱۹/۶ \text{ m/s}$ ۳) $۱۹/۶ \sqrt{۲} \text{ m}$

۳- جعبه ای به جرم ۵۰۰ گرم را میان دو سیم شائغولی چنان قرار می دهیم که هنگام افتادن بر سیمها بلغزد. از مقاومتها صرف نظر می شود.

۱- مسافتهایی را که جعبه در $\frac{1}{5}$ ثانیه و $\frac{2}{5}$ ثانیه پس از آغاز حرکت پیموده است حساب کنید.
۲- سرعت و انرژی جنبشی جعبه را در آن مدت ها حساب کنید.
۳- هرگاه مالش معادل $۰/۸ \text{ kgf}$ و سوی آن از پایین به بالا باشد مسافتی را که جعبه $۰/۲$ ثانیه پس از آغاز حرکت پیموده است حساب کنید.
۴- اگر جرم جعبه ۱۰۰۰ گرم باشد، چه تفاوتی در نتیجه پرسشهای ۲ و ۱ پیدا

خواهد شد ($g = 980 \text{ C.G.S.}$)

$$۱) ۱۹/۶ \text{ cm} \text{ و } ۷۸/۴ \text{ cm} \quad ۲) ۱۹۶ \text{ cm/s} \text{ و } ۳۹۲ \text{ cm/s} \quad ۳) ۵/۰۹۸ \text{ kgm}$$

در نتیجه پرسش ۱ و ۲ تفاوتی نمی‌کند

۴ - اتوموبیلی به جرم ۱۶۰۰ kg در جاده‌ای به شیب $۵/۵۳$ بدون سرعت اولیه راه افتاده و موتور آن کار می‌کند و نیروی کشش آن مساوی ۱۲ kgf که در امتداد جاده بر آن اثر می‌کند. تعیین کنید: ۱ - برآیند نیروهایی را که در امتداد جاده سرازیر بر اتوموبیل اثر می‌کند، ۲ - شتاب اتوموبیل را، ۳ - سرعت اتوموبیل را پس از پیمودن ۲۰۰ متر از جاده سرازیر. ۴ - اتوموبیل با این سرعت به پایین جاده می‌رسد و در جاده افقی حرکت می‌کند. در این لحظه موتور خاموش می‌شود. تعیین کنید پس از طی چه مسافت خواهد ایستاد، در صورتی که می‌دانیم در جاده افقی اصطکاک برابر ۴۰ kgf است ($g = 9/81 \text{ m/s}^2$)

$$۱) ۶۰ \text{ kgf} \quad ۲) ۵/۳۶۸ \text{ m/s}^2 \quad ۳) ۱۲/۱۴ \text{ m/s} \quad ۴) ۳۰۰ \text{ m}$$

۵ - اتوموبیلی به جرم ۲ تن در جاده‌ای به شیب $۲/۵$ درصد با تندی ۳۶ km/h بالا می‌رود. ۱ - انرژی جنبشی آن را بر حسب کیلوگرم متر و ژول تعیین کنید. ۲ - در صورتی که نیروی مالش در مقابل حرکت اتوموبیل ۵۰ kgf باشد، معین کنید قدرت موتور را در صورتی که بدانیم حرکت اتوموبیل یکنواخت است. ۳ - می‌دانیم که از سوخت هر گرم بنزین ۱۱۰۰۰ cal گرما حاصل می‌شود. معین کنید مصرف بنزین را بر حسب لیتر در طی ۵ کیلومتر، در صورتی که بازده موتور ۴۶ درصد و جرم مخصوص بنزین $۵/۷۴$ باشد ($g = 9/81 \text{ m/s}^2$)

$$\text{لیتر } ۵/۳۱ \quad ۱) ۱۰۱۹۴ \text{ kgm} \text{ و } ۱۰۵ \text{ J} \quad ۲) ۱۰۳ \text{ kgm/s} \quad ۳) ۵۰۳ \text{ kgm/s}$$

۶ - جسمی از ارتفاع h بدون سرعت اولیه رها شده است. برای اندازه‌گیری زمان سقوط آن از آونگ ساده‌ای به طول $l = ۵۰ \text{ cm}$ استفاده می‌شود. این آونگ در طول مدت سقوط جسم درست چهار نوسان ساده می‌کند.

۱ - ارتفاع h را پیدا کنید. ۲ - در صورتی که m جرم جسم مزبور ۲۰ kg باشد، انرژی جنبشی جسم را در هنگام برخورد به سطح زمین بر حسب ارگ و کیلوگرم متر حساب کنید و اگر تمام انرژی جنبشی به گرما تبدیل شود، مقدار گرمای حاصل بر حسب کیلوکالری چقدر خواهد بود (از مقاومت هوا صرف نظر می‌شود و برای سهولت حساب π^2 را ۱۰ بگیرید و $g = 981 \text{ cm/s}^2$).

$$۱) ۴۰ \text{ m} \quad ۲) ۸۰۰ \text{ kgm} \text{ و } ۷۸۴۸ \times ۱۰^۵ \text{ ارگ} \quad ۳) ۱/۸۸ \text{ kcal}$$

۷ - در مکانی آونگ ساده‌ای، به طول ۱ m ، ثانیه را می‌زنند یعنی زمان نوسان کامل آن ۲ ثانیه است. ۱ - معین کنید شتاب ثقل g را در این مکان. ۲ - در همان مکان و در خلا گلوله آهنی به جرم ۲۰۰ گرم آزادانه از ارتفاع $h = ۱۹۷۲$ متر سقوط می‌کند. معین کنید سرعت گلوله را در موقع برخورد به زمین و انرژی جنبشی گلوله را در این هنگام بر حسب ژول و کیلوگرم متر.

$$۱) ۹۸۵/۹۶ \text{ cm/s}^2 \quad ۲) ۱۹۷ \text{ m/s} \quad ۳) ۳۸۸۱ \text{ J} \quad ۴) ۳۹۴ \text{ kgm}$$

۸ - جسم C به جرم M بدون مالش بر سطح شیب‌داری که با سطح افقی OH زاویه ۳۰° می‌سازد حرکت می‌کند. این جسم به وسیله نخ‌کی که از قرقره A می‌گذرد به جسم B ، به جرم m مساوی ۳۳۰ گرم که در امتداد قائم HA حرکت می‌کند، متصل است. در ابتدای حرکت جسم C در نقطه O و جسم B در نقطه‌ای به فاصله ۱ m از سطح زمین قرار دارد و جسم B پس از ۲ ثانیه از ابتدای حرکت به نقطه H می‌رسد. در این لحظه نخ پاره می‌شود.

۱ - جرم جسم C و فاصله OD را حساب کنید (D نقطه‌ای است از سطح شیب‌دار که در آنجا جسم C هنگام بالا رفتن می‌ایستد). ۲ - سرعت جسم C را هنگامی که جسم B به زمین می‌رسد حساب کنید. ۳ - هنگامی که جسم C به O باز می‌گردد انرژی جنبشی آن را حساب و تعیین کنید که اگر بر اثر ضربه ناگهانی ساکن شود چه مقدار گرما پس می‌دهد ($g = ۱۰۰۰ \text{ C.G.S.}$)

$$۱) m = ۵۷۰ \text{ g} \quad ۲) ۱۱۰ \text{ cm} \quad ۳) ۱۰۰ \text{ cm/s} \quad ۴) ۳/۱۲۵ \text{ J} \text{ و } ۵/۷۵ \text{ cal}$$

۹ - سنگی را به حال آزاد از دهانه چاهی رها می‌کنند. بعد از ۹ ثانیه صدای برخورد سنگ به ته چاه شنیده می‌شود. اگر $g = ۱۰ \text{ m/s}^2$ و سرعت صوت در هوا ۳۲۰ m/s باشد، معین کنید: ۱ - عمق چاه را، ۲ - اگر جرم جسم ۱۰۰ kg باشد، انرژی جنبشی آن را در هنگام رسیدن به ته چاه بر حسب کیلوگرم متر و ژول. ۳ - اگر این انرژی به گرما تبدیل شود، چند کالری گرما حاصل خواهد شد؟

$$\text{تقریباً } ۱) ۳۲۰ \text{ m} \quad ۲) ۳۲۰۰۰ \text{ kgm} \text{ و } ۳۲۰۰۰۰ \text{ J} \quad ۳) ۷۶/۶ \text{ kcal}$$

۱۰ - دو وزنه M و M' به وسیله نخ‌کی که از روی قرقره‌ای عبور می‌کند به هم متصلند و روی دو سطح شیب‌دار حرکت می‌کنند. M روی سطحی است که با سطح افقی زاویه $\alpha = ۶۰^\circ$ و M' روی سطحی است که با سطح افقی زاویه $\beta = ۳۰^\circ$ می‌سازد. ۱ - مطلوب است شرط تعادل دو وزنه. ۲ - اگر

دو وزنه مساوی باشند حرکت در چه سمتی است و شتاب آن چقدر است؟ ۳- اگر α را مساوی 90° و وزنه‌ها را $M=60$ گرم و $M'=100$ گرم اختیار کنیم، انرژی سینتیک وزنه M را پس از ۱۰ متر تغییر مکان از وضعیت تعادل پیدا کنید ($g=9.8 \text{ m/s}^2$).

