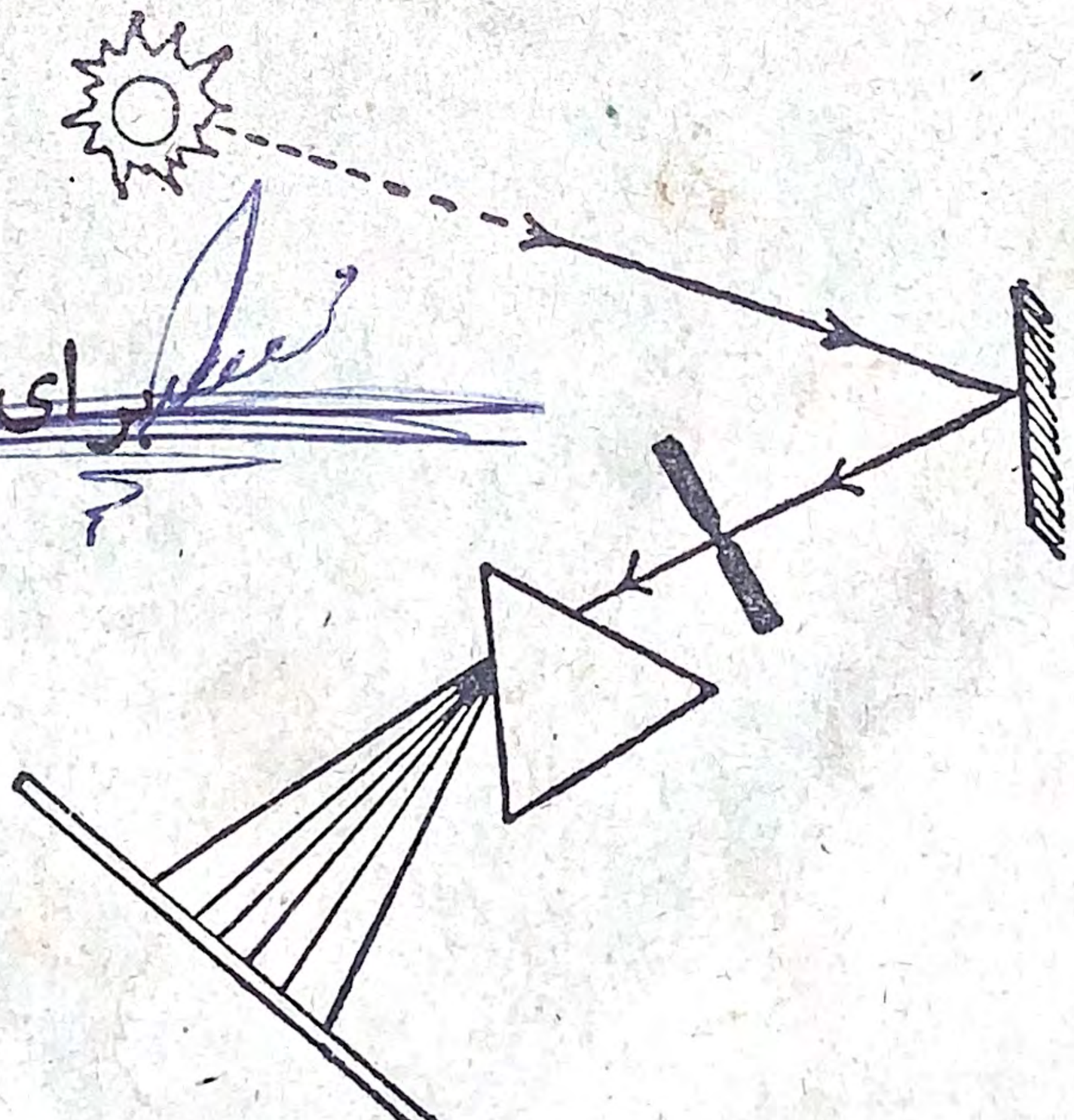
د نسوونې او روزنې وزارت

د تألیف او ترجمې ریاست

فزیک

د دولسم صنف لپاره



مؤلف: دکتور ابو بکر

۱۳۵۶

اعضای کمیتهٔ تجدید نظر

۱ - جمعه گل « کریمی » آمر دیپارتمنت فزیک مرکز ساینس

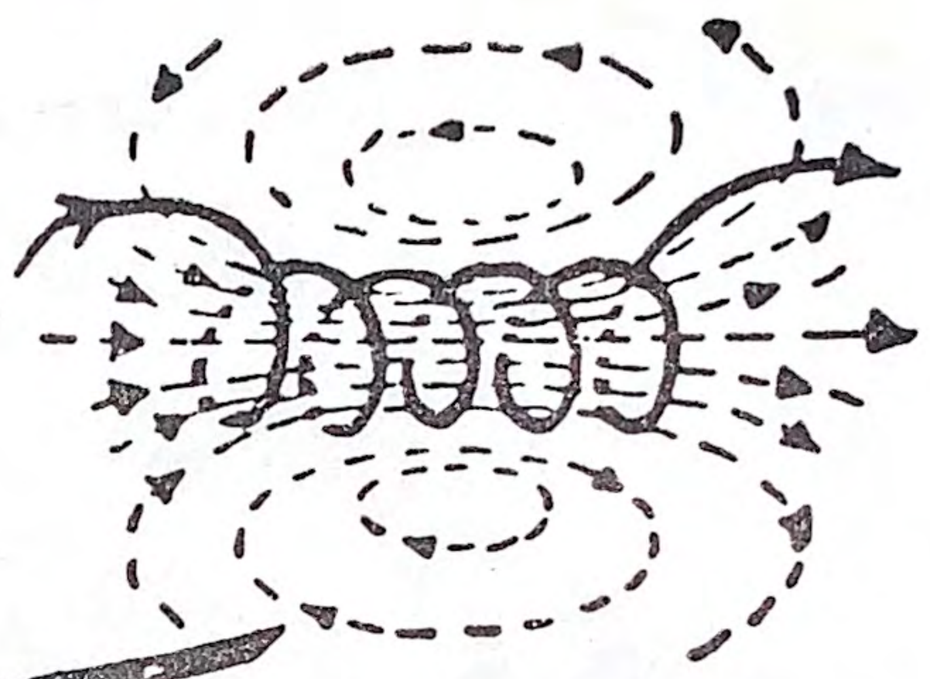
۲ - ظاهره (احمدیار) عضو « « «

۳ - امیر بیگ (مظفر) « « « «

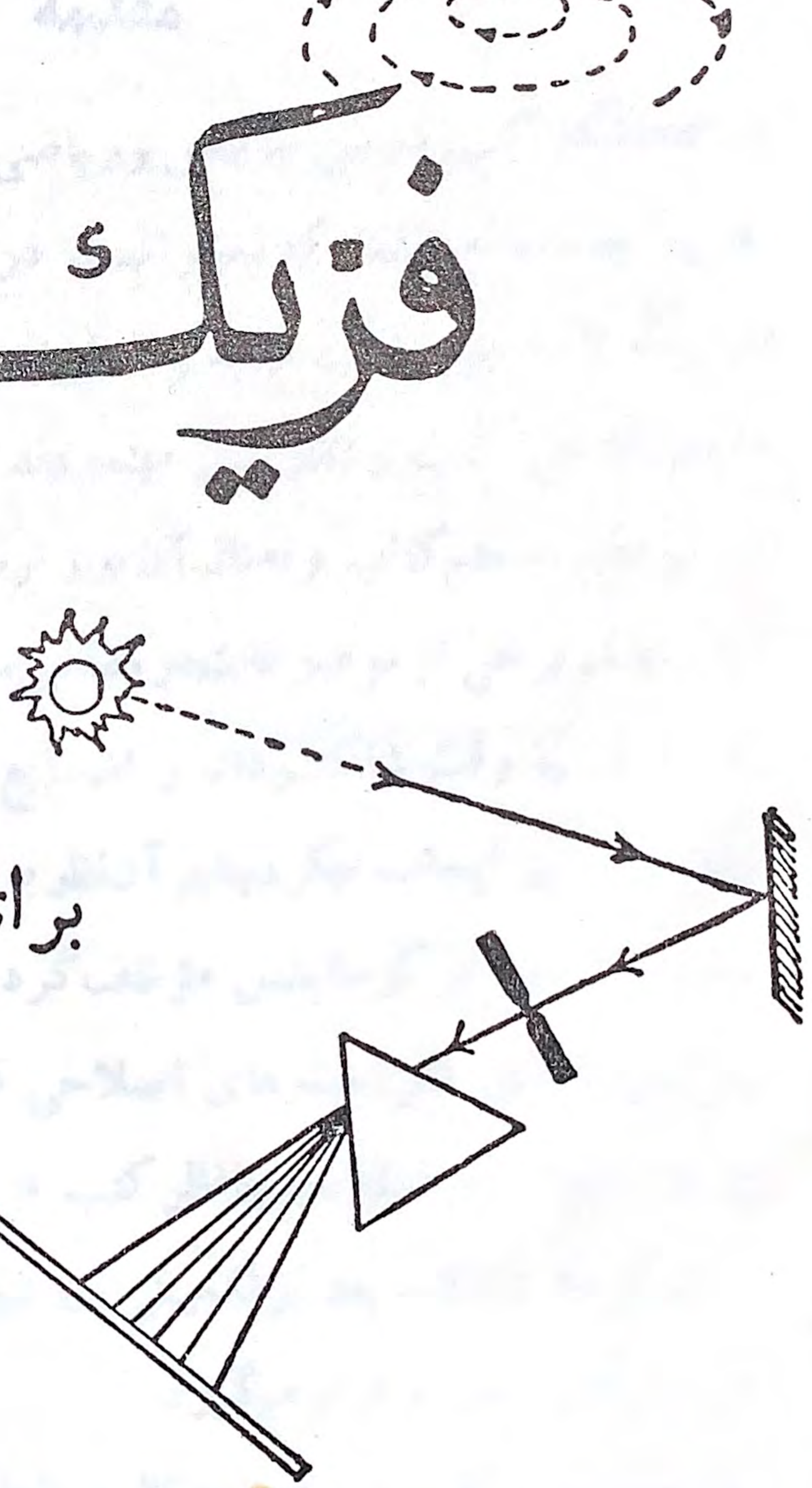
٤ - خادم علی (شیرزه) « « « «

د نسوونې او روزنې وزارت

د تألیف او ترجمې ریاست



فزیک



برای صنف دوازدهم

مؤلف: دکتور ابو بکر

۱۳۵۶

مقدمه

از انجائیکه کتب درسی ساینس وریاضی درمکاتب ازیکطرف سابقه تقریباً چند ساله داشت که نمیتوانست درحیات روزمره شاگردان را طوریکه لازم بود کمک نماید وازطرف دیگر یك سلسله شکایات از معلمینیکه این کتب را تدریس مینمودند ازناحیه مشکل بودن بعضی موضوعات ،حجم کتاب وامثال آن بوزارت جلیله تعلیم وتربیه مواصلت.

میکرد وهم برخی از موضوعات درمضامین مختلفه تکرار تدریس میگردید که نه تنها وقت شاگردان را ضایع می ساخت بلکه مصارف بیشتری رانیز ایجاب میکرد بنابرآن نظر به صوابدید مقام محترم وزارت تعلیم وتربیه مرکز ساینس مؤظف گردید تا بر کتب درسی ساینس وریاضی مطابق خواست های اصلاحی نظام خجستهٔ جمهوری تجدید نظر نماید بناءً به سلسله تجدید نظر کتب فزیك صنف دوازدهم نیز روی دست گرفته شد که بعد از تکمیل آن توسط کمیته اینك بدسترس خوانندگان محترم قرار میگیرد.

چون نوشتن کتب و یا تجدید نظر بر انها کاریست مشکل که نمیتواند

الف

بدون موجودیت یك سلسله معلومات اولیه ازقبیل ارزیابی و سنجش ضروریات روزمره ومقتضیات محلی انجام شود لذابا وجود سعی و تلاش زیادنتوانستیم تمام این نوع معلومات راجمع اوری نمائیم بنا بران ازهمه خوانندگان وبالخصوص استادانیکه این فزیك را تدریس مینمایند خواهشمندیم تاازنظریات مفیدشان راجع به اصلاح و بهبود موضوعات این کتاب ازهمکاری دریغ نکرده با دیپارتمنت فزیك مرکز ساینس تعلیم وتربیه درتماس آمده ممنون سازند .

درخاتمه ازعزتمندان محترم بنباغلو داکتر ستسلند و داکتر پانت متخصصین یونسکو که مارادرترتیب این کتاب رهنمائی نموده اند و هم ازبنباغلی سیدداود مصباح وبنباغلی عبدالنبی که دررسم و تایب این کتاب کمك کرده اند متشکریم .

کمیته تجدید نظر

فهرست

فصل اول حرکت

عناوین	صفحه
(1—1) معادلات حرکت	۱
(1—2) علت حرکت	۸
(1—3) کتله و وزن	۱۰
(1—4) وزن واجسام سقوط کننده	۱۷
(1—5) سطح مایل	۲۲
(1—6) حرکت پرتابی	۲۴
تمرینات	۳۰

فصل دوم انرژی ومومنتم

(2—1) کار و انرژی پوتانشیل	۳۲
(2—2) انرژی حرکی	۳۶
(2—3) تبدیل انرژی	۴۲

(2—4) قانون برنولی ٤٤
(2—5) طاقت ٤٨
(2—6) عمل وعکس العمل ٥٢
(2—7) مومنتم ٥٤
(2—8) حرکت راکت ٥٩
تمرینات ٦٢

فصل سوم میخانیك دورانی

(3—1) معادلات حرکت دورانی ٦٤
(3—2) مومنت عطالت ٦٧
(3—3) ترك ودوران ٦٩
(3—4) قوهٔ جذب بمرکز وفرار ازمرکز ٧٢
(3—5) کاروانرژی دورانی ٧٦
(3—6) مومنتم زاویوی ٨٠
تمرینات ٨٦

فصل چهارم اقمارمصنوعی ومدارها

(4—1) قانون جاذبهٔ نیوتن ٨٨
(4—2) پوتانشیل جاذبوی ٩١
(4—3) سرعت گریز ٩٥
(4—4) مدارها ٩٨

تمرینات ۱۰۳

فصل پنجم اهتزازات ارتجاعی

(5—1) مودولس ینگ ۱۰۵

(5—2) حرکت هارمونیکی ساده ۱۰۹

(5—3) رقاصهٔ ساده ۱۱۴

(5—4) حرکت هارمونیکی سادهٔ دورانی ۱۱۷

(5—5) ریزونانس ۱۱۹

تمرینات ۱۲۱

فصل ششم امواج

(6—1) نبض های موج ۱۲۴

(6—2) انعکاسات موج ۱۲۷

(6—3) انواع امواج ۱۲۹

(6—4) سلسله امواج پیر یودیك ۱۳۰

(6—5) امواج ساکن ۱۳۲

تمرینات

فصل هفتم صوت

(7—1) انتشارصوت ۱۴۲

(7—2) فرکونسی های ماورای صوت ۱۴۸

(3—7) امواج شوک دهنده ومافوق صوت ۱۴۹
(4—7) حادثهٔ دو پلر ۱۵۳
تمرینات ۲۵۷

فصل هشتم خاصیت موجی نور

(1—8) امواج سطحی ۱۵۹
(2—8) اصل هیوگنز ۱۶۴
(3—8) تداخل امواج نور ۱۶۶
(4—8) شبکهٔ نوری ۱۷۱
(5—8) استقطاب نور ۱۷۵
(6—8) ماهیت امواج نور ۱۸۲
(7—8) طیف الکترومقناطیسی ۱۸۷
تمرینات ۱۸۹
جدول تبدیل واحدات ۱۹۲
جدول توابع مثلثاتی ۱۹۴
جواب سوالات ۱۹۷

بسم الله الرحمن الرحیم

فصل اول

حرکت

(1 - 1) معادلات حرکت : برای اینکه خاصیت اجسام متحرك را مطالعه نمائیم لازم است اولاً مفهوم حرکت را تحلیل کرده مشخصات آن را معلوم نمائیم تا مارا در تشریح آن کمك کرده بتوانند.

فاصلهٔ را که یك متحرك می پیماید و زمانی را که جهت پیمودن این فاصله بکار دارد چیز هائیست مهم و قابل اهمیت. همچنان مفهوم تیزی متوسط چیز یست که همهٔ ما بان هنگام سفر آشنا گردیده ایم.

مثلاً اگر بطرف شهری که از ما 200 کیلومتر فاصله دارد روانه شویم و بعد از 5 ساعت بان برسیم تیزی متوسط ما $200km/5hr = 40km/hr$ خواهد بود.

از ین جاه بدون کدام مشکل میتوانیم رابطه ذیل را بنویسیم :

$$V_{av} = \frac{d}{t}$$

درحالیکه V_{av} تیزی متوسط d فاصله و t زمانیست که متحرك برای پیمودن این فاصله بکار دارد . هرگاه هردوطرف معادلهٔ فوق را با t ضرب نمائیم داریم :

$$d = V_{av}t$$

فرضاً اگر تیزی متوسط یك متحرك 30km/hr باشد فاصله را که متحرك بعداز 4 ساعت طی می نماید مساویست به $d = \frac{30km}{hr} x 4hr = 120km$

واضح است که V_{av} به تنهائی نمیتواند کوچکترین معلومات راجع به تیزی متحرك در لحظات مختلف مدت حرکت که آنرا تحت مطالعه قرارداده ایم ارائه کند . چه متحرك درطول مدت چهارساعت ممکن است بطی شود، توقف نماید یا تیزتر گردد واین حالات برای چندین بار تکرار شود لذا لازم می افتد تا روشی را در پیش گیریم که به کمك آن بتوانیم تغیر در تیزی یك جسم را مطالعه وبالو سیله حرکت آنرا طور مناسب شرح کنیم . بنابراین منظور مفهوم شتاب را که عبارت از تغیر سرعت است استعمال می نمائیم .

تاحال از تیزی یك متحرك صحبت کردیم اما میدانید چرا بمجردیکه ازشتاب نام بردیم از سرعت متحرك یادآور شدیم ؟ در محاورات روزمره بطور عموم تیزی و سرعت را یکی بجای دیگری استعمال میکنند درحالیکه فزیك دانان باین دو مفهوم معانی جداگانهٔ قایل اند. تیزی به مفهوم فاصله طی شده فی واحد وقت بدون در نظر گرفتن سمت

حرکت است که یکمقدار سکالر میباشددر حالیکه سرعت یك مقدار ویکتوری بوده در ان تیزی وجهت هردومورد بحث قرار میگیرد. مثلاً موتریکه $40km/hr$ بسمت شمال حرکت میکندباموتریکه بسمت جنوب $40km/hr$ درحرکت است عین تیزی دارد درصورتیکه سرعت هردوموتریك چیز نیست زیراحرکت شان بعین جهت نمیباشد. در آینده وقتیکه ازحرکت دورانی وحرکت منحنی الخط صحبت میکنیم خواهیم دید که تغیر درجهت نیز مانند تغیر درتیزی شتاب را آراءه می کند ازین سبب است که شتاب رامنحیث تغیر در سرعت تعریف کردیم که تیزی وجهت هردو رادربردارد. چون درینجا اکثراً از تغیر سمت بحث نمیکنیم بنابران مراد از تغیر سرعت تغیر درتیزی است.

مثلاً اکسلیترموتری راکه $10km/hr$ رفتار دارد ذریعهٔ پای فشار داده تصور کنیم بعداز 10 ثانیه رفتار آن به $\frac{80km}{hr}$ برسد واین تغیر رادررابطه $a = \frac{\Delta v}{t}$ که قرار تعریف برای شتاب قبول شده (حرف یونانی دلتا -Δ- را ر یا ضمیمه ها برای خلص ساختن تغیر کمیت استعمال میکنند که البته این تغیردرصورت تزاید مثبت ودر صورت کم شدن منفی میباشد) وضع کنیم خواهیم داشت که :

$$a = \frac{80km/hr - 10\ km/hr}{10\ sec} = \frac{70km/hr}{10\ sec} = 7\ km/hr/sec$$

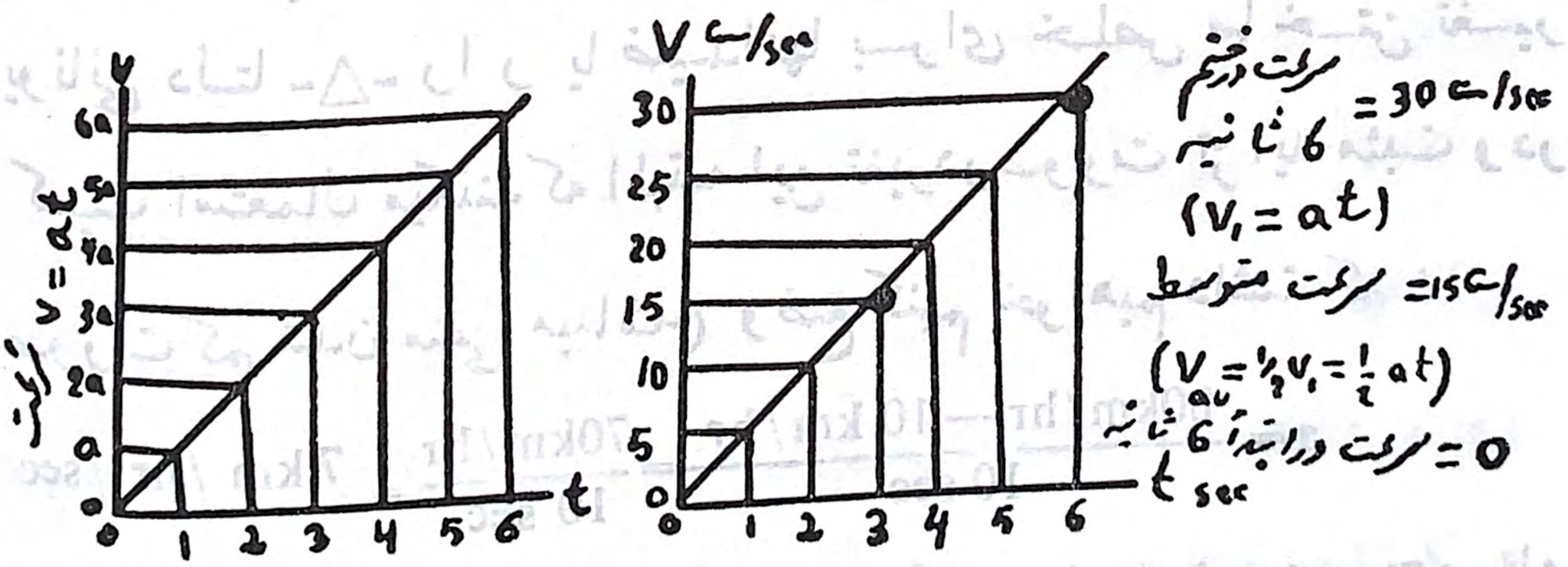
این چنین معنی دارد که تیزی موترمذکور باندازهٔ $7km/hr$ در یك ثانیه تغیر نموده است که این یك واحد کاملا مناسب است ولی شتاب

اکثراً به واحدات m/sec/sec یا بطور خلص به cm/sec2,m/sec2 ft/sec2, km/hr2 و mil/hr2 ارائه می‌شود .

اگر یك جسم از حال سکون با شتاب am/sec2 بحرکت شروع نماید درختم ثانیه اول سرعت آن am/sec و درختم ثانیه دوم 2am/sec خواهد بود بهمین ترتیب الی اخیر. بطور عموم سرعت این جسم را بعد از مدت t ثانیه توسط رابطهٔ ذیل ارائه مینمائیم :

$$v_t = at$$

درحالیکه v_t سرعت جسم مذکور درختم t ثانیه میباشد. گرچه رابطهٔ اخیر مهم و بعضاً خیلی مفید است ولی اکثر اً ضرورت می‌افتد تا رابطهٔ بشمول فاصله طی شده توسط جسم متحرك از شروع حرکت داشته باشیم. جهت درك این مطلب به‌شکل (1 A — 1) که در آن گراف سرعت (یا تیزی) نظر به زمان برای یك حرکت تعجیلی منظم (حرکتیکه تعجیل در آن ثابت باقیماند) ترسیم گردیده مراجعه میکنیم.



شکل (1—1)

از انجائیکه تغیرسرعت در هر ثانیه مساویست بنابر ان گراف ما یك خط مستقیم بوده وسرعت وسطی (Vav) دریك وقفهٔ معین زمان مساویست به سرعت زمان وسط وقفهٔ مذکور. بطور مثال سرعت وسطی و قفهٔ بین t=2 تا t=4 مساوی به 3a بوده که به قیمت t=3 . مطابقت می کند. هر گاه حرکت رااز زمان t=o شروع کنیم سرعت وسطی متحرك بعد ازمدت t ثانیهٔ 1/2at خواهدبود که مثال آن ذریعه اعداد درشکل (1B — 1) توضیح شده است .

برای دریافت فاصلهٔ طی شده توسط متحرك سرعت وسطی آن را بازمان مربوطه ضرب میکنیم (فرضاً سرعت وسطی یك موتر 40km/hr باشد مسافه را که درظرف 5 ساعت می پیماید مساوی 200km می باشد) بنابر ان میتوانیم بنویسیم که :

$$d = v_{av} \times t = \frac{1}{2} at \times t = \frac{1}{2} at^2$$

قیمت t راازرابطه $v_t = at$ دریافت ودررابطهٔ $d = \frac{1}{2}at^2$ میگذاریم بنابر آن :

$$d = \frac{1}{2} a \frac{v_t^2}{a^2} = \frac{v_t^2}{2a}$$

یا $v_t^2 = 2ad$

تاحال معادلات حرکت رابرای یك حرکت تعجیلی منظم درصورتیکه متحرك از حالت سکون شروع بحرکت می نمود مطالعه کردیم اکنون این معادلات رابرای اجسا میکه دارای یك سرعت ابتدائی V_o باشد در نظرمیگریم .

معادلهٔ $V_t = at$ ارائه میدارد که سرعت متحرك نظر به تعجیلی که دارد چقدر تزاید کرده است اینك اگر این مقدار را باسرعت ابتدائی متحرك علاوه کنیم نوشته کرده میتوانیم که:

$$V_t = V_0 + at$$

همچنان معادلهٔ $d = \frac{1}{2} at^2$ فاصله را که متحرك بنابر دا شتن تعجیل a طی می نماید تعین میکند. ولی اگر متحرك مذکور باسرعت ابتدائی V_0 برای یك وقت معین t حرکت کرده باشد یك فا صلهٔ مساوی به $V_0 t$ رابدون تعجیل طی کرده است بنابران فاصلهٔ مجموعی را که متحرك مذکور طی نموده از رابطهٔ ذیل بدست آورده میتوانیم:

$$d = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

بهمین ترتیب میتوانیم بنویسیم که:

$$V_t^2 = V_0^2 + 2ad$$

معادلات سه گانهٔ رازیلا تکرار و بعضی عبارات که ممکن مارا درحل سوالات کمك کند بان علاوه مینمائیم.

1. $V_t = V_0 + at$ (فاصله دران دخل ندارد)

2. $d = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$ (سرعت نهائی دران د خیل نیست)

3. $V_t^2 = V_0^2 + 2ad$ (زمان دران دخیل نیست)

اینکه کدام معادله یا معادلات را ازجملهٔ معادلات سه گانه بکار می بریم مربوط خواهد بود بسوالیکه به ماداده شده ویاجوابیکه برای پیدا کردن آن کوشش داریم. بطور مثال تعجیل موتر را که سرعت آن

از 10m/sec به 40m/sec در ظرف 15 ثانیه تغییر میکند در یافت مینمائیم. چون در اینجا V_t، V_0 و t را میدانیم و میخواهیم a را پیدا کنیم و همه آنها در معادلهٔ (1) موجود است لذا داریم که :

$$V_t = V_0 + at$$

$$40 = 10 + 15a$$

یا

$$a = 30/15 = 2m/sec^2$$

هرگاه خواسته باشیم بدانیم که موتر مذکور در خلال مدت این تعجیل چقدر فاصله را طی می کند نظر به اینکه V_t، V_0 و a را میدانیم از معادلهٔ (3) کار گرفته داریم:

$$V_t^2 = V_0^2 + 2ad$$

$$(40)^2 = (10)^2 + 2x2xd$$

یا

$$d = 375m$$

درمثال فوق تعجیل، سرعت وفاصله عین جهت را داشته درحالیکه دربسیاری از حالات چنین نیست بنابران باید همیشه متوجه اشارات این کمیت ها باشیم. مثلاً موتری را در نظر میگیریم که بطرف شمال باسرعت 30m/sec درحرکت است درین وقت در یوربرك زده سرعت خویش را درهرثانیه 5m کمترمی سازد که این گونه تغییردرسرعت را تاجیل می گویند یعنی این مقدار عوض اینکه باسرعت ابتدائی جمع گردد از ان تفریق میشود که در حقیقت تعجیل بطرف جنوب است یعنی اگرو کتور سرعت بسمت شمال متوجه باشد این تعجیل

منفی خواهد بود ($a=-5m/sec^2$) اگر خواسته باشیم بدانیم که بعداز چه مدت موتر توقف می کند از معادله (۱) استفاده کرده داریم :

$$V_t = V_0 + at$$

چون سرعت نهائی (V_t) هنگام توقف صفر است بنابران :

$$0 = 30 - 5t$$

$$t = 6 \text{ sec}$$

یا

هرگاه سمت جنوب را مثبت انتخاب میکردیم معادله شکل ذیل را اختیار میکرد :

$$0 = -30 + 5t$$

$$t = 6 \text{ sec}$$

یا

(2 — 1) علت حرکت: حتی اطفال در مرحله‌ای اول بازی می آموزند که یک رابطهٔ مستقیم بین قوه و حرکت وجود دارد . تیله‌ویا کشش کردن اکثراً سبب حرکت اجسام میشود . از آنجائیکه رابطه بین قوه و حرکت در ابتدا ظاهراً واضح نبود بنابران مفکوره های اساسی مربوط بحرکت الی شروع قرن (19) جستجو می‌شد تا اینکه فزیک دان ایطالوی بنام گالیله (Galileo) رابطه بین فاصله، سرعت و زمان را تحلیل نموده و ممکن وی اولین شخص بوده باشد که تعجیل را درک کرده باهمیت آن درمطالعه حرکت پی برده است .

درسال 1642 هنگامیکه گالیله در ایطالیا فوت کرد فزیکدان و ریاضی دان بزرگ بنام اسحق نیوتن (Isacc newton) درانگلستان تولد شد . نیوتن فکر گالیله را تعمیم بخشیده مطالعات بیشتر او را

به کشف سه قانون مهم حرکت رهنمایی کرد.

قانون اول نیوتن راجع بحرکت: یك جسم ساکن بی حرکت خواهد ماند و یا یك متحرك بحرکت خود بدون اینکه در سرعتش تغیری وارد گردد ادامه خواهد داد تا اینکه کدام قوه غیر متوازن بالای آن عمل نکند.

این قانون بیان یك خاصیت از ماده است که عطالت گفته می شود و مقاومت ماده را هنگام تغیر سرعت آن شرح می کند همچنان این قانون بیان می کند که سرعت جسم میتواند تغیر کند در حالیکه یك قوه غیر متوازن بالای آن عمل نماید. بیائید یك کتاب را روی یك میز گذاشته و آنرا از یك پهلو تیله کنیم اگر کتاب را آهسته تیله کرده باشیم کتاب حرکت نمی کند که البته علت آن عمل قوه اصطکاك متوازن و مختلف الجهت به قوه ایست که از طرف ما بالای کتاب عمل کرده است ولی کتاب وقتی به حرکت شروع خواهد کرد که قوه عامل از طرف ما بالای کتاب قوه اصطکاك را مغلوب سازد. هرگاه قوه عامل توسط ما بالای کتاب طوری باشد که کتاب بالای میز بامتداد یک مستقیم با سرعت ثابت حرکت نماید درینصورت قوه مذکور باقوه اصطکاك مساوی و مختلف الجهت بوده ومحصلهٔ قوه ها مساوی صفر میشود. اما اگر کتاب را شدیدتر تیله کنیم بالای قوه اصطکاك غلبه حاصل کرده و حرکت کتاب سریعتر شده میرود. ولی وقتیکه تیله نمودن کتاب را بس کنیم قوه اصطکاك حرکت کتاب را مانع شده انرا متوقف میسازد.

مطالعه ای مثالهائیکه درفوق تذکر داده شد صحیح وخوب است ولی مارا بحل مشکل اساسی که ساینس دانها وفلاسفه برای قرون متمادی جواب آن رادادہ نمیتوانست قادر نمیسازد. آنها کوشش داشتند به نحوی غیر علمی قوه وسرعت را باساس نظریات باهم ارتباط دهند اما گالیله این مطلب رادرك ونیوتن انرا بکلی واضح ساخت وگفت که رابطهٔ مستقیم بین قوه وسرعت وجود ندارد بلکه درعوض بین قوه وتعجیل موجود شده میتوانند.

قانون دوم نیوتن راجع بحرکت: تعجیلیکه توسط عمل یك قوه بیك جسم داده می شود مستقیماً متناسب به قوه ای مذکور بوده وجهت آن جهت قوه است. همچنان اگر قوه مذکور بالای اجسام دارای کتله های مختلف عمل کند تعجیل حاصله با کتله ای هریك از اجسام مذکور تناسب معکوس دارد.

(1-3) کتله ووزن: قبل از ینکه قانون دوم نیوتن رابشکل فورمول درآوریم لازم می افتد تاراجع به کتله، که برای شرح این قانون اهمیت قابل وصفی دارد معلومات چندی ارائه نمائیم. مواد از هر نوعیکه باشد دوخاصهٔ مشترك دارند یکی توسط قوهٔ جاذبه زمین کشش میشوند یعنی وزن دارند دیگری هنگام تعجیل گرفتن مقاومت مینمایند یعنی عطالت دارند. برای اندازه نمودن کتله یك جسم از هرکدام این دوخاصه استفاده شده میتوانند.

وزن کمیتیست که مستقیماً توسط ترازوی فنری اندازه شده میتواند

بطور مثال بیائید یك کیلو گرام کتلهٔ معیاری را گرفته آنرا از یك ترازوی فنری بیاویزیم .قبل از نشانی کردن محل عقرب ترازو لازم است قدری مکث نموده فکر کنیم که در کجا میباشیم فرضاً در کابل باشیم و بعداً به قندهار برویم چون ارتفاع قندهار از سطح بحر نظر به کابل کمتر است بنابران وزن کتلهٔ یك کیلو گرام در قندهار نظر به کابل کمی بیشتر گردیده عقرب ترازو اندکی پائین تر از محل که در کابل نشانی شده بود خواهد آمد. همچنان اگر کیلو گرام معیاری را با ترازوی فنری به کوه سالنگ برده عملیه را تکرار نمائیم خواهیم دید که وزن کتلهٔ مذکور قدری کمتر گردیده وعقرب ترازو در یك نقطهٔ ثالث استاده میشود شکل (2-1) .

حال سوال درین جاست که ما باید کدام یك از نشان های سه گانه رامعیار قرار دهیم ؟آنهائیکه ترازوی فنری میسازند چه میکنند ؟ ازانجائیکه اکثریت مردم جهان خیلی بلند تر از سطح بحر زندگی ندارند بنابران ممکن است ترازوهای فنری را به مقیاس ارتفاع سطح بحر درجه بندی نمایند .ساختن ترازوی فنری عادی آنقدر مشکل نیست زیرا توقع صد فیصد درستی ازان در نظر نمیباشد یعنی اندکی سبکی برای خریدار و یا کمی گرانگی برای فروشنده قابل تشویش نیست بطور مثال در توزین اجسام در کابل و یا قندهار آنقدر فایده و نقصی متوجه سوداگر و مشتری نخواهد بود . مقصد ازین مباحثه این است که کیلو گرام و گرام واحدات کتله بوده که

وزن های شان از جای بجای نظر بدور شدن ویا نزدیک شدن بمرکز زمین باالترتیب کم ویا زیاد میگردد .