۱۱- گلوله تفنگی به جرم $12/8$ گرم با سرعت 720 m/s از دهانه تفنگ خارج می‌شود، مطلوب است: ۱- انرژی جنبشی آن در حال خروج. ۲- به فرض آنکه گلوله در داخل لوله تفنگ به طول 80 cm دارای حرکت متشابه‌التغییر باشد، مدتی که طول می‌کشد تا گلوله از تفنگ خارج شود. ۳- اگر فرض کنیم که گلوله، پس از خروج، به مانعی برخورد کند و تمام انرژی آن به گرما تبدیل و گلوله گرم شود، مطلوب است ازدیاد دمای گلوله در صورتی که گرمای ویژه آن 0.1 باشد.

۱۲- یک سیم آهنی به طول 150 cm ، $11/7$ گرم جرم دارد. این سیم به وسیله وزنه‌ای به وزن $P=10 \text{ kgf}$ کشیده شده است و در قسمت افقی آن طول $l=1 \text{ m}$ به وسیله دو خیز جدا شده است. ۱- مطلوب است ارتفاع صوت حاصل از این سیم و اسم آن. ۲- کشش سیم را چقدر تغییر دهیم تا الف) صوت حاصل بمول صوت اول شود. ب) ارتفاع صوت حاصل نصف ارتفاع صوت اول شود. ۳- طول لوله صوتی بسته‌ای را حساب کنید که همصدا با صوت اصلی سیم باشد ($g=9.8 \text{ m/s}^2$ و $la_p=435$).

۱۳- طول یک سیم آهنی 50 cm و جرم آن $3/9$ گرم است. وزنه P مساوی 10 kgf را به آن می‌آویزیم و آن را به ارتعاش درمی‌آوریم. ۱- تواتر صوت اصلی را حساب کنید. ۲- در صورتی که عده ارتعاشات la_p مساوی 435 باشد، صوتی که سیم می‌دهد در میان کدام دو صوت طبیعی است. ۳- اگر بخواهیم نخست بمول و سپس دیز و پس از آن اکتاو بم آن را بدست بیاوریم وزنه P را چه اندازه بگیریم ($g=981 \text{ cm/s}^2$).

۱۴- پیستون P به یک سر نخ که از قرقره‌ای می‌گذرد متصل است و در داخل لوله صوتی قائمی می‌تواند بدون اصطکاک حرکت کند. سر دیگر نخ متصل به یک وزنه هم جرم با پیستون است (قرقره، پیستون و وزنه تشکیل یک ماشین آتوود می‌دهند). روی پیستون P سرباری به جرم $\frac{1}{1000}$ گرم پیستون می‌گذاریم. پیستون در 5 ثانیه اول $6/1 \text{ cm}$ پایین می‌آید. ۱- مطلوب است شتاب ثقل. ۲- در پایین لوله دیاپازونی قرار گرفته است که در

هر ثانیه 170 نوسان کامل می‌کند. اگر مبدأ حرکت پیستون نقطه B (ابتدای لوله) باشد، زمان مربوط به حالت تشدید لوله را حساب کنید. سرعت صوت در گاز داخل لوله 340 m/s و طول لوله مساوی $9/104 \text{ cm}$ است. از مالش قرقره و مقاومت هوا صرف نظر می‌شود.

۱۵- طول لوله بسته‌ای 85 cm است. ۱- تعیین کنید تواتر صوت اصلی را. ۲- در مجاورت آن سیمی به طول 80 cm مرتعش می‌شود و صوتی که می‌دهد اکتاو صوت اصلی لوله است. نیروی کشش سیم را بر حسب کیلوگرم نیرو تعیین کنید در صورتی که می‌دانیم هر متر سیم $5/25$ گرم جرم دارد. ۳- نوتی که سیم می‌دهد بین کدام دو نوت است (سرعت صوت در هوا 340 m/s و $la_p=435$).

۱۶- در یک لوله صوتی باز که دارای هوای 20° است، صوتی تولید می‌شود و فقط دو گره به فاصله 40 cm در آن تولید شده است. ۱- طول موج این صوت را تعیین کنید. ۲- طول لوله صوتی چقدر است؟ ۳- ارتفاع صوت و محل آن را در گام موسیقی تعیین کنید. ۴- تار مرتعشی در مقابل لوله قرار داده‌ایم. طول تار یک متر و قطر مقطع سیم $5/8 \text{ mm}$ و جرم مخصوص آن $7/18 \text{ g/cm}^3$ است. معین کنید نیروی کششی که باید به سیم داد تا همصدا با این لوله باشد. سرعت صوت در صفر درجه 331 m/s و $\alpha = \frac{1}{273}$ است.

۱۷- سطح انبار آبی 1800 m^2 و گودی آن 6 متر است. توربینی را هم سطح با کف این انبار قرار می‌دهیم. هنگامی که توربین را به وسیله آب این انبار می‌گردانیم، در مدت 20 ساعت آب انبار خالی می‌شود. ۱- توان متوسط این توربین در این مدت چقدر است؟ ۲- هرگاه دینامویی را به وسیله این توربین بچرخانیم، چند چراغ 50 شمعی می‌توان به وسیله آن روشن کرد در صورتی که بدانیم برای هر شمع $9/5$ وات مصرف می‌شود.

۱۸- سقوط آبی از ارتفاع 80 متر و با آبدۀ 3000 لیتر در دقیقه توربینی را می‌چرخاند و این توربین دینامویی را می‌چرخاند. ۱- اگر فرض شود که سرعت آب در حین خروج از توربین صفر است، قدرت توربین را حساب کنید. ۲- اگر سرعت در حین خروج از توربین 5 m/s باشد قدرت توربین را بر حسب کیلووات حساب کنید. ۳- دیناهو به وسیله یک تسمه، موتوری را بکار می‌اندازد. اختلاف پتانسیل بین دو قطب 1260 ولت است. شدت را حساب کنید (حالت اول را در نظر بگیرید). ۴- اگر قدرت

تولید شده به وسیله ریزش آب را بخواهیم از سوخت بنزین بدست آوریم ، حساب کنید چقدر بنزین در يك ساعت مصرف می شود در صورتی که تمام انرژی گرمایی به انرژی مکانیکی تبدیل شود . گرمای حاصل از سوخت يك گرم بنزین برابر با ۱۰kcal و $g = ۱۰\text{m/s}^2$ و بازده توربین و دینامو هر کدام $۰/۹$ است .

۱۹- ارتفاع متوسط آبشاری ۲۰ متر و مقدار آبی که در هر ثانیه می ریزد $۱/۵$ متر مکعب است . این آبشار به کمک چرخ پره دار يك مولد الکتریکی را بکار می اندازد . بازده چرخ پره دار و مولد الکتریکی بترتیب ۲۰ درصد و ۸۰ درصد است . ۱- سرعت آب را در پایین آبشار پیدا کنید در صورتی که سرعت آب در بالای آبشار صفر فرض شود . ۲- توان چرخ پره دار و مولد الکتریکی را بر حسب اسب بخار و کیلووات حساب کنید . ۳- $\frac{1}{3}$ توان مولد در دستگاههای گرمایی مصرف می شود ، مقدار گرمای حاصل در ثانیه را بر حسب کالری بزرگ تعیین کنید . ۴- با بقیه توان این مولد چند چراغ ۶۰ واتی را می توان روشن کرد در صورتی که از مقاومت سیمهای رابط صرف نظر شود ($g = ۹۸۰\text{cm/s}^2$) .