ولی اگر در عوض از ترازوی دوپله‌ای شکل (3-1) کار بگیریم این تشویش رفع میگردد . اگر توته سنگی که کیلوگرام معیاری را کاملاً در کابل در توازن بگیرد انتخاب کنیم این سنگ توازن خویش را با کیلوگرام مذکور در قندهار ویا کوه سا لنگ حفظ خواهد کرد. زیرا باوجود اینکه مقدار جاذبه ای زمین نظر به فاصله از مرکز زمین تغیر مینماید بالای کیلوگرام وسنگ در همه جا مساوی باقی میماند لذا نتیجه ای که از ین جا بدست می آید اینست که کتله سنگ مذکور مساویست به کتلهٔ کیلوگرام معیاری ویا بطور خلص کتله سنگ مساوی یک کیلوگرام است.

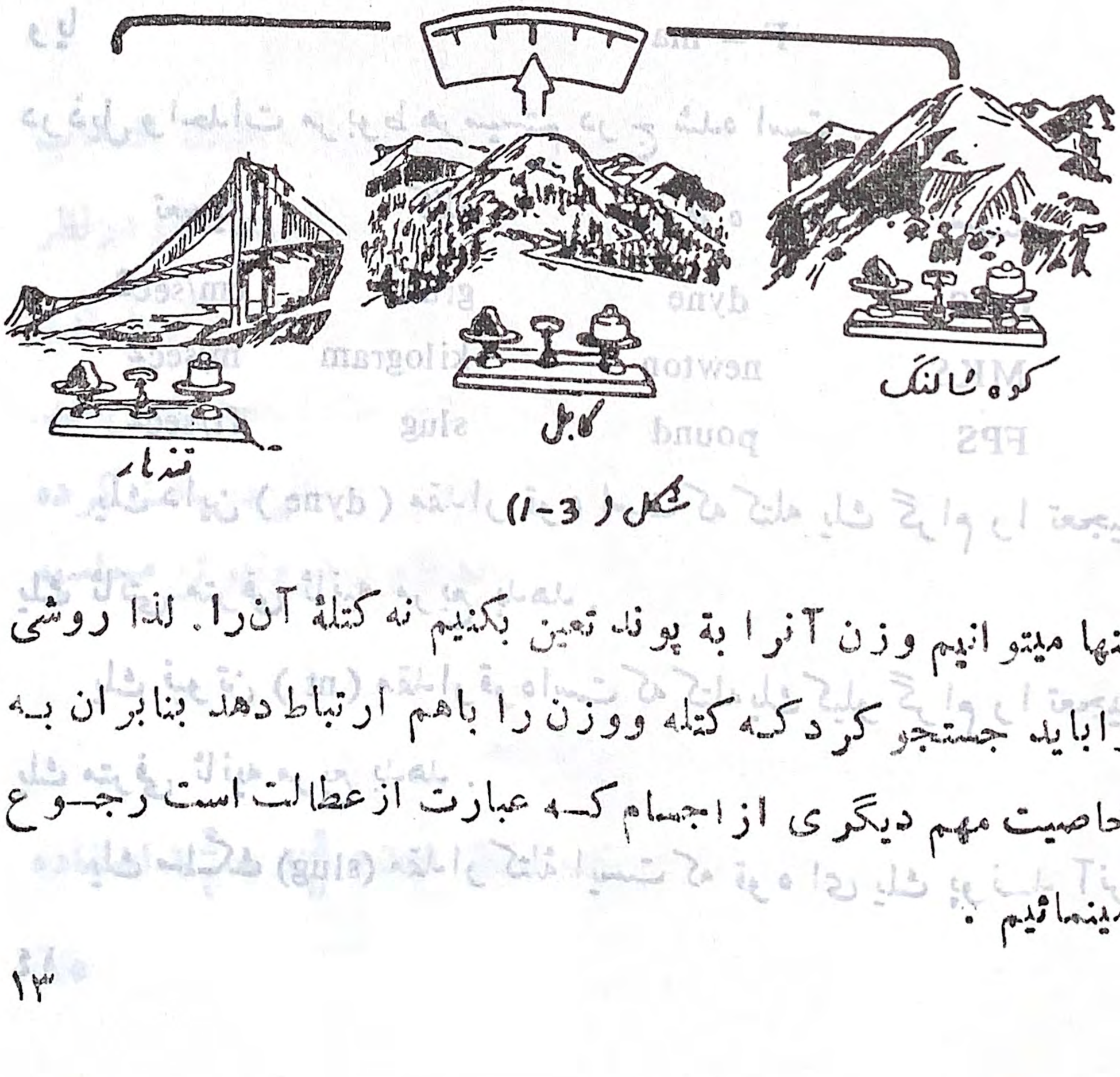
اما راجع به وزن آن در یک محل چیزی گفته نمیتوانیم تا وقتیکه مقدار قوهٔ جاذبه ای زمین را بسالای آن در محل مذکور درست اندازه نکنیم .

در تجارت وانجینری پوند را برخلاف کیلوگرام وگرام بحیث واحد کتله استعمال نکرده بلکه آنرا بحیث واحد قوه در 45° عرض البلد در سطح بحر استعمال مینمایند .

با در نظر داشت این تمرین باسانی میتوانند ترازوی فنری را عیار سازند حال اگر ترازوی فنری را که بنابر شرایط فوق در انگلستان عیار شده

باشد گرفته و پوند معیاری را در کابل بان بیاوزیم ولی ترازووزن یك پوند را نشان ندهد جای تعجب نیست زیرا قوهٔ جاذبهٔ زمین در کابل کمتر بوده وبنابران وزن پوند معیاری از یك پوند کمتر گردیده است .

فرضاً به محل سرو کار پیدا کرده باشیم که موقعیت آنرا نمیدانیم وبرای ماسنگی نامعلومی بایك ترازوی دوپله ای معه یك سیت کتله های معلوم (که اکثراً آنهارا بااوزان اشتباه می کنند) داده شود چیزی راکه بدرستی سنجیده میتوانیم کتلهٔ سنگ به گرام یا کیلوگرام خواهد بود نه وزن آن. همچنان توسط یك ترازوی فنری درست عیارشده



شکل (3-1)

تنها میتوانیم وزن آنرا به پوند تعین بکنیم نه کتلهٔ آنرا. لذا روشی رابایدجستجو کرد که کتله ووزن را باهم ارتباط دهد بنابران به خاصیت مهم دیگری ازاجسام که عبارت ازعطالت است رجوع مینمائیم .

قانون دوم نیوتن بیان میکند که برای کتله های مساوی اجسام تعجیل متناسب به قوه ودرصورت عمل قوه های مساوی تعجیل معکوساً متناسب به کتله است . بنابران میتوانیم بنویسیم :

$$a = KF/m$$

وقتیکه واحدات m,a و F ازعین سیستم انتخاب شوند ضریب تناسب K درافادهٔ الجبری قانون دوم نیوتن مساوی (1) میگردد . بنابرهمین دلیل بود که ساینس دانهای قرن نوزدهم این واحدات را وضع وتعریف کردند لذا وقتیکه این واحدات را استعمال کنیم میتوانیم بنویسیم که :

$$a = F/m$$

ویا

$$F = ma$$

درذیل واحدات مربوط هرسیستم درج شده است .

سیستم	قوه	کتله	تعجیل
CGS	dyne	gram	cm/sec2
MKS	newton	kilogram	m/sec2
FPS	pound	slug	ft/sec2

یك داین (dyne) مقدار قوه است که کتله یك گرام را تعجیل یك سانتی مترفی ثانیه مربع بدهد .

یك نیوتن (nt) مقدارقوه است که کتله یك کیلو گرام را تعجیل یك مترفی ثانیه مربع بدهد .

یك سلگ (slug) مقدار کتلهٔ ایست که قوه ای یك پوند آنرا

تعجیل یك فت فی ثانیه مربع میدهد.

بطور مثال میخواهیم بدانیم که چه مقدار قوه یك ریل را با کتلهٔ 200 ton (متریك) کـه با سرعت 24m/sec درحرکت است درظرف 2 دقیقه متوقف خواهد ساخت.

هرگاه سمت حرکت را جهت مثبت فرض کنیم داریم :

$$\Delta V = V_t - V_0 = 0 - 24 = -24 m/sec$$

ازطرف دیگرچون $a = \Delta V/t$ است بنابر آن نوشته کرده میتوانیم:

$$a = -24/120 = -0.20 m/sec^2$$

چون میدانیم که: $m = 200\ ton = 200\ 000\ kg$

همچنان $F = ma$

لذا $F = 2 \times 10^5 (-0.20) = -4 \times 10^4 nt$

علامهٔ منفی نشان میدهد که قـوه مخالف سمت که مثبت انتخاب گردیده عمل می نماید. یا تیز رفتاری را با کتلهٔ 100 slug درنظر میگیریم. هرگاه برك آن قوهٔ 1600پوند برآن تولید کند موتر مذکور بعدازطی چندفت توقف خواهد کرد درحالیکه سرعت آن 60ft/sec باشد.

هرگاه تعجیل را بدانیم فاصلهٔ طی شده را باسانی دریافت کرده میتوانیم. بنا برآن اولاً تعجیل را ازرابطه قانون دوم نیوتن محاسبه میکنیم یعنی :

$$a = \frac{F}{m} \text{ یا } a = \frac{1600}{100} = 16 ft/sec^2$$

حال بـرای دریـافت فاصله از رابطهٔ $V_t^2 = V_0^2 + 2ad$ استفاده

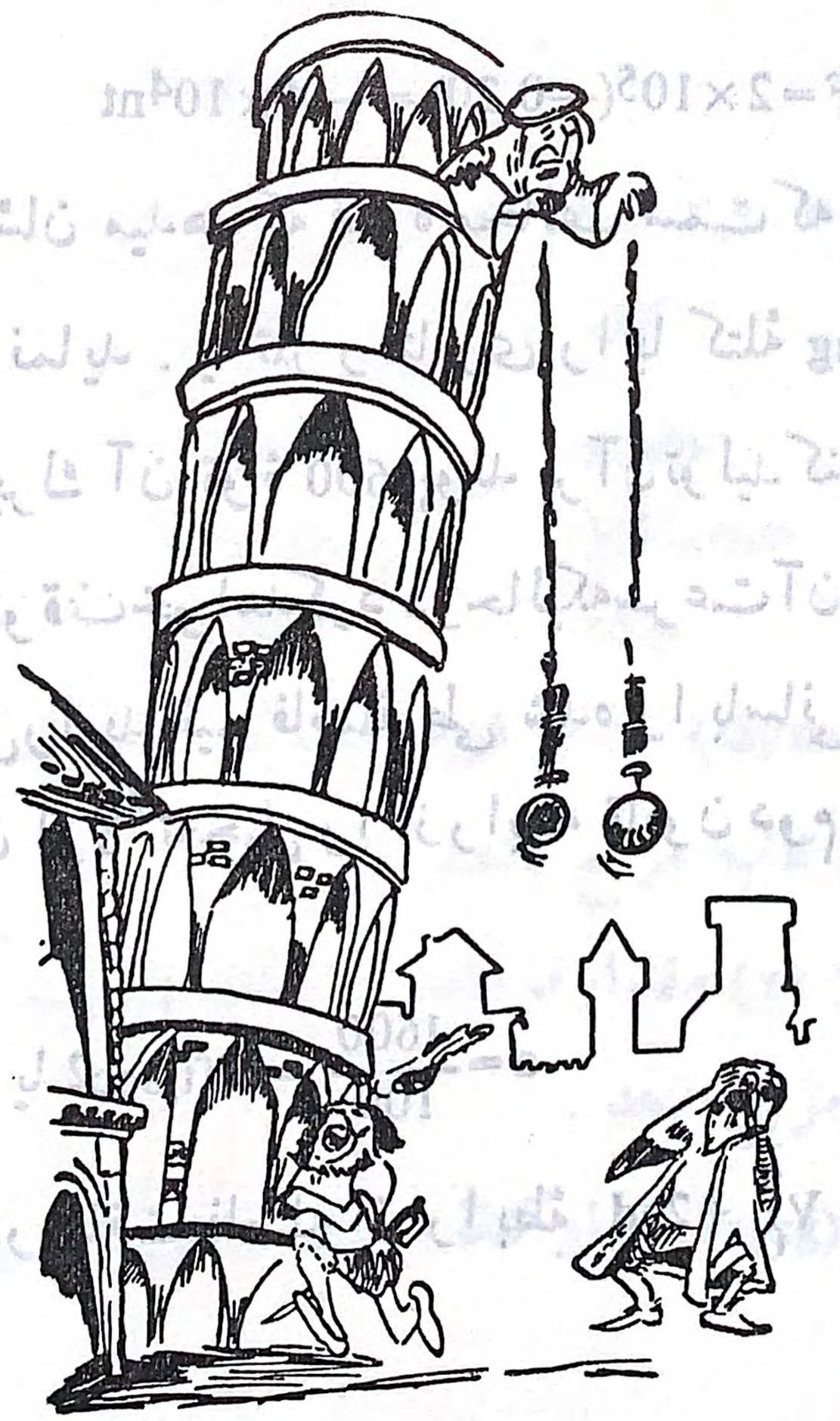
کرده داریم:

$$0 = (60)^2 + 2 \times 16 \times d$$
$$d = -3600/32 = -113 \text{ ft}$$

(چون قوه عامل توسط برك را مثبت فرض کردیم بنابران تعجیل را مثبت یافتیم و این چنین معنی دارد که مخالف سمت حرکت را مثبت فرض کرده ایم فلهذا 113— نشان میدهد که موتر بعد از رفتن 113ft بجلو استاده میشود).

حال فرض کنیم با ساحهٔ برقی که با قوهٔ 1.8×10^{-10} داین بالای یك الکترون با کتله 9×10^{-28} گرام عمل مینماید سروکار داریم ومیخواهیم تعجیل الکترون را در درچنین حالت حساب کنیم:

بنابران: $a = F/m = 1.8 \times 10^{-10}/9 \times 10^{-28} = 2 \times 10^{17} \text{ cm/sec}^2$



(شکل 4—1)

وزن و اجسام سقوط کننده : برج پیسا (pisa) علاوه بر اینکه یکی از عجائبات معماری دنیا بشمار میرود باتاریخ فزیك نیز ارتباط نزدیك و قابل ذکری دارد. زیرادراجرای تجربهٔ که تقریباً سه قرن پیش ازطرف گالیله ساینس دان بزرگ ایطالوی طرح گردید رول بس بزرگی را بازی کرد. می گویند که روزی گالیله دو کرهٔ سنگین وسبك را که از آهن وچوب ساخته شده بود گرفته همزمان از بالای برج مذکور رها کرد شکل (4—1). وی مشاهده کرد که باوجودتفاوت دراوزان کره ها هردوی آن پهلو به پهلو تقریباً همزمان بزمین خورد. حال سوال درینجاست که نتیجه این تجربه گالیله میتواند چیزی باشد که توقع آنرا داریم؟ فرض کنیم کره های فوق هر کدام دارای اوزان 1kg,10kg یعنی وزن کرهٔ آهنی ده برابروزن کرهٔ چوبی باشد. وزن کره های مذکورقوه هایست که باعث تعجیل آنها هنگام سقوط میگردد چون وزن کرهٔ آهنی ده مرتبه بزرگتراست لذا قوه تعجیلی بالای آن نیزده چند بوده وبناء هردو کره باعین تعجیل پهلو به پهلو بطرف پائین سقوط خواهد کرد.

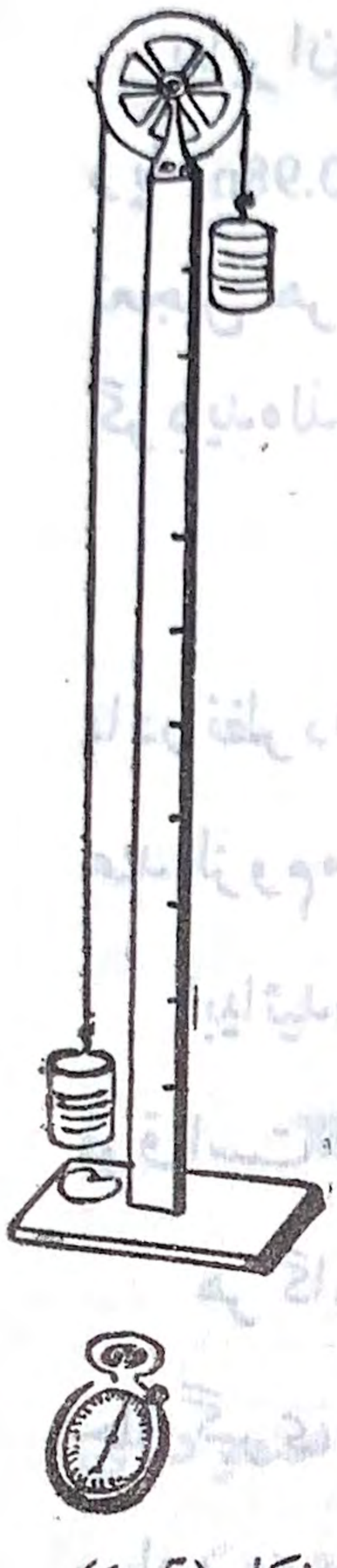
بیائید پدیدهٔ اجسام سقوط کننده را قدری دقیق ترمطالعه کنیم. براي اين مقصد كتله يك كيلوگرام را كه از يك ارتفاع معين سقوط می کند بازمانیکه برای این سقوط لازم است درنظر گرفته از رابطهٔ $d=\frac{1}{2}at2$ تعجیل را محاسبه میکنیم. این تعجیل را درصورت سقوط آزادبحرف g نشان میدهند. مقدار g تجربتاً در الاسکا 932.18cm/sec2

یا 9.8218m/sec2 محاسبه شد ه است . فرضاً جسمی به کتله 1kg را از ارتفاعی رها میکنیم قوه 1nt جسم مذکوررا تعجیل 1m/sec2 خواهد داد . ولی اگر خواسته باشیم کتلهٔ مذکوررا تعجیل 9.8218m/sec2 بدهیم به قوهٔ 9.8218nt ضرورت داریم. از ینجا نتیجه میگیریم که کتله 1kg در الاسکا 9.8218nt وزن دارد ولی اگر تجربه را درشهر پانامه (Panama) تکرار کنیم می یابیم که g=9.7824m/sec2 بوده و بنابران وزن 1kg کتله درین محل 9.7824nt خواهد بود لذا بطور عموم برای هرجسم درهرجائیکه باشد میتوانیم بنویسیم :

وزن (w) = کتله x قوهٔ جاذبه زمین = mg

(ملتفت باید بود که واحدات مقادیر سه گانه فوق باید ازعین سیستم انتخاب گردد) . مطالعهٔ سقوط اجسام برای آموختن قوانین اساسی حرکت خالی ازمفاد نیست. از آنجائیکه سقوط اجسام بطور کاملاً آزادنظربه تیزی آنها برای مشاهدات دقیق خالی از مشکلات نمیباشد بنابران اگرسقوط آزاد اجسام را ابتداء بوسیلهٔ ماشین که بنام اتود (شکل 5—1) یاد میگردد آهسته ساخته و بعد آنرا مطالعه کنیم نتیجهٔ خوبتر بدست خواهد آمد .

این ماشین از یك پایهٔ طویل عمودی (تقریباً دومتر)، یك پولی تقریباً بدون اصطکاك که در انجام پایه نصب گردیده، یك سیت کتله های متفاوت چنگك دار و یك تار بطول مناسب که از بالای پولی می گذرد ساخته شده است. توسط این دستگاه فاصلهٔ d را سنجیده زمان t را توسط



شتاب واچ حساب ورابطه بین کتله، قوه و تعجیل رامی یابیم.
حال اگر بدو انجام تار ماشین مذکور کتله های 900gm و 800gm رابیاوزیم طبعاً کتله 900gm بمجرد رها شدن پائین می آید ولی چطور بدانیم که تعجیل آن چقدر خواهد بود؟ اگربه هردو طرف کتله های 800gm می آویختیم طبعاً اوزان در توازن باقی میماند وهیچ تعجیل وجود نمیداشت ولی درین صورت وزن علاوه گی 100gm بطرف سنگین تار قوه ایست که تعجیل را باعث میگردد.

درین جا تکلیف که بان روبرو میشویم اینست که نمیدانیم 100gm کتله در محل که این تجربه را اجرا میکنیم چقدر وزن دارد.

اگر در الاسکا می بودیم باسانی میتوانستیم بگوئیم شکل (5-1) که وزن مذکور مساویست به:

$$W = mg = 100 \times 982.18 = 98218 dynes$$

همچنان میتوانیم این مقدار وزن را در پانامه طور ذیل بدست آوریم:

$$mg = 100 \times 978.24 = 97824 dynes$$

لیکن واقعیت این است که مادر هیچ کدام ازین دو محل نبوده بلکه در افغانستان میباشیم. لذا بهتر خواهد بود که باقبول تقریباً 10% غلطی فرض کنیم قیمت g در تمام نقاط سطح زمین 980cm/sec2 یا 9.80m/sec2 و یا 32ft/sec2 باشد.

بنابر ان قوهٔ تعجیلی ماشین اتوددر شرایطفوق $100 \times 980 = 98000 dynes$ و یا $0.98nt$ $(Int = 10^5 dynes)$ فرض شده میتوانند که البته این قوه باعث تعجیل هر دو کتله که مجموعاً $900 + 800 = 1700gm$ و یـا $1.7kg$ میباشد گردیده لذا داریم که :

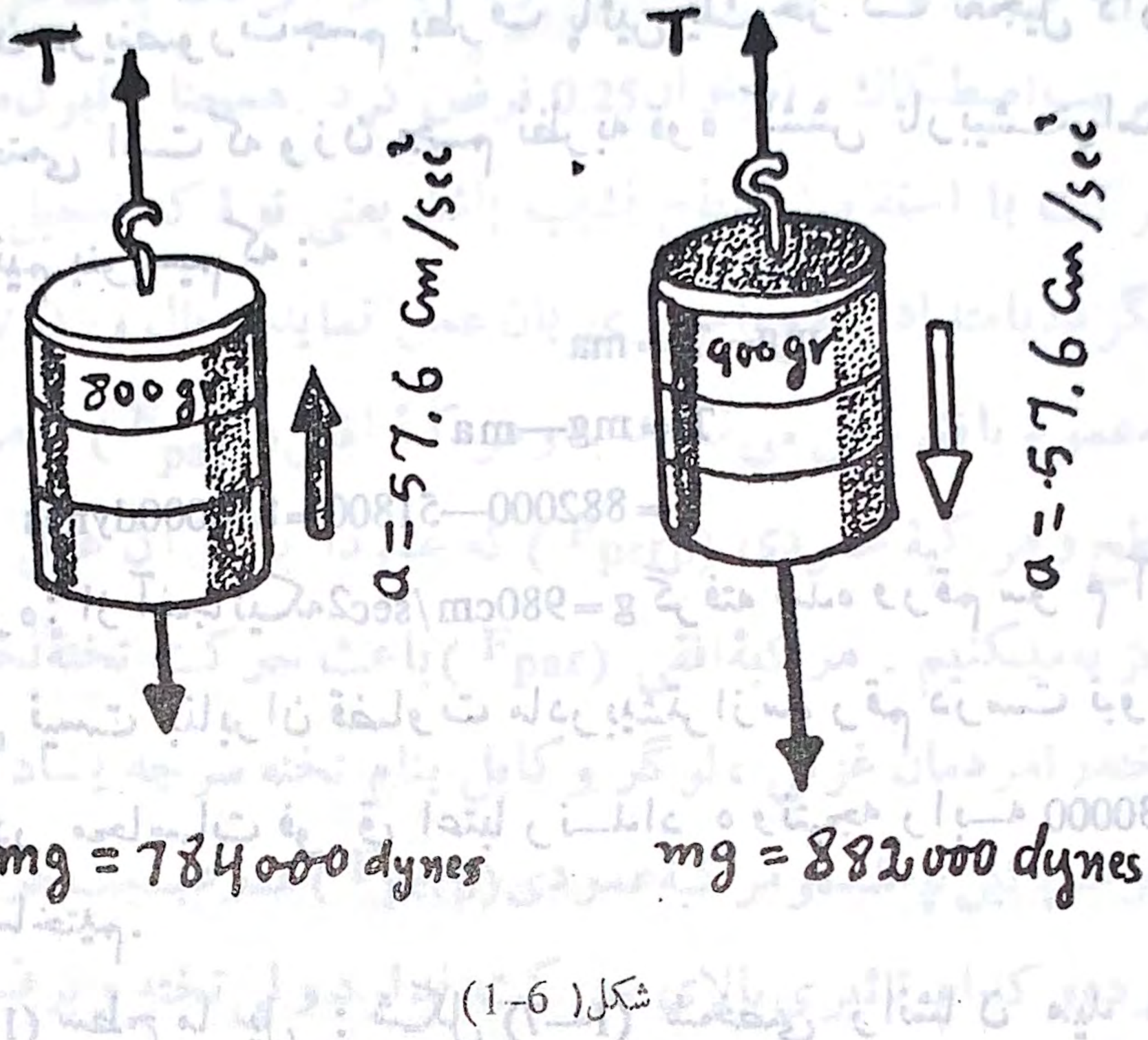
$$a = F/m = 98000/1700 = 57.6cm/sec^2$$
$$= 0.980/1.7 = 0.576m/sec^2$$

با در نظر داشت این قیمت a میتوانیم فاصله، زمان، سرعت وغیره را عندالزوم موقع ضرورت دریافت نمائیم .

بیائید سوال دیگری راکه عبارت از مقدار کشش تار در شرایط فوق است مطرح نموده وراهای حل آنرا جستجو نمائیم .

هرگاه ازحرکت که از آویختن کتلهٔ 900 گرامه به تار تولید میگردد جلوگیری شود تار مذکور تنها باید وزن کتلهٔ 800 گرامه را که کشش مساوی به $800 \times 980 = 784000 dynes$ را باعث میگردد در توازن بگیرد ولی از آنجائیکه بطرف دیگر تار کتلهٔ 900 گرامه را اویزان کرده‌ایم لذا کشش تار د رینطرف مسـاوی بو ز ن کتلـه مـذکو ر و یا $900 \times 980 = 882000$ dynes خواهد بود.

حال معقول است اگر فرض شود که درصورت داشتن تعجیـل آزاد اجسام بالای ماشین قوهٔ کشش بین این دومقدار میباشد. ایـن سوال راباسانی حل کرده میتوانیم درصورتیکه هرکدام از کتله‌ها رابصورت مجزا از همدیگر مطالعه کنیم بطور مثـال اولاً کتلهٔ 800 گرامه رادر نظر میگیریم شکل (6—1) .



شکل(6-1)

دیده میشود که کتلهٔ 800 گرامه از اثر عمل قوه صعودی

$F=ma=800\times57.6=46080dynes$ که مساوی به تفاضل قوهٔ کشش

تار (که بطرف بالا عمل میکند) ووزن جسم (که بطرف پائین

عمل میکند) است به تعجیل 57.6 cm/sec2 بطرف بالا حرکت می نماید.

واضح است قوهٔ کشش تار(T) از وزن جسم بزرگتر است لذا

میتوان نوشت که :

$$T-mg=ma$$

$$T-mg=46080$$

$$T=46080+mg$$

$$=46080+784000=830000dynes$$

این جواب رامیتوانیم از حل سوال برای کتلهٔ 900 گرامه امتحان

کنیم چون در ینصورت جسم بطرف پائین یك حرکت تعجیل دارد بنابران حتمی است که وزن جسم نظر به قوه کشش تار بیشتر است لذا میتوانیم بنویسیم که :

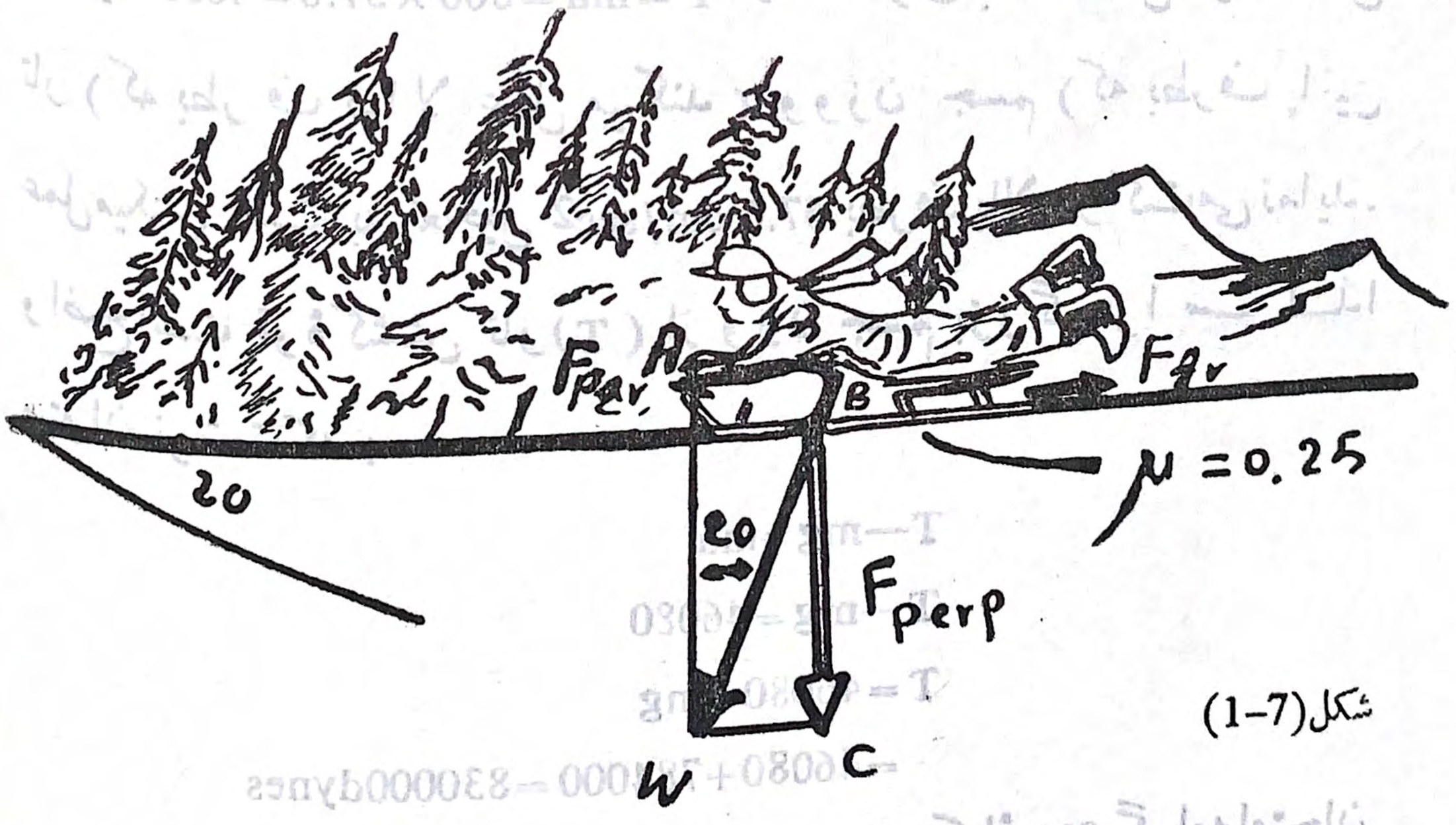
$$mg - T = ma$$

$$T = mg - ma$$

$$= 882000 - 51800 = 830000 dynes$$

تبصره: از آنجائیکه $g = 980 cm/sec^2$ گرفته شده و رقم سوم آن اطمینانی نیست بنابران قضاوت ما در بیشتر از سه رقم درست نبوده لذا آنرا در محاسبات فوق اعتبار نداده و نتیجه را به 830000 محدود ساختیم.

(1–5) سطح مایل : شکل (1–7) شخصی را نشان میدهد که روی سطحی با نشیب $20°$ پائین می لغزد اگر



شکل (1–7)

برف کاملاً پاك نبوده بلکه آلوده باگرد وخاك باشد درینصورت ضریب اصطکاك رامیتوان0.25 فرض کرد .همچنان قبول میکنیم که حرکت با استقامت سطح نشیب باشد یعنی قوهٔ که تعجیل را باعث میگردد بامتداد سطح یاموازی بان عمل نماید. حال وزن W تخته را که‌عمود بافق عمل می نماید بدو مرکبهٔ افقی(F_{par}) که‌موازی به سطح و مرکبهٔ عمودی (F_{perp}) که عموداً بالای آن عمل می کند تجزیه‌میکنیم . مرکبهٔ افقی (F_{par}) باعث حرکت تختهٔ لخشك(این تخته رامردمان غزنی ،لوگر وکابل بنام تخته سرجه یاد می کنند) بطرف پائین تپه شده‌و مرکبهٔ‌عمودی(F_{perp}) عمود بسمت حرکت‌عمل کرده‌و کدام تاثیری بالای حرکت ندارد ولی تخته وبرف راباهم می فشرد که مابرای‌مجسم‌ساختن قوهٔ اصطکاك (F_{fr}) بان ضرورت داریم حال‌میخواهیم قوهٔ(F) راکه‌باعث تعجیل تخته‌از بالای تپه‌میگردد محاسبه کنیم .

$$F = F_{par} - F_{fr} = F_{par} - \mu F_{perp}$$

$$= W\sin 20° - 0{,}25 \times w\cos 20°$$

$$= W \times 0.342 - 0.25 \times w \times 0{,}940 = 0.107w$$

چون کتله‌ای تخته‌در بالاداده‌نشده بنابران کتله آنرادر هرسیستمیکه خواسته باشیم m فرض کرده میتوانیم که البته وزن w درینصورت درعین‌سیستم mg خواهد بود لذا داریم که :

$$F = ma$$

$$0.107w = ma$$

$$0.107mg = ma$$

یا

$$a = 0.107g$$

رابطه اخیر برای تمام اجسام دارای کتله های متفاوت درست بوده و میتواند طور ذیل بیان شود :

چون یك قوه مساوی بوزن یك جسم آن را یك تعجیل مساوی به g میدهد. لذا یك قوه مساوی به 0,107 ام حصهٔ وزن جسم مذکور میتواند آنرا یك تعجیل 0,107g در عین سیستم بدهد .

(1-6) حرکت پرتابی (Projectile Motion) : از آنجائیکه تمام جسام آزاد در اثر قوهٔ جاذبهٔ زمین که بر آنها عمل می کند بیك حرکت تعجیل منظم بطرف زمین می آید بنابر ان معادله حرکت تعجیلی منظم میتواند درمورد اینگونه اجسام مثلاً سنگی که در هوا پرتاب میگردد یا توپیکه در بازی گالف شوت می شود و یا مرمی که توسط تفنگ فیر میگردد قابل تطبیق باشد . بطور مثال فرض میکنیم یك طفل روی یك پل که از سطح آب 10 متر ارتفاع دارد ایستاده و یك سنگ را تقریباً بصورت عمودی بطرف بالا بسرعت 20m/sec پرتاب می کند میخواهیم فاصله ای را که سنگ بالا میرود دریافت نمائیم .

چون میدانیم که سنگ بسرعت ابتدائی 20m/sec بطرف بالا پرتاب شده بنابر ان $a=g=-9,8m/sec2$ بوده (زیرا تعجیل جاذبهٔ زمین بطرف پائین عمل می کند) و هم سرعت سنگ در نقطه نهائی صفر میشود بناء میتوانیم بنویسیم که :

$$V_t^2 = V_0^2 + 2gd$$

$$(0)^2 = (20)^2 + 2(-9.8)d$$

$$19.6d = 400$$

$$d = 400/19.6 = 20.4m$$

یعنی سنگ از نقطهٔ که پرتاب گردیده بفاصله 20.4 متر بلند میشود زیرا طرف بالا رامثبت فرض کردیم حال ممکن است کسی سوال کند که بعداز چقدر وقت سنگ بسطح آب می رسد .