۲۰- آبشاری به بلندی ۵۰ متر ، ۸۰۰ لیتر آب در ثانیه می دهد . این آبشار توربینی را حرکت می دهد و توربین يك آلترناتور را می چرخاند که نیروی محرکه موتور آن ۳۳۰۰ ولت است . بازده توربین $۰/۸۵$ و بازده آلترناتور $۰/۹۲$ و ضریب قدرت $۰/۸$ است . شدت جریان را حساب کنید ($g = ۹/۸۱\text{m/s}^2$) .

انرژی الکتریکی در فاصله ۱۰km از جای تولید آن مصرف می شود . می خواهیم در این فاصله بیش از ۲ درصد انرژی تلف نشود . قطر سیمها باید چه اندازه باشد . ضریب مقاومت سیم مس $۶\Omega\text{cm}^{-۱}$ است .

۲۱- آبشاری که بلندی آن ۳۰ متر و آبدهی در هر دقیقه ۱۵ متر مکعب است توربینی را می چرخاند . ۱- در صورتی که بازده توربین $۰/۶$ باشد توان آن را بر حسب کیلووات و اسب بخار معلوم کنید . ۲- این توربین آلترناتوری را بکار می اندازد که بازده آن $۰/۷۵$ است . توان آلترناتور چقدر است؟ ۳- اگر اختلاف پتانسیل مؤثر در دو قطب آلترناتور $E_e = ۲۵۰۰\text{V}$ و شدت مؤثر جریان $I_e = ۱۰۰\text{A}$ باشد ، ضریب قدرت آلترناتور چقدر است؟ ۴- با این آلترناتور چند چراغ ۱۰۰ واتی را می توان روشن کرد؟

۲۲- يك موتور الکتریکی به وسیله چرخ دندانه داری ، وزنه ای به جرم ۵۰ تن را در هر دقیقه ۱۰ متر بالا می برد . مطلوب است : ۱- توان لازم برای انجام یافتن این کار بر حسب کیلووات ($g = ۹/۸۱\text{m/s}^2$) . ۲- توان حقیقی موتور در حالی که می دانیم که چرخ دندانه دار فقط $۰/۸۱۶$ از انرژی را که می گیرد پس می دهد . ۳- موتور با جریان متناوبی کار می کند که اختلاف پتانسیل مؤثر آن ۶۰۰ ولت و شدت مؤثر آن ۲۰۰ آمپر است . ضریب توان را حساب کنید .

۲۳- میان دو نقطه A و B اختلاف پتانسیل متناوبی با فرکانس ۵۰ وجود دارد . مقدار مؤثر اختلاف پتانسیل ۱۲۵ ولت است . میان دو نقطه A و B يك چراغ وصل می کنیم که مقاومت آن ۲۵۰ اهم است . ۱- شدت مؤثر جریانی را که در این چراغ عبور می کند پیدا کنید . ۲- معادله جریانی را که از چراغ می گذرد بنویسید . ۳- گرمایی را که در مدت يك دقیقه در آن تولید می شود حساب کنید . ۴- چراغ را برداشته و به جای آن قرقره ای که سلف آن $L = \frac{۰/۰۴}{\pi}$ هانری و مقاومت آن ۳ اهم است می گذاریم . شدت

مؤثر جریانی را که از قرقره می گذرد حساب کنید . ۵- کسینوس زاویه اختلاف پتانسیل و شدت جریان را در قرقره پیدا کنید . ۶- توانی را که در قرقره مصرف می شود حساب کنید .

۲۴- جریان متناوبی داریم که معادله آن $i = ۲\sin ۱۰۰\pi t$ است . این جریان از يك آهنربای الکتریکی می گذرد که مقاومت سیم پیچ آن ۱۰ اهم است . جلو این آهنربای الکتریکی يك سیم افقی کشیده شده است که طول آن ۴۰cm و سطح مقطع آن $۰/۲۵\text{mm}^2$ است . ۱- چه وزنه ای باید به این سیم آویخت تا هنگامی که سیم بر اثر گذشتن جریان از آهنربای الکتریکی به ارتعاش در می آید تنها يك شکم داشته باشد . ۲- چه اندازه گرما در سیم پیچ آهنربا در مدت ۲۰۰۰ دور پدید می آید . ۳- ضریب توان جریان $۰/۶$ است ، اختلاف پتانسیل میان دوسر سیم پیچ آهنربا را حساب کنید (جرم مخصوص سیم $۷/۸\text{g/cm}^3$ و $g = ۹۸۰\text{cm/s}^2$) .

۲۵- جریان متناوبی که شدت آن در هر لحظه از فرمول $i = \cos ۱۰۰\pi t$ بدست می آید از قرقره ای عبور می کند . ۱- مقدار گرمایی که بر اثر عبور جریان در مدت ۶ دقیقه و ۵۸ ثانیه در بوبین تولید می شود برابر با ۱۸kcal

است. مقاومت قرقره را حساب کنید. ۲ - اختلاف پتانسیل ماکزیمم در دوسر بوبین ۴۶۰ ولت است. معین کنید ضریب توان و ضریب سلف بوبین را. ۳ - برای آنکه $\cos \varphi = 1$ شود خازنی بطور سری با قرقره قرار می دهند. مطلوب است تعیین ظرفیت خازن و شدت مؤثر جریانی که در این حالت از قرقره عبور می کند.

۲۶ - به دوسر اجاقی الکتریکی که مقاومت آن ۳۰ اهم است اختلاف پتانسیل متناوب ۲۲۰ ولت با تواتر ۵۰ متصل می کنیم. شدت جریانی که از اجاق می گذرد ۵ آمپر است. معین کنید: ۱ - ضریب سلف اجاق را، ۲ - توان الکتریکی حقیقی و ظاهری اجاق را؛ ۳ - گرمای ایجاد شده در اجاق را در یک ثانیه؛ ۴ - اختلاف پتانسیل و شدت ماکزیمم را.

۲۷ - جریان متناوبی که معادله آن $i = \sqrt{2} \sin 100\pi t$ می باشد از سیم پیچ آهنربای الکتریکی که مقاومت آن ۳ اهم و ضریب سلف آن $\frac{0.04}{\pi}$ هانری است می گذرد. معین کنید: ۱ - شدت مؤثر و فرکانس جریان و مقدار گرمایی را که در مدت ۶ دقیقه و ۵۸ ثانیه در سیم پیچ ایجاد می شود. ۲ - اختلاف پتانسیل مؤثر و ضریب توان را. ۳ - ظرفیت خازنی را که باید بطور سری با این سلف قرارداد تا اینکه تشدید حاصل شود (برحسب میکرو-فاراد). ۴ - سیم پیچ در مقابل تارآهنی که طول آن ۵۰ cm و جرم هر سانتیمتر آن $\frac{1}{40}$ گرم می باشد قرار گرفته است. نیروی کشش سیم را برای آنکه

بشدت به ارتعاش درآید برحسب kgf حساب کنید در صورتی که صوت اصلی را بدهد. ۵ - اگر صوت اصلی تار مرتعش دیگری mif باشد اسم ۴ هماهنگ متوالی اولیه آن را تعیین کنید.