میدانیم وقتی سنگ بسطح آب میرسد که بفاصلهٔ 10 متر از پل پائین بیاید بنابران فاصله در ینصورت (10—) متر خواهد بود (این قیمت d فاصله ای مجموعی را آرائه نمیکند که سنگ طی کرده زیرا فاصلهٔ را که سنگ از نقطه ای پرتاب بطرف بالای ودوباره آمدن بـه آن نقطه طی میکند مساوی صفر بوده و بنابران فاصله را 10— میگیریم) از اینجا میتوان نوشت که:

$$d = Vot - \frac{1}{2}gt^2$$

$$-10 = 20t - \frac{1}{2} \cdot 9.8^2$$

$$-10 = 20t - 4.9t^2$$

$$4.9t^2 - 20t - 10 = 0$$

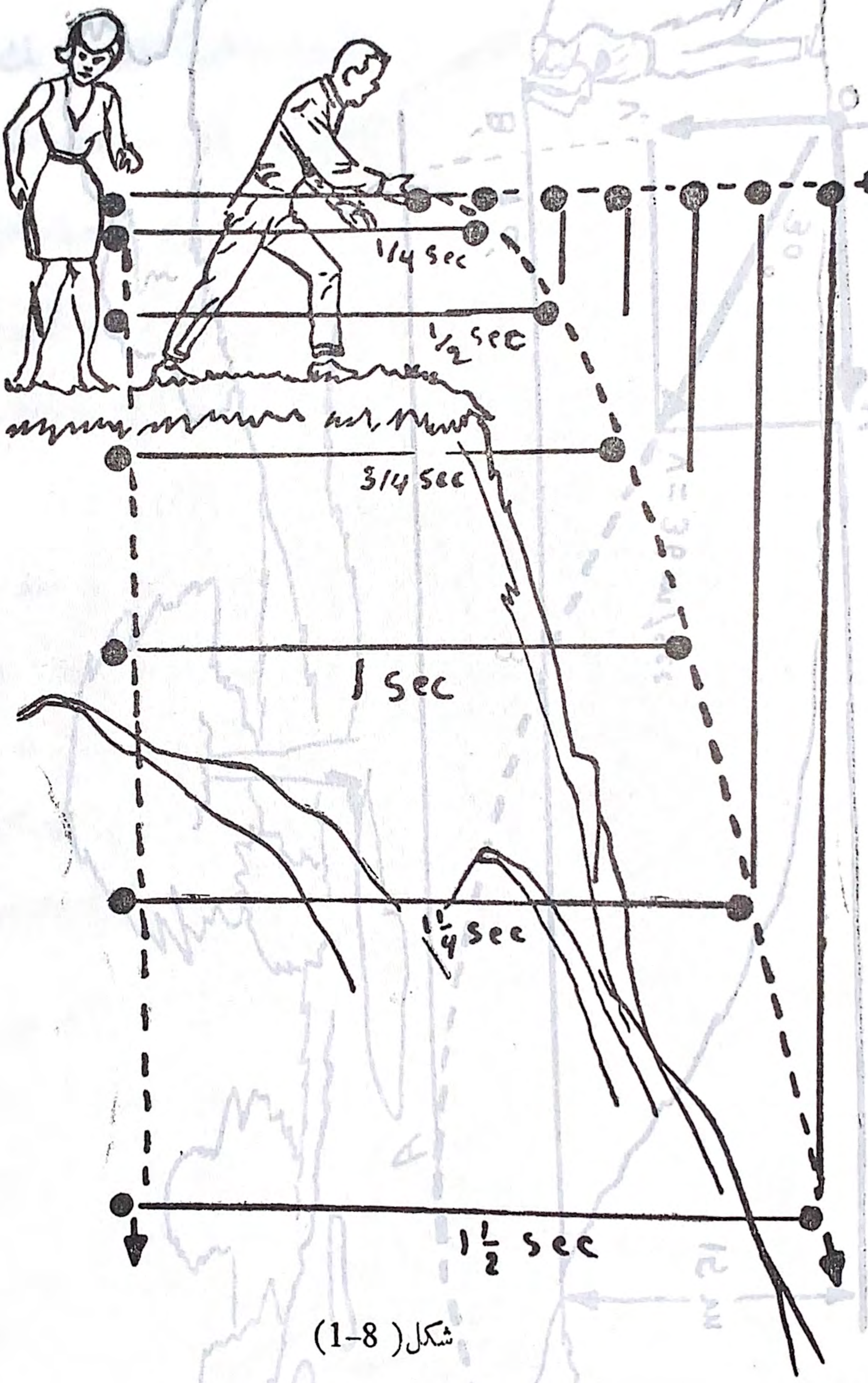
$$t_1 = 0.45 \text{ sec}, \quad t_2 = 4.53 \text{ sec}$$

جواب دوم زمانیست کـه سنگ ازشروع پرتاب الـی رسیدن بسطح آب ضرورت دارد بنابران بمقصد ما مطابقت می کند .

ضرورنیست که تمام حرکت های پرتابی عموداً بطرف بـالا و پائین صورت بگیرد . مثلاً اگرطفل مذکـورسنگ را بسرعت

20m/sec کاملاً افقی پرتاب میکرد چه حادثه رخ میداد . اگـر از مقا ومت هوا صرف نظر شود سنگ مذکور تنها تحت قوهٔ جاذبهٔ زمین حرکت خواهـد کرد و بنابران تعجیل آن 9.8m /sec2 بطرف پائین خواهد بود . چون مرکبهٔ افقی ای این تعجیل عمودی صفر است لذا کدام تأثیری بالای حرکت افقی سنگ وارد کرده نتوانسته وسنگ الـی وقت بر خورد بسطح آب سرعت افقی (20m/sec) خویش را حفظ خواهد کـرد . بهمین ترتیب مرکبهٔ افقی حرکت کدام تاثیری بالای مرکبهٔ عمودی کرده نمیتوانـد یا بعبارت دیگر این دومرکبهٔ عمودی و افقی بصورت مجزا بالای سنگ عمل نموده وبالای همدیگر کدام تاثیری ندارند .

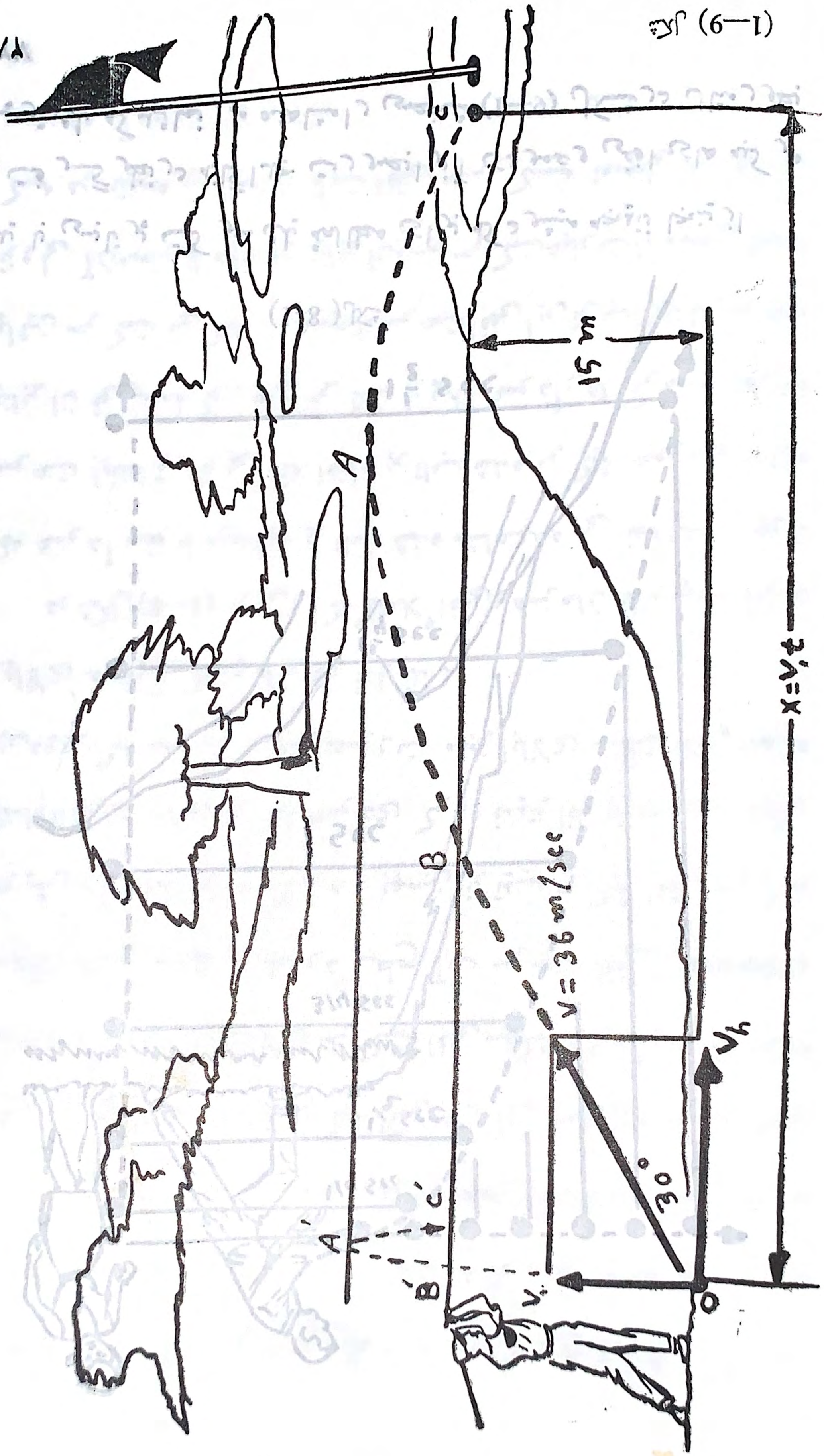
درشکل (8—1) توپی را که کاملاً افقی وهمزمان باتوپ دیگری که عموداً سقوط مینماید پرتاب شده مشاهـده می نمائید . چون سرعت ابتدائی توپی که افقاء پرتاب شده مرکبهٔ عمودی ندارد بنابران توپ مذکور بعین حرکت توپیکه عموداً رها گردیده بطرف پائین حرکت می کند . همچنان سرعت افقی این توپ از تاثیر سرعت نزولی آن محفوظ مانده و بنابران مسیر حرکت عبارت از منحنی است کـه در نتیجه مرکبه‌ای ثابت افقی مـر کـبـه تعجیلی نـزولـی بوجود می آید .



شکل(8–1)

از ینجا نتیجه میشود که برای مطالعهٔ یك حرکت پرتابی باید مرکبه های افقی وعمودی آنرا بصورت جداگانه درنظر گرفت. بطورمثال درشکل (9—1) شخصی رامشاهده می نمائید که یك توپ

شکل (1—9)



گالف را بیلك سرعت ابتدائی 36m/sec بیلك زاویهٔ 30° از یلك چقری که از اطراف خود با اندازهٔ 15 متر پائین تر واقع است شوت میکند آیا توپ مذکور چقدر فاصله پیش خواهد رفت (این فاصله درشکل به X نشان داده شده). برای اینکه این سوال را حل کرده بتوانیم سرعت ابتدائی v_0 را بدو مرکبه افقی $V_h = 36\cos 30° = 31.2\,m/sec$ وعمودی $V_v = 36\sin 30° = 18m/sec$ تجربه میکنیم.

فاصله ای عمودی مسیر OBAC توپ رامیتوانیم توسط مسیر OB′A′C′ که از پرتاب یك توپ خیالی بسرعت 18m/sec بطرف بالاتصور شده میتواند ارائه کنیم. حال سوال در اینجاست که این توپ تصوری بعد ازچه مدتی به نقطهٔ C′ خواهد رسید که البته این مساوی بزمانی خواهدبود که توپ گالف به نقطهٔ C اصابت میکند. لذاتنهابرای مرکبه ای عمودی میتوانیم بنویسیم:

$$d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$15 = 18t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$4.9t^2 - 18t + 15 = 0$$

ازینجا:

$$t = \frac{18 \pm \sqrt{(18)^2 - 4x4.9 \times 15}}{2 \times 4.9}$$

$$t_1 = 1.28sec \quad t_2 = 2.40sec$$

زمان 1.28 ثانیه وقتی رامیدهد که توپ باارتفاع 15 متر ازچقری بالامیرود که بالای مسیر به B نشان داده شده یعنی بعد ازین مدت

توپ درضمن بلند رفتن تانقطهٔ B میرسد. ولی زمانی راکه مابکار داریم مساوی 2.40 ثانیه میباشد، زمانی که بعد از ان توپ به نقطهٔ C میرسد. درطول تمام این مدت V_h ثابت ومساوی 31.2m/sec باقیمانده وفاصله افقی راکه توپ طی می کند مساویست به :

$$X = V_h \ xt = 31.2 \times 2.40 = 74.9m$$

تمرینات

(1—1) 1— موتری ازحال سکون شروع بحرکت تعجیلی مینماید هرگاه سرعت آن بعد از 10 ثانیه به 60km/sec برسد . اولاً تعجیل وسطی وثانیاء فاصله راکه موتر درین مدت طی می کنددریافت کنید.

2— الکترونی باسرعت $8x10^6$cm/sec داخل ساحه برقی شده و بعد ازطی فاصله ای 4 سانتی متر توقف مینماید تعجیل الکترون مذکوررا دریافت نمائید .

(1—3) 3 — قوه‌های راکه یك کتلهٔ 450 گرامه را با الترتیب تعجیل 12cm/sec2 و 12m/sec2 بدهد دریافت کنید.

4— قوهٔ 0.25پوند یك جسم را روی یك سطح افقی بدون اصطکاك تعجیلی مساوی 4ft/sec2 میدهد کتلهٔ جسم مذکوررادریافت نمائید .

(1—4) 5 —زمانیکه برای رسیدن سنگی که بصورت آزاد سقوط میکند به قاعده چاهی به عمق 120m لازم است چقدر خواهد بود؟

6— روی یك سیاره نامعلومی سنگی که آز ادانه سقوط کرده فاصله 24متر رادرظرف 2 ثانیه طی نموده‌است اولاً مقدار g وبعد وزن کتله 5 کیلوگرام را درسیاره مذکورحساب نمائید .

(5—1)7— یك جسم روی یك سطح مایل تقریباً بدون اصطکاك که زاویه 20° را بافق میسازد حرکت میکند تعجیل جسم مذکور را دریافت کنید .

8—طول وارتفاع یك سطح مایل بالترتیب 13 و 5 متراست . شخصی یك بکس سگرت را درپائین‌سطح طوری ضربه می دهد که بکس‌محض باانتهای سطح رسیده متوقف میگردد . سرعت ابتدائی بکس را دریافت کنید (درحالیکه $\mu = 0.15$ باشد) .

(6—1) 9— شخصی سرچاهی که 120 ft عمیق است‌ایستاده وسنگی را بسرعت 20ft/sec بطرف بالا پرتاب می کند . هرگاه سنگ دو باره درچاه نزول کند چقدروقت لازم است تا سنگ بعد از پرتاب‌شدن به قاعده چاه اصابت نماید .

10—یك طیاره‌در مسیر یکه‌زاویه‌ای 30° را تحت‌افق‌میساز دباسرعت 150m/sec درحرکت است وبمبی را ازارتفاع 1000 متربزمین رها می کند اولاً زمانیرا که‌بم بعد از رهاشدن الی رسیدن بزمین بکار دارد حساب نمائید. ثانیاً فاصله ای افقی را که بم بعد ازرهاشدن طی می کند دریابید .

فصل دوم

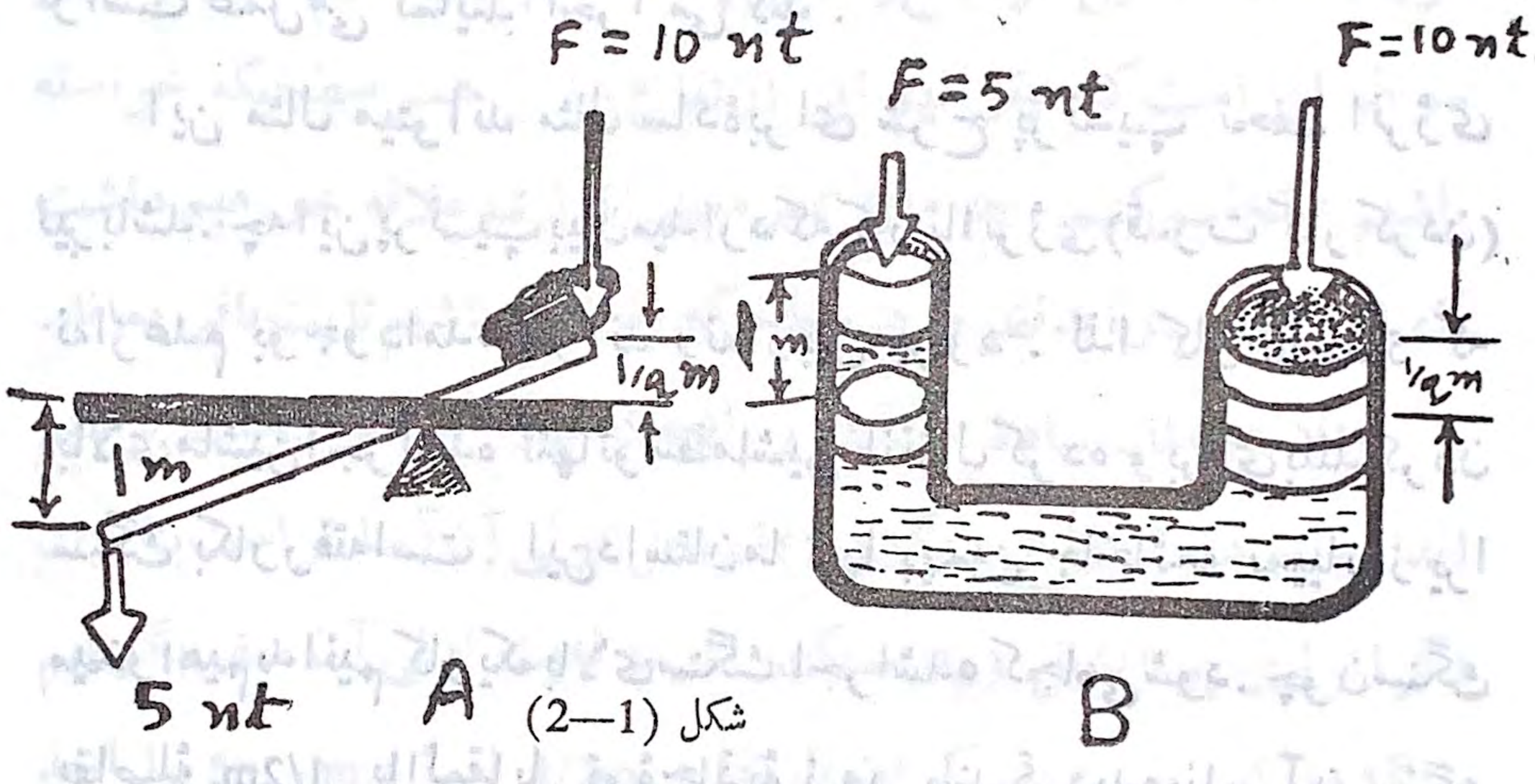
انرژی و مومنتم

(2 — 1) کار و انرژی پوتانشیل :

دوقوهٔ را که بدو انجام یک رافعه و یا بالای دو پستون باقطار مختلف درد واستوانهٔ متصل عمل می نمایند در نظر گرفته فرض میکنیم که وزن رافعه واصطکاك پستون ها خیلی کوچک وصرف نظر کردنی باشد . حال اگر تصور کنیم که نسبت بازو های رافعه وهمچنان سطوح پستونها $\frac{1}{2}$ باشد شکل (2 — 1 A,B) نظر به قانون رافعه و قانون پاسکال قوهٔ که بطرف چپ این دو ماشین بطرف پائین عمل کند میتواند یک قوه دو برابر خود را در طرف راست بطرف بالا تغیر مکان دهد . نسبت این دو قوه را (قوهٔ که از ماشین استحصال می شود و قوهٔ که بان عمل مینماید) بنام فایده میخانیکی ماشین یاد میکنند که در فوق در هر دو صورت مساوی 2 میباشد .

توام با این فایده در ماشین های مذکور نقصی نیز وجود دارد که

عبارت از فاصله تغیر مکان بطرف پائین است . بطور مثال اگر قوهٔ طرف چپ بفاصلهٔ یک متر پائین انتقال نماید قوهٔ طرف راست ماشین‌ها بفاصله ای نیم متر بطرف بالا تغیر مکان خواهد کرد . بنابران اگر از یک طرف از نگاه استعمال قوه فایده میکنیم از طرف دیگر از نگاه



شکل (2—1)

فاصله تغیر مکان نقص مینمائیم . بعبارت دیگر حاصل ضرب قوه وفاصله در هر دو طرف ماشین یکسان است . حاصل ضرب قوه وفاصله تغیر مکان را که بسمت قوه صورت میگیرد در اصطلاح فزیک کار مینامند . که البته واحدات ان نیز بصورت حاصل ضرب واحد قوه وفاصله مثلاً ft-lb ، nt-m ، dyne-cm وغیره ارائه میگردد ، طور ریکه درشکل (1—2) دیده میشود قوهٔ مساوی 5nt بطرف چپ ماشین ها تطبیق شده و تغیر مکان مساوی یک متر را موجب گردیده است بنابران کار اجرأشده در ین صورت بالای ماشین های مذکور مساوی

5nt - m میباشد . چون ماشین ها بنوبهٔ خود هر کدام طوریکه قبلاً تذکار یافت قوه های دو برابر این قوه یعنی 10nt را تولید نموده و تغیر مکان نیم متر را بالای جسم مربوطه باعث میگردد. بنابران یک کار مساوی $10 \times \frac{1}{2} = 5nt — m$ را بالای سنگ و یا قوه مقاوم دیگری که بطرف راست عمل می نمایند اجرأ می کند .

این مثال میتواند مثال سادهٔ برای شرح پرنسیپ تحفظ انرژی نیز باشد. چه این پرنسیپ بیان میدارد که کار یا انرژی (قدرت کار کردن) نه از عدم بوجود آمده میتواند و نه از بین میرود . لذا کار 5nt - m که بالای ماشین اجرأ شده تنها توسط ماشین انتقال کرده و برای بلند کردن سنگ بکار رفته است. این داستان ما تنها بهمین جا ختمه نمییابد زیرا میخواهیم بدانیم کاریکه بالای سنگ اجرا شده کجا می شود. چون سنگ بفاصلهٔ 1/2m باالمقابل قوهٔ جاذبهٔ زمین بلند گردیده بنابر آن سنگ مذکور بنوبهٔ خود قادر است تا قوهٔ مساوی 10nt (وزن سنگ) را بفاصله 1/2m وارد نماید تا اینکه دو باره به موقعیت اولی خود برسد یعنی وقتیکه سنگ باین ارتفاع بلند میشود مقدار 5nt—m کاری را که بالای آن اجرا گردیده بصورت انرژی درخود ذخیره کرده و این مقدار انرجی را بمجرد پایان آمدن آزاد ساخته میرود تا اینکه به موقعیت اولی خود بر گردد . بعبارت دیگر سنگ مذکور قدرت اجرای 5nt - m کار را که بنام انرژی پوتانشیل جاذبوی آن یاد میگردد دارأ میباشد .

کاریکه توسط یك جسم بلند شده اجرا میگردد مانند سایر کارها درفزیك توسط حاصل ضرب قوه وفاصلهٔ تغیر مکان اندازه میگردد. درصورت انرژی پوتانشیل جاذبوی قوه عبارت از وزن جسم وفاصله تغیر مکان عبارت از ارتفاعیست که جسم بلند گردیده است. ولی سوال درینجاست که این ارتفاع را نظر بچه انتخاب مینمائیم. جواب این سوال این است که میتوانیم این ارتفاع را از هـر سطحیکه خواسته باشیم انتخاب کنیم. چه ما به تغیر معینی انرژی علاقه خواهیم داشت که این تغیر میتواند نظر به هر سطحیکه خواسته باشیم ثابت باقی بماند.

مثلاً درمثال سادهٔ سنگ ورافعه که قبلاً از آن صحبت کردیم اندازه نمودن ارتفاع سنگ (h) ازمحل اولی آن آسانتر است بنابران اگر انرژی پوتانشیل (P_E) سنگ را درموقعیت اولی آن صفر بگوئیم سنگ مذکور بعد از بلند کردن بارتفاع 1/2m انرژی 5nt - m را اخذ می نماید یعنی درانرژی پوتانشیل سنگ باندازه 5nt - m تزاید رخ داده است. همچنان امکان دارد نزد شاگردی که دریك لابراتوار بارتفاع سطح بحر کار میکند خیلی معقول تر باشد که سطح بحر را صفر انتخاب نماید. بطور مثال اگر سنگ مذکور بارتفاع 100m از سطح بحر بلند تر موقعیت داشته باشد شاگرد مذکور راد عا خواهد کرد که سنگ P_E مساوی $100 \times 10 = 1000$nt - m رادرابتدا دارا بوده وبنابران کاریکه توسط رافعه بالای آن اجرا میگردد آنرا بارتفاع 100.5m ازسطح بحر بلند ساخته ودرینصورت انرژی سنگ به 1005nt - m

میرسد. لذا انرژی سنگ باز هم باندازهٔ 5nt — m تزاید نموده است. بهمین ترتیب شاگردی دیگری ممکن سقف لابراتواری راکه دران کار می کند صفر قبول نماید. شك نیست که در ینصورت متعلم مذکور یك اندازه تکلیف رابابد متحمل شود زیرا اگر پوتانشیل سقف صفر فرض شود پوتانشیل میزیکه داخل لابراتوار گذاشته شده منفی خواهد بود. حال اگر فرض شود که سنگ بفاصلهٔ 3m تحت سقف باشد در ینصورت انرژی پوتانشیل آن 30nt-m خواهد بوددرحالیکه بعد از بلند شدن توسط رافعه انرژی آن 25nt-m — 2.5 × 10 = — میشود چون 25— بزرگتر از 30— است بنابران در ینحال نیز باندازه 5nt — m در انرژی سنگ تزاید رخ داده است.

مفهوم انرژی پوتانشیل ضرور نیست تنها به قوهٔ کشش زمین ارتباط داده شود زیرا فنریکه کوك شده باغازیکه در یك سلندر متراکم گردیده میتواند کار میخانیکی را انجام دهد که بعین واحدات اندازه میشود. هم چنان انرژی پوتانشیل بشکل انرژی کیمیاوی در تانك های پر از تیل محفضه های مواد منفلقه ذخیره شدهٔ میباشد. بهمین ترتیب انرژی هستوی پلوتونیم که دربم ها استعمال میگردد نیز قسمی از انرژی پوتانشیل محسوب شده میتواند.

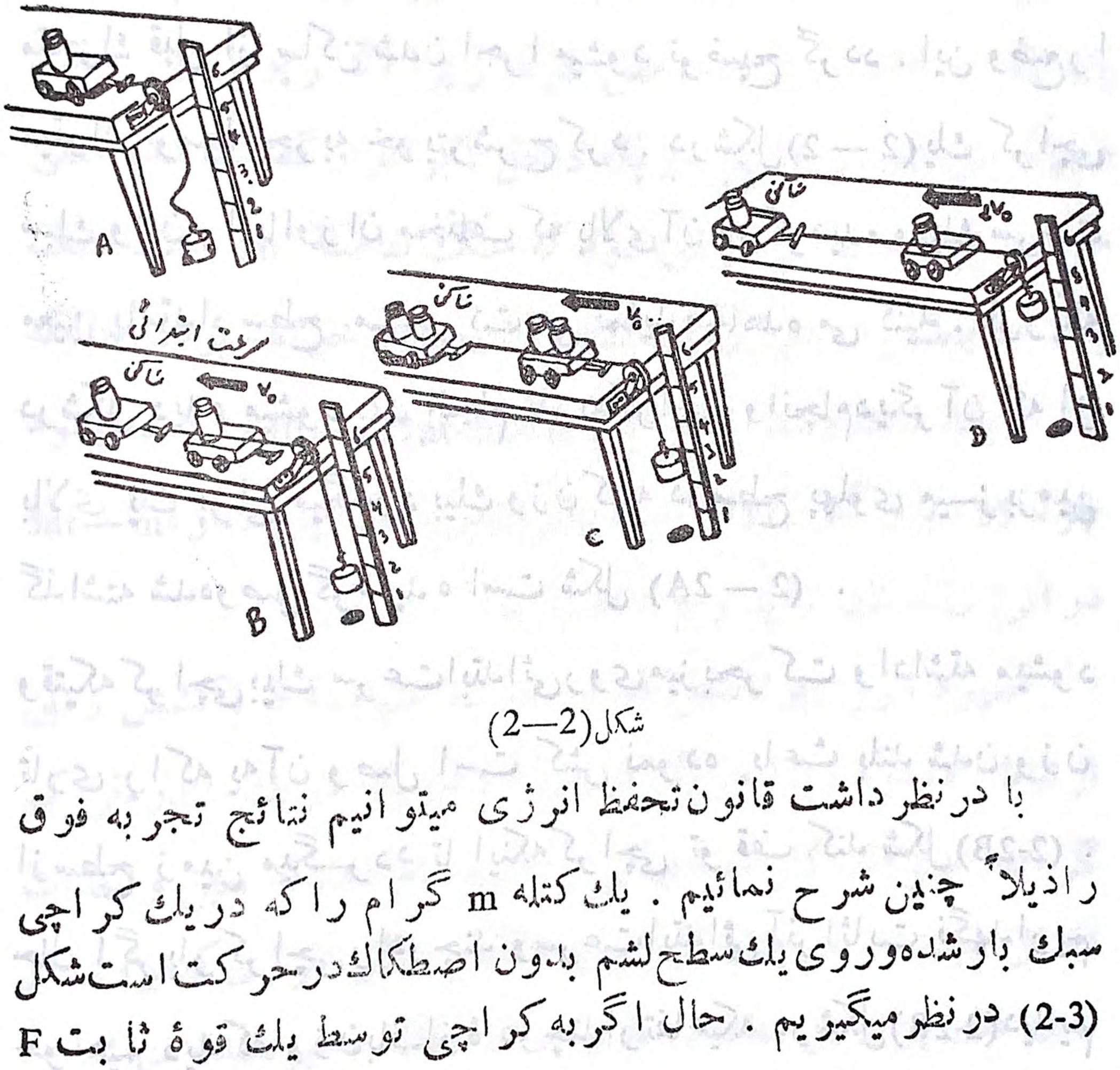
(2 — 2) انرژی حرکی: میدانیم که اگر یك جسم سنگین سریعاً حرکت نماید میتواند مقدار معین کار را انجام دهد که درحال سکون به اجرای آن قادر نمیباشد این قابلیت یك جسم را که بنابر داشتن

حرکت میتواند کار میخانیکی را انجام دهد بنام انرژی حرکی آن میشناسند . انرژی حرکی میتواند توسط کار انجام شده بالای متحرك که باعث سرعت آن باندازه مطلوب میگردد ویا کاریکه توسط متحرك قبل از ساکن شدن اجرا میشود توضیح گردد . این وضع را میتوان توسط تجربه خوبتر شرح کرد . درشکل (2 — 2) یك کراچی سبك وزن را بااوزان مختلف که بالای آن بار گردیده وبیك سرعت معین بامتداد سطح میز حرکت می نماید مشاهده می کنید . طوریکه درشکل دیده میشود یك انجام تاربه کراچی وانجام دیگر آن که از بالای یك پولی میگذرد بیك وزن که درسطح پهلوی میز بزمین گذاشته شده وصل گردیده است شکل (2A — 2) .

وقتیکه کراچی بیك سرعت ابتدائی روی میز بحرکت واداشته میشود تاری راکه به آن وصل است کش نموده باعث بلند شدن وزن ازسطح زمین میگردد تا اینکه کراچی توقف کند شکل (2-2B) .

حال اگر بار کراچی رادوچند وسرعت ابتدائی آنرا ثابت نگهداریم خواهیم دید که وزن باندازهٔ دوچند ارتفاعیکه درشکل (2-2B) دیدیم بلند میگردد . همچنان اگر باررا ثابت نگهداشته وسرعت کراچی را دوچند سازیم درینصورت وزن بارتفاع بلند میگردد که چهار چند ارتفاعیست که در تجربهٔ اول دیده بودیم بهمین ترتیب اگر بار 3 برابر ساخته شود ارتفاع که وزن بلند شده 3 چند خواهدشد ولی اگر سرعت کراچی 3 چند گردد ارتفاع وزن 9 برابر میگردد

بنابر ان نتیجه میشود که انرژی حرکی یك متحرك مستقیماً متناسب به کتلهٔ متحرك ومربع سرعت آن است .

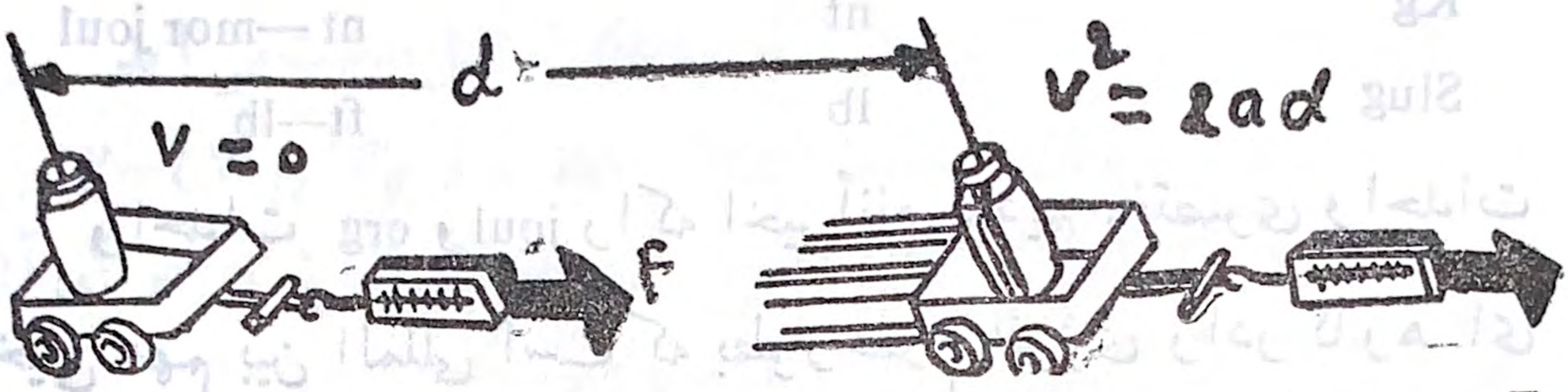


شکل (2—2)

با در نظر داشت قانون تحفظ انرژی میتوانیم نتائج تجربه فوق را ذیلاً چنین شرح نمائیم . یك کتله m گرام راکه دریك کراچی سبك بارشده وروی یك سطح لشم بدون اصطکاك درحرکت است شکل (2-3) در نظر میگیریم . حال اگر به کراچی توسط یك قوهٔ ثابت F که آنرا تیله می کند یك حرکت تعجیلی بدهیم تا اینکه یك فاصله d را طی کند واضح است که درینصورت یك کار مساوی به Fxd را بالای آن اجرا کرده ایم . از آنجائیکه کتلهٔ مذکور از موقعیت اولی خویش بلند نگردیده وهم مقاومت اصطکاکی وجود ندارد بنابر ان کار انجام شده کاملاً به انرژی حرکی K_E مبدل گردیده

وبنابر ان میتوانیم بنویسیم که :

$$K_E = F \times d$$



شکل (3 - 2)

طوریکه قبلاً دیده شد برای یك متحرکی که از حال سکون شروع بحرکت می نماید $V2=2ad$ یا $d=V2/2a$ میباشد . همچنان یافتیم که $F=ma$ است. بنابران اگر قیمت های F و V رادرمعادلهٔ بالا تعویض نمائیم داریم که :

$$K_E = Fxd = maxv2/2a = \frac{1}{2}mV2$$

رابطهٔ اخیر یك معادله عمومی برای انرژی حرکی اجسام متحرك بشمار رفته و بانتائج تجربهٔ بالامطابقت دارد. از آنجائیکه درمعادلهٔ اخیر از قانون دوم نیوتن استفاده کردیم لذا واحدیکه برای قوهٔ (F) استعمال میشود بایدواحدی باشد که برای قوه درر ابطهٔ $F=ma$ استعمال میگردد. جدول واحدات در ذیل داده شده تا اگر ممکن باشد که شاگردان عزیز را جهت بخاطر سپردن آنها کمك نماید :

واحد کتله	واحد قوه	واحد انرژی
gr	dyne	dyne—cm or erg
Kg	nt	nt—mor joul
Slug	lb	ft—lb

واحدات erg و joul را که اخیراً نام بردیم مختصری واحدات خیلی مهم بین المللی است که بطور عموم انرژی رادر کارهای فزیکی افاده می نمایند. از آنجائیکه $1nt = 10^5 dynes$ و $1m = 10^2 cm$ است بنابران $1joul = 10^7 ergs$ میباشد.