۲۸ - اختلاف پتانسیل مؤثر بین دو قطب یک مولد جریان متناوبی ۲۲۰ V و قدرت الکتریکی که می تواند به خارج بدهد ۱۲۰ kW است. $\frac{2}{5}$ این قدرت به مصرف روشنایی می رسد و بقیه آن برای گرم کردن یکار

می رود. قدرت الکتریکی مصرف شده در هر لامپ ۷۵ وات است و برای گرم کردن هر اتاق بطور متوسط ۲۲ kcal گرما در دقیقه لازم است: ۱ - عدد چراغهایی را که می توان روشن کرد تعیین کنید و نیز عدد اتاقهایی را که برای گرم کردن آنها از انرژی الکتریکی نامبرده می توان استفاده کرد محاسبه

کنید. ۲ - مقاومت هر لامپ و مقاومت کل لامپها را حساب کنید. ۳ - از تمام قدرتی که به مصرف روشنایی می رسد روزی ۱۰ ساعت برای کشیدن آب از چاهی به عمق متوسط ۶۰۰ متر استفاده می شود. اگر بازده تلمبه ۹۰ درصد باشد در روز چند متر مکعب آب از چاه کشیده می شود. ۴ - در صورتی که در محل هر کیلووات ساعت انرژی ۲ ریال ارزش داشته باشد بهای انرژی الکتریکی لازم برای کشیدن هر متر مکعب آب از چاه چقدر خواهد بود. $(g = 9.8 \text{ m/s}^2)$

۲۹ - قطاری از حال سکون در جاده ای افقی راه می افتد تا سرعت آن به ۱۸ کیلومتر در ساعت برسد: ۱ - معین کنید کار کل انجام شده توسط موتور را برای هر تن از قطار در صورتی که اصطکاک 0.04 انرژی ایجاد شده در موتور را جذب می کند. ۲ - در صورتی که فرض کنیم که حرکت قطار در این مدت متشابه تغییر تندشونده با شتاب 40 cm/s^2 باشد، معین کنید زمان این حرکت را. ۳ - مسافت طی شده در این مدت را حساب کنید. ۴ - توان متوسط موتور برای هر تن قطار چقدر است؟ $(g = 9.8 \text{ m/s}^2)$

۳۰ - آسانسور چاه معدنی مرکب است از قرقره ای که محورش افقی است و طنابی از روی آن می گذرد که به دو سرش اتاق A و وزنه تعادلی B بسته شده است. جرم اتاق kg ۲۰۱۰ و جرم وزنه B، kg ۱۹۱۰ است. از جرم طناب و قرقره و از اصطکاکها صرف نظر می شود. ۱ - معلوم کنید جهت و نوع حرکت دستگاه را هرگاه آن را به حالت آزاد بگذارند و مسافت پیموده شده و تندی دستگاه را پس از ۳۰ ثانیه. ۲ - برای بالا آوردن اتاق A محور قرقره را به موتور الکتریکی وصل کرده اند و موتور به دستگاه، سرعت صعودی ثابتی مساوی 15 m/s می دهد. توان موتور را بر حسب اسب بخار و وات حساب کنید. ۳ - موتور با جریان الکتریکی به شدت مؤثر ۴۰ آمپر و اختلاف پتانسیل مؤثر ۶۰۰ V کار می کند ضریب توان آن $\frac{5}{6}$ است. بازده موتور، یعنی نسبت کار مکانیکی حاصل به کار الکتریکی گرفته شده را حساب کنید $(g = 9.8 \text{ m/s}^2)$.

۳۱ - اتوموبیلی به جرم kg ۱۹۶۲ بر روی جاده ای افقی از حال سکون شروع به حرکت می کند و پس از ۵ ثانیه سرعتش به ۳۶ کیلومتر در ساعت می رسد. اگر نیروی اصطکاک در مقابل حرکت اتوموبیل kgf ۵۰ باشد: ۱ - نیروی موتور و توان متوسط آن را بر حسب اسب بخار و کیلووات و انرژی

جنبشی اتوموبیل را بر حسب ژول بدست آورید. ۲- چقدر گرما بر اثر اصطکاک ایجاد می شود؟ ۳- اگر در این هنگام راننده موتور را خاموش و ترمز کند و اتوموبیل پس از ۵ متر بایستد، نیرویی که اتوموبیل را از حرکت باز داشته و مدتی که طول می کشد تا اتوموبیل بایستد چقدر است؟ ۴- اگر این اتوموبیل بر روی سطح شیب داری که شیب آن ۳ درصد است، با سرعت ثابت ۳۶ کیلومتر در ساعت بالا رود، توان اتوموبیل و کار موتور را در یک کیلومتر راه در همان جاده بدست آورید در صورتی که نیروی اصطکاک همان 50 kgf باشد. ۵- اگر بازده موتور ۳۰ درصد باشد، برای ۱۰۰ کیلومتر راه در همان جاده شیب دار موتور چند لیتر بنزین مصرف می کند (جرم مخصوص بنزین 0.75 و هر گرم بنزین 11000 cal گرما تولید می کند $g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

۳۲- بطور خلاصه مقصود از معادل مکانیکی کالری J را بیان نمایید. برای اندازه گیری معادل مکانیکی کالری آزمایشهای زیر انجام یافته است: در داخل لوله افقی جریان آب یکنواختی عبور می کند. برای گرم کردن این آب در درون لوله و در مسیر آب یک مقاومت الکتریکی قرار گرفته است. در آزمایش اول اختلاف پتانسیل در دو سر این مقاومت مساوی ۵ ولت و شدت جریانی که از آن می گذرد ۲ آمپر است. اگر شدت جریان آب به میزان ۶۰ گرم در دقیقه باشد، اختلاف دمای آب در موقع ورود و خروج از لوله مساوی $2/3^\circ$ خواهد بود. در آزمایش دیگر شدت جریان آب در لوله را به میزان $87/6$ گرم در دقیقه می رسانیم و شدت جریان برق در لوله را به $2/4$ آمپر ترقی می دهیم. ملاحظه می شود که باز هم اختلاف دمای آب در موقع ورود و خروج از لوله $2/3^\circ$ می شود. از این دو آزمایش مقدار متوسط معادل مکانیکی کالری را معین کنید. گرمای مخصوص آب یک است.

۳۳- ماشینی می بایست بدون در نظر گرفتن اصطکاک، جرم 1000 kg را در هر ثانیه ۱۰ متر بطور قائم بالا برد. ولی عملاً بر اثر وجود اصطکاک جسم نامبرده را فقط ۹ متر در ثانیه بالا می برد و بقیه قدرت به گرما تبدیل می شود. برای جلوگیری از داغ شدن ماشین در هر ثانیه $93/4$ گرم روغن به دمای 20° سانتیگراد وارد ماشین شده و کلیه گرمای حاصل از اصطکاک را با خود خارج می کند. دمای این روغن در موقع خروج از ماشین چقدر است؟ (گرمای مخصوص روغن $0.5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ و $g = 9.81 \text{ cm/s}^2$).

۳۴- اتوموبیلی به جرم 2000 kg بر سطح شیب داری که زاویه آن با سطح افقی 40° است تحت تأثیر وزن خود از حال سکون راه می افتد. نیروی اصطکاک که در خلاف جهت حرکت برای این اتوموبیل تأثیر می کند معادل نصف نیرویی است که اتوموبیل بطور عمودی بر سطح شیب دار وارد می کند. ۱- اگر اتوموبیل پس از طی ۹۰ متر روی سطح شیب دار وارد یک جاده افقی شود، در موقع ورود به این جاده سرعت آن چند کیلومتر در ساعت خواهد بود. در همین شرایط اگر اتوموبیل سنگین تر می بود آیا سرعت تغییر می کرد؟ ۲- اگر اتوموبیل را در موقع ورود به جاده افقی به حال خود رها سازیم، بر اثر حرکتی که دارا شده است می تواند ۷۵۰ متر در این جاده پیش رود. نیروی اصطکاک را بر روی این جاده افقی حساب کنید. ۳- در صورتی که بخواهیم اتوموبیل با حرکت مشابه و سرعت ۴۸ کیلومتر در ساعت روی این جاده حرکت کند چه توانی بر حسب اسب بخار بایستی مصرف کنیم (نیروی اصطکاک بر اثر تغییر سرعت تغییر نمی کند و $\sin 40^\circ = 0.6$ و $g = 10 \text{ m/s}^2$).

۳۵- پتانسیل قطعه ابری در موقع تخلیه (جهیدن برق) 10^9 ولت است و مقدار باری که تخلیه می شود ۲۰ کولن است. با رعایت اینکه این تخلیه کاملاً مثل تخلیه الکتریکی خازنهای معمولی است، انرژی حاصل از این تخلیه را معین کنید. این انرژی دمای چند تن آب را می تواند از 20° به 100°C ترقی دهد.

۳۶- گلوله ای تو خالی به جرم ۱۰۰ گرم و به جرم مخصوص 0.5 گرم بر سانتیمتر مکعب از ارتفاع $19/6$ متر بالای سطح آبی بدون سرعت اولیه رها می شود. ۱- پس از چه مدت گلوله به سطح آب می رسد و انرژی جنبشی گلوله در این موقع چقدر است؟ ۲- گلوله با این سرعت وارد آب می شود. تاجه عمقی در آب فرو خواهد رفت؟ ۳- اگر این گلوله بر روی سطح شیب داری بدون اصطکاک حرکت کند و در مدت ۲ ثانیه $9/8$ متر را طی کند زاویه شیب را حساب کنید. ۴- اگر گلوله بر روی همین سطح شیب دار با اصطکاک حرکت کند و مسافت ۲۰ متر را در مدت ۳ ثانیه بپیماید نیروی اصطکاک و گرمایی که بر اثر اصطکاک در این مدت ایجاد می شود چقدر است؟ ۵- گلوله پس از پیمودن ۲۰ متر بر روی سطح شیب دار به سطح افقی می رسد. اگر پس از طی مسافت ۵ متر روی سطح افقی گلوله بایستد نیروی اصطکاک و مقدار گرمایی که بر اثر اصطکاکها ایجاد می شود چقدر است ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)؟ (خرداد ۳۰ طبیعی)

۳۷ - ترنی به جرم ۲۰۴ تن از ایستگاه A راه می‌افتد و به طرف ایستگاه دیگر B که در ۶ کیلومتری A واقع است روی جاده افقی حرکت می‌کند. در مدت ۱۵ ثانیه اول، حرکت متشابه‌التغییر چنان تندشونده است که پس از این مدت سرعت ترن به ۷۲ کیلومتر در ساعت می‌رسد. ۱ - شتاب حرکت و مسافت طی شده در این مدت را حساب کنید. ۲ - نیروی محرکه ترن را حساب کنید (نیروی اصطکاک صفر است). ۳ - در مدت ۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه بعدی حرکت ترن یکنواخت و با همان سرعت ۷۲ کیلومتر در ساعت است. مسافت طی شده در این مدت را تعیین کنید. ۴ - در این لحظه موتور را خاموش و ترن را ترمز می‌کنند و باقیمانده مسافت با حرکت کند شونده چنان پیموده می‌شود که ترن با سرعت صفر به نقطه B می‌رسد. معین کنید: الف - شتاب حرکت را، ب - نیروی ترمز و زمان کل حرکت را، ج - چه مقدار گرما در ترمز ایجاد می‌شود؟

۳۸ - دو جسم هریک به جرم M به دو سر طنابی متصلند. این طناب از روی قرقره‌ای می‌گذرد. دو جرم مزبور یکی روی سطح شیب‌داری که زاویه‌اش با سطح افقی α است حرکت می‌کند و دیگری در امتداد قائم، دستگاه از حال سکون بدون اصطکاک شروع به حرکت می‌کند. ملاحظه می‌شود که پس از ۸ ثانیه حرکت، سرعت دستگاه به ۱۹/۶ متر در ثانیه می‌رسد.

۱ - معلوم کنید شتاب دستگاه را. ۲ - مسافت طی شده در این مدت ۸ ثانیه چقدر است؟ ۳ - زاویه α چقدر است؟ ۴ - اگر جرم هر یک از وزنه‌ها ۱۵۰ گرم باشد، پس از ۸ ثانیه انرژی جنبشی کل دستگاه بر حسب ارگ و کیلوگرم متر چقدر است و هرگاه این انرژی به گرما تبدیل شود چند کالری بدست می‌آید ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)؟ (شهریور ۳۱ طبیعی)

۳۹ - کامیونی به جرم ۷/۸۴ تن بر روی جاده افقی از حال سکون راه می‌افتد و پس از ۲۵ ثانیه سرعتش به ۳۶ کیلومتر در ساعت می‌رسد. اگر اصطکاک جاده ثابت و مساوی ۵۵۰ نیوتن باشد، ۱ - معین کنید انرژی جنبشی کامیون را - نیرو و کار و توان متوسط موتور را بر حسب واحدها M.K.S. ۲ - اگر سرعت ماشین ثابت و مساوی ۳۶ کیلومتر در ساعت باقی بماند توان موتور را در این حالت معین کنید، در صورتی که نیروی اصطکاک جاده همان ۵۵۰ N باشد. ۳ - اگر در این هنگام راننده ترمز کند و کامیون پس از طی ۲۵ متر بایستد، نیروی ترمز و مقدار گرمایی که در ترمز ایجاد می‌شود چقدر است؟

از اصطکاک جاده صرف نظر می‌شود. ۴ - اگر کامیون بر روی سطح شیب‌داری به شیب ۵/۵۵ با سرعت ثابت ۱۸ کیلومتر در ساعت بالا رود، توان موتور را حساب کنید در صورتی که اصطکاک جاده مساوی ۴۰ kgf است. ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

۴۰ - لوله صوتی بازی به طول ۸۵ cm از هوای 0° پر شده است. ۱ - اگر سرعت صوت در لوله ۳۴۰ m/s باشد، ارتفاع صوت اصلی این لوله و نوت آن را تعیین کنید. ۲ - اگر لوله از گاز 0° که چگالی آن نسبت به هوا $d = \frac{1}{1.44}$ است پر شود، ارتفاع صوت اصلی این لوله را تعیین کنید.

۳ - تار مرعشی به طول ۵۰ cm برای صوت اصلی خود نوت f_a را می‌دهد. نیروی کشش تار را بر حسب کیلوگرم نیرو تعیین کنید در صورتی که می‌دانیم که جرم تار ۱ گرم است. ۴ - این تار به وسیله آهنربای الکتریکی که از آن جریان متناوبی به معادله $i = I_m \sin \omega t$ می‌گذرد به ارتعاش درآمده است. اگر مقاومت سیم‌پیچ آهنربا ۶ اهم باشد، می‌بینیم که در مدت ۱۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه ۱۲۰۰ cal گرما ایجاد می‌شود. معادله عددی شدت جریان را بنویسید و اختلاف پتانسیل مؤثر بین دو سر سیم‌پیچ و توان مصرف شده در آن را حساب کنید ($g = 9.81 \text{ cm/s}^2$, $I_a = 4.35$).

۴۱ - جرم گلوله توپی ۴/۹ kg و نیروی وارد از طرف گازهای حاصل از انفجار باروت بر آن مساوی ۶۰ تن نیرو و طول لوله ۱/۵ متر است. ۱ - لوله توپ افقی است، حساب کنید مدت زمان حرکت گلوله را در داخل لوله و سرعت آن را هنگام خروج از لوله. ۲ - ثابت کنید که اگر لوله توپ را در امتداد قائم نگاه دارند و رو به بالا تیراندازی کنند، سرعت گلوله بطور محسوسی با سرعت حالت قبل اختلاف ندارد و به این دلیل در دو قسمت بعد همان سرعت حساب شده در حالت اول را بکار ببرید. ۳ - اگر از مقاومت هوا صرف نظر شود تا چه ارتفاع گلوله بالا خواهد رفت. ۴ - اگر دو نلث انرژی جنبشی گلوله بر اثر مقاومت هوا به گرما تبدیل شود و تمام گرما صرف گرم کردن خود گلوله شود، تعیین کنید ازدیاد دمای گلوله را (گرمای ویژه گلوله (شهریور ۳۳ طبیعی) $c = 0.1$ و $g = 9.80 \text{ cm/s}^2$).

۴۲ - چرخ سواری روی جاده افقی با سرعت ثابت ۱۵/۸ کیلومتر در ساعت در حرکت است. با این سرعت به سرانیزایی می‌رسد که شیب آن ۲ درصد

است $(\sin \alpha = 0.02)$ و بدون پا زدن پایین می‌رود. معین کنید: ۱- سرعت چرخ سوار را پس از پیمودن ۵۰ متر روی جاده شیبدار $(g = 9.8 \text{ m/s}^2)$.
۲- زمان لازم برای پیمودن این ۵۰ متر در صورتی که از مقاومتها و اصطکاکها صرف نظر شود. ۳- با فرض اینکه نیروی مقاومی مخالف جهت حرکت و مساوی یک کیلوگرم نیرو به چرخ سوار وارد آید، دو قسمت ۱ و ۲ را محاسبه کنید و بعلاوه معلوم کنید که در طول این ۵۰ متر، بر اثر نیروی مقاومت، چند کالری گرما ایجاد می‌شود. جرم چرخ سوار و دوچرخه 70 kg است. (خرداد ۳۳)

۴۳- جرم دو وزنه ماشین آتوودی $M_1 = M_2 = 420$ گرم است. جرم M_3 از وزنه‌های مختلف تشکیل شده است که بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. در این ماشین متوالیاً آزمایشهای زیر را انجام می‌دهیم: ۱- $3/5$ گرم از جرم M_3 برداشته بر روی جرم M_1 می‌گذاریم. مسافتی را که دستگاه در مدت ۴ ثانیه می‌پیماید چقدر است و انرژی جنبشی دستگاه را بر حسب ژول حساب کنید $(g = 978 \text{ cm/s}^2)$. ۲- مجدداً دو جرم M_1 و M_2 را با یکدیگر مساوی می‌کنیم. جرم M_1 را بر روی کف قاعده استوانه‌ای که در آن مایمی به جرم مخصوص 0.7 g/cm^3 ریخته شده می‌گذاریم. ارتفاع ستون مایع در استوانه $32/6 \text{ cm}$ است. اگر جرم مخصوص M_1 ، $d = 21$ فرض شود چند گرم بایستی از جرم M_2 کم کرد تا دستگاه به حال تعادل قرار گیرد. اگر در این موقع جرم M_2 را تغییر ندهیم نوع حرکت دستگاه را معلوم کنید و مقدار سرعت ماکزیمم را بدست آورید. پس از چه مدت هر یک از دو وزنه مسافت $97/8 \text{ cm}$ را می‌پیماید.