جهت روشن ساختن بهتر موضوع سطح مایلی را تصور کنید که طول آن 10m و ارتفاع آن 2m باشد. اگر شخصی بکسی را که 60nt وزن داردبا قوه ثابت 49nt روی سطح مایل بطرف بالا تیله کرده وقوه اصطکاك بین سطح وبکس مذکور 10nt فرض شود سرعت بکس در انجام سطح چقدر خواهد بود؟

میدانیم که کار اجراء شده توسط شخص بالای بکس بامتداد سطح مذکور مساویست به:

$$W = F \times d = 49 \times 10 = 490 \text{ nt} - \text{m}$$

همچنان مقدار کار یکه توسط قوه اصطکاك اجراو بصورت حرارت ظاهر میگردد عبارتست از:

$$W_{fr} = F_{fr} \times d = 10 \times 10 = 100 \text{ nt} - \text{m}$$

بهمین ترتیب مقدار انرژی پوتانشیل بکس را در انجام سطح از رابطهٔ ذیل بدست آورده میتوانیم:

$$P_E = W \times h = 60 \times 2 = 120 nt - m$$

از طرف دیگر کار یکه برای تزئید بخشیدن سرعت بکس بمصرف رسیده و یا به انرژی حرکی تبدیل گردیده قرار ذیل بدست می آید

$$W - (W_{fr} + P_E) = 490 - (100 + 120) = 270 nt - m$$

حالا میخواهیم سرعت بکس را درحالیکه انرژی حرکی آن 270nt—m باشد تعین کنیم بنابران مینویسیم که :

$$K_E = \frac{1}{2} mv2$$

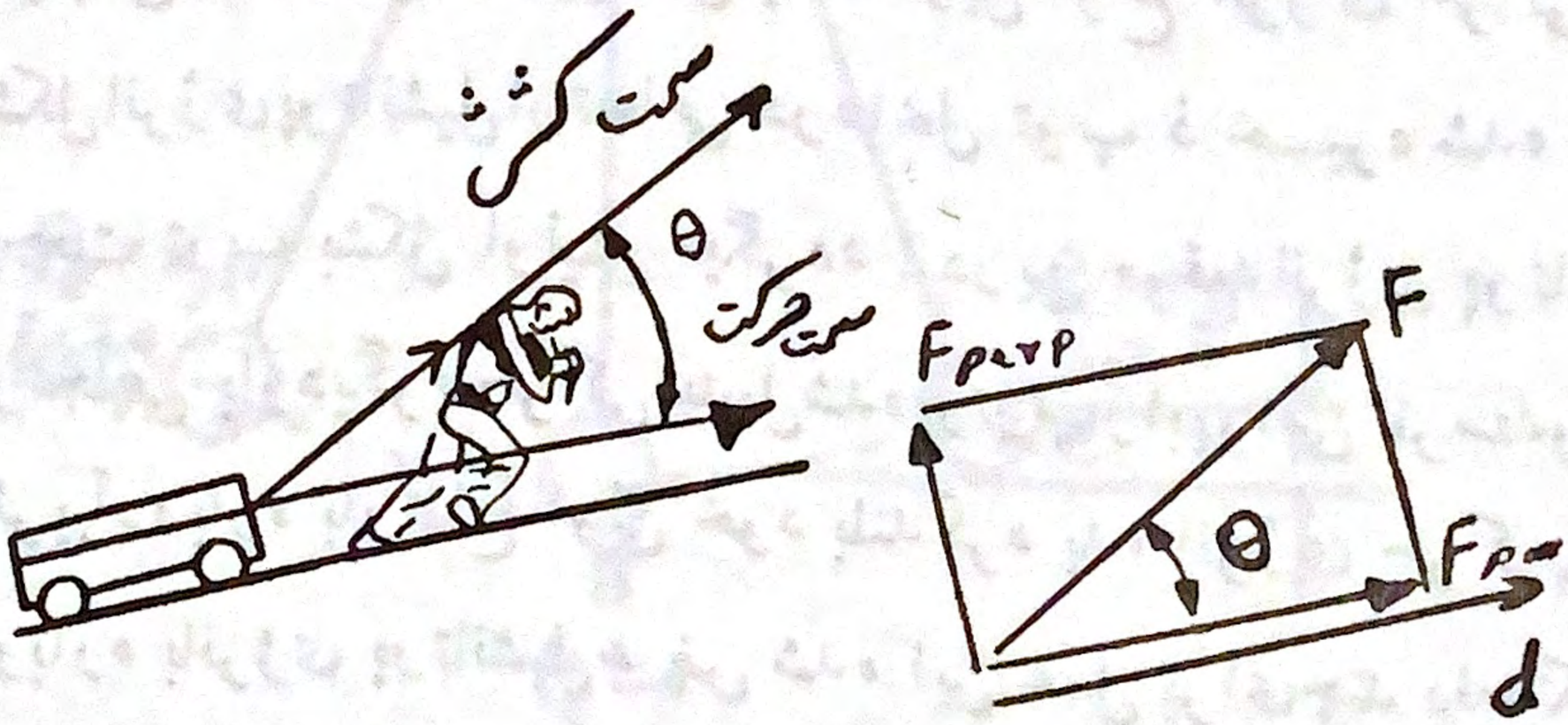
$$270 = \frac{1}{2} \frac{60}{9.8} v2$$

$$V^2 = 2x9.8x270/60 = 88.2$$

$$V = 9.39 m/sec$$

بعضاً درمسائل کار به قوهٔ سرو کار پیدا میکنیم که سمت آن با سمت حرکت جسم یکسان نبوده بلکه از هم تفاوت دارند .

طوریکه درشکل (2—4A) مشاهده میگردد شخصی یك کراچی را باقوهٔ (F) روی تپهٔ بطرف بالامی کشاند . شکل (2—4B) مرکبات قوهٔ F راکه عبارت از (F_{perp}) عمود بسمت حرکت و (F_{par}) موازی بان میباشد نشان میدهد .



A B

شکل (2—4)

چون کار اجرا شده بالای کراچی مساوی به $F_{par} \times d$ و $F_{par} = F\cos\theta$ است بنابران کار اجرا شده را از رابطهٔ ذیل بدست آورده میتوانیم :

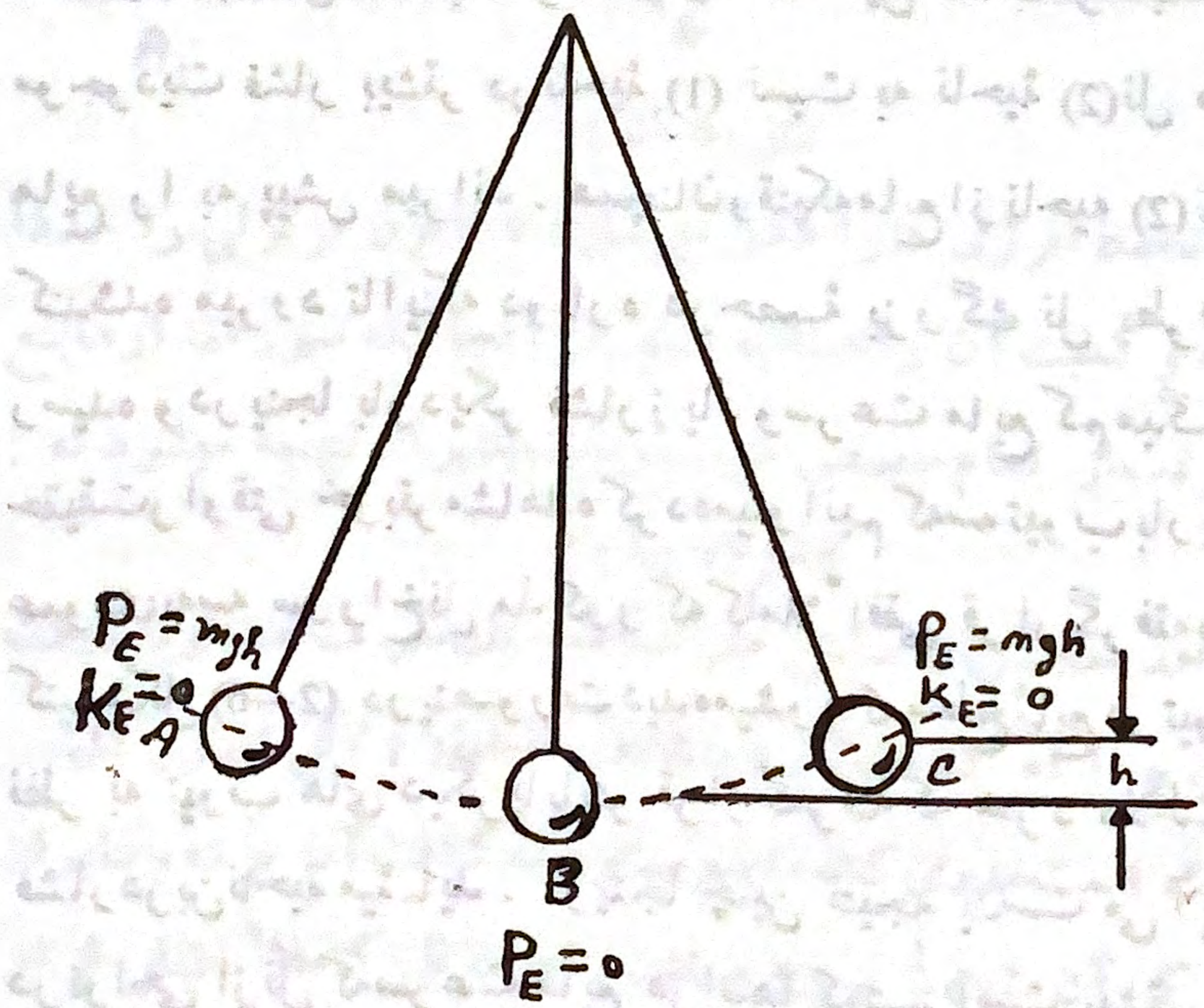
$$W = F\cos\theta \times d$$

ولی مرکبهٔ F_{perp} درجهت حرکت کدام مرکبه ندارد بنابران هیچ کاری راانجام نمید هد .

(2—3) تبدیل انرژی : دراکثری مسائل حرکت میخانیکی تبدیل انرژی حرکی وپوتانشیل بیك دیگرصورت میگیرد. مثلاً توپ پینگ پانگ راکه بیك ارتفاع ازسطح زمین دردست داریم دارای یك مقدارمعین انرژی پوتانشیل بوده وانرژی حرکی آن صفراست ولی اگرتوپ رارهاکنیم حرکت آن بطرف زمین تیزشده میرود تااینکه هنگام رسیدن بزمین تمام انرژی پوتانشیل آن بانرژی حرکی مبدل گردیده وبنابران انرژی پوتانشیل آن درین موقعیت صفر میشود. ولی زمانیکه توپ بزمین برخورد می نماید برای یك لحظهٔ کوچکی توقف کرده تغیرشکل میدهد درین موقع انرژی حرکی توپ بشکل انرژی پوتانشیل ارتجاعی درداخل توپ ذخیره شده باعث رجعت توپ بشکل اولیش میگردد . درین موقع انرژی پوتانشیل ارتجاعی باردیگر به حرکی تبدیل شده وتوپ رابهوامی فرستدو توپ تقریباًدوباره بارتفاع اولی خود بلند گردیده انرژی حرکی آن دوباره بانرژی پوتانشیل عرض شده این عمل برای چند دفعه تکرار میگردد تا اینکه انرژی ابتدائی توپ آهسته آهسته دراثر اصطکاك

ضایع شده وتوپ روی زمین ساکن باقیمیماند.

رقاصه مثال خوب دیگری از تبدیل انرژی P_E و K_E بیك دیگر شده میتواندر قاصه ای را که در شکل (5—2) نشان داده شده در نظر میگریم بخوبی مشاهده کرده میتوانیم که رقاصهٔ مذکور در دو انتهای قوس اهتزاز (A,C) برای لحظات کوچکی ساکن باقیمانده و بنابر ان انرژی حرکی آن صفر میگردد. ولی چون درین نقاط رقاصه بار تفاع اعظمی خود (h) از مرکز اهتزاز (B) بلندشده میباشدلذا اگر B نقطهٔ صفر انتخاب گردد درین صورت انرژی پوتانشیل جاذبوی رقاصه در نقاط A و C وقتیکه انرژی حرکی آن صفر است مساوی mgh میباشد. درحالیکه در نقطهٔ B سرعت وانرژی حرکی آن اعظمی است. هرگاه از ضیاع انرژی توسط مقاومت هوا وتار صرف نظر شود مقدار تزاید انرژی حرکی رقاصه از نقطهٔ A تا B



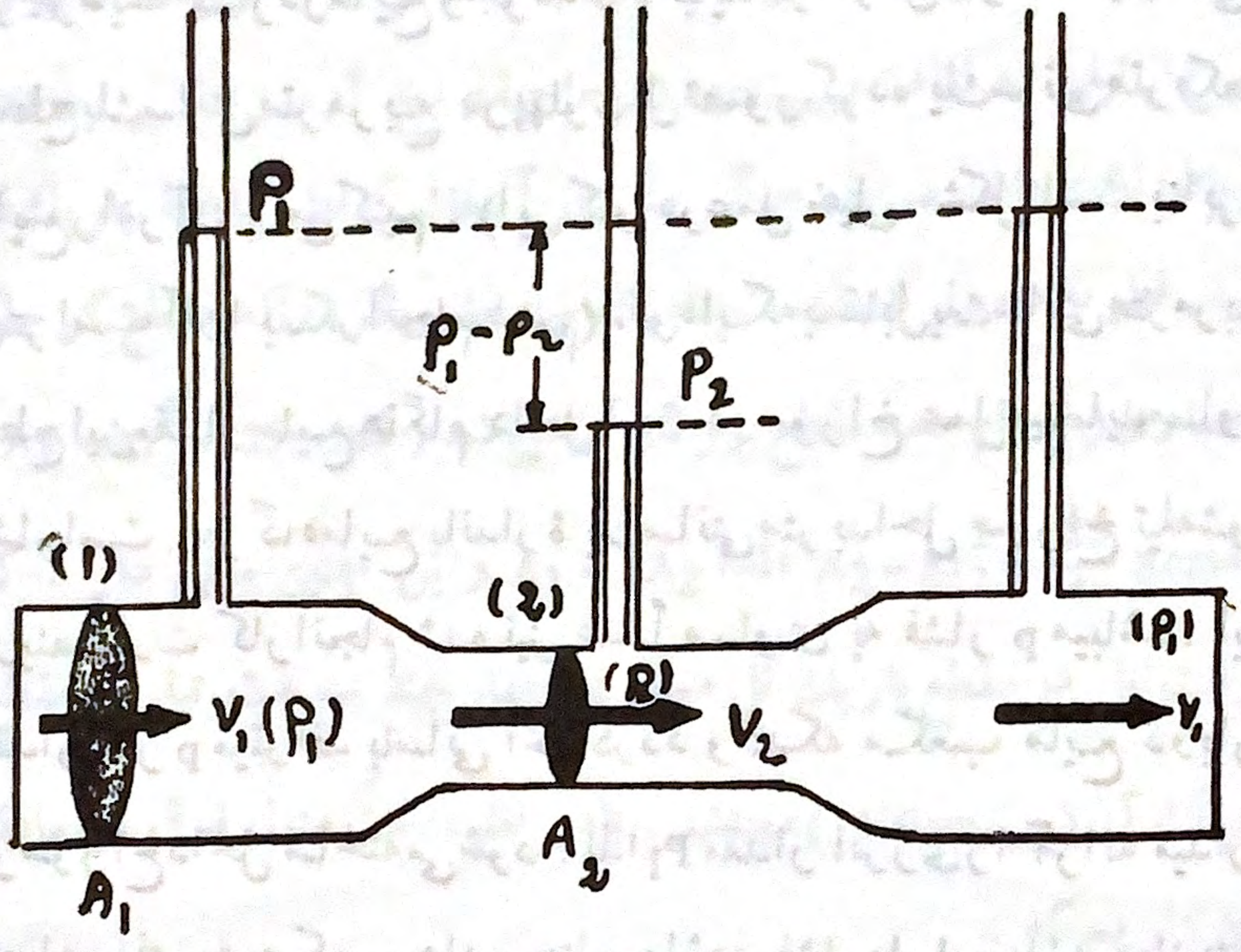
شکل (5—2)

مساوی به ضیاع انرژی پوتانشیل آن میباشد یعنی :

$$\frac{1}{2}mV2 = mgh$$
$$V = \sqrt{2gh}$$

(4—2) قانون برنولی : جریان مایعی را از یك نلی که قطر آن متفاوت است شکل (6—2) در نظر میگیریم . چون حجم مایعات غیر قابل تغیر است بنابران مایعیکه فی واحد وقت از سطح بزرگ نل از ناحیه (1) می گذرد مساوی به مقدار مایعیست که از سطح کوچك آن از ناحیه (2) عبور می نماید والبته این وقتی شده میتواند که مایع در حصهٔ باریك نل مذکور سریعتر حرکت کند. یعنی مایع مذکور در حصهٔ بین ناحیه های (1) و (2) نل شتاب گرفته وقوهٔ که این شتاب را باعث میشود موجودیت فشار بیشتر در ناحیهٔ (1) نسبت به ناحیهٔ (2) نل میباشد که مایع را به پیش میراند . همچنان وقتیکه مایع از ناحیه (2) نل می گذرد کندشده میرود تا اینکه دوباره در حصهٔ بزرگ نل بطرف راست رسیده ودرینجا باردیگر فشار زیاد وسرعت مایع کم میگردد . این حقیقت را وقتی خوبتر مشاهده کرده میتوانیم که سه تیوب باریك را طور عمودی به سه سوراخ نل مذکور که کاملاً افقی قرار گرفته باشد وصل کنیم شکل (6—2). درینصورت دیده میشود که سطح مایع در تیوب وسطی نظر به تیوب های دیگر پایانتر قرار گرفته که خرد دلالت بر کمی فشار درین ناحیه مینماید . ازینجا چنین نتیجه بدست می آید که فشار درنواحی ازنل که سرعت مایع در آنها کمتر است بیشتر و بالعکس کمتر میباشد. قانون فوق بنام برنولی (Daniel Bernoulli) فزیکدان

سویسی (1782—1700) کاشف قانون مذکور یاد می گردد .



شکل (6—2)

قانون تحفظ انرژی مارا قادر می سازد تا قانون برنولی را عدداً افاده کرده و کمیت آن راحساب کنیم . از آنجائیکه عبور مقدار مایع فی واحد وقت از تمام حصص نل مساویست بنابران نتیجه میشود که :

$$V_1A_1=V_2A_2$$

یك واحد حجم (یك سانتی متر مکعب یك متر مکعب ویا یك فت مکعب) مایع را که کثافت آن d باشد در ناحیهٔ (1) نل تصور کنید . درینصورت قیمت عددی کتله مایع مساوی به کثافت آن بوده وبنابران انرژی حرکی آن $K_E=\frac{1}{2}dv2$ میباشد . چون نل کاملاً افقی قرار داردلذا کدام تغیری در انرژی پوتانشیل مایع هنگام حرکت در نل

رخ نمی دهد ولی در ینصورت نوع دیگری از انرژی را که بنابر موجودیت فشار در مایع وجود دارد نباید فراموش کرد. سوراخی را بسطح یك سانتی متر مربع در پهلوی نل تصور کرده یك سانتی متر مکعب مایع را در آن پر می کنیم. (این کار در عمل خیلی مشکل است بنابران بهتر است آنرا بفکر انجام دهیم). قوه ایکه بمقابل یك سانتی متر مربع سطح این مقدار مایع هنگام داخل شدن در سوراخ عمل مینماید مساوی فشار است. هرگاه مایع باندازهٔ یك سانتی متر بداخل سوراخ تیله شود درینصورت کار انجام شده نیز عدداً مساوی به فشار p میباشد. این مقدار کار p میتواند باسانی اخذ گردد وقتیکه مکعب مایع دوباره در سوراخ داخل ساخته می شود. لذا P_1 مقدار انرژی را آرائه میدارد که یك سانتی متر مکعب مایع بنابر داشتن فشار دارا میباشد. ازینجا انرژی کلی فی واحد حجم مایع در ناحیهٔ (1) (از انرژی پوتانشیل جاذبوی آن صرف نظر شده) مساویست به:

$$\frac{1}{2}dv_1^2 + P_1$$

بهمین ترتیب مقدار انرژی فی واحد حجم مایع در ناحیهٔ (2) عبارتست از:

$$\frac{1}{2}dv_2^2 + P_2$$

اگر از ضیاع انرژی توسط اصطکاك بگذریم نظر به قانون تحفظ انرژی میتوانیم بنویسیم:

$$\frac{1}{2}dV_1^2 + P_1 = \frac{1}{2}dV_2^2 + P_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} d (V_2^2 - V_1^2$$

بطور مثال نل را که قطر آن از 10 به 5 سانتی‌متر خوردشده میرود ونوع از تیلی به کثافت $0.8gm/cm^3$ در ناحیهٔ فراخ آن بسرعت $100cm/sec$ جریان‌داشته باشد درنظر میگیریم . از آنجائیکه قطر ناحیهٔ باریك نل نصف قطر ناحیه بزرگ آنست بنابران استنباط میگردد که مقطع کوچك نل مساوی $(\frac{1}{4})$ ام حصه مقطع بزرگ آن میباشد ($A_1 = \pi r_1^2 = 25\pi cm^2$ و $A_2 = \pi r_2^2 = \frac{25}{4}\pi cm^2$ ، لذا $A_1 = 4A_2$ واین چنین معنی دارد که سرعت تیل در مقطع باریك نل مساوی چهارچند سرعت تیل در مقطع بزرگ آن ($400cm/sec$) میباشد . بادر نظرداشت مثال فوق از معادله اخیرداریم که :

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \times 0.8(400^2 - 100^2)$$

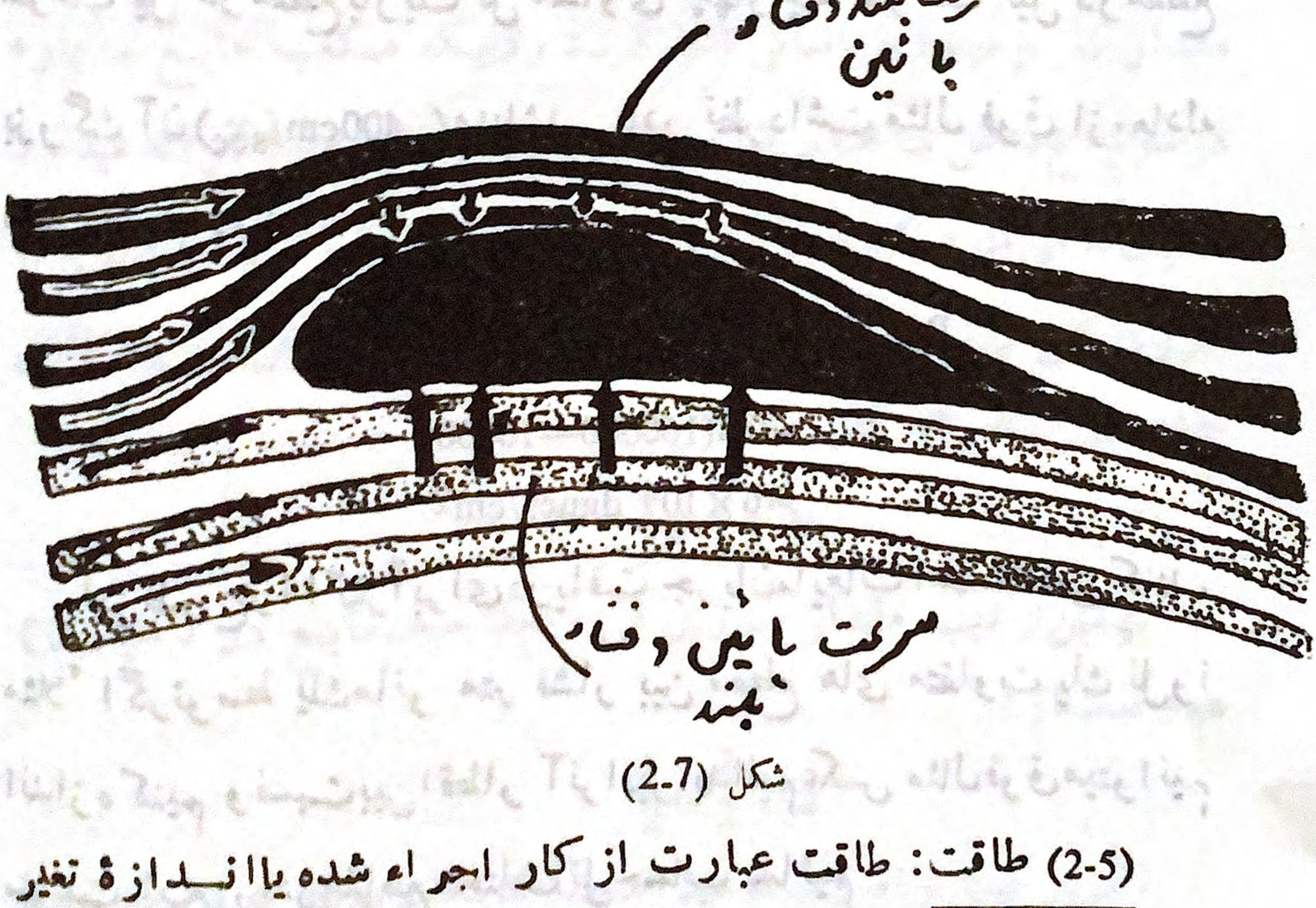
$$= 0.4(160000 - 10000)$$

$$= 6 \times 10^4 \ dgnes/cm^2$$

این طرح را اکثراً برای دریافت جریان مایعات استعمال می کنند. مثلاً اگرتوسط یك مانو متر فشار بین مقطع های متفاوت یك نل را اندازه کنیم ونسبت بین اقطار آنرا نیز بدانیم عکس مثال فوق میتوانیم سرعت مایع رادر مقاطع مختلف نل حساب نمائیم .

قانون برنولی یك پرنسیب عمومی بوده برای جریان انواع مایعات قابل تطبیق میباشد . بطور مثال جریان هوارا باطراف بال طیاره درحال

پرواز در نظر میگیریم . دیاگرام بال طیاره باخطوطیکه هوا بامتداد آنها باطراف آن جریان دارد درشکل (2-7) نشان داده شده . بالهای طیاره به ترتیبی ساخته شده که فاصله طی شده توسط هوا از بالای بال نظر بفاصلهٔ که هوا در زیر بال می پیماید بزرگتر است بنابران سرعت هوا در بالای بال طیاره زیادتر ودرنتیجه فشار در آنجا نسبت به فشار در تحت بال کمتر میباشد. این تفاوت فشار در پائین و بالای بال طیاره باعث بوجود آوردن قوه صعودی میگردد که طیاره راهنگام پرواز درهوا نگهمیدارد.



شکل (2-7)

(2-5) طاقت: طاقت عبارت از کار اجراء شده یا اندازهٔ تغیر انرژی از یك شکل بشکل دیگر درفی واحد وقت است . بطور مثال طاقت ماشین راکه برای بلند کردن یك لفت بوزن 5000 lb

بار تفاع 120 ft در ظرف 30 ثانیهٔ بکار است حساب میکنیم . کاریکه برای اجرای این مقصد باید انجام گیرد مساویست به :

$$5000 \times 120 = 600\,000 \text{ ft-lb}$$

اگرچه یك ماشین کوچك در یك وقت زیادتر میتواند این مقدار کاررا اجرا کند ولی مشکل درینجاست که این مقدار کار باید در ظرف 30 ثانیه اجرا گردد . بنابر ان طاقت ماشینی که این مقدار کار را انجام میدهد باید مساوی باشد به :

$$600\,000/30 = 20000 \text{ ft-lb/sec}$$

بصورت عموم طاقت ماشین‌های بلند کننده وانجن‌ها را به‌طاقت اسپ (hp) که مساوی به 550 ft-lb/sec است اندازه میکنند . هرگاه مؤثریت یك دستگاه بلند کننده 100% باشد یعنی کاریکه به آن داده می‌شود(Input) توسط اصطکاك ضایع نگردد دریصورت طاقت انجنیکه بلند کننده بتواند توسط آن کارفوق را انجام دهد مساوی خواهد بود به :

$$20000/550 = 36.4 \text{ hp}$$

ولی از آنجائیکه ماشین بدون اصطکاك وجود داشته نمیتواند لذا یك مقدار کار درماشین توسط اصطکاك ضایع شده و بصورت حرارت ظاهر میگردد. بنابران درتمام انواع ماشین‌ها مقدار کاریکه از ماشین گرفته میشود (output) همیشه کمتر از کاریست که به ماشین داده می شود. اصطلاح موثریت برای یك ماشین عبارت از نسبت کاراخذ شده از ماشین و کاردا ده شده به‌آن است یعنی:

W_{outp}/W_{inp} = کارداده شده / کاراخذ شده = مؤثریت

ازآنجائیکه کاراجراشده ذریعهٔ ماشین کوچك تر از کار داده شده بماشین مذکور میباشد بنابران مؤثریت یك ماشین از هر نوعیکه باشد همیشه کوچکتر از واحد است . مؤثریت یك ماشین را بصورت فیصدی ارائه مینمایند .

اگر مؤثریت ماشینی که لفت را بلند میکند 75% باشد معنی آن اینست که تنها 75% کارداده شده به ماشین در بلند کردن لفت مؤثر بوده و 25% باقیماندهٔ آن توسط ماشین ضایع وبحرارت مبدل میگردد . لذا برای اینکه طاقت حقیقی ماشین موردنظر رادریافت نمائیم باید 75% کارداده شده به ماشین مساوی 36.4hp گردد بنابران :

$$75x/100 = 36.4hp$$
$$0.75x = 36.4$$
$$x = 36.4/0.75 = 48.5hp$$

درعمل اکثراً تمام طاقتیکه برای ماشین تهیه میگردد توسط اصطکاك بمصرف میرسد. مثلاً درماشین موتریکه با سرعت ثابت روی یك سرك کاملاً افقی حرکت میکندو یاطیاره ایکه کاملاً افقی یکنواخت حرکت می نماید. درینصورت انرژی پوتانشیل وحرکی هردو تغیر نکرده و تمام کاراجرا شده ذریعهٔ ماشین توسط اصطکاك حصص مختلف حرکت کننده مثلاً اصطکاك تیرهاروی سرك وا ز همه مهمتر درصورت سرعت زیاد توسط اصطکاك هوا ضایع میگردد.

طوریکه قبلاً دیده شد کارعبارت از $F \times d$ وطاقت اندازهٔ کار

اجراشده درواحد زمان است بنابران میتوانیم بنویسیم که :

$$\text{طاقت } (p) = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}} = \frac{F \times d}{t} = F \times \frac{d}{t} = F \times V$$

از ینجا اگر موتری بطاقت 200hp و سرعت 75mil/hr حرکت کند قوهٔ اصطکاك رابآسانی یافته میتوانیم. برای این مقصد لازم است تااولاً کمیت های مربوطه رابواحدات اصلی تبدیل کنیم لذا :

$$200hp = 200 \times 550 = 110000 \text{ ft—lb/sec}$$

$$75mil/hr = 75 \times 5280/60x60$$

$$= 110 \text{ ft/sec}$$

هرگاه این قیمت رادررابطهٔ $p = FV$ بگذاریم می یابیم که :

$$110000 \text{ ft—lb/sec} = F \times 110 \text{ ft/sec}$$

$$F = 1000 \text{ lb}$$

درسیستم MKS واحد طاقت عبارت ازjoul/sec است که آنرا بافتخار کاشف آن (James watt) (مخترع انجن بخارد رقرن 18) وات (watt) نامیده اند. اگر چه وات اکثراً بحیث واحدانرژی برقی استعمال می شود ولی اصلاً تعریف آن باساس میخانیك صورت گرفته ومانند سایرواحدات میتواند برای اندازه نمودن تغیرتمام انواع انرژی بکاربرده شود. بطورمثال میخواهیم طاقت شخص راکه 70kg کتله دارد ودر ظرف 10 ثانیه بانجام زینه ایکه 6 متر ارتفاع دارد بالامیشود پیدا کنیم. درینصورت وزن شخص مذکورمساویست به : $70 \times 9.8 = 686 \text{ nt}$

همچنان کاراجراشده توسط این شخص عبارت است از :

$$686 \times 6 = 4116 \text{ nt—m}$$
$$= 4116 \text{ joules}$$

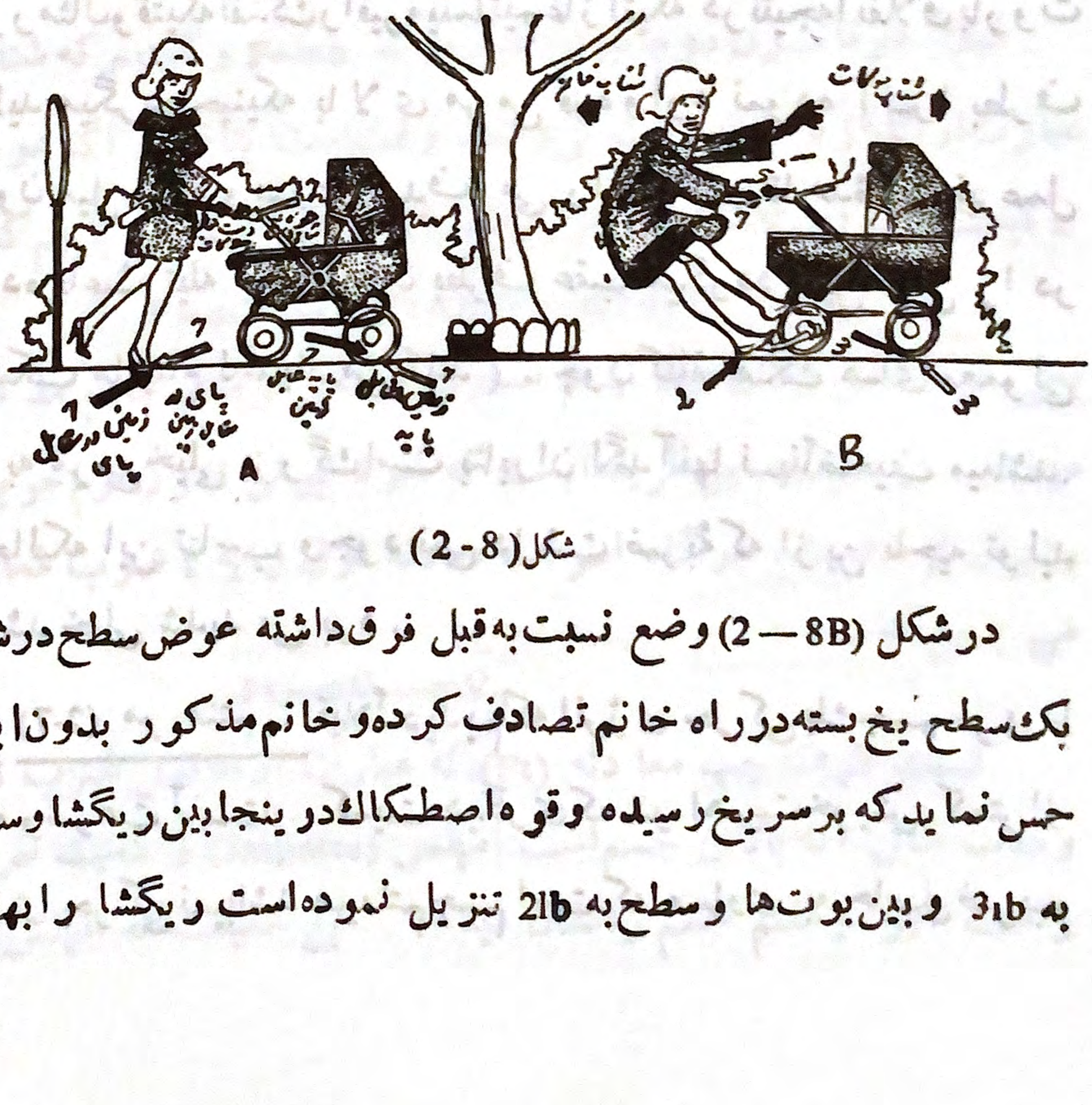
بنابران طاقت شخص مساویست به :

$$P = 4116/10 = 411.6 \text{ Joules/sec}$$
$$= 411.6 \text{ watt} \quad \text{یا}$$

(6—2) عمل وعکس العمل : قانون سوم نیوتن بیان میدارد که هرگاه یک جسم (A) بالای جسم دیگری (B) قوه وارد نماید جسم ثانی (B) نیز یک قوه مساوي و مختلف الجهت را بالاي جسم اولی (A) وارد مینماید .