۴۴- مولدی جریان متناوبی با پتانسیل مؤثر 500 V و شدت مؤثر 50 آمپر می‌دهد، ضریب توان مدار $\cos \varphi = 1$ است. ۱- توان این مولد را حساب کنید و اختلاف فاز بین جریان و پتانسیل را معلوم کنید. ۲- جریان را به وسیله دو سیم به فاصله L منتقل می‌کنند. یک دهم توان به شکل گرما در سیمها تلف می‌شود. مقاومت سیمها را حساب کنید. ۳- به جای اینکه جریان را مستقیماً منتقل کنند قبل از انتقال، آن را وارد مبدلی می‌کنند که اولیه آن 400 دور و ثانویه آن 1000 دور سیم‌پیچ دارد و بازده آن مساوی یک است. در این حالت بازهم یک دهم توان در سیمها به شکل گرما تلف می‌شود. این دفعه مقاومت سیمها چقدر است؟ ۴- نسبت قطر سیمها در حالت اول به قطر سیمها در حالت دوم چقدر است و چه استفاده‌ای از مبدل برده‌اند؟

۴۵- لوله‌ای به طول $4/2$ متر از آب خالص 4° پر است. ۱- جسم وزینی را به حال آزاد و بدون سرعت اولیه در سطح آب رها می‌کنند و مشاهده می‌کنند که پس از یک ثانیه به ته لوله می‌رسد. معلوم کنید جرم مخصوص این جسم را $(g = 9.8 \text{ m/s}^2)$. ۲- برای اینکه جسم پس از 0.5 ثانیه به ته لوله برسد چه سرعت اولیه‌ای باید به آن داده شود؟ ۳- برای اینکه جسم این سرعت اولیه را پیدا کند از چه ارتفاعی باید رها شود تا هنگام رسیدن به سطح آب دارای این سرعت اولیه باشد؟ ۴- در حالت دوم انرژی جنبشی جسم را هنگام رسیدن به ته ظرف بر حسب ژول و کیلوگرم متر حساب کنید. جرم جسم 6 kg است.

۴۶- هر یک از دو وزنه ماشین آتوودی 50 گرم جرم دارد. روی وزنه‌ای که در برابر صفر خطکش قرار گرفته است سربار 2 گرمی قرار می‌دهیم. ۱- معین کنید حلقه را در چه نقطه‌ای قرار دهیم تا پس از ۲ ثانیه حرکت سربار به حلقه برسد و سرعت دستگاه را در همین لحظه بدست آورید (نیروهای اصطکاک صفر است). ۲- اگر پس از حذف سربار، متحرک مسافت 109 cm را در ۳ ثانیه بپیماید نیروی اصطکاک چقدر است $(g = 979/2 \text{ cm/s}^2)$.

۴۷- یک منبع صوتی 1045 ارتعاش در ثانیه انجام می‌دهد. ۱- معین کنید نام نوتی را که بیان می‌کند و طول موج آن را در هوا $(a_p = 338)$ و سرعت صوت 330 m/s . ۲- معین کنید طول موج صوت را در اکسید کربن در همان شرایط فشار و دما. ۳- معین کنید طول آونگ همزمان منبع ارتعاشی را، آیا چنین آونگی را می‌توان ساخت؟ ۴- از این منبع صوتی می‌خواهیم برای تعیین عمق دریا استفاده کنیم. برای این کار آن را به ته یک کشتی نصب می‌کنیم. امواج صوتی پس از برخورد به ته دریا منعکس شده و تشکیل یک دستگاه امواج ساکن می‌دهند. کیفیت را شرح داده و فاصله دو گره متوالی را حساب کنید (سرعت صوت در آب 1470 m/s است).

۴۸- تار مرتعشی به طول سه متر بین دو نقطه ثابت شده است و نیروی کشش برابر با $F = 1 \text{ kgf}$ است و تار در حین ارتعاش 40 نوسان در ثانیه انجام می‌دهد در حالی که شامل ۶ شکم در طول تار است. معین کنید: ۱- سرعت انتشار ارتعاش عرضی را در تار مرتعش؛ ۲- جرم تار مرتعش و قطر آن را در صورتی که جرم مخصوص تار 8 g/cm^3 باشد $(g = 981 \text{ cm/s}^2)$.

۴۹- کامیونی به جرم $7/5$ تن با سرعت ثابت 30 کیلومتر در ساعت در جاده‌ای افقی حرکت می‌کند. توان موتور برابر با 9 اسب بخار است و

۱۲ لیتر بنزین برای هر صد کیلو متر مصرف می‌کند. مطلوب است : ۱- مجموع نیروهای مقاوم و اصطکاکی که بر کامیون وارد می‌شود بر حسب کیلو گرم نیرو ، ۲- بازده موتور . ۳- کامیون به جاده شیب‌داری به شیب ۲ در صد می‌رسد و در امتداد آن بالا می‌رود . در صورتی که فرض کنیم که نیروهای اصطکاکی و توان موتور به همان حال مانده است ، معین کنید سرعت یکنواخت کامیون را در این جاده . جرم مخصوص بنزین 0.75 g/cm^3 است و از سوخت هر گرم بنزین ۱۱۰۰۰ کالری گرما تولید می‌شود ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$).

۵۰- دولوله صوتی را که طول هر یک مساوی ۳۰ سانتیمتر است در 0° دما به ارتعاش درآوردیم. یکی (A) محتوی هوا و دیگری (B) شامل کربورئیدروژنی سبکتر از هواست . ۱- معین کنید صوت اصلی لوله A و نوتی را که بیان می‌کند . ۲- در صورتی که بین دو صوت اصلی در لوله‌های A و B ۱۰ ضربان در ثانیه تولید شود ، معین کنید تواتر لوله صوتی B و نوتی را که بیان می‌کند . ۳- جرم مخصوص کربورئیدروژن را حساب کنید در صورتی که بدانیم که هوا و کربورئیدروژن از حیث اتمیسیته برابرند و سرعت صوت در هوای صفر درجه 330 m/s و 335 m/s است .

۵۱- جریان متناوبی به تواتر ۵۰ از بوبینی می‌گذرد که به محاذات وسط تار مرتعشی از آهن به طول یک متر قرار گرفته است. چون نیروی کشش را تغییر دهیم هنگامی می‌رسد که تار بشدت مرتعش می‌شود . ۱- این کیفیت را تفسیر و تواتر صوت حادث توسط تار را تعیین کنید . ۲- نیروی کشش تار را بر حسب kgf حساب کنید در صورتی که بدانیم که سطح مقطع سیم $\frac{1}{10} \text{ mm}^2$ و جرم مخصوص آهن 7.8 g/cm^3 است . ۳- معین کنید طول لوله بسته‌ای که صوت اصلی آن در 15° دما برابر صوت اصلی تار مرتعش باشد . سرعت صوت در هوای صفر درجه 331 m/s است .

۵۲- بر روی سطح شیب‌دار OA که با سطح افقی زاویه 30° می‌سازد گلوله‌ای به جرم M_1 گرم به نخ متصل شده است که از روی قرقره O گذشته است . به انتهای دیگر نخ گلوله‌ای به جرم M_2 آویزان شده است. ملاحظه می‌شود که چون دستگاه را بدون سرعت اولیه رها کنیم وزنه M در امتداد قائم به اندازه $245/25$ متر در مدت ۲۰ ثانیه بالا می‌رود . ۱- مطلوب است محاسبه نسبت $\frac{M_1}{M_2}$. ۲- اگر جای دو گلوله M_1 و M_2 را عوض کنیم ، وزنه M در

جه جهتی حرکت خواهد کرد و مسافت طی شده پس از ۲۰ ثانیه چقدر خواهد بود ($g = 981 \text{ cm/s}^2$) ؟

۵۳- اتوموبیلی به جرم 2000 kg در - داده‌ای افقی با سرعت 10 m/s حرکت می‌کند. اصطکاک برابر است با 1.50 kgf . معین کنید گرمای ایجاد شده بر اثر اصطکاک را در مسافت ۴۱۸ متر و توان موتور و کار نیروی موتور در این مسافت و انرژی جنبشی اتوموبیل را . ۲- در این موقع اتوموبیل به جاده شیب‌داری به شیب $\frac{5}{100}$ می‌رسد و در امتداد آن بالا می‌رود . اصطکاک به همان میزان مانده است. می‌خواهیم که شتاب اتوموبیل در این جاده 2 m/s^2 باشد . حساب کنید نیروی لازم و توان متوسط موتور در مدت ۱۰ ثانیه در این جاده را . ۳- در این موقع راننده موتور را خاموش و ترمز می‌کند و اتوموبیل پس از طی مسافت ۲۰ متر می‌ایستد. نیروی ترمز و گرمای ایجاد شده در ترمزها چقدر است ($g = 10 \text{ m/s}^2$) ؟

۵۴- موتورسیکلت سواری از جاده‌ای به شیب ۶ درصد پایین می‌آید. جرم موتورسیکلت $62/5 \text{ kg}$ و جرم راننده 50 kg است . مقاومت هوا بردستگاه از رابطه $R = 0.3V^2$ بدست می‌آید . ۱- معین کنید سرعت حد موتورسیکلت سوار را وقتی که موتور کار نمی‌کند . ۲- اگر موتور کار کند ، سرعت حد موتورسیکلت سوار به $75/6$ کیلومتر در ساعت می‌رسد . توان موتور را تعیین کنید . ۳- در حالت اخیر موتورسیکلت سوار ترمز می‌کند و موتور می‌ایستد . اگر یک چهارم گرمای حاصل جذب خود ترمز که جرم آن ۵۰۰ گرم و گرمای ویژه آن 0.119 کالری بر گرم درجه است گردد ، ازدیاد دمای ترمز را حساب کنید ($g = 981 \text{ cm/s}^2$) .

۵۵- توان اولیه مبدلی ۱۲۰۰۰ کیلووات و بازده آن ۹۸ درصد است. برای سرد کردن دستگاه از جریان دائمی روغن استفاده می‌شود و ملاحظه می‌شود که اگر روغن با دمای 20° داخل شود با دمای 65° خارج می‌شود . معین کنید مقدار روغن را که برای یک ساعت لازم است در صورتی که گرمای ویژه روغن 0.5 کالری بر گرم درجه و جرم مخصوص روغن 1 g/cm^3 باشد. ۵۶- اختلاف پتانسیل در دو سر مدار اولیه مبدلی 550 V و شدت جریان در آن ۱۰ آمپر است. در صورتی که بدانیم که مبدل کاهنده و ضریب تبدیل آن ۵ است ، معین کنید : ۱- اختلاف پتانسیل در دو سر مدار ثانوی را و در صورتی که بازده مبدل ۹۸ درصد باشد ، معین کنید شدت جریان در مدار ثانوی را ،

۲ - عده چراغهای ۱۱۰ ولتی را (که هر يك با ۰/۷ آمپر کار می کند) که می توان روشن کرد. ضریب توان مدار چراغها مساوی يك است.

I-۵۷ - جسمی به جرم ۲ کیلوگرم بدون سرعت اولیه از يك نقطه بالای سطح زمین رها می شود و مدت ۶ ثانیه سقوط می کند. اگر مقاومت هوا ناچیز فرض شود مطلوب است:

الف - مسافتی که جسم در دو ثانیه آخر سقوط می پیماید؛

ب - سرعت و انرژی جنبشی آن (بر حسب ژول و کیلوگرم متر) پس از ۶ ثانیه.

ج - به فرض اینکه نیروی مقاومت هوا در مقابل حرکت جسم از فرمول $R = 0.2v^2$ (که در آن R بر حسب نیوتن و v سرعت جسم بر حسب متر بر ثانیه است) حساب شود، سرعت حد جسم را حساب کنید ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

II - روی قرص سیرنی سه ردیف سوراخ منظم به ترتیب زیر تعبیه شده است:

در ردیف پایین ۲۴، در ردیف وسط ۳۰ و در ردیف بالا ۳۶ سوراخ. صفحه را بحرکت در می آوریم و جریان هوا را به وسیله لوله‌ای از سوراخها عبور می دهیم. قرص سیرن چند دور در هر دقیقه باید بچرخد تا صوت حاصل از ردیف ۲۴ سوراخ sol_4 باشد. در این صورت صوتهای حاصل از دو ردیف دیگر چه خواهند بود ($la_3 = 435$).

III - جریان متناوبی در يك مقاومت ۱۰ اهمی بدون سلف، هر ثانیه $86/4$ کالری حرارت تولید می کند. مطلوب است مقادیر مؤثر و ماکزیمم شدت جریان و اختلاف پتانسیل و همچنین توان الکتریکی که در این مقاومت به مصرف می رسد. پس از محاسبه واحد هر کمیت را مقابل آن بنویسید.

(نهایی - شهریور ۴۴ ششم طبیعی)

I-۵۸ - ارتفاع نوتی ۱۷۴ است. نام این نوت و نام پنج هارمونیک متوالی بعد از آن را پیدا کنید ($la_3 = 435$).

II - دوچرخه سواری روی محیط زمین دایره شکلی به شعاع $R = 10 \text{ m}$ با سرعت ۳۶ کیلومتر در ساعت دور می زند. مطلوب است:

اولاً تعداد دورهایی که در هر دقیقه می زند.

ثانیاً زاویه‌ای که راستای دوچرخه با امتداد قائم می سازد.

ثالثاً مقدار جهت شتاب حرکت دوچرخه سوار و نیروی گریز از مرکز. جرم دوچرخه و دوچرخه سوار روی هم ۱۰۰ کیلوگرم و $g = 10 \text{ m/s}^2$ است.

III - الف) در بوبینی، اگر شدت جریان به اندازه ۲۰ آمپر در مدت $\frac{1}{10}$ ثانیه تغییر کند نیروی محرکه القایی ۱۰ ولت ایجاد می شود. ضریب خودالقای بوبین را حساب کنید.

ب) به دوسر بوبینی به مقاومت $R = 20$ اهم و به ضریب خودالقایی 0.05 هانری جریان متناوبی که اختلاف پتانسیل مؤثر آن ۱۰۰ ولت است برقرار می کنیم. شدت مؤثر ۴ آمپر از آن می گذرد. مقاومت ظاهری بوبین و توان (فرکانس) جریان را حساب کنید.

ج) توان الکتریکی مصرف شده در این بوبین و ضریب توان آن چه اندازه است. (نهایی - خرداد ۴۵ ششم طبیعی)

I-۵۹ - جرم اتوموبیلی باراننده اش يك تن می باشد و با سرعت ثابت ۱۰۸ کیلومتر در ساعت، در جاده افقی حرکت می کند و در این حالت موتور توانی معادل ۲۰ اسب بخار تولید می نماید. مطلوب است: اولاً - مجموع نیروهای مقاومی که از طرف هوا و جاده بر اتوموبیل وارد می شود؛ ثانیاً - انرژی جنبشی اتوموبیل بر حسب کیلو ژول؛ ثالثاً - حد اکثر شیبی که يك جاده شیبدار می تواند داشته باشد تا این اتوموبیل با توان ۲۰ اسب بخار بتواند در امتداد خط بزرگترین شیب آن با سرعت ۷۲ کیلومتر در ساعت بالا رود. مجموع نیروهای مقاوم در مقابل حرکت اتوموبیل در این جاده ۵۰۰ نیوتن است ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

II - جریان متناوبی به توان ۴۹ دور در ثانیه را از يك بوبین الکتریکی که وسط آن هسته آهن خالصی قرار دارد می گذرانیم، در هر دقیقه $43/2$ کالری حرارت در بوبین تولید می شود. اگر مقاومت حقیقی بوبین $R = 3$ اهم و ضریب خودالقای آن $L = \frac{2}{49\pi}$ هانری باشد، اولاً - مطلوب است شدت

مؤثر جریان و اختلاف پتانسیل دوسر بوبین. ثانیاً - این بوبین در مقابل سیم آهنی به طول $l = 50$ سانتیمتر (که بین دو نقطه کشیده شده) به محاذات وسط آن قرار گرفته است. کشش سیم را طوری تنظیم می کنیم که سیم بشدت مرتعش شده و صدای اصلی خود را تولید کند. نام نوت حاصل چیست و نیروی کشش سیم

بر حسب نیوتن چه اندازه است. جرم هر مترسیم ۵ گرم است ($ut_p = 261$).