شکل (2—8A) خانمی را نشان میدهد که ریگشائی را روی یک سطح درشت و جغله داری بسرعت ثابت می راند . درین شکل سه جوره قوه های را که قانون سوم نیوتن را توضیح می کند دیده میتوانید. فرض میکنیم که یک قوه اصطکاکی 7lb بین ریگشا و سطح مذکور وجود داشته باشد معنی ان اینست که وقتیکه سطح باقوۀ مساوی 7lb مقابل ریگشاه عمل مینماید و ریگشاه را بطرف عقب تیله می کند ریگشا نیز بنوبۀ خود باهمین مقدار قوۀ 7lb باید سطح را بطرف پیش تیله کند . همچنان قوه هائیکه از طرف خانم بالای ریگشاه و از طرف ریکشاه بالای دست خانم وارد میگردد جورۀ دیگری قوه های مساوی و مخالف که مقدار هر کدام انها 7lb است میباشد. بهمین ترتیب جورۀ دیگری قوه های 7lb قوه هائیست که از طرف بوت های خانم بالای سطح و از طرف سطح بالای بوت های خانم عمل می کند. درحقیقت طوریکه تاحال فهمیدیم هیچ قوۀ

به‌تنهائی وجود داشته نمیتوانند بلکه‌درعوض همیشه طورجوره های مساوی ومخالف وجودداشته که‌هر کدام ازانهابالای جسمی مختلفی عمل می نماید . طوریکه درشکل (8A—2) دیده‌میشود دوقوهٔ مساوی ومخالف یکی توسطریگشاودیگری ذریعهٔسطح بالای خانم عمل مینماید که‌نمیتوانند بحیث جورهٔ قوه های قانون سوم محسوب گردند زیرا هر دوی انهابالای عین جسم عمل کرده و هر کدام ازانها طاقهٔ از جوره‌های متفاوت میباشند ولی اینکه درین مثال‌این دو قوه مساوی ومخالف واقع‌شده محض بدلیل اینست که‌خانم مذکور ریگشاه را باسرعت‌ثابت روی یک سطح کاملاً افقی تیله می نماید .



شکل(8-2)

درشکل (8B—2) وضع نسبت به‌قبل فرق‌داشته عوض سطح درشت بک‌سطح یخ بسته‌درراه خانم تصادف کرده‌و خانم‌مذکور بدون اینکه حس نماید که برسر یخ رسیده وقوه اصطکاك‌درینجابین ریگشا وسطح به 3lb وبین بوت‌ها وسطح به 2lb تنزیل نموده‌است ریگشا رابهمان

قوهٔ اولی 7lb تیله مینماید . اگرچه درین صورت جوره های قوه های اصطکاك دست های خانم بادستهٔ ریگشا مساوی است ولی قوه‌های جداگانه ایکه بالای ریگشاه و خانم عمل مینماید بعد ازین در توازن باقی نمانده خانم باقوهٔ نتیجوی 5lb = 2 — 7 به عقب تعجیل میگردد وریگشاه بقوهٔ محصلوي 4lb = 3 — 7 به پیش رانده میشود .

از آنجائیکه قوه های عمل و عکس العمل بین دو جسم باهم مساوی وشتاب‌های که در نتیجه عمل این قوه ها به هریك از اجسام مربوطه داده می‌شود معکوساً متناسب به کتله جسم مذکور است بنابران شتاب جسم سبکتر ازین دو جسم بزرگتر از شتاب جسم سنگین تر آنهاست . بطور مثال وقتیکه تفنگ را فیر مینمائیم غازاتیکه در نتیجه انفلاق باروت تولید میگردد حینیکه بالای مرمی قوه وارد نموده آنرا بطرف بیرون میل تیله وبسوی هدف می راند بالای قاعدهٔ میل نیز عمل نموده باعث تیله کردن آن بطرف عقب میگردد (این عمل را در مملکت ما بنام لگدیاد می کنند) . چون کتلهٔ تفنگ های معمولی نظر به مرمی خیلی بزرگ است بنابران لگد آنها نسبتاً ضعیف میباشد. درحالیکه این تناسب وجود نمی داشت ضربهٔ که ازین ناحیه تولید می شد خیلی شدید می بود .

(2-7) مومنتم : قبلاً دیدیم که انرژی حرکی یك جسم مربوط کتله وسرعت آنست . کمیت دیگری که در اهمیت خویش کمتر از انرژی حرکی نمیباشد مومنتم جسم است که مساوی به حاصل ضرب

کتله وسرعت جسم مذکور میباشد .

$(M)=m\times V$ مومنتم

طوریکه بعداً در نسبیت خاص انشتین خواهیم دید وقتیکه سرعت جسم تغیر کند کتلهٔ آن نیز تغیر مینماید . این تغیر قابل اهمال است مگر اینکه سرعت جسم خیلی بزرگ باشد . هرگاه تصور کنیم که سرعت یك جسم بیش از چند هزار کیلومترفی ساعت تغیر می کند درینصورت کتله آنرا ثابت فرض کرده میتوانیم. تحت این شرایط تغییر درمومنتم یك جسم باید تغیر درسرعت جسم مذکور تلقی گردد ویابالعکس .

قبلاً درقانون دوم نیوتن دیدیم که $F=ma$ وگفتیم که شتاب عبارت ازاندازه تغیرسرعت فی واحد وقت است بنابران اگرعوض a قیمت آن $(V_t-V_0)/t$ را درراطهٔ بالا عوض کنیم می یابیم که :

$$F=m(Vt-V_0)/t=(mVt-mV0)/t$$

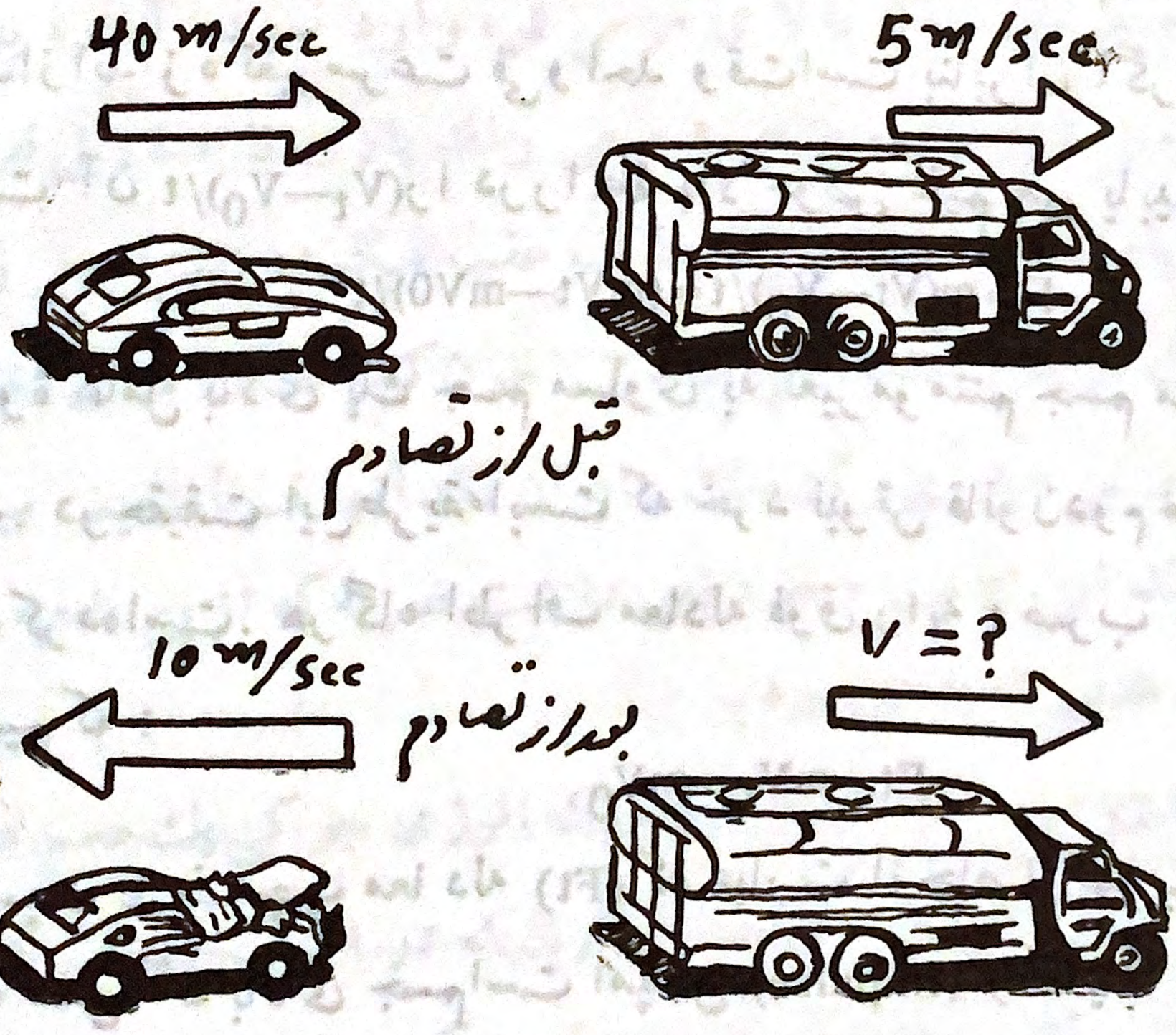
یعنی قوهٔ عامل بالای یك جسم مساوی به تغیر مومنتم جسم مذکور میباشد. درحقیقت این طریقه‌ایست که خرد نیوتن قانون‌دوم خویش رابیان کرده‌است. هرگاه اطراف معادله فوق رابه t ضرب نمائیم می یابیم که :

$$Ft=mV_t-mV_0$$

کمیت طرف چپ معادله (Ft) که عبارت ازحاصل ضرب قوه ومدت عمل آن بالای جسم است امپلس (Impulse) و کمیت طرف راست تغیر مومنتم جسم رانشان میدهد . این حقیقت که امپلس یك

جسم مساوی به تغیر مومنتم آنست ما را بقانون مهم بقای مومنتم رهنمائی می کند.

دو توپ بلیارد را که روی یلك میز لشم باهم برخورد می نماید در نظر میگیریم دیده میشود که توپ های مذکور لحظهٔ بعداز برخورد اولاً کمی چمللك گردیده بعد درضمن برگشت بحالت اولی بالای یك دیگر قوه وارد کرده سرعت وسمت حرکت شان تغیر مینماید ه از قانون سوم نیوتن میدانیم که این قوه ها همیشه باهم مساوی ومخالف وزمان که درخلال آن برخورد توپ ها صورت میگیرد برای هردو توپ یکسان است. بنابران هرتوپ هنگام برخورد ضربهٔ (Impulse) را متحمل میشود مساوی به ضربهٔ توپ دیگر ولی به جهات مختلف



شکل (2-9)

عمل می کنند . زیـرا در امپلس ومومنتم هردومقادیری ویکتوری باسکالرضرب شده بنابران هردوی آنها مقادیـری ویکتوری بوده وبنا بران تغیر درمومنتم یك توپ مساوی ومخالف تغیرمومنتم توپ دیگرمیباشد . لذا اگراین تغیرات جمع شوند مجموع شان مساوی صفرمیگردد .

این حقیقت که مجموع مومنتم همیشه مساوی صفر است مارابـه تعریف قانون ذیل (قانون بقای مومنتم) رهنمائی مینماید . درهر تصادم ویابرخورد بین دوجسم مـومنتـم مجموعی اجسام متصادم بعد از تصادم وقبل از تصادم باهم مساوی میباشد .

بطورمثال تیزرفتاری رادرنظرمیگیریم که 1000Kg کتله داشته وبسرعت 40m/sec بهعقب لاری ایکه 8000Kg کتلـه دارد وبسرعت 5m/sec هم جهت تیزرفتاردرحرکت است تصادم نمـوده وبعـد از تصادم باسرعت 10m/sec بطرف عقب حرکت کند . درینصـورت میخواهیم سرعت لاری رابعد از تصادم دریافت نمائیم. میدانیم که مقدارمومنتم عراده هاقبل از تصادم مساویـست به :

$$1000\times40+8000\times5=80000\text{Kg-m/sec}$$

چون مقدارمومنتم موترهاقبل از تصادم وبعداز آن باهم مساوی اند بنابرآن اگرسرعت لاری رابعد از تصادم به V نشان دهیم میتوانیم مقدارآنرا ازرابطهٔ ذیل دریافت کنیم :

$$-10\times1000+8000\times V=80000$$

$$8000V=80000+10000$$

$$V=90000/8000=11.5\text{m/sec}$$

هرگاه انرژی حرکی مجموعی را قبل از تصادم و بعد از تصادم اندازه کنیم دیده می شود که یك مقدار انرژی حرکی در تصادم ضایع و هنگام اجرای کار برای چمللك ساختن نواحی متصادم وغیره حصص موترها بصورت حرارت ظهور کرده است. تصادمی را که در آن یك مقدار انرژی میخانیکی بمصرف میرسد تصادم غیر ارتجاعی می نامند. تصادم بین اجسام معمولی عموماً ارتجاعی نمیباشد (تصادم ارتجاعی آنست که در آن انرژی ضایع نمیگردد). تصادم بین گلوله های شیشه ای و فولاد سخت تقریباً ارتجاعی است. وقتیکه یك توپ گالف بزمین انداخته شود قبل از اینکه توقف نماید چندین بار بزمین خورده و دوباره بالا خیز میکند ولی در هر خیز بار تفاع کمتری نسبت به خیز قبلی بلند میگردد بنابران نتیجه می شود که توپ در هر تصادم با زمین یك مقدار انرژی را ضایع نموده است. چه در هر تصادم توپ تا اندازهٔ تغیر شکل داده که باعث مالش جدار های داخل آن بیك دیگر شده است و بنابران یك مقدار انرژی آن بصورت حرارت ضایع میگردد (در ینجا باید علاوه گردد که تصادم بین اتوم ها و مالیکیول های مجزا بصورت عموم ارتجاعی میباشد.)

اگرچه انرژی میخانیکی هیچگاه و در هیچ تصادم اجسام تحقیقی کاملاً محفوظ نیست ولی بر عکس مومنتم همیشه محفوظ است. دو گلوله گل گل با کتله های مساوی که بسمت های مخالف با سرعت های مساوی

درحرکت اند بعداز تصادم باهم چسپیده بحال سکون درمی ایند یعنی تمام انرژی حرکی انها به کار اصطکاکی بین ذرات گل گل بمصرف رسیده درحالیکه مومنتم مجموعی شان تغیر نمی کند. چون ویکتور های مساوی مومنتم های گلوله ها قبل از تصادم مخالف یک دیگر اند بنا بران مجموع شان مساوی صفر میباشد. طبعاً مومنتم مجموعی آنها بعد از تصادم هنوز هم صفر است.

(8 — 2) حرکت راکت: قبل از ینکه راکت های بزرگ را که فضانوردان را باچندین تن آلات و مواد دیگر به مدار میرساند مطالعه کینم فیریک مرمی را توسط تفنگ برسی مینمائیم. شکل (10A — 2) تفنگ و مرمی را که قبل از فیر نمودن نشان میدهد که مومنتم ان بدون شک مساوی صفر میباشد. لحظهٔ بعد از فیر شکل (10B — 2) مرمی ای 30 گرامه میل تفنگ را باسرعت 250m/sec ترک کرده و بنابران مومنتم مساوي به 7.5×10^5gm—cm/sec ویا 7.5 kg—m/sec را به جهت راست اخذ مینماید. برای اینکه مومنتم مجموعی مساوی صفر باشد لازم است تا تفنگ 5 کیلوگرامه مومنتم 7.5kg—m/sec را بطرف چپ دارا باشد. بنابران تفنگ با سرعت 7.5/5 یا 1.5m/sec بطرف چپ حرکت کرده که توسط شانهٔ شکاری بزودی به سکون واداشته میشود.

فرض میکنیم تفنگ بالای یک کراچی بدون اصطکاک بارشده باشد و برای مدت یک دقیقه در هر ثانیه یک مرمی فیر نماید.

شکل (10 — 2)

در ینصورت تفنگ در ختم دقیقهٔ مذکور بعد از فیر 60 مرمی که هر کدام از انها به آن یک سرعت اضافی 1.5m/sec میدهد باسرعت $1.5 \times 60 = 90 m/sec$ حرکت خواهد کرد . حال اگر تفنگ (یک مودلی حقیقی کوچک راکت) قادر می بود 30gm آب، گاز گرم و یا کدام مادهٔ دیگر را فی ثانیه بسرعت 250m از دهن میل ان خارج سازد در ینصورت نیز عین نتیجهٔ فوق بدست می اید . طوریکه قبلاً دیدیم قوهٔ که در نتیجه چنین یک عملیه بدست می اید مساوی به تغیر مومنتم جسم مورد نظر میباشد . چون در مثال فوق 30gm/sec یک تغیر 250 m/sec را در سرعت تفنگ باعث شده بنابر آن یک تغیر مومنتم مساوی به $0.030kg/sec \times 250m/sec = 7.5kg — m/sec$ را بوجود اورده است . لذا این قوهٔ نتیجوی مساوی به 7.5 nt بالای راکت عمل کرده راکت 5 کیلو گرامه را شتاب $a = F/m = 7.5/5 = 1.5 m/sec^2$ و بعد از 60 ثانیه سرعت

$V_t = at = 1.5 \times 60 = 90 m/sec$ میدهد که با نتیجه قبلی ما که در صورت فیزیک مرمی حساب کرده بودیم کاملاً مطابقت دارد.

با عین عملیه میتوانیم قوهٔ را که باعث فرستادن راکت های بزرگ عصری به فضأ میشود پیدا کنیم بطور مثال میخواهیم قوهٔ را که جهت پرتاب راکتی موسوم به تیتان c-111 به فضا که بامحتویات آن $1.4 \times 10^6 lb$ وزن داشت وطبقهٔ اولی آن برای شروع حرکت در سطح بحر مقدار 9400 lb مواد سوخت جامد رافی ثانیه برای ایجاد سرعت 7600ft/sec بمصرف میرساند پیدا کنیم . برای اینکه قوه را به پوند حساب کنیم لازم است تا تغیر مومنتم را به $slug\text{-}ft/\text{-}Sec^2$ حساب نمائیم برای این منظور مقدار 9400 lb مواد سوخت را به slug تبدیل میکنیم بعبارت دیگر 9400lb/sec را به g ($32.2 ft/sec^2$) تقسیم مینمائیم بنابران داریم :

$$9400 / g \times sec = 9400 / 32.2 sec = 292 slug / sec$$

ازین جا تغیر مجموعی مومنتم یا قوه که راکت را بهوا فیر می نمایند مساویست به :

$$292 \times 7600 = 2.2 \times 10^6 slug\text{-}ft / sec2 = 2.2 \times 10^6 lb$$

هرگاه خواسته باشیم قوهٔ محصله بالای راکت را دریافت کنیم وزن راکت را ازقوه فوق طرح نموده داریم :

$$2.2 \times 10^6 — 1.4 \times 10^6 = 8 \times 10^5 lb$$

این قوه راکت را بطرف بالا بایك شتاب a می راند که میتوانداز رابطهٔ ذیل بدست آید :

$$a = F / m = 8 \times 10^5 / (1.4 \times 10^6 / 32.2) = 17.0 ft / sec^2$$
$$= 0.53g$$

تمرینات

(2-1)1— برای راندن یك موتر بسرعت ثابت روی یك سرك کاملاً افقی به قوه 100nt ضرورت است مقدار کاری را که برای رساندن موتر مذکور بفاصلهٔ 500 متر ضرورت است حساب کنید.

2— دریك لابراتوار دو سنگ باوزان 10و20 نیوتن بالترتیب بالای الماری هائیکه ازسطح لابراتوار 1 و 3 متر ارتفاع دارند قراردارند. هرگاه سطح لابراتوار صفر انتخاب گردد انرژی پوتانشیل کدام یك ازسنگ ها بیشتر خواهد بود؟

(2-2) 3 — برای بلند کردن صندوقی بوزن 750 کیلوگرام بالای بامی که 35 متر ارتفاع دارد چند ژول کار لازم است.

4 — یك طفل باکتله 24 کیلوگرام ازنشیب که 3 متر ارتفاع دارد به پائین می لغزد. هرگاه سرعت آن دراخیر نشیب 6m/sec باشد چقدر انرژی پوتانشیل آن درین فاصله توسط اصطکاك بحرارت تبدیل گردیده است.

(2-3) 5 — یك رقاصه تاوقتی بیك طرف انحراف داده میشود که مرکز ثقلش از حالت تعادل باندازهٔ 3 سانتی متر بلند گردد. هرگاه رقاصه دوباره رها شود سرعت آنرا در وسط قوس اهتزاز دریافت کنید.

6— سوال فوق را درصورتیکه رقاصه 3 انچ بلند گردد حل نمائید.

(2-4)7— مقطع بزرگ و کوچك یك نل کاملاً افقی با الترتیب 10 و 5 سانتی متر مربع میباشد هر گاه سرعت آب در مقطع بزرگ 30Cm / sec باشد تفاوت فشار بین مقطع های بزرگ و کوچك نل را دریافت نمائید.

8 — تیلی به کثافت 0.9gm/cm3 از نلی که مقطع بزرگ آن 30cm2 و مقطع کوچکش 10cm2 است جریان دارد هر گاه یك فشارسنج تفاوت فشار بین این دو مقطع را 3000 dynes/cm2 نشان دهد. سرعت عبور تیل را از نل مذکور به cm3/sec اندازه کنید.

(2-5)9— یك تانك آب بظرفیت 10 m3 بالای بامی به ارتفاع 20m قرار دارد هر گاه تانك مذکور توسط پمپی در ظرف 20 دقیقه پر گردد طاقت پمپ را به وات دریافت کنید در حالیکه موثریت پمپ مذکور 100% فرض شود.

10— یك وزن 800nt بار تفاع 35 متر در 3 دقیقه بلند گردیده طاقت ماشین را که این مقدار کار انجام داده به وات حساب نمائید در حالیکه مؤثریت ماشین 100% و 75% فرض شود.

(2-7)11— برای چه مدتی باید قوهٔ 10000 نیوتن بالای کشتی سفیه برداری با کتله 50000kg عمل نماید تا سرعت آن را از 25000m/sec به 30000m/sec تغیر دهد.

12— یك ذرهٔ الفا با کتلهٔ 6.6×10^{-24} گرام با سرعت 3×10^{7} سانتی متر فی ثانیه تحت تاثیر قوه 10^{-9} dyne در جهت حرکتش برای مدت 10^{-6} ثانیه واقع می‌شود سرعت نهائی ذره را درین صورت دریافت کنید.

فصل سوم

میخانیك دورانی

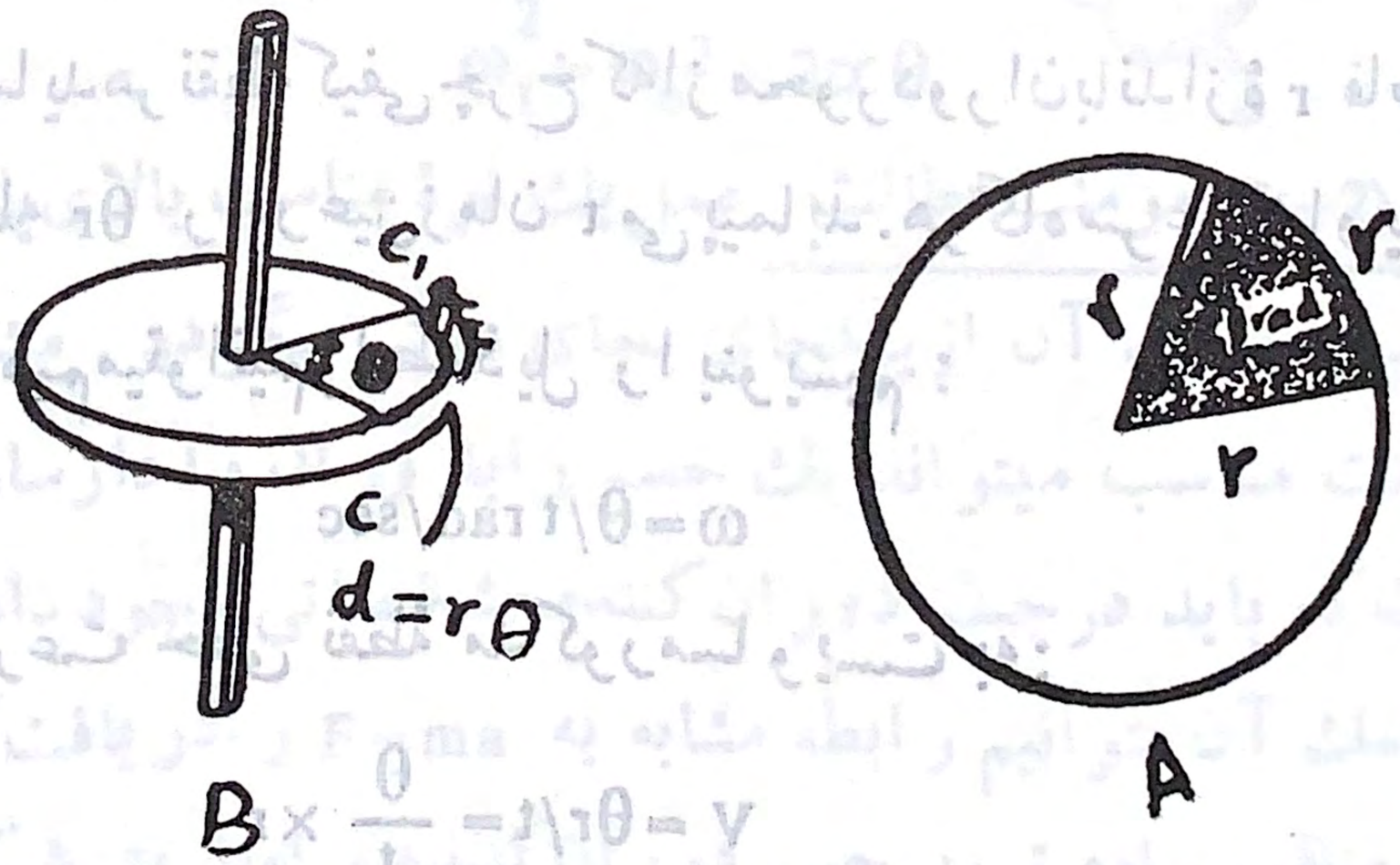
(3 - 1) معادلات حرکت دورانی : حرکت دو نوع است یکی حرکت مستقیم یا انتقالی که محض تغیر موقعیت جسم است و آنرا قبلاً مطالعه کردیم . نوع دیگری حرکت عبارت از حرکت زاویوی و یا دورانی است که دران متحرك باطراف یك محور دوران مینماید . اکثراً حرکت ها ترکیب ازین دو نوع میباشند . مثلاً یك فنر مار پیچی فشرده شده چرخ خورده در هوا بلند می گردد و یا تیر های یك موتر هنگام پیش رفتن روی سرك دوران می نماید .

طوریکه در حرکت مستقیم الخط اندازه کردن فاصلهٔ تغیر مکان اولین کمیت قابل ارزش بشمار میرفت درین جا نیز باید از پیمایش زاویهٔ که متحرك در آن دوران مینماید شروع کنیم . اگر چه ممکن ساده و کافی تصور شود هر گاه این زاویه برحسب دورهای مکمل یا درجه اندازه گردد . لاکن در عمل برای درك بهتر روابط و معادلات مربوطه خیلی آسانتر خواهد بود اگر واحدی دیگری را که عبارت از

رادیان (radian) است استعمال نمائیم.

شکل (1 A - 3) نشان میدهد که یك رادیان چیست ؟ یك دائره را بهر قطری که باشد گرفته وروی محیط یك قوس را که طول آن مساوی به شعاع دائره مذکور باشد جدا می کنیم . این قوس یك زاویهٔ مساوی یك رادیان را آرائه مینماید .

از آنجائیکه محیط دائره $2\pi r$ است بنابران در یك دائره ویا یك دور مکمل 2π رادیان وجود دارد .



شکل (1-3)

چرخی را به شعاع r تصور کرده و در کنار آن یك نقطهٔ C انتخاب می نمائیم شکل (3-1 B) .

هر گاه این چرخ را بدور محور آن بیك زاویه θ رادیان بچرخانیم نقطه C بالای قوس بطول d حرکت نموده بموقعیت جدید C_1 میرسد . هر گاه مقدار θ مساوی یك رادیان باشد فاصله قوس CC_1 مساوی r واگر θ مساوی 2 رادیان باشد فاصله قوس CC_1 مساوی 2r گردیده بنابران بصورت عمومی $d = \theta r$ میباشد . یعنی فاصلهٔ طی شده توسط هر یك از نقاط معین جسم مساویست به حاصل ضرب زاویه دوران (برادیان) در فاصلهٔ نقطه مذکور از محور دوران .

سرعت درحرکت مستقیم الخط و دورانی ارتباط مشابه دارند . هر گاه چرخ مذکور بسرعت ثابت بیك زاویه θ رادیان در وقت t ثانیه دوران نماید هر نقطه کیفی چرخ که از محور دوران باندازهٔ r فاصله دارد یك فاصله θr رادرعین زمان t می پیماید . هر گاه سرعت زاویوی را به ω نشان دهیم میتوانیم رابطه ذیل را بنویسیم :

$$\omega = \theta / t \text{ rad/sec}$$

درحالیکه سرعت خطی نقطهٔ مذکور مساویست به:

$$V = \theta r / t = \frac{\theta}{t} \times r$$

ازدو معادله اخیر داریم که :

$$V = \omega r$$

تحلیل زیادتر نشان میدهد که شتاب خطی نقطهٔ بفاصلهٔ r از

محور دوران یك چرخ كه سرعت زاویوی آن در تغیر باشد بامتداد مسیر منحنی آن r چند شتاب زاویوی چرخ كه به rad/sec2 اندازه میگردد میباشد. چون شتاب زاویوی را منحیث تغیر در اندازه سرعت زاویوی ($\propto = \Delta\omega/t$) تعریف مینمایند لذا صورت معادلوی این دوشتاب $a = \propto r$ است. روابط سه گانهٔ را بار دیگر در ذیل می نویسیم:

$$d = r\theta \qquad v = r\omega \qquad a = r\propto$$

بادر نظر داشت تعریفات اساسی سرعت وشتاب زاویوی بسهولت میتوانیم معادلات حرکت دورانی را عیناً مانند معادلات حرکت خطی طور ذیل بنویسیم:

$$\omega t = \omega_o + \propto t$$

$$\theta = \omega_o t + \frac{1}{2}\propto t^2$$

$$\omega_t^2 = \omega_o^2 + 2\propto\theta$$

(2—3) مومنت عطالت: عمل یك قوهٔ مناسب بالای یك كتله باعث شتاب حركت آن ازیكجای بجای دیگر میگردد. مشابه باین یك مومنت مناسب میتواند یك جسم رابدور ان وادارسازد. واضح است كه باید درجسم دوران كننده مشخصاتی وجود داشته باشند تا به كمك آن بتوانیم رابطه مشابه به $F = ma$ رادریافت كنیم. برای این منظور ساده ترین جسم دوران كننده رامطابق شكل (2—3) كه ازیك میله (بدون وزن فرض شده) كه ازمحور دوران O الی كتله كوچك m كه از O بفاصلهٔ r واقع است امتداد داردتشكیل گردیده درنظرمیگیریم. حال طوریكه در شكل نشان داده شده یك قوهٔ F

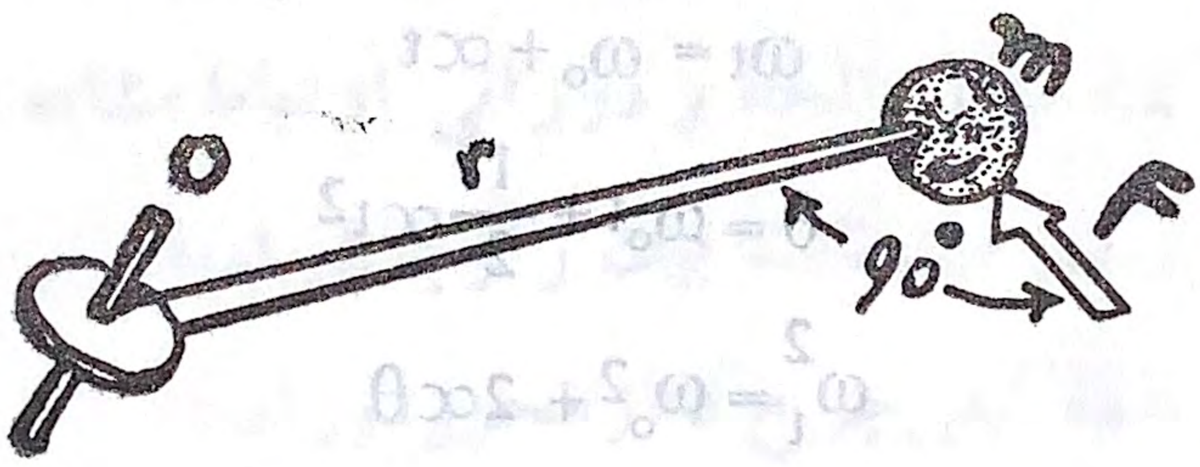
بالای کتله m عمل کرده ویك ترك مساوی به Fr را که دوران جسم را باطراف محور O باعث میگردد بوجود می آورد.

نظر به قانون دوم نیوتن وقتیکه یك قوهٔ F بالای کتله m عمل نماید آن ایك شتاب مساوی به a=F/m میدهد. همچنان دیدیم که رابطه بین شتاب خطی وزاویوی عبارت از a=rα میباشد. بنابران میتوانیم بنویسیم که:

$$F/m = r\alpha$$

یا

$$F = mr\alpha$$



شکل (3—2)

لاکن درحرکت دورانی ماعوض قوه به ترك (T) ضرورت داریم بنابران هردوطرف معادله را به r ضرب میکنیم یعنی:

$$Fr = mr^2\alpha$$

$$T = mr^2\alpha$$

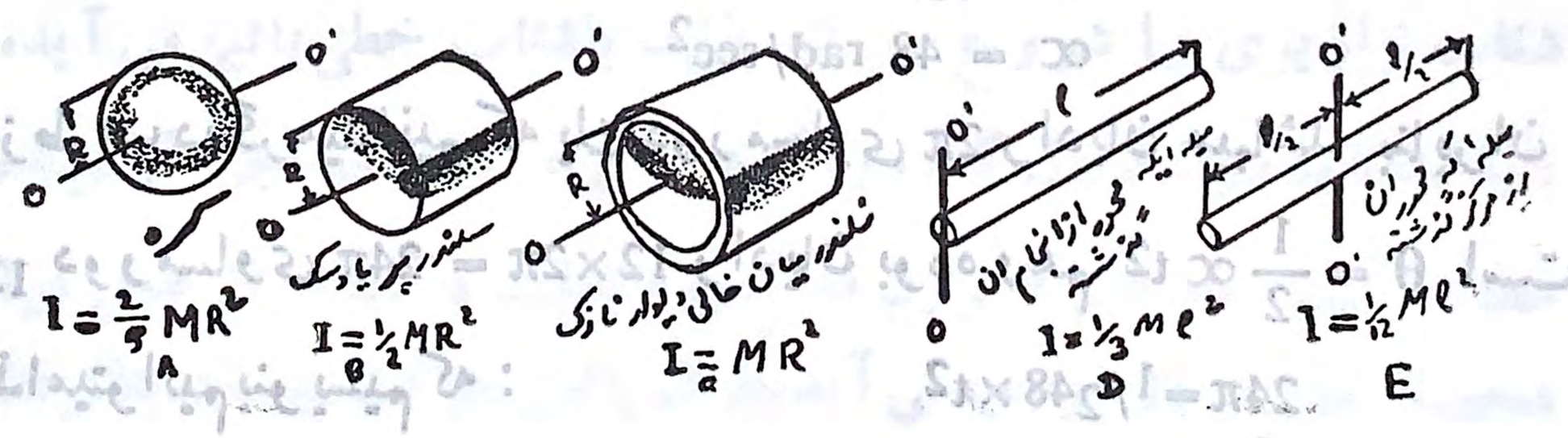
معادلهٔ اخیر کاملاً بامعادله F=ma محض به تفاوت اینکه دران m به mr2 تبدیل گردیده مشابه است. این حاصل ضرب کتله یک ذره بامربع فاصلهٔ آن ازمحور دوران بنام مومنت عطالت ذره یادگردیده

عموماً آنرا به‌حرف I ارائه‌می کنند . لذا قانون‌دوم نیوتن درحرکت دورانی بشکل ذیل‌درمی آید:

$$T = I\alpha$$

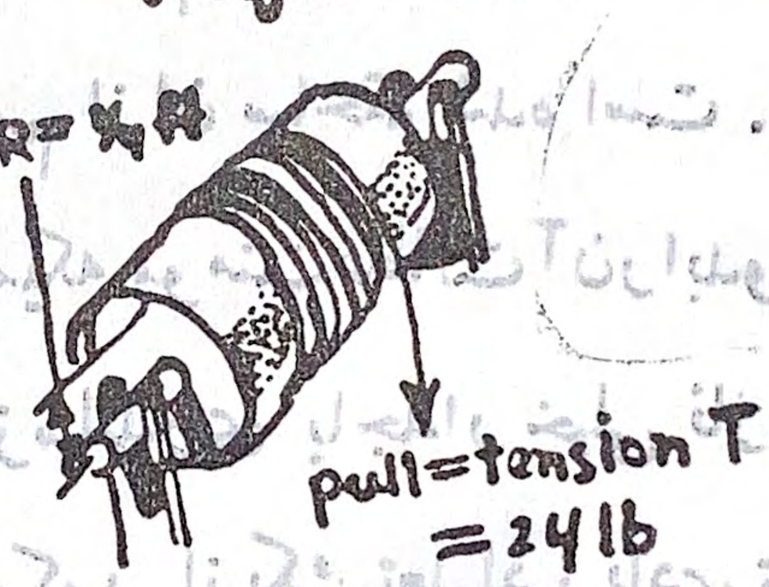
رابطهٔ بالا را برای یک‌ذره کوچک‌استخراج نمودیم درحالیکه اکثراً ما با میله‌ها، چرخ ها وسلندر ها سروکار داریم . چون هر جسم بهر اندازه که‌بزرگ‌تصور شده‌میتواند از یک‌تعداد زیادذرات‌ساخته‌شده بنابران مومنت عطالت یک‌جسم‌بزرگ‌مساوی به‌مجموع‌مومنت‌های عطالت ذراتیست که جسم ازان ساخته شده است .

بدون‌شک یگانه جسمیکه مومنت‌عطالت آن‌را بدون تکلیف اندازه کرده میتوانیم عبارت ازسلندری باجدار خیلی نازک است . هرگاه فرض کنیم که سلندرمذکور ازیک تعداد زیادی توته‌ها به کتله‌های mt ساخته شده وهر کدام‌از توته هاازمحوردوران‌بفاصله R واقع باشند طبعاً هریک از توته های مذکوردارای‌مومنت عطالت mR^2 میباشند که اگر باهم جمع شوند مجموع شان واضحاً به حاصل‌ضرب R^2 درمجموع کتله توته‌هایا MR^2 میباشد . درحالیکه M کتلهٔ سلندر مورد نظر است .



شکل (3-3)

(3—3) ترك ودوران : برای توضیح اینکه چطور میتوانیم از مومنت عطالت در قانون دوم نیوتن در حرکت دورانی استفاده کنیم مطابق شکل (3 B — 3) یک استوانهٔ میان پر را بالای اکسلی بدون اصطکاک درنظر میگیریم. فرض میکنیم که وزن استوانه 19.8 lb ، قطر ان 1/4ft ویک قوهٔ 24 lb بانجام تاریکه روی استوانه پیچانیده شده عمل مینماید شکل (4 — 3) هر گاه استوانه از حال سکون شروع بحرکت نماید



شکل (3-4)

چقدر وقت لازم است تا استوانه 12 دور بزند. برای حل این مسئله اولاً لازم است شتاب زاویوی استوانه را ازرابطه $T = I\alpha$ دریافت کنیم یعنی :

$$T = I\alpha = \frac{1}{2}MR^2\alpha$$

$$FR = \frac{1}{2}MR^2\alpha$$

$$24 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times \frac{128}{32} \times (1/4)^2 \times \alpha$$

$$6 = \alpha/8$$

$$\alpha = 48 \text{ rad/sec}^2$$

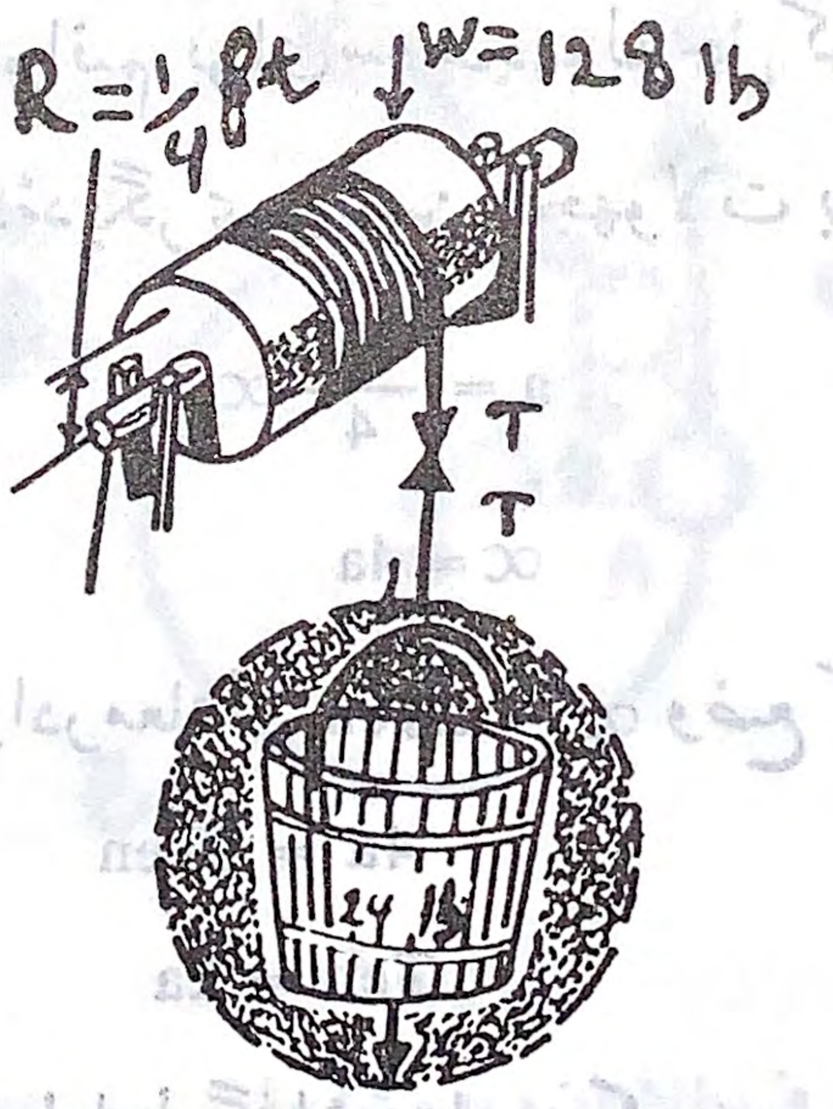
ازطرف دیگر میدانیم که یک دور مساوی 2π رادیان میباشد بنابران 12 دور مساوی $12 \times 2\pi = 24\pi$ رادیان بوده وهم $\theta = \frac{1}{2}\alpha t^2$ است لذا میتوانیم بنویسیم که :

$$24\pi = {}^1/_2 48 \times t^2$$

$$t^2 = \pi$$

$$t = 1.77 \text{ sec}$$

درنظراول ممکن تصورشود که در مثال اخیرمیتوان یک کشش مداومی 24lb را محض بااویختن یك وزن 24lb بانجام تار تهیه کرد. ولی اگرخوب دقیق شویم خواهیم یافت که این عمل درست نیست. شکل (5—3) این وضع را مجسم میسازد. هرگاه اکسل استوانه طوری محکم شده باشد که استوانه دورخورده نتواند وزن بدون حرکت باقیمانده کشش تار (Ten) 24lb خواهدبود. ولی اگراستوانه روی بیرنگ هائی بدون اصطحکاك آزادگذاشته شودحینیکه استوانه



شکل (5—3)

شتاب زاویوی را شروع می کند وزن باشتاب خطی پائین می آیده بیائید تنها وزن نزول کننده را که در دایره نقطوی مجزا گردیده مطالعه کنیم. میدانیم که وزن مذکور باشتاب a که در اثرعمل قوة محصلهٔ Ten — 24 بوجودمی آیدبطرف پائین حرکت مینماید بنابران کشش تار باید کوچك تراز 24lb باشد. لذا بادرنظر داشت F = ma

میتوانیم بنویسیم کـه :

$$24 - \text{Ten} = \frac{24}{32} \times a$$

از طرف دیگر چون ترک کشش Ten شتاب استوانـه را بـاعث مـی شود بنابـران داریـم :

$$T = 1/2MR^2 \propto$$

$$1/4\text{Ten} = 1/2 \frac{128}{32} \times \left(\frac{1}{4}\right)^2 \propto$$

$$\propto = 2\text{Ten}$$

دو معادلهٔ اخیر را نمیتوانیم برای سه مجهول حل کرد ولی خوشبختانه معادله $a = r \propto$ رابطهٔ دیگری را بین مجهولات بدست میدهد لذا :

$$a = \frac{1}{4} \propto$$

یـا

$$\propto = 4a$$

هر گاه این قیمت $\propto$ را در معادله $\propto = 2\text{Ten}$ وضع کنیم می یابیم که:

$$4a = 2\text{Ten}$$

یـا

$$\text{Ten} = 2a$$

این قیمت Ten را در معادله اول گذاشته داریم که:

$$24 - 2a = \frac{24}{32} \times a$$

$$24 - 2a = \frac{3}{4} a$$

وازین جا :

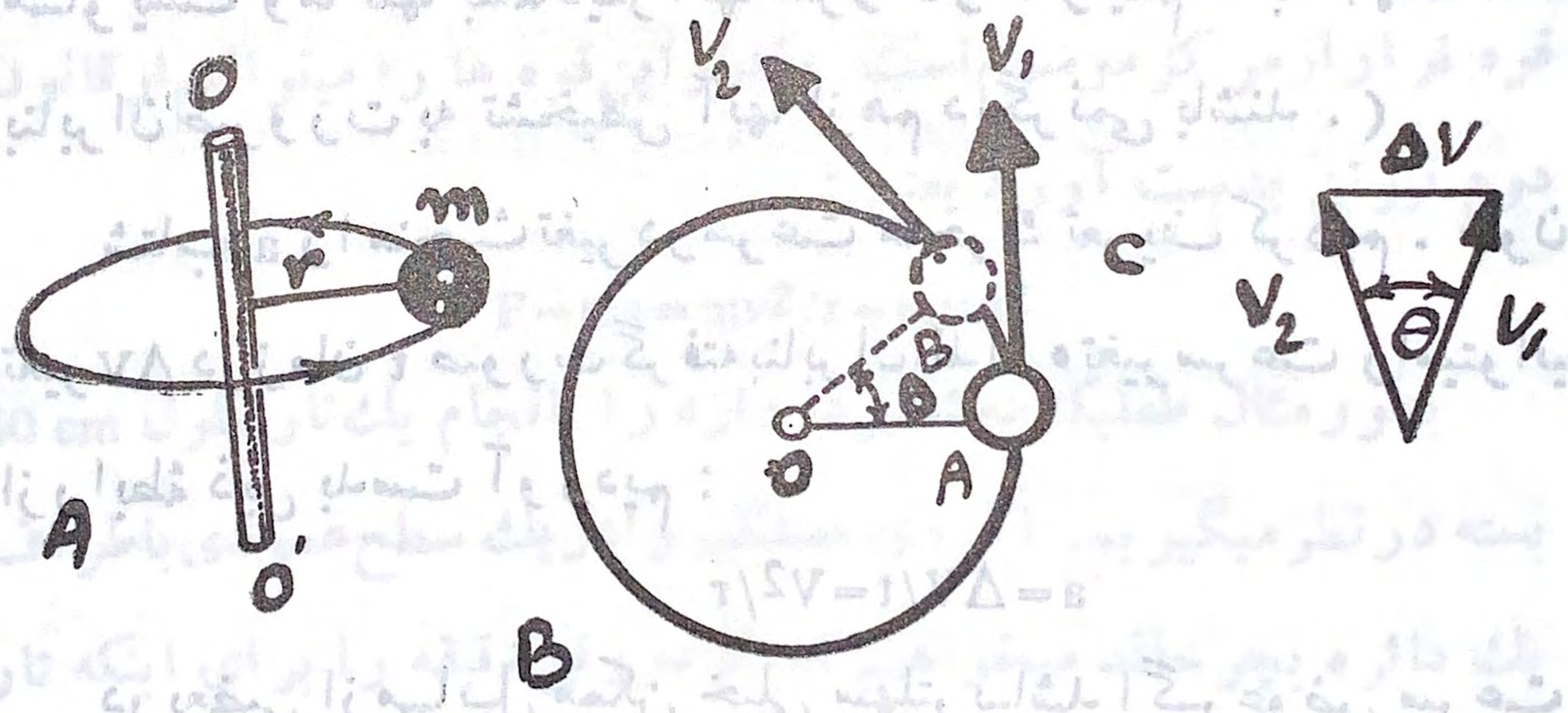
$$a = 8.73 \text{ft/sec}^2$$

$$\text{Ten} = 17.5 \text{ lb}$$

(4 - 3) قوهٔ جذب بمرکز و فرار از مرکز : تا حال سرعت را بحیث یك

کمیت وکتوری وشتاب راتنها بحیث تغیردر تیزی جسم مطالعه کردیم ولی بخاطر باید داشت که یك وکتوردر صورت تغیر جهت آن نیز تغیر کرده میتواند .

شکل (3 - 6 A) چنین یك حالت را نشان میدهد . در ینجا یك کتله m بانجام یك میله ای بدون وزن بطول r که باطراف محور دوران OO′ بوفتار ثابت دوران می کند وصل شده است . شکل (3 - 6 B) تصویری از



شکل (3-6)

شکل گذشته که از طرف بالا بان دیده شده است میباشد . فرض کنیم جسم مذکور از نقطهٔ A به B باندازهٔ زاویهٔ θ درزمان t تغیر مکان کرده سرعت آن درخلال این مدت از V_1 به V_2 برسد . درین جا تغیر در سرعت جسم از سبب تغیر درجهت آن میباشد زیرا تیزی جسم ثابت بوده وبنابران طول وکتور ثابت باقی مانده شکل (3 - 6 C) تعین گرافیکی تغیر درسرعت را نشان میدهد . هر گاه سرعت های ΔV و V_1 جمع شوند سرعت V_2 بدست

می آید بنابران ΔV تغییر در سرعت را در زمان t آرائه میدارد.

دیده میشود که مثلث OAB با مثلث که از وکتورهای V_1، V_2 و ΔV تشکیل میگردد مشابه (زیرا مثلثات مساوی الساقین وعین زاویه‌ای θ را دارا اند) و بنابران اضلاع شان بالترتیب متناسب اند لذا :

$$\Delta V/v = AB/r = vt/r$$
$$\Delta V = V2t/r$$

(ازمشخصات V درین جا صرف شده زیرا طول های V_1 و V_2 باهم مساویست وما تنها بمقادیر آنها سروکار داریم نه به جهت شان بنابران ضرورت به تشخیص آنها ازهم دیگر نمی باشند .)

شتاب a را منحیث تغیر در سرعت متحرك تعریف کردیم . چون تغیر ΔV درزمان t صورت گرفته بنابران اندازه تغیر سرعت رامیتوانیم ازرابطهٔ ذیل بدست آوردیم :

$$a = \Delta V/t = V^2/r$$

دربعضی ازمسایل ممکن خیلی سهلتر باشد اگر عوض سرعت خطی (V) ازسرعت زاویوی (ω) کار گرفته شود . بنابران اگر درمعادله اخیر V را به ω عوض کنیم داریم :

$$a = r\omega^2$$

ازآنجائیکه a یك قیمت وکتوری است بنابران باید جهت آنرا نیز تعین نمائیم . هرگاه درشکل (3-6c) زمان t ودر نتیجه زاویه θ را کوچکتر ساخته برویم بالاخره V_1 و V_2 باهم موازی گردیده و ΔV بهرکدام ازآنها (ویا هردو) عمود میگردد. لذا ΔV وبناء a در

داخل دائره بطرف مرکزمتوجه میشود.

چون شتاب بدون قوه ایکه آنرا باعث میگردد وجود داشته نمیتوانند لذادرنظر اول دیده میتوانیم که شتاب حاصلهٔ کتله m بجهت مرکز دائره توسط قوه ثابت کشش میله که کتلهٔ مذکور بانجام آن وصل گردیده بوجود آمده است. قوه ایرا که میله بر کتلهٔ m وارد مینماید بنام قوه جذب بمرکز یاد میکنند. همچنان درین جا قوهٔ دیگری مساوی و مخالف به قوه فوق ازطرف کتله m بالای میله عمل می کند که به قوه فرارازمرکز موسوم است. مقدار این قوه ها را میتوانیم از قانون دوم نیوتن بدست آورد یعنی:

$$F=ma=mv^2/r=mr\omega^2$$

بطور مثال طفلیکه دستگیر دروازه را بانجام یك تار بطول 60 cm بسته درنظر میگیریم. اگر وی دستگیر را در یك سطح عمودی باطراف یك دائره بچرخاند میخواهیم تعداد دورفی دقیقه را برای اینکه تار هنگام دوران در بلند ترین حصهٔ دائره از عاطل شدن بازماند دریافت نمائیم. هرگاه کتله دستگیر را m گرام قبول کنیم درهر نقطهٔ ازدائره دستگیر یك قوه کشش به مرکزمساوی $mr\omega^2=60m\omega^2$ را ضرورت دارد تاآنرا روی مسیرمنحنی آن بالای دائره نگهدارد. در بلندترین حصه دائره قوه کشش زمین (mg) مستقیماً بطرف مرکز دائره عمل مینماید لذا اگر مقدار قوه mg از قوهٔ جذب بمرکز $mr\omega^2$ بزرگتر باشد دستگیر ازروی مسیرمنحنی خویش بطرف داخل دایره کش

گردیده و بنابـر ان تار عاطل میگردد . کوچکترین سرعت ممکنه که تاررا ازعاطل شدن بازمیدارد وقتی است که :

$$mg = mr\omega^2$$

$$g = r\omega^2$$

$$\omega^2 = g/r$$

$$\omega^2 = 980/60$$

$$\omega = 4{,}04 \text{ rad/sec}$$ یا

میدانیم کـه $2\pi rad = 1rev$ و $1 \text{ min} = 60 \text{ sec}$ است بنا بـران برای تبدیل نتیجه حاصله به rev/sec می نو یسیم که :

$$4{,}04 \text{ rad/sec} \times 1 \text{ rev}/2\pi rad \times 60 \text{ sec}/1 \text{ min} = 38{,}6 \text{ rev/min}$$

چون کتله دستگیر (m) درمعادله دخیل نیست لذا معادله فوق برای تمام اجسام باکتله های مختلف قابل تطبیق است .

(3-5) کـار و انرژی دورانـی : از آنجائیـکه بـرای دوران یـك چـرخ سنگـین کـارلازم است و یا یـك چرخ درحال دوران مـیتواند کـاری را انـجام دهد لـذاواضـح است کـه انرژی حرکی در یك جسمیکه حرکت دورانی دارد ما نند جسمیکه مستقیم حرکت مینماید ذخیره شده میتواند. برای اینکه انرژی حـرکـی (K_E) یك جسم دوران کننده راانداز ه نمائیم لازم است تاانرژی حرکی تمام ذرات را که جسم دوران کننده ازان ساخته شده دریافت وباهم جمع کنیم. برای این منظور دوباره شکل (3-2) رادر نظر گرفته وفرض میکنیم که m کتلهٔ یکی ازذرات کوچك جسم دورانی باطراف

محور OO' باشد هر گاه این ذره روی مسیر مستقیم حرکت کند مقدار انرژی حرکی آن $K_E = \frac{1}{2}mv2$ میباشد.

ولی دریافت مجموع انرژی در تمام ذرات یك چرخ برحسب v خیلی مشکل است زیرا سرعت هرذره مربوط فاصلهٔ آن از محور دوران چرخ میباشد.

این مشکل را به آسانی بوطرف کرده میتوانیم اگر انرژی حرکی را برحسب ω دریافت نمائیم. چه سرعت زاویوی برای تمام ذرات یك جسم دورانی یکسان میباشد بنابران :

$$V = r\omega$$

یا

$$V2 = r2\omega2$$

هرگاه این قیمت V2 را در رابطه $K_E = \frac{1}{2}mV2$ بگذاریم می یابیم که

$$K_E = \frac{1}{2}\ mr2\omega2 = \frac{1}{2}I\omega2$$

معادله اخیر نظیر معادلهٔ $K_E = \frac{1}{2}mv2$ است که دران I طوریکه در شکل (3-3) داده شده مومنت عطالت تمام جسم دوران کننده میباشد.

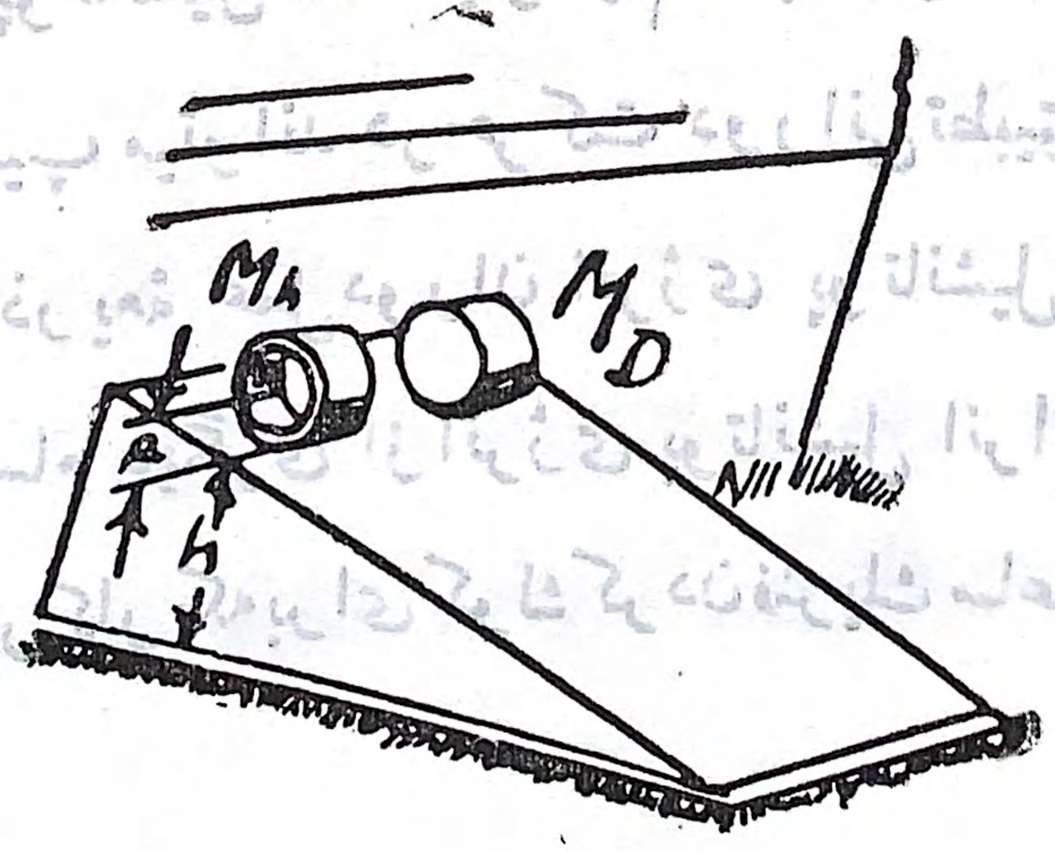
از نگاه میخانیك خطی، که آنرا قبلاً دیدیم بیلك جسم در صورت انرژی حرکی یا پوتانشیل داده میتوانیم که بالای آن کاری اجرا نمائیم. عین پرنسیپ میتواند درحرکت دورانی تطبیق شود. اگرچه بیلك جسم محض ذریعهٔ عمل دوران انرژی پوتانشیل جاذبوی داده نمیتوانیم ولی اقسام دیگری از انرژی پوتانشیل انرا میتوانیم اضافه سازیم. مثلاً مقدار کاریکه برای کوك کردن فنر یك ساعت اجرا میگردد

بصورت انرژی پوتانشیل فنر درفنر مذکور ذخیره میشود: مقدار کار درحرکت دورانی نظیری حاصل ضرب قوه درفاصله عبارت از حاصل ضرب تورك درزاویه میباشد یعنی: $W=T\theta$
(طبعاً θ برادیان اندازه میشود).

طوریکه برای دادن مقدار معین انرژی حرکی بیلك متحرك لازم است مقدار مساوی کار بالای آن اجرا گردد: یعنی $Fxd=\frac{1}{2}mv2$
برای دادن یلك مقدار معین انرژی حرکی بیلك جسم دوران کننده نیز باید یلك مقدار کار مساوی به آن راانجام دهیم بنابران:

$$T\theta=\frac{1}{2}I\omega2$$

بیانیه مفکورهٔ انرژی حرکی دورانی رابرای مقایسه سرعت های یلك حلقه و یلك قرص درقاعده یلك نشیب بکاربریم شکل(7-3) حلقه وقرص رادرحال شروع سفرشان بطرف پائین که شامل حرکت های خطی ودورانی است نشان میدهد. هر گاه فرض کنیم که انرژی توسط اصطکاك ضایع نشده باشد انرژی حرکی در قاعده نشیب باید مساوی به انرژی پوتانشیل دربالای نشیب باشد یعنی:



شکل (7-3)

$$\frac{1}{2}MV2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = Mgh$$

برای حلقه $I = MR2$ میباشد بنابران :

$$\frac{1}{2}MV2 + \frac{1}{2}MR2\omega^2 = Mgh$$

یا

$$\frac{1}{2}V^2 + \frac{1}{2}R^2\omega^2 = gh$$

چون کتله حلقه در رابطهٔ اخیر دخیل نمیباشد بنابران فرقی ندارد که حلقه از چوب ساخته شده باشد یا از سرب مشروط بر اینکه جسامت شان یکی باشد. هر گاه در معادله اخیر $R\omega = v$ یا $R2\omega2 = v2$ وضع کنیم داریم :

$$V2 = gh$$

یا

$$V = \sqrt{gh}$$

طوریکه از رابطهٔ اخیر دیده میتوانیم شعاع حلقه (R) نیز مانند کتله آن حذف گردیده است بنابران جسامت حلقه نیز در سرعت آن بی تاثیر می ماند لذا اگر حلقه ها از کاغذ باشد یا اهن خورد باشد یا کلان همهٔ انها روی سطح مذکور پهلو به پهلو بطرف پائین لول می خورند .

هر گاه عین عملیه را برای قرص که مومنت عطالت ان $\frac{1}{2}MR2$ است تکرار کنیم می یابیم که :

$$\frac{1}{2}MV2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = Mgh$$

چون $I = \frac{1}{2}MR2$ و $R2\omega2 = v2$ است بنابران :

$$\frac{1}{2}MV2 + \frac{1}{4}MR2\omega^2 = Mgh$$

$$\frac{1}{2}v2 + \frac{1}{4}v2 = gh$$

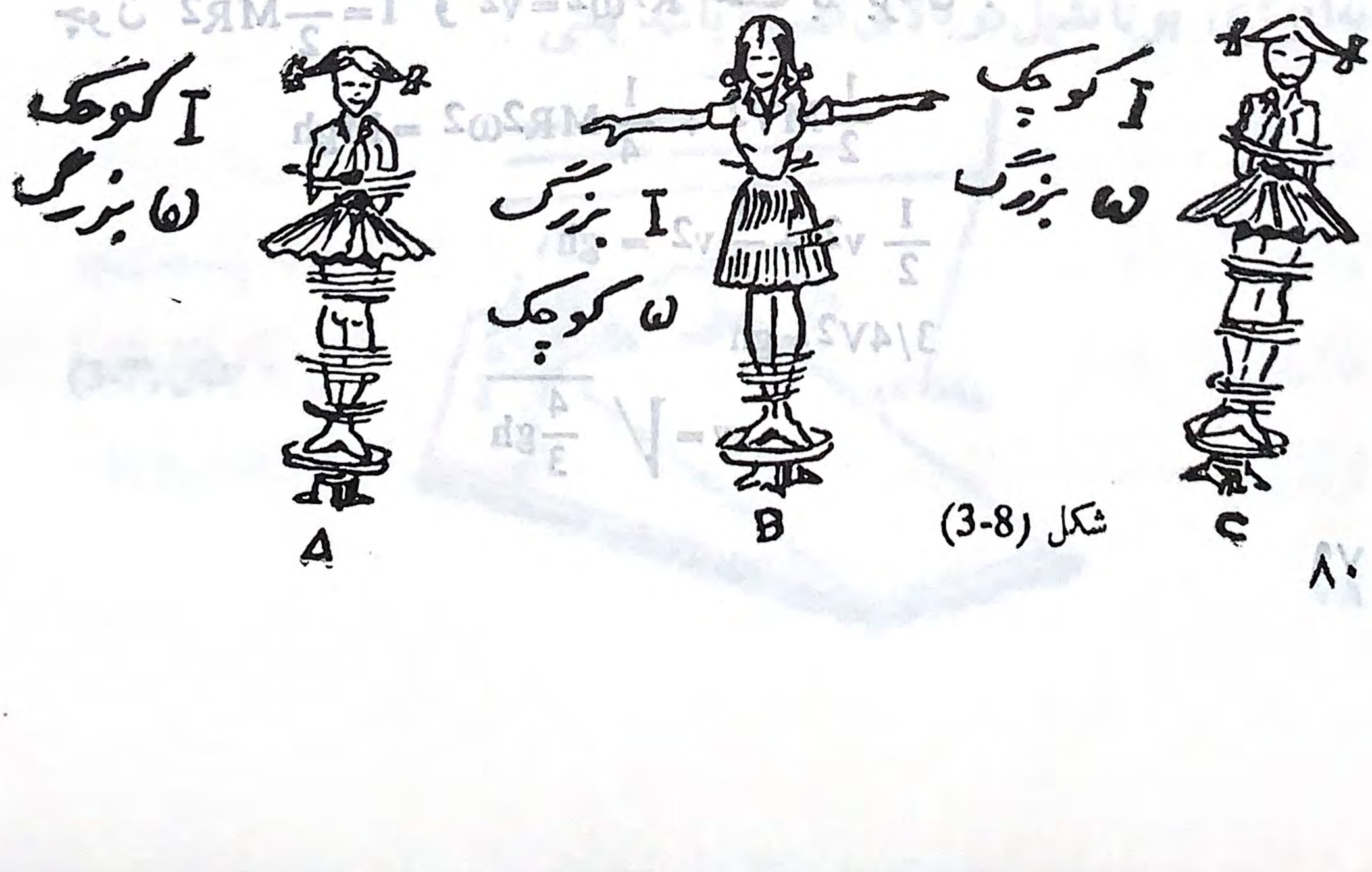
$$3/4V^2 = gh$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$$

بنابر ان جسم قرص مانند که نظر به جسم حلقوی سرعت زیاد تر دارد زودتر به قاعده نشیب میرسد. آیا یک بلاك مستطیلی درین مسابقه چه خواهد کرد وقتیکه بدون اصطکاك روی سطح بلغزد.

(3—6) مومنتم زاویوی : مانند مومنتم خطی که انرا توسط mv تعریف کردیم مومنتم زاویوی را نیز که یک جسم بنابر حرکت دورانی آن دارد ذریعهٔ Iω بیان کرده میتوانیم. طوریکه قانون سوم نیوتن (قانون عمل وعکس العمل) میتواند برای ترك ها وقوه ها استعمال گردد قانون تحفظ مومنتم زاویوی میتواند عیناً مانند تحفظ مومنتم خطی اثبات گردد.

قانون تحفظ مومنتم زاویوی بسهولت میتواند بکمك یک شاگرد که روی یک صفحه دورانی تقریباً بدون اصطکاك ایستاده یانشسته عملی شود. شکل (3—8) دختری را نشان میدهد که بیک سرعت مناسب که احتمالاً ثابت باقی میماند (مگر اینکه اهسته اهسته توسط ترك اصطکاك که اجتناب از ان محال است بطی شود) دوران مینماید لیکن اگر دختر دستهای خویش را بطور کاملاً افقی بالا کند شکل (3—8B) سرعت وی دفعتاً کند تر گردیده ولی وقتیکه دست هایش را دوباره بحال اولی برمیگرداند باردیگر سرعت اولیش را اخذ میکند شکل (3—8c). پرنسیپ تحفظ مومنتم زاویوی بیان میدارد که حاصل



شکل (3-8)

ضرب $I\omega$ ثابت باقی میماند (از تاثیر ترك اصطکاك مولده صرف نظر گردیده است) بنابر ان حینیکه دختر مومنت عطالت خویش را ذریعهٔ افقی ساختن دست های خویش تزئید می بخشد بالمقابل ازسرعت زاویوی خویش بهمان تناسب می کاهد. همچنان وقتیکه از I کاسته میگردد دفعتاً به مقدار ω باید افزوده گردد تا اینکه حاصل ضرب $I\omega$ ثابت باقی بماند.

درسفیه‌های فضائی گاهی ضرورت می‌افتد تا حرکت سفینه را مخالف سمت پرتاب یعنی بطرف عقب برگردانند بطور مثال وقتیکه میخواهند روی کره مریخ فرود آیند این عمل را به کمك منفلق ساختن راکت های کوچکی که دردم سفینه قرارداده شده انجام داده و سفینه را برای لحظه کوچکی متوقف میسازند. همچنان این عمل را توسط حمل کردن یك چرخ سنگین که محور دوران آن بمحور دوران سفینه عمود است انجام میدهند. وقتیکه چرخ به دوران وا داشته شود سفینه به جهت مخالف آن دوران کرده وبنابر آن مومنتم زاویوی هردوی از آنها باهم جمع گردیده مجموع شان مساوی صفر میگردد (طبعاً سفینه باید نظر به چرخ خیلی آهسته تر دوران نماید زیرا مومنت عطالت (I) سفینه خیلی بزرگتر از مومنت عطالت چرخ بوده وبنابر ان سرعت زاویوی سفینه متناسباً کوچکتر است). بعد از ینکه سفینه برای یك وقت کافی دوران کرد لازم است تا شخصی چرخ را متوقف سازد که درینصورت سفینه نیز از دوران باز می ماند.

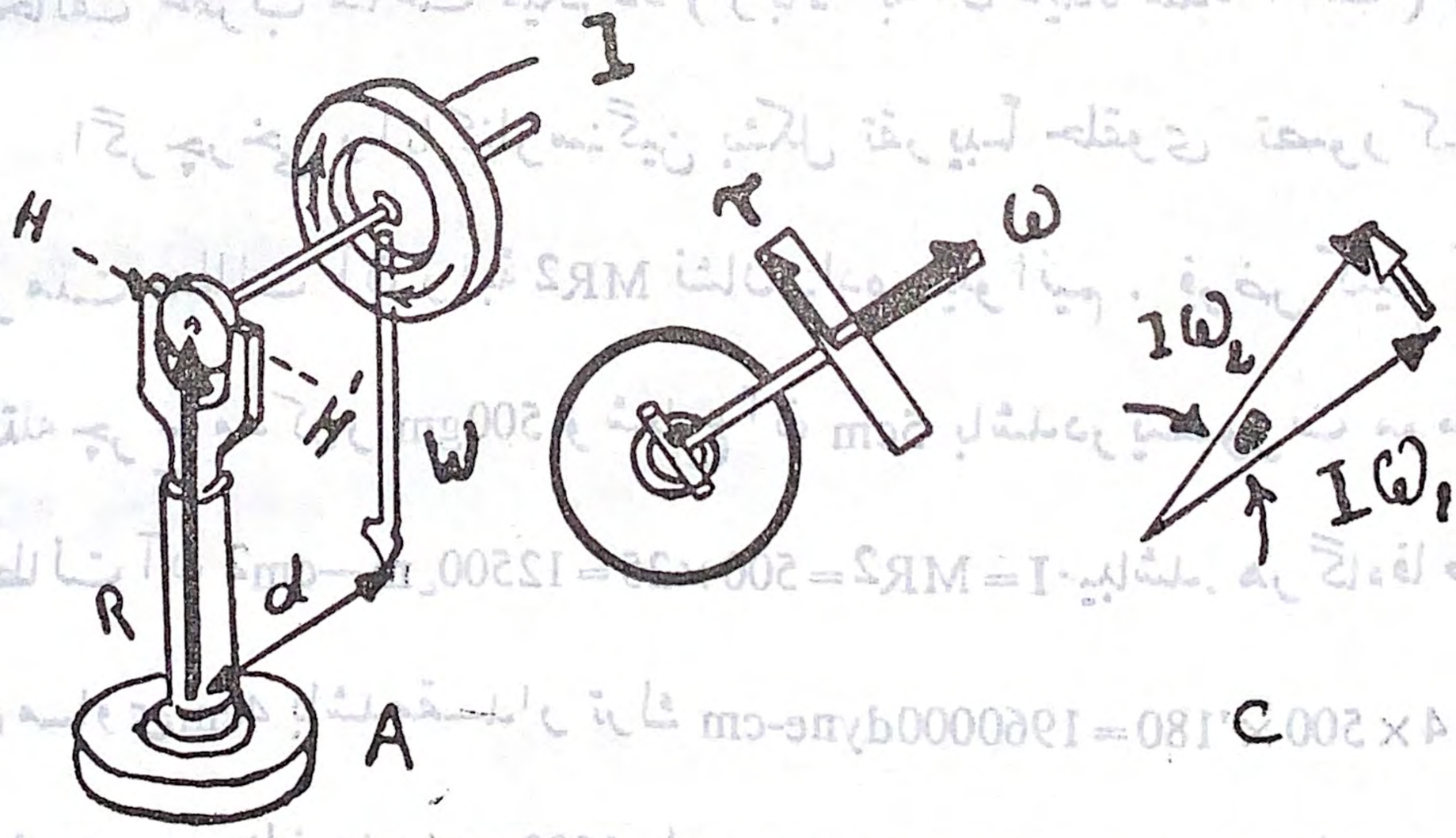
وضع یك جایرسکوب (Gyroscope) کاملاً حیرت انگیز است اگر قوانین قوه‌ها وحرکت خطی را که با آنها اشنائی داریم بر آن عملی سازیم. جایرسکوب بجز از چرخ سنگینیکه میتواند بیك سرعت

زیاد دوران کند چیزی دیگری نیست : جایز سکوب بصورت عموم دربیرنگ‌های تقریباً بدون اصطکاك بالای چوکاتی سوار گردیده که حین دوران باسانی میتواند از آن کشیده شود . شکل (3—9A) چرخ سریع الدورانی را روی اکسلیکه یك انجامش دریك بیرنگ است نشان میدهد . چرخ مذکور میتواند آزادانه بدور پایه ومحور افقی (HH′) دوران نماید . تیرهای منحنی سمت دوران چرخ W و R بالترتیب وزن جایرسکوب وعکس العمل مساوی به آن‌راکه از طرف پایه کـه جایرسکوب بران سوار گردیـده وبطرف بالا عمل می نماید ارائه میدارند .

ترك، سرعت زاویوی ومومنتم زاویوی هـر سـه مطابق قانون پیچش دست راست (Right hand sercw rule) میتوانند ذریعهٔ وکتورها ارائـه گردند . تاب دادن یك پیچ معمولی را بجهت دوران چرخ تصور کنید. رخ‌های پیچ باعث خواهد شد تا پیچ بامتـداد اکسل بطرف انجام آزاد پیش برود . سرعت زاویوی چرخ کـه توسط وکتور ω ارائه ودرحصهٔ قدامی شکل (3—9B) نشان داده شده است. نیزدارای عین سمت میباشد . همچنان ترك (wxd) توسط وکتور T ارائه گردیده است .

در نظراول ممکن فکر کنیم که ترك T افتیدن انجـام آزاد اکسل رافراهم می کند ویقیناً این حادثهٔ واقع می شد اگر ترك مذکور عوض چرخ بالا خشت، خطکش ویا کدام جسم غیردورانی دیگرعمل میکرد

ولی نگاه دقیقتر اشکار می‌سازد که دوران سریع چرخ وضع را بکلی معکوس میسازد ازانجائیکه I یك مقدار سکالر است بنابران وکتوریکه مومنتم زاویـوی ($I\omega$) را ارائـه میدارد جهت ω را دارد .شکل (3—9C) $I\omega_1$ را که در یك لحظهٔ معین بامتداد اکسل عمل می نماید نشان میدهد . حال میخواهیم تاثیر تورك را درصورت عمل $\top$ برای یك مدت کوتاهی t مطالعه کنیم . میدانیم که عمل $\top$ بالای چرخ یك امپلس مساوی به $\top t$ (مشابه به امپلیس خطی Ft) را که بـه جهت $\top$ عمل می نماید باعث میگردد که مساوی به تغیر مومنتم چرخ میباشد. هرگاه وکتور تغیر $\top t$ را باو کتور مومنتم ابتدائی $I\omega_1$ جمع کنیم وکتور



شکل (3—9)

$I\omega_2$ که مومنتم چرخ و در نتیجه جهت اکسل را درختم زمان t نشان میدهد حاصل میکنیم. زاویه θ که تحت آن اکسل در t ثانیه گردش نموده است مساوی $\top t/I\omega$ رادیان میباشد . بنابـران اکسل بـیك

سرعت زاویوی Ω بنام پریسیشن Precession (حرکت بگرد محور ثالث که در نتیجه مجموع هندسی سرعت های زاویوی باطراف دو محور جداگانه بوجود می آید) که مساوی θ/t یا T/Iω میباشد باطراف تاب می خورد. از ین جا معادله اساسی جایرسکوپی را طورذیل می یابیم :

$$\Omega = T/I\omega$$

ترك زمینه افتیدن یك چرخ دوران کننده را فراهم نمیسازد بلکه درعوض باعث تاپ خوردن آن باطراف (مثلاً در مثال فوق) بجهت مخالف عقرب ساعت میگردد (از بالا به آن دیده شده است).

اگر چرخی را با کنار سنگین بشکل تقریباً حلقوی تصور کنیم مومنت عطالت آن را بهٔ MR2 نشان داده میتوانیم. فرض کنیم که کتله چرخ مذکور 500gm و شعاع آن 5cm باشد درینصورت مومنت عطالت آن $I = MR^2 = 500 \times 25 = 12500$ gm—cm2 میباشد. هرگاه فاصلهٔ d مساوی 4cm باشد مقدار ترك $T = 4 \times 500 \times 180 = 1960000$ dyne-cm میشود. همچنان 1800rev/min یا $1800 \times 2\pi/60 = 188$ rad/set یك سرعت دورانی مناسب برای چرخ فرض شده میتواند. تحت این شرایط میتوانیم سرعت زاویوی (Ω) چرخ را قرار ذیل بدست آوریم :

$$\Omega = 1.96x10^6/(1.25x10^4x1,88x10^2) = 0,835 \text{ rad/sec}$$

تمرینات

(3-1) 1 - یك پل آسیاب بقطر 8in با یك سرعت زاویوی 2400rev / min می چرخد.

(a) سرعت زاویوی پل را به rad / sec دریافت نمائید.

(b) سرعت خطی کنار پل را به ft / sec بدست آورید.

2 - یك چرخ باشتاب منظم 60rad / sec2 دوران می نماید. بعد از چند دور سرعت آن به 3000rev / min خواهد رسید درحالیکه چرخ از حال سکون شروع بحرکت کرده باشد.

(3-2) 3 - مومنت عطالت یك کره به کتله 10Kg وقطر 30Cm را دریافت نمائید.

4 - مومنت عطالت استوانه را بطول 2m و کتله 8Kg با طراف مرکز آن دریابید.

(3-3) 5 - یك پل استوانه ای آسیاب را به کتله 3Kg و قطر 20Cm در نظر بگیرید.

(a) مومنت عطالت آن را دریافت کنید.

(b) اندازه ترك را که بتواند پل را شتاب زاویوی 120rad/sec2 بدهد دریافت نمائید.

6 - یك ترك مساوی 8 oz-in یك چرخ غیر منظم را شتاب 2rad/sec2 میدهد مومنت عطالت چرخ را دریافت نمائید.

(4—3) 7 — یك موتر به كتلهٔ 50 ton بسرعت 45mi / hr روی یك منحنی بشعاع 800ft حركت می كند قوهٔ مایل بمركز كه بتواند موتر را در مسیرش نگاه دارد در یافت كنید.

8 — كتلهٔ زمین تقریباً $6\times10^{27}gm$ وشعاع مدار آن بگرد آفتاب $1.50\times10^{13}cm$ است قوهٔ جذب بین زمین و آفتاب را در یابید.

(5—3) 9 — یك استوانه به كتله 10kg وقطر 12cm باطراف یك محور به سرعت زاویوی 2rev/sec دوران میكند انرژی حركی دورانی آنرا در یافت نمائید.

10 — سوال اخیر را برای یك كره به كتلهٔ 3kg وقطر 10 cm حل كنید

(6—3) 11 — یك شاگرد كه روی یك صفحهٔ دورانی با دست های چسپیده به پهلو استاده دارای یك مومنت عطالت $2slug-ft^2$ میباشد وقتیكه بان یك سرعت زاویوی 1rev/sec داده میشود دست های خود را كاملاً افقی درازنموده ومومنت عطالت وی به $4slug-ft^2$ میرسد درینصورت (بادست‌های افقی) سرعت زاویوی آنرا در یافت كنید .

12 — كرنشافت وفراویل یك موتر از نگاه موتروان كه درسیت نشسته مطابق عقرب ساعت دوران می كند . وقتیكه موتر بطرف راست دور بخورد بینی آن بطرف پائین حركت خواهد كرد یا طرف بالا ؟

فصل چهارم

اقمار مصنوعی و مدارها

(1—4) قانون جاذبهٔ نیوتن : دلچسپ است اگر قوه مایل بمرکز را بالای مهتاب که بگرد مدار تقریباً دائروی باشعاع متوسط $384\times10^{3}Km$ بگرد زمین در گردش است تطبیق شود . مهتاب 27,3 روز را برای یك دور مکمل بگرد زمین بکار دارد که به rad/sec طور ذیل بدست می آید :

$$\omega=\frac{1rev}{27,3day}\times\frac{2\pi rad}{1rev}\times\frac{1day}{24\ hr}\times\frac{1hr}{3600sec}$$

$$=2.67\times10^{-6}rad/sec$$

همچنان میدانیم که:

$$r=384000Km=3,84\times10^{10}cm$$

از ین جا شتاب مایل بمرکز مهتاب بطرف زمین را طور ذیل میابیم:

$$a=r\omega$$

$$=3,84x10^{10}x(2,6710\times10-6)^2=0.273cm/sec^2$$

نیوتن در اخیر قرن 17 محاسبهٔ مشابه به بالا را انجام داده و پیشنهاد نمود

(پیشنهاد خیلی اساسی ولی درعین زمان مخالف اذهان مردم) که شتاب مایل بمرکز مهتاب بطرف زمین توسط همان قوه‌ای که باعث شتاب یك سیب هنگام افتیدن از درخت بزمین میگردد صورت میگیرد .چون شتاب یك‌سیب سقوط کننده g (تقریباً 980 Cm / sec2) نظر به شتاب مهتاب بطرف زمین که در فوق محاسبه نمودیم خیلی بزرگتراست لذانیوتن ازان چنین نتیجه گرفت که قوهٔ جاذبهٔ زمین باتزئید فاصله ضعیفتر میگردد . حقیقتاً نتیجهٔ بالا بطور قناعت بخش آن میتواند بدست آید اگر فرض کنیم که قوهٔ کشش متناسب به مربع فاصله‌ازمرکز زمین تنقیص می یابدطوریکه اگر فاصله‌دوچندگرددقوه کشش باندازهٔ $\frac{1}{4}$ و واگرفاصله‌سه برابر شود قوه کشش مساوی $\frac{1}{9}$ قوهٔ اولی می گردد وغیره .

چون فاصله یك سیب‌سقوط کننده‌ازمرکززمین 6370Km و فاصله وسطی مهتاب 384000Km و یا 60,3 برابرفاصله سیب میباشد بنابران شتاب مهتاب باید $2(3 . 60)$ یا 3636 مرتبه کوچك تر ازشتاب سیب بطرف زمین باشد کسر $980/3636=0,270Cm/sec2$ باعدد $0,273Cm/sec2$ که درفوق ازمحاسبهٔ هندسی مدارمهتاب حاصل کردیم خیلی نزدیك است (درنتیجه‌های بالا میتوانست کاملاً باهم یکی باشد درحالیکه از طریقه های مشکل ریاضی برای محاسبه بجهت آسانی کارصرف نظر نمیکردیم برای دریافت شتاب مهتاب زمین راثابت ومهتاب رابگردان متحرك فرض نمودیم درحالیکه مهتاب وزمین هردو

بگرد مرکز ثقل شان که ازمرکزز مین تقریباً 4827Km فاصله دارد دوران می کنند.)

نیوتن نظریات خویش رابالای مدارهای سیارات بگردآفتاب نیزامتحان نمود تااینکه بالاخره قانون عمومی جاذبه‌را طور ذیل بیان کرد:

هرذرهٔای ازماده در کائنات هریك ازذرات دیگررا باقوهٔای که مستقیماً متناسب به حاصل ضرب کتله های ذرات مذکور ومعکوساً متناسب به مربع فاصله بین شان میباشد جذب میکند.

افادهٔ الجبری عبارت فوق را بطور خلص میتوانیم طور ذیل بنویسیم:

$$F=Gm_1m_2/d^2$$

درعصر نیوتن امکانات دریافت ثابت تناسب (G) ممکن نبود زیراقوه‌ای جاذبه بین ذراتیکه میتواند در لابراتوار در دسترس باشدواقعاً خیلی کوچك است. یك قرن بعد از نیوتن هنری کوندش (Henry Cavendish) به کمك ترازوی مخصوصی توانست مقدار G راتوسط محاسبه قوه جاذبه بین کتله های معلوم دریافت نماید. درسنجش های دقیق تری بعدی مقدار ذیل را برای G یافته اند.

$$G=6.67\times10^{-8}$$

معنی آن درسیستم CGS اینست که قوه جاذبه بین دو کتلهٔ یك گرامه که فاصله بین شان یك سانتی متر باشد مساوی 6.67×10^{-8} dyne میباشد. حال که مقدار G راشناختیم کتله زمین رابه‌سهولت تعین کرده میتوانیم.

قوه جاذبه بین زمین وکتلهٔ 1gm که ازمرکز زمین بفاصله شعاع زمین یا 6.37×108Cm واقع است مساوی 980dyne بو ده که اگر آن را در معادله بالا عوض کنیم می یابیم :

$$980 = \frac{6,67\times10^{-8}\times1\times m_e}{(6,37\times108)2}$$

یا

$$m_e = \frac{980\times(6,37\times108)2}{6,67\times10^{-8}}$$

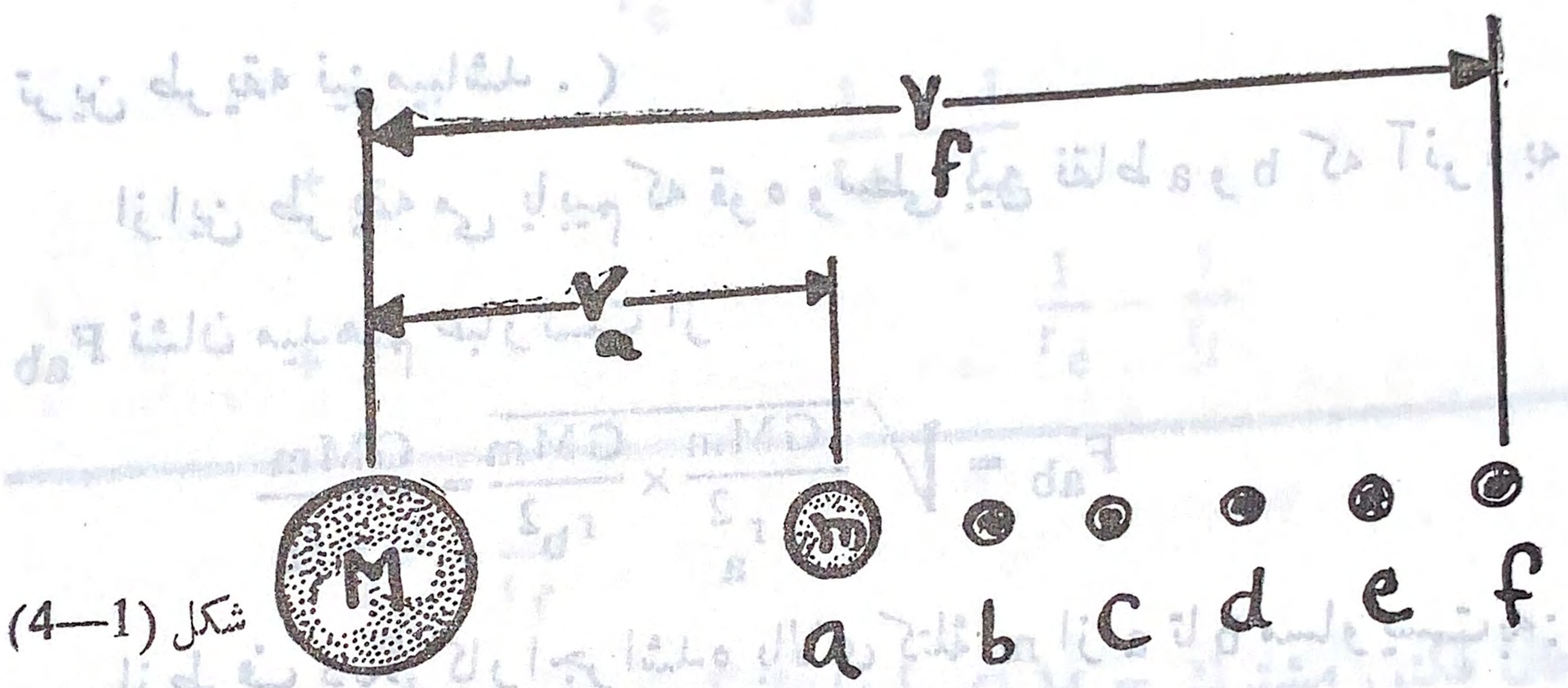
یا

$$= 5,97\times1027\text{gm}$$

(2-4) پوتانشیل جاذبوی : انرژی حرکی مهتاب ویا کدام قمر مصنوعی را که بیک سرعت زیاد گرد زمین می چرخد باسانی میتوان دریافت کرد .بخاطر باید داشت که این اجسام درعین حال دارای انرژی پوتانشیل نیز میباشند . طوریکه قبلاً تذکر دادیم انرژی پوتانشیل جاذبوی یك جسم مساوی به حاصل ضرب وزن جسم در ارتفاعیست که جسم بلند گردیده .چون این ارتفاع تا اندازه ای کوچك است بنابر ان قوه کشش را ثابت فرض کردیم .ولی زمانیکه این فاصله بچندین هزار کیلومتر ازسطح زمین میرسیده قوهٔ جاذبه نیز کمتر گردیده که بایددر نظر گرفته شود .

بطورعموم دوجسم را باکتله های M و m در نظر گرفته ومقدار کاری را که برای دورساختن آنها از یك دیگر درمقابل قوه جاذبه بین شان لازم است حساب میکنیم .

شکل (1-4) کتله های M و m را نشان میدهد . حال میخواهیم مقدار کاری را که برای انتقال کتلهٔ m از a تا f لازم است بکمك تقسیم کردن فاصله فوق بفواصل کوچکتری دیگرو محاسبه مقدار کار برای هریك ازین فواصل کوچك دریافت نمائیم .



شکل (1—4)

قوهٔ جاذبه وقتیکه m در a باشد مساوی است به $\frac{GMm}{r_a^2}$ درحالیکه G ثابت جاذبوی کاوندش است . همچنان قوه جاذبه وقتیکه m در b باشد عبارت از GMm/r_b^2 میباشد . هرگاه اوسط قوه های فوق را که در a و b عمل مینمایند گرفته در فاصله ab ضرب کنیم کاری که برای انتقال کتله m از a تا b ضرورت است بدست می آید. طریقه های مختلف وجود دارد که میتوان بکمك آنها اوسط را دریافت نمود . عمومی ترین آنها جمع کردن دو قوه وتقسیم نمودن آنها بر 2 میباشد ولی ازآنجائیکه استعمال این طریقهٔ سادهٔ ریاضی گاهی محاسبات پیچیده را که منجر بمشکلات بزرگ میگردد ایجاد مینماید بنابران

از اوسط هندسی قوه ها استفاده مینمایند . برای بدست آوردن اوسط هندسی قوه های فوق اولاً دو قوه را باهم ضرب نموده وجذر المربع آنها را حساب میکنیم . (خوشبختانه این طریقه نه تنها باسانی کار میدهد بلکه اصول محاسبه نشان میدهد که درین مورد صحیح ترین طریقه نیز میباشد .)

ازاین طریقه می یابیم که قوه وسطی بین نقاط a و b که آنرا به F_{ab} نشان میدهیم عبارتست از

$$F_{ab} = \sqrt{\frac{GMm}{r_a^2} \times \frac{GMm}{r_b^2}} = \frac{GMm}{r_a \times r_b}$$

ازطرف دیگر کار اجرا شده بالای کتلهٔ m از a تا b مساویست به:

$$W_{ab} = F_{ab} \times (r_b - r_a)$$
$$= \frac{GMm}{r_a \times r_b}(r_b - r_a)$$
$$= GMm\,(1/r_a - 1/r_b)$$

همچنان کار یکه برای انتقال کتله m از نقطه b تا c لازم است عبارتست از:

$$W_{bc} = GMm(1/r_b - 1/r_c)$$

به همین ترتیب الی اخیر تا وقتیکه به نقطهٔ f برسیم:

حال کار مجموعی را میتوانیم از حاصل جمع این کارهای کوچك بدست آوریم . (چون GMm در تمام افاده ها مشترك است بنابران اولاً افاده های داخل قوس ها را جمع ومجموع را بان ضرب میکنیم)

لذا می نویسیم که :

$$\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} + \frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_c} + \frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_d} + \frac{1}{r_d} - \frac{1}{r_e} + \frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_f}$$

$$= \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_f}$$

حال فکتور مشترک G M m را داخل کرده داریم :

$$W_{af} = GMm\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_f}\right)$$

بادر نظر داشت رابطه اخیر میتوانیم مقدار کاریرا که برای انتقال دادن کتلهٔ m که از M بفاصلهٔ r_a واقعست بهر فاصله دیگری r_f لازم است دریافت کنیم . حال اگر ازخود بپرسیم وقتیکه کتلهٔ m بفاصلهٔ بی نهایت انتقال داده شود مقدار کار اجرا شده بالای آن چقدر خواهد بود ؟ممکن برخی از ما که قضاوت عاجل می کنند بگویند که درینصورت کار اجرا شده نیز بی نهایت میباشد . اگر چه این جواب ممکن در ابتدا معقول فکرشود ولی حکم بر غلط بودن آن معقولتر ازانست . چه نظر به قانون عکس مربع فاصله قوهٔ جاذبه هر قدر یکه دو جسم ازهم دور میشوند قوه جاذبه بین شان کوچك شده میرود

طوریکه کوچك شدن قوه نظر به بزرگ گردیدن فاصله زودتر صورت میگیرد . در نتیجه جواب سوال مذکور واضح ومعین است یعنی وقتیکه کتلهٔ m دورشده میرود r_f تزاید کرده بزرگ میگردد وبنابران $\frac{1}{r_f}$ کوچك و کوچکتر میشود .زمانیکه $r_f = \infty$ میگردد (∞ سمبول ایست که ریاضی دانها برای بینهایت وضع نموده اند) $\frac{1}{r_f}$ بشکل $\frac{1}{\infty}$ و یا صفر درمی آید لذا مقدار کاریکه برای انتقال m از a به یك فاصله لایتناهی لازم است ازرابطه ذیل بدست می آید :

$$W_{a\infty} = \frac{GMm}{r_a}$$

(3—4) سرعت گریز : ممکن در بسیاری ازروزنامه‌ها، مجلات وغیره تحت عنوان سرعت گریز معلومات مفصلی تقدیم خوانندگان شده باشد . واقعاً این مسئله بخصوص درین اواخر که انسان بفکر ترك دادن کره زمین ورفتن به فضأ غرض اخذ معلومات بیشتر می اندبشد بصورت زایدالوصفی کسب اهمیت کرده است .سرعت گریز اززمین تقریباً 7mi/sec یا 11.263 Km/sec میباشد که میتواند نظیری سرعت یك مرمی عادی که ازسطح زمین فیر گردیده اززیر تاثیر قوهٔ جاذبهٔ زمین فرار کند تعریف گردد . ازانجائیکه قوهٔ جاذبه زمین (صرف نظر از ینکه درفواصل بزرگ ضعیف می‌شود) تالایتناهی ادامه دارد لذا مقصد ازسرعت گریز یك مرمی ظاهراً همان سرعتیست که مرمی بعد از فیر شدن اززمین براي رسیدن یك فاصلهٔ بی نهایت در فضأ بکار دارد.

از گذشته میدانیم مقدار کاریکه برای انتقال یك جسم از سطح زمین که فاصله آن ازمرکز زمین r_e است بیك فاصله بی نهایت ضرورتست ازرابطه ذیل بدست می آید :

$$W=\frac{GMm}{r_e}$$

هرگاه به یک مرمی این مقدار انرژی حرکی داده شود قبل از ینکه تمام انرژی حرکی آن به انرژی پوتانشیل تبدیل شود مرمی بیک فاصله لایتناهی ازسطح زمین خواهدرسید بعبارهٔ دیگر مرمی سرعت گریز را اززمین داراخواهد بود . مرمی بهرسرعت کمتر ازسرعت گریز بالاخره توقف کرده ودوباره سقوط می نماید .

مشابه بروش گذشته اندازه سرعت گریز را میتوان از رابطه $P_E=K_E$ بدست آورد لذا :

$$\frac{GMm}{r_e}=\frac{1}{2}mv2$$

یا

$$V2=\frac{2GM}{r_e}$$

طبعاً M عبارت از کتله زمین است که مساوی $5,98\times1027$ گرام میباشد. ازبین رفتن m نشان میدهد که سرعت گریزبرای تمام اجسام خورد وبزرگ چه برای مالیکول های اتموسفیربالائی، چه برای سفینه های فضائی یکسان میباشد . طوریکه قبلاً دیدیم شعاع زمین (r) مساوی $6,37\times10^8Cm$ وضریب ثابت کونـدش (G) درسیستم CGS مساوی $6.67\times10-8$ میباشد که اگردر رابطه اخیر گذاشته شودمی یابیم که :

$$V2 = \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-8} \times 5.98 \times 10^{27}}{6.37 \times 10^{8}} = 12,52 \times 10^{11}$$

$$V = 1,12 \times 10^{6} \text{cm/sec}$$

$$= 11,2 \text{ Km/sec}$$

$$= 11,2 \times 0.6214 = 6,96. \text{mi/sec}$$ و یا

طبعاً اندازه سرعت گریز برای سیارات دیگر بطور عموم از 7mi/sec که برای کرهٔ زمین محاسبه کردیم فرق دارد که باید برای هر کدام بطور جداگانه حساب شود. چه مقدار این سرعت به شعاع و کتله ای هریک از سیارات جداگانه مربوط میباشد.

سرعت یک قمر چه طبعی باشد چه ساخت دست انسان بگرد مدار آن کمتر از سرعت گریز یا سرعت انداختن ان برای رسیدن بیک فاصله بی نهایت فضا میباشد. یک رابطه معین بین سرعت یک قمر روی مدارش و سرعت گریز برای اینکه مدار مربوط را ترک کرده وبه لایتناهی سفر کند وجود دارد. از معلومات گذشته میدانیم قوه ایکه یک قمر را بگرد مدار آن نگهمیدارد مساوی به قوه جاذبه سیاره است که قمر بگرد آن می چرخد. لذا اگر برای یک قمر زمین که کتلهٔ ان m وشعاع مدار ان r باشد قوه های جاذبه و مایل بمرکز را مساوی قرار دهیم میتوان نوشت که:

$$\frac{GMm}{r2} = \frac{mv2}{r}$$

$$Vorb2 = GM/r$$ یا

همچنان یافتیم که سرعت گریز بیک فاصله r از مرکز زمین مساویست به:

$$V2_{esc} = \frac{2GM}{r}$$

از مقایسهٔ دو معادله اخیر میتوان یافت که :

$$V^2esc = 2V^2orb$$

یا

$$Vesc = \sqrt{2}\, Vorb$$

این است سرعت گریز یك قمر در مداری بفاصله r از مرکز زمین که تقریباً 1,414 برابر سرعت دورانی آن بگرد مدار مذکور میباشد

(4-4) مدارها : تاحال محاسبات ما برای مدارهای کاملاً دائروی بود ولی تقریباً بیشتر از 300 سال باینطرف ساینس دانها درك کرده اند که مدارهای سیارات و اقمار بیضوی میباشد . کشف مدار های بیضوی اولاً توسط ریاضی دان و منجم معروف جرمنی بنام جونز کپلر (Johannes Kepler) در اوایل قرن هفدهم کشف گردید . وی این کشف خویش را تحت سه قانون ذیل بیان کرد .

I - هرسیاره باطراف آفتاب روی مدار بیضوی که آفتاب در یکی ازمحراق های آن واقع است می چرخد .

II - سرعت یك سیاره روی مدار آن بگرد آفتاب طوری تغیر می کند که شعاع واصل بین سیاره و افتاب ساحه های مساوی را دراوقات مساوی جاروب می نماید .

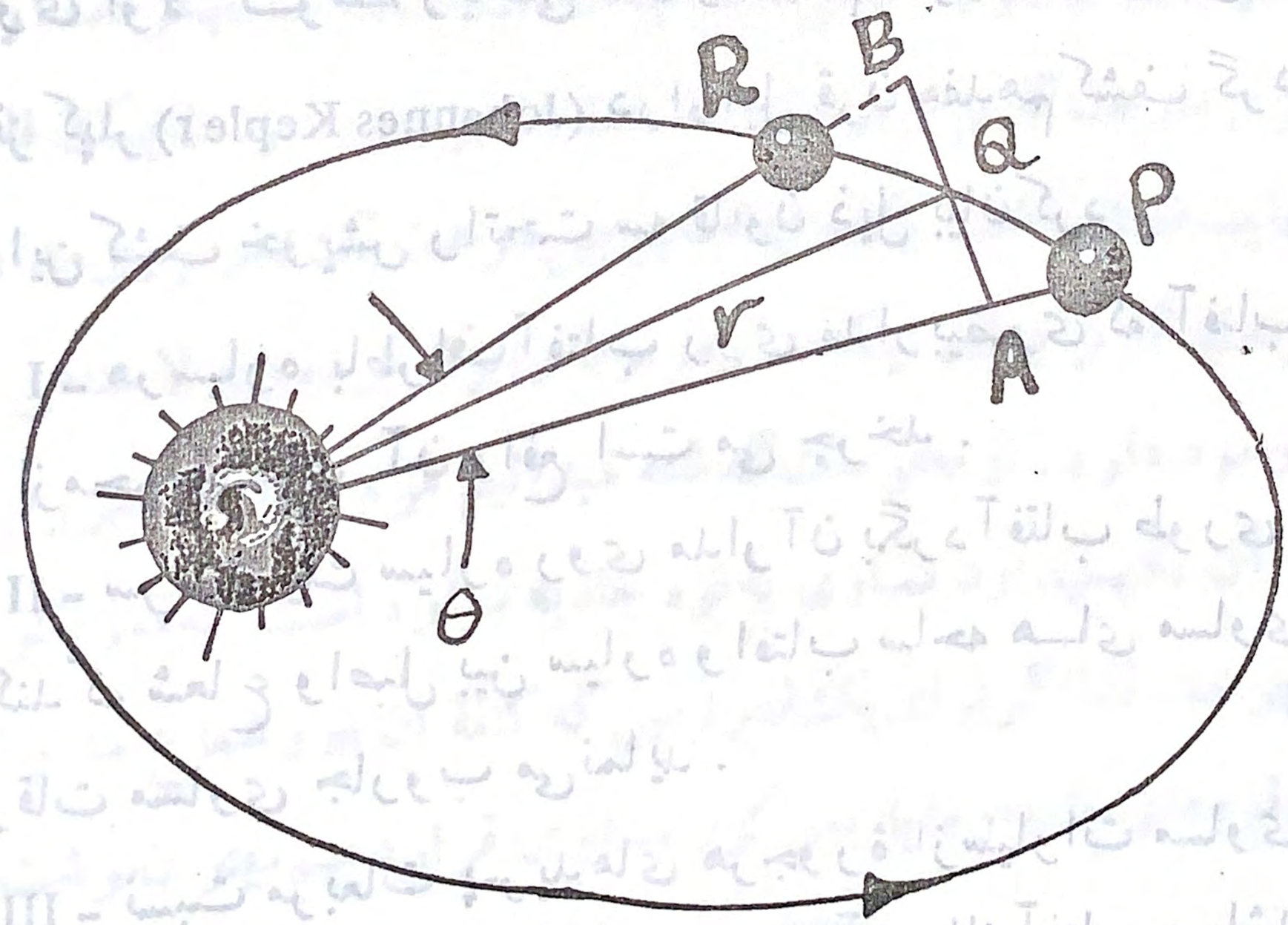
III - نسبت مربعات پریدهای هرجورهٔ ازسیارات مساوی به نسبت طاقت سوم فاصلهٔ وسطی فواصل آن هاازآفتاب میباشد .

افاده الجبری قانون سوم کپلر میتواند طورذیل افاده گردد :

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$$

(پریدیك سیاره زمانیست که سیاره مذکوربرای یك دور کامل بدور آفتاب بکاردارد.)

توسط محاسبه میتواند باثبات برسد که اگرافتاب یك سیاره را مطابق اصل معکوس مربع فاصله قوه جاذبه ای نیوتن جذب نماید مدارسیاره باید بیضوی باشد که افتاب دریکی ازمحراقهای آن واقع میباشد. بعضاً ممکن است مداریك سیاره عملاً دائروی باشد مانند مدارزهره ویا مانند مدارهای ستاره های دنباله دار شکل طولانی بیضوی داشته باشند.



شکل (2-4)

قانون دوم کپلر از اصل بقای مومنتم زاویوی پیروی میکند. شکل (2—4) سیارهٔ ایرا که روی مدارش از نقطه P الی R درطول یك مدت کوتاه ومعین t انتقال نموده است نشان میدهد. شعاع واصل بین

سیاره و آفتاب در خلال این مدت سطح PSR را جاروب نموده است که میتوان مساحت آن را ذریعه ترسیم شعاع SQ در نقطهٔ تنصیف PR و AB عمود بر SQ که مثلث جدیدی ASB را که مساحت آن مساوی به مساحت مثلث PSR است میسازد دریافت کنیم . میدانیم که مساحت مثلث ASB مساوی بست به $\frac{I}{2} r \times AB$ درحالیکه $AB = r\theta$ و θ زاویهٔ است که سیاره تحت آن برای مدت t حرکت نموده است که مقدار آن ωt میباشد . با تعویض این قیمت ها می یابیم که :

$$area = PSR = ASB = \frac{1}{2} r \times AB$$

$$= \frac{1}{2} r \times r\theta$$

$$= \frac{1}{2} r^2 \omega t$$

باتغیر موقعیت هامی یابیم که :

$$area = tx \frac{r^2\omega}{2}$$

صورت و مخرج کسر اخیر را به m ضرب کرده داریم :

$$area = tx \frac{m r^2 \omega}{2m}$$

$$= tx \frac{I\omega}{2m}$$

کمیت $I\omega$ مومنتم زاویوی سیارهٔ مذکور است که به اندازهٔ قوهٔ جاذبه بین آفتاب و سیاره که بامتداد مستقیم بین شان عمل می نماید

مربوط نبوده و همیشه ثابت باقی می‌ماند. قانون بقای مومنتم زاویوی بیان میدارد که مومنتم زاویوی یك سیستم ثابت باقیماند مگر اینکه کدام قوهٔ خارج ازسیستم بالای آن عمل نماید. شعاع r میتواند دراثنای نزدیك شدن سیاره به آفتاب ویادورشدن ازان کوچك ویابزرگتر گردد لاکن سرعت زاویوی (ω) همیشه طوری تغیر مینماید که میتواند مقدار mr2ω رادرهرموقعیت ثابت نگهدارد.

از آنجائیکه Iω همیشه ثابت وهم کتله سیاره (m) تغیر نمی کند بنابران ازمعادله اخیر گفته می‌توانیم که دراوقات مساوی t سطح راکه شعاع r جاروب می نماید درهرحصه‌ای از مدار بایدمساوی باشد.

قانون سوم کپلر ارتباط خیلی نزدیك به قوانین میخانیك دارد. هرگاه معادله یك قمررا باطراف کتلهٔ M که ازان فیرگردیده وآن راقبلاً دیدیم، برای قمر یکه‌ذریعهٔ‌عدد 1 مشخص گردیده بنویسیم داریم

$$V_1^2 = \frac{GM}{r_1}$$

همچنان سرعت وسطی قمررامیتوانیم ازحاصل تقسیم محیط مداران بر پریدان بدست آوریم :

$$V_1 = \frac{2\pi r_1}{T_1}$$

$$V_1^2 = \frac{4\pi^2 r_1^2}{T_1^2}$$

ازمقایسهٔ دومعادلهٔ بالامیتوانیم بنویسیم :

$$\frac{GM}{r_1} = \frac{4\pi^2 r_1^2}{T_1^2}$$

$$\frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$ یا

بهمین ترتیب برای یك قمر دومی که از عین کتلهٔ (M) منشه گرفته داریم:

$$\frac{T_2^2}{r_2^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

از ین جا می یابیم که :

$$\frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{T_2^2}{r_2^3}$$

یا

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

با استعمال قانون سوم کپلر و آنچه درباره مهتاب آموختیم باسانی میتوانیم پریدهر یك از اقمار دیگری زمین را که خواسته باشیم تعین نمائیم. بطور مثال میخواهیم پریدیك قمر مصنوعی را که نزدیکترین فاصله آن از سطح زمین 3000 mile و دورترین فاصله آن 4200 mile باشد دریافت نمائیم . چون فاصله وسطی قمر مذکور از زمین 3600 mile وشعاع زمین 3960 mile است بنابران فاصله قمر از مرکز زمین 7560 mile = 3960 + 3600 میباشد . از طرف دیگر میدانیم که فاصله مهتاب از مرکز زمین تقریباً 239000 mile و پریدآن 27,3 روز میباشد لذا نظر به قانون سوم کپلر ($\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$) می توان نوشت که :

$$\frac{T2^2_{sat}}{(27,3)^2} = \frac{(7560)^3}{(239000)^3}$$

$$T2_{sat} = \frac{(27.3)^2 \times (7560)^3}{(239000)^3}$$

$$= \frac{(12.73)^2 \times 10^2 \times (7.56)^3 \times 10^9}{(2.39)^3 \times 1015}$$

$$= 236 \times 10^{-4}$$

$$T_{sat} = 0.154 \text{ day}$$

$$= 3.69 \text{ hr}$$

تمرینات

(4-1)1- جوانی به کتلهٔ 80 Kg از دختری بفاصله 0,5m استاده قوه ای جاذبه بین شانرا حساب کنید درحالیکه کتله ای دختر 50 Kg باشد .

2- هرگاه جسمی از سفینه ای فضائی بفاصله 1.92×10^5 Km از مرکز زمین (این فاصله مساوی به نصف فاصلهٔ مهتاب میباشد) رها گردد بکدام شتاب طرف زمین خواهد آمد .

(4-2)3- اعداد 4 و 16 را در نظر گرفته اوسط الجبری و هندسی آنها را مقایسه کنید .

4- (a) برای تغیر مکان کتله یك گرام بفاصله لایتناهی از سطح زمین چقدر کار لازم است . (b) هرگاه انرژی پوتانشیل را در بی نهایت صفر انتخاب کنیم انرژی پوتانیشل جسم مذکور را درسطح زمین دریافت نمائید .

(4-3)5- سرعت گریز ازسطح زمین 11.2 Km/sec میباشد . (a) اگر کتله زمین دوچند وشعاع آن ثابت باقی میماند سرعت گریز ازان

چقدر می بود ؟ (b) هر گاه شعاع زمین دوچند ولی کتلهٔ آن ثابت باقی می ماند سرعت گریز از ان چند می بود ؟

6- سرعت یك قمر مصنوعی را که از سطح زمین 1000 mile فاصله دارد دریافت کنید. (فرض کنید که این فاصله $\frac{1}{4}$ شعاع زمین باشد.)

(4-4)7- عطارد بگرد افتاب روی یك مدار بیضوی می چرخد. هر گاه سرعت سیارهٔ مذکور در نزدیکترین نقطهٔ مدار به آفتاب که مساوی 28.6×10^6mile است 35 mi/sec باشد. سرعت آن را در دورترین فاصله مدار آن از آفتاب که 43.4×10^6mile میباشد دریافت کنید.

8- اگر یك قمر مصنوعی باطراف زمین روی مداری شعاع 119500 mile (نصف شعاع مدار مهتاب بگرد زمین) می چرخید پریدآن بگرد زمین چقدر می بود ؟

فصل پنجم

اهتزازات ارتجاعی

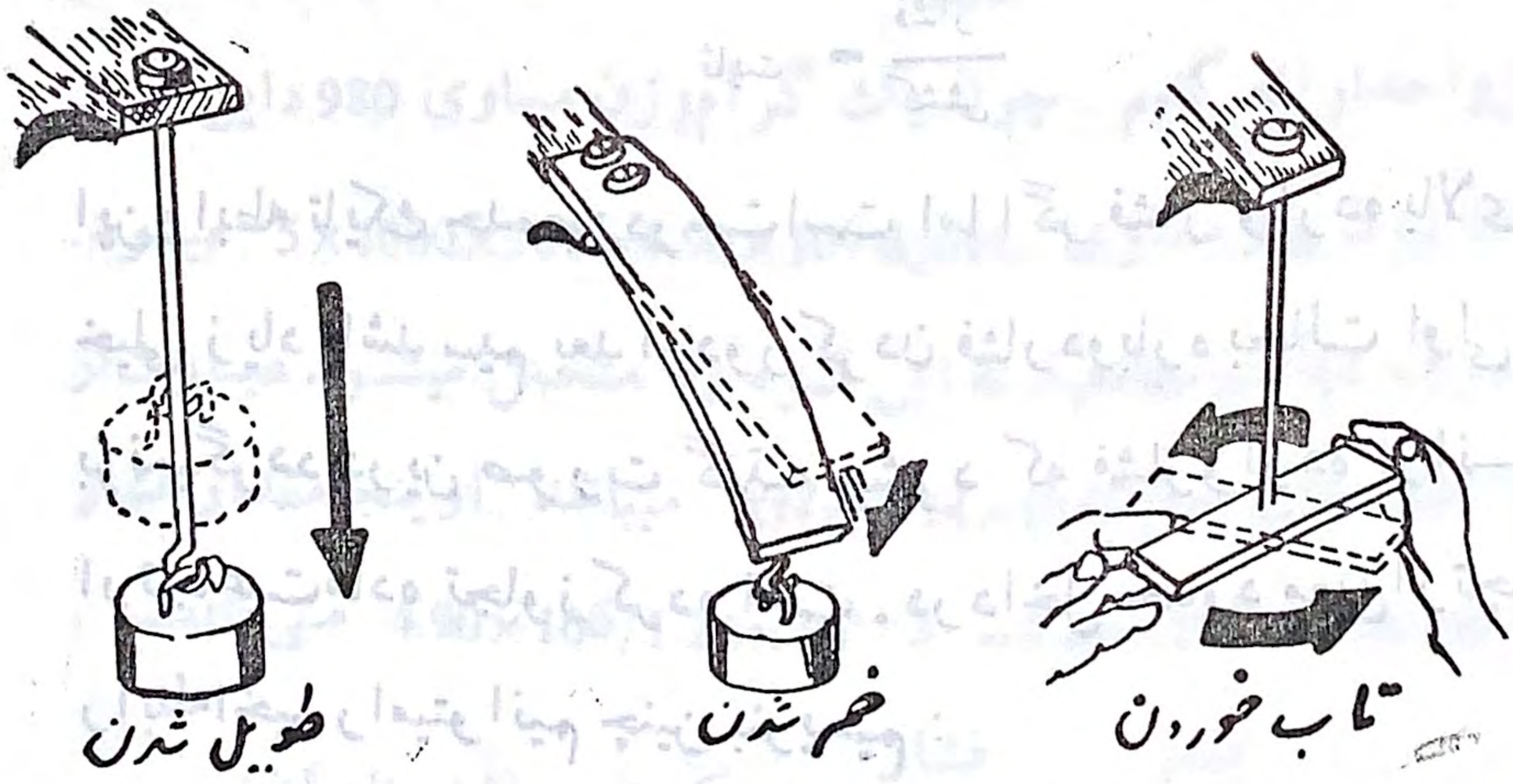
(5-1) مودولس ینگ: جامدات شکل خود را حفظ کرده و وقتیکه توسط کدام قوهٔ خارجی تغیر شکل (تا یك حد معین) میدهند بعد از دور شدن قوه هرچه زود تر بشکل اولی خود برمیگردند. این خاصیت جامدات را ارتجاعیت نامیده و در عمل برای ساختن آلات مختلف بطور مثال انواع متفاوت فنر ها اهمیت بسزای دارد. قانون اساسی درین ساحه قانون ارتجاعیت هوك است که میگوید تغیر شکل یك جسم جامد متناسب به قوه است که بالای آن عمل می کند درصورتیکه قوه عامل از حد معینه تجاوز نکند.

مطالعه قانون هوك کمیتاً اساسی تر خواهد شد اگر اصطلاحات تخنیکی فشار (Stress) و کشش (Strain) را قبل از بررسی قانون مذکور تعریف کنیم. فشار به قوه های داخلی یك ماده که در نتیجه قوه های عامل بران تولید میگردد گفته میشود. هرگاه قوهٔ عامل را به F ومقطع را که بمقابل این قوه مقاومت می کند به A نشان دهیم مقدار

فشاراز رابطه F/A بدست می آید .

یك وزن F داین را که ازانجام یك سیم بطول یك متر و مقطع 2mm2 اویزان شده درنظر میگیریم. از آنجا ئیکه وزن F در تمام طول سیم توسط سطح $2mm^2$ نگهداری می شود فشار در سیم $\frac{F}{2}\ \frac{dynes}{mm^2}$ میبا شد. اگر سیم ضخیمتر می بو د بطور مثال مقطع 4m m2 میداشت درانصورت مواد بیشتری قوهٔ F رامتحمل میگردید بنابران فشاربه $\frac{F}{4}\ \frac{dynes}{mm^2}$ تقلیل می یافت.

کشش عبارت ازاندازه تغیر شکل یك جسم توسط فشا راست . انواع اساسی تغیر شکل طویل (یا کوتاه) شدن ،خم گردیدن و تاب خوردن میباشند شکل (1—5) .حال ساده ترین این تغیرات راکه



عبارت ازطویل شدن یك سیم است مطالعه میکنیم. کشش یك سیم عبارت ازاندازه تزاید فی واحد طول آن در اثر فشار میباشد که افاده

ریاضی آن $\Delta l/l$ است . از آنجائیکه واحدات صورت ومخرج این کسر یك چیزاست بنابران کشش توسط یك عدد مجرد ارائه گردیده واحد ندارد.

هر گاه یك وزن رابانجام سیمی بطول یك متراویزان کنیم سیم مذکور باندازهٔ معین طویل خواهد شد. اگر همین وزن رابانجام عین سیم بطول دومتر بیاویزیم سیم دوبرابر طویلتر میگردد یعنی هر واحد طول سیم تزاید مساوی رامتحمل میگردد. لذادرهردوصورت مقدار کشش درسیم مساوی $\Delta l/l$ بوده و بناً گفته میتوانیم که کشش یك خاصهٔ مهم سیم است که بطول آن ارتباط ندارد .

ازین جاقانون هوك راطور بهتر چنین تعریف مینمائیم : فشار متناسب به کشش است یعنی :

$$\text{ثابت} = \frac{\text{فشار}}{\text{کشش}}$$

این رابطه تایک حدمعین درست است اما اگر فشار وارده بالای سیم خیلی زیاد باشد سیم بعد ازدور کردن فشاردوباره بحالت اولی خود برنمیگردد درین صورت گفته میشود که فشاروارده ازاندازهٔ ارتجاعیت ماده تجاوز کرده است . درداخل حدود معین ارتجاعیت رابطه اخیر رامیتوانیم چنین بنویسیم :

$$\frac{F/A}{\Delta l/l} = y$$

ثابت تناسب y رابنام مودولس ینگ مواد یادمیکنند (ینگ ساینس دان،

انجینر و فیلسوف بزرگ اوائل قرن نوزدهم انگلستان بود).
مودولس ینگ برای عادهٔ معمول از مواد معمولی در ذیل داده شده:

فولاد	2×10^{12} dynes/cm^2	
المونیم	7×10^{11}	"
مس	1×10^{12}	"
چوب	1×10^{11}	"

چون کشش یک عدد مجرد است بنابران واحد مودولس ینگ مانند واحد فشار، قوه فی واحد سطح میباشد.

بطور مثال میخواهیم این مسئله را در مورد سیم مسی بطول 3m و قطر 0.4mm که 5kg وزن از آن آویزان گردیده تطبیق کنیم. چون میدانیم که واحد مودولس ینگ به $\frac{\text{dynes}}{\text{cm}2}$ داده شده بنابران لازم است فشار را به عین واحد ارائه کنیم. چون یک گرام وزن مساوی 980 داین است بنابران وزن 5kg مساوی $5\times1000\times980=4.90\times10^6$ dynes میشود.

از طرف دیگر سطحیکه این قوه را متحمل میشود عبارت از $\pi r^2=3.14\times(0,02)^2=1.26\times10^{-3}$cm2 میباشد از ینجا مقدار فشار را $4.90\times10^6/1.26\times10^{-3}=3.89\times10^9$ dynes/cm^2 می یابیم.

چون $y=\frac{\text{فشار}}{\text{کشش}}$ یا $\frac{\text{فشار}}{y}=$ کشش میباشد بنابران:

$$\text{کشش}=3.89\times10^9/1\times10^{12}=3.89\times10^{-3}$$

ازینجا استنباط شده میتواند که هر توته مس تحت فشار 3.89×10^{9} dynes/cm2 باندازهٔ 3.89×10^{-3} حصهٔ طولش درازتر (یا کوتاتر) خواهد شد. لذا تزاید طول سیم مساویست به :

$$\Delta l = \text{کشش} \times l$$

$$= 3.89\times10^{-3}\times 3$$

$$= 1.17\times10^{-2}\ \text{m}$$

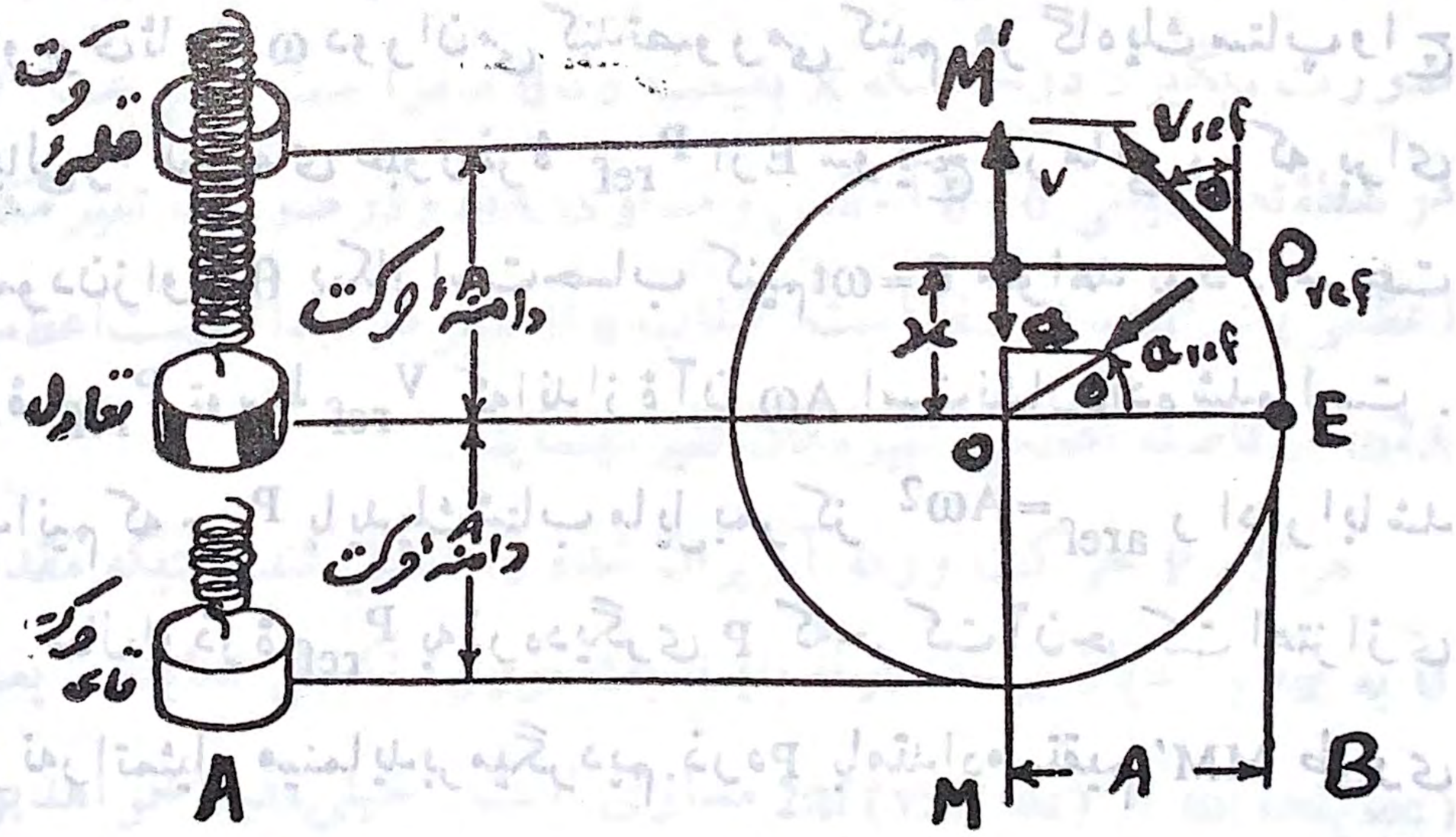
$$= 1.17\ \text{cm} = 11.7\ \text{mm}$$

طویل شدن یا کوتاه گردیدن یك فنر از دانستن جنس و ابعادان باین سادگی نمیتواند حساب شود. زیرا وقتیکه فنر کش میشود فشار اصلی بالای سیمیکه فنر ازان ساخته شده بشکل تاب خوردن وتوام بان قدری خم شدن و یک مقدار کمی کشش خطی بظهور میرسد که بررسی این موضوع کاری بس مشکل است. ولی باوجود این خاطر نشان باید کرد که فنر در داخل حدود ارتجاعیت خویش از قانون هوك پیروی میکند.

(2—5) حرکت‌هارمونیکی ساده : هرگاه یک پارچه آهن یاسرب را از یک رابسر بند ویافنری فلزی که درسقف محکم شده اویزان وتوسط یک تیلهٔ بسیار اهسته انرا باهتزاز وادارسازیم درینصورت خواهیم یافت که پیریدان تقریباً ثابت است. زمان نوسان T یک حرکت مکرر منظم مانند فوق عبارت اززمانیست که برای یک نوسان کامل بالا و پایان شدن بکار است که مساوی به معکوس فرکونسی f یا تعداد نوسانات کامل جسم فی واحد وقت میباشد. یعنی :

$$T\,(\text{sec/vib}) = \frac{1}{f(\text{vib/sec})}$$

اگرفنر از قانون هوك متابعت كند حركت پارچه آهن نمونه از حركت‌هارمونیكی ساده (SHM) است. همچنان نوسانات تختهٔ‌شناور اهتزازات تارهای ویلن نواخته شده ونوسانات رقاصه، نمونه‌های دیگری‌حركت هارمونیكی ساده‌میباشد. حركت هارمونیكی ساده برعلاوه اینكه‌حركات اهتزازی را تشریح می كند در تمام انواع حركت‌های موجی نیزوجود داردلذا لازم دیده میشودتا این نوع حركت‌مخصوص راقدری‌دقیق‌تر مطالعه كنیم.



شكل (2—5)

شكل(A 2-5) یك‌وزنه را كه از یك فنر اویزان گردیده نشان میدهد .موقعیت سكون وزنه بالای‌فنر به‌تعادل نشان‌داده شده است . درینجا كشش فنر بطرف بالا مساوی به‌قوه جاذبه زمین بالای وزنه است . هر گاه‌وزنه‌را تاقاعده‌حركت كش‌ورهاسازیم‌وزنه‌بین قاعده

و قلهٔ حرکت بصورت هارمونیک ساده حرکت خواهد کرد . فاصله‌ای مجموعی حرکت وزنه در اینصورت 2A میباشد (A عبارت از دامنهٔ حرکت یا فاصلهٔ بین نقطه تعادل و هر یك از نقاط قاعده یا قلهٔ حرکت است.)

عجالتاً اهتزاز وزنه را یکطرف گذاشته به‌شکل هندسی (5—2 B) برمیگردیم . بالای مستقیم MM′ که موازی بامتداد حرکت وزنه رسم‌شده نقطهٔ O را با نقطه تعادل وزنه در یك افق انتخاب میکنیم حال در نقطه O بشعاع A یك دائره که دائره ارتباط (Reference circle) نامیده می شود رسم و یك ذرهٔ خیالی P_{ref} را که روی آن به سرعت زاویوی ثابت ω دوران می کند تصور می کنیم. هر گاه یك ستاپ واچ خیالی را لحظه‌ای عبور ذرهٔ P_{ref} از E سویچ و زمانی را که برای پیمودن زاویهٔ θ بکار است حساب کنیم $\theta=\omega t$ خواهد بود . سرعت ذرهٔ P_{ref} توسط V_{ref} که اندازهٔ آن $A\omega$ است نشان داده شده است . میدانیم که P_{ref} با یدیك شتاب مایل بمرکز $a_{ref}=A\omega^2$ را دارا باشد

حال از ذرهٔ P_{ref} به ذره دیگری P که حرکت آن حرکت اهتزازی وزنه را تمثیل مینماید برمیگردیم. ذره P بامتداد مستقیم MM′ طوری اهتزاز مینماید که موقعیت (فاصلهٔ x از مرکز) بسرعت V و شتاب a آن بالترتیب مرتسمات P_{ref} ، V_{ref} و a_{ref} بالای مستقیم مذکور میباشد بعبارت دیگر فاصله x ، سرعت v و شتاب a مرکبات op_{ref} ، V_{ref} و a_{ref} بامتداد مستقیم MM′ اند شکل (5-2 B) بنابران میتوانیم بنویسیم که :

$$X = OP_{ref}.\sin\theta = A\sin\omega t$$

$$V = V_{ref}.\cos\theta = \omega A\cos\omega t$$

$$a = a_{ref}\sin\theta = -\omega^2 A\sin\omega t = -\omega^2 x$$

علامهٔ منفی در معادله اخیر ضروریست زیرا جهت شتاب همیشه مخالف جهت فاصلهٔ تغیر مکان X از نقطهٔ تعادل مرکزی است .

از آنجائیکه Sin از صفر (در $0°$) تایك (در $90°$ یا $\frac{\pi}{2}$ رادیان) و Cos از صفر (در $90°$ یا $\frac{\pi}{2}$ رادیان) تایك (در $0°$) تحول می نمایند . بنابران قیمت اعظمی X مساوی A است که بقیمت $\omega t(=\theta)=90°$ صورت میگیرد درحالیکه X بقیمت $\theta=0$ صفر است . سرعت P در نقطهٔ تعادل یعنی $\theta=0$ اعظمی و مساوی ωA و درصورت تغیر مکان اعظمی یعنی $\theta=90°$ صفر است . شتاب a ازصفر در مبدا تاقیمت اعظمی $\omega^2 A$ در فاصله اعظمی تغیر مکان تغیر مینماید .

هرگاه P حرکت وزنهٔ آویزان شده را تمثیل کند وقتیکه مقدار θ به 2π رادیان برسد وزنه باید یك دور را تکمیل نماید . یعنی $\omega(\text{rad/sec})$ با $2\pi f(\text{vib/sec})$ مساوی است . خیلی مفید خواهد بود اگر معادلات فوق را عوض ω برحسب f بنویسیم :

$$x = A\ \text{Sin}\ 2\pi ft$$

$$V = 2\pi f\ A\ \text{Cos}\ 2\pi ft$$

$$a = -4\pi^2 f^2 A\ \text{Sin}\ 2\pi ft = -4\pi^2 f^2 x$$

معادلات اخیر ما را فرصت میدهد تا هندسه را با مشخصات

حقیقی فزیکی فنرو وزنه ارتباط دهیم. با در نظر داشت $F=ma$ و حذف اشارهٔ منفی داریم که :

$$F= 4\pi^2 f^2 x m$$
$$F/x=4\pi^2 f^2 m$$

چون $f=\frac{I}{T}$ است بنا بران نوشته کرده میتوانیم :

$$F/x=4\pi^2 m/T^2$$

از ینجا می یابیم که :

$$T^2=4\pi^2 m/F/x$$
$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{F/x}}$$

افاده F/x مقدار قوه فی واحد تغیر طول فنر است که میخواهد کتلهٔ m را هنگام دورشدن از محل تعادلش ازهردوطرف دوباره بان محل برگرداند . اگر فنر از قانون هوك پیروی کند (عموماً اگر زیاد تغیر نکرده باشد می کند) F/x برای تمام اندازه های تغیر آن یکسان بوده و معمولاً بنام ثابت قوه فنرویا بطور خلص ثابت فنر یاد میگردد .

معادله اخیر بنا برعدم موجودیت دامنه‌ای A و تعجیل جاذبهٔ g دران خیلی مهم است . این معادله میرساند که فرکونسی اهتز ازیک وزن تنها به کتلهٔ آن و ثابت فنر مربوط بوده برای دامنه های بزرگ وکوچك درزمین ومهتاب یکسان میباشند .

منحیث یك حرکت هارمونیکی ساده مرغی را که بالای یك خمچهٔ استوانه ای درختی اهتزاز مینماید در نظر میگیریم . اگرمرغ 6 رفت وآمد بالاوپائین را در 4 ثانیه تکمیل کند و بعد از پریدن

مرغ خمچه با آویختن یك کیلو گرام وزن 12 cm خم شود در ینصورت میخواهیم کتلهٔ مرغ را دریافت کنیم .

چون 1000 گرام وزن خمچه را 12 سانتی متر خم ساخته بنابران ثابت خمچه مساویست به :

$$1000 \times 980/12 = 8.17 \times 10^4 \text{ dynes/cm}$$

همچنان فرکونسی f مساویست به :

$$f = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ vib/sec}$$

این قیمت ها را درمعادله $F/x = 4\pi^2 f^2 m$ گذاشته داریم :

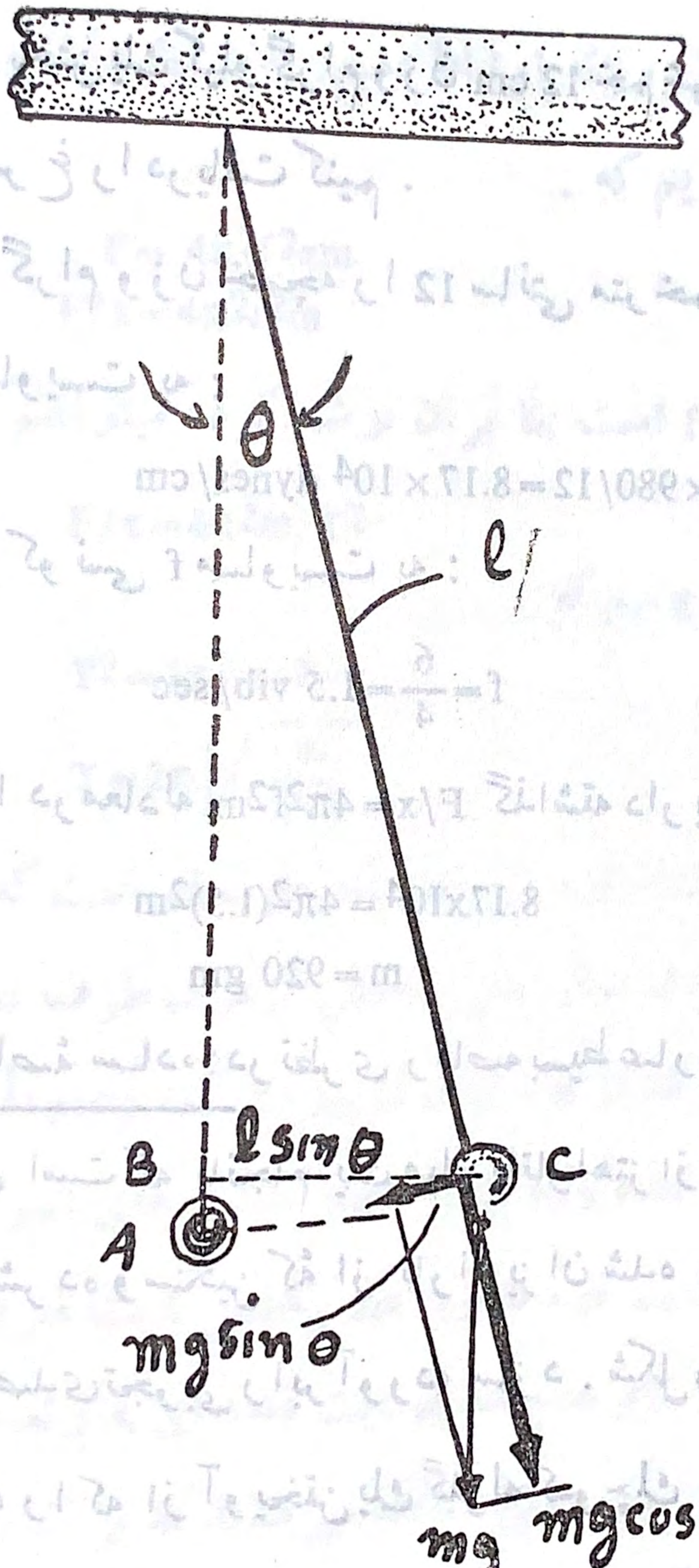
از ینجا :

$$8.17 \times 10^4 = 4\pi^2 (1.5)^2 m$$

$$m = 920 \text{ gm}$$

(5-3) رقاصهٔ ساده: درنظری رقاصه بسیط عبارت از یك جسم سنگینی نقطوی است که بانجام یك میله یاتاراهتز از کند . ولی در عمل توتهٔ فلز فشرده وسنگین کهٔ از تاراویزان شده باشد میتوانند ضروریات مقاصدی تجربی را برآورده سازد . شکل (5-3) دیاگرام یك رقاصه ساده را که از آویختن یك گلوله کوچك به کتلهٔ m از انجام تاری بطول l ساخته شده نشان میدهد .

طوریکه دردیاگرام دیده میشودرقاصه باندازهٔ زاویه θ ازحال تعادلش منحرف گردیده است. وزن گلوله را میتوانیم بدومرکبه یکی $mg\cos\theta$ که مخالف کشش تار عمل نموده ودر حرکت گلوله تأثیری ندارد ودیگری مرکبه $mg\sin\theta$ که باتارزاویهٔ قایمه ساخته و



شکل (3—5)

گلوله را به حرکت سوی محل تعادلش وادار میسازد تجزیه کنیم .

فاصله تغیر مکان افقی گلوله از محال تعادلش lsinθ و مقدار F/X آن

میباشد mg sinθ / lsinθ = mg/l چون کمیات g,m و l ثابت اند لذا

مقدار mg /2 ثابت بوده و بنابران قوۀ باز گشت F متناسب به فاصله

تغیر مکان گلوله که حرکت هارمونیکی ساده دارد میباشد . (قبلاً فاصله تغیر مکان X را مساوی $l\sin\theta$ حساب کردیم که افقی است و دیدیم که قوه بازگشت F بالای تار عمود است یعنی نه کاملاً افقی است و نه کاملاً موازی