(نهایی - شهریور ۴۵ ششم طبیعی)

I-۶۰ - در يك ماشین آتوود جرم هر يك از دو وزنه ۹۵ گرم و از

جرم نخ و قرقره و کلیه اصطكاكها صرف نظر می شود. یکی از وزنه ها را مقابل صفر خط کش قرار داده و روی آن سربار ۱۰ گرمی می گذاریم و دستگاه را رها می سازیم تا حرکت کند. مطلوب است: ۱ - شتاب حرکت دستگاه؛

۲ - مسافتی که وزنه سرباردار در مدت ۳ ثانیه می پیماید. ۳ - پس از سه ثانیه حرکت سربار ۱۰ گرمی حذف می شود، انرژی جنبشی دستگاه را پس از حذف سربار حساب کنید ($g = 980 \text{ cm/s}^2$).

II - سرعت سیر صوت در هوای ۱۵ درجه سانتیگراد ۳۴۰ متر بر ثانیه است. مطلوب است سرعت سیر صوت در ییدروژن ۱۵ درجه. حگالی ییدروژن نسبت به هوا $\frac{2}{29}$ است.

III - يك بوبین که ضریب خود القایی آن 0.14 H هانری و مقاومت آن ۱۲ اهم است به جریان متناوبی به اختلاف پتانسیل مؤثر ۱۱۰ ولت و تواتر (فرکانس) ۲۵ هرتز متصل است. مطلوب است: ۱ - شدت جریان در بوبین؛ ۲ - ضریب توان بوبین؛ ۳ - توان مصرف شده در بوبین ($\pi = \frac{22}{7}$).

(نهایی - خرداد ۴۶ ششم طبیعی)

I-۶۱ - سیرنی که دارای $p = 14$ سوراخ است، $n = 420$ دور در دقیقه می چرخد. مطلوب است تواتر و اسم نوت حاصل، و نیز نام پنج هارمونیک متوالی بعدی این نوت را بنویسید ($la_p = 435$).

II - فاصله دو شکاف در تجربه یانگ مساوی 2 mm (دو میلیمتر) و نوارها بر روی پرده ای به فاصله $1/5$ متر از سطح دو شکاف تشکیل می شود و فاصله نوار روشن دهم از نوار مرکزی $4/5$ میلیمتر است. مطلوب است اولاً طول موج نور مورد آزمایش، ثانیاً تواتر آن (سرعت نور در هوا مساوی 300000 کیلومتر در ثانیه است).

III - از مداری که بطور متوالی شامل مقاومت $R = 6$ اهم و بوبینی

به ضریب خود القای $L = \frac{1}{12/5\pi}$ هانری است، جریان متناوبی به معادله

$i = 2\sqrt{2} \sin 100\pi t$ می گذرد. مطلوب است اولاً اختلاف پتانسیل مؤثر در دو سر مدار، ثانیاً مقدار ظرفیت خازنی که در مدار بطور متوالی باید اضافه نمود تا تشدید حاصل گردد (به حسب میکروفاراد).

IV - گلوله فلزی به جرم ۲۰۰ گرم در روی خط مستقیم حرکت نوسانی به معادله $x = 5 \sin (300t + \phi)$ داراست. مطلوب است معادله سرعت و حداکثر انرژی جنبشی گلوله بر حسب ژول. از مقاومت هوا صرف نظر شده و مقدار دامنه حرکت بر حسب سانتیمتر است.

(نهایی - خرداد ۴۷ ششم طبیعی)

I-۶۲ - در روی زمین شیبدار و بدون اصطكاك و در امتداد خط بزرگترین شیب آن گلوله ای را بدون سرعت اولیه از حال سکون رها نموده ایم. این گلوله در ثانیه های چهارم و پنجم $39/2$ متر پایین می آید. معین کنید مقدار g ، شتاب جاذبه زمین را در محل آزمایش، زاویه ای که سطح شیبدار با افق می سازد ۳۰ درجه است.

II - اولاً هماهنگ دوم صوت اصلی لوله صوتی بازی fa_p است. حساب کنید نام صوت سوم لوله صوتی بسته ای به همان طول و در همان شرایط را. ثانیاً پنج هماهنگ متوالی و بعدی la_p را بنویسید.

III - در اثر عبور جریان متناوبی به تواتر $N = 50$ هرتز از سیمی به مقاومت $R = 20$ اهم مقدار حرارت حاصل در سیم در مدت ۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه ۲۵ کیلو کالری است. مطلوب است اولاً معادله شدت جریان متناوب و اختلاف پتانسیل بین دو سر سیم در هر لحظه (می دانیم هر $4/18$ ژول معادل يك کالری است). ثانیاً در مدار فوق که دارای اختلاف پتانسیل ثابت متناوب است علاوه بر مقاومت R بوبینی به ضریب خود القای $L = 0.05$ هانری و به مقاومت ناچیز بسته ایم، حساب کنید مقدار حرارت حاصل در مقاومت R در همان مدت ۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه. ($\pi = 3$).

IV - دو سیم نازك یکی از نقره به جرم مخصوص $10/6$ و دیگری از آلومینیم به جرم مخصوص $2/65$ در شرایط مساوی با نیروهای مساوی کشیده شده اند. معین کنید نسبت سرعت انتشار صوت در سیم نقره را به سرعت انتشار صوت در سیم آلومینیم.

(نهایی - فیزیک ششم طبیعی - خرداد ۴۹)

I-۶۳ - دیابازونی با فرکانس ۶۹۶ سیکل در ثانیه نوسان می کند. اولاً نام نوت حاصل از دیابازون را تعیین کنید ($la_p = 435$). ثانیاً دیابازون

نامبرده را در مقابل دهانه فوقانی لوله بازی به طول ۵۰ سانتیمتر بنویسان در آورده و پستون P را از بالا به پایین داخل لوله حرکت می دهیم. مواضع تشدید را در لوله حساب کنید. سرعت صوت در هوای داخل لوله ۳۴۸ متر بر ثانیه است.

II - گلوله ای به جرم ۵۲۵ گرم را به نخ به طول ۱۰۰ سانتیمتر آویخته و از قرار ۴۰ دور در دقیقه حول نقطه ثابتی می چرخانیم. اولاً سرعت زاویه ای و سرعت خطی گلوله را حساب کنید ($\pi = 3$). ثانیاً نیروی گریز از مرکز و انرژی جنبشی گلوله را بدست آورید. ثالثاً اگر این گلوله در حال دوران به مانع سختی برخورد کند و تمام انرژی جنبشی آن به گرما تبدیل شود چند کالری حرارت در اثر برخورد حاصل خواهد شد. هر کالری برابر $4/2$ ژول است.

III - معادله شدت جریان متناوبی به صورت $I = 2\sqrt{2} \sin 250t$ است. مقاومت $R = 60$ اهم را با خازن C به ظرفیت ۵۰ میکروفاراد بطور متوالی به هم بسته و در مسیر جریان فوق قرار می دهیم. اولاً شدت مؤثر جریان و توان مصرف شده در مدار را حساب کنید. ثانیاً اختلاف پتانسیل مؤثر را در دو سر مقاومت، دوسر خازن و بالاخره دو انتهای مدار بدست آورید. ثالثاً سلف بی مقاومت L را به دنبال خازن مزبور اضافه کرده و شدت جریان نامبرده را از مدار عبور می دهیم. L را چنان تعیین کنید که تشدید برقرار شود. (نهایی - فیزیک ششم طبیعی - خرداد ۵۰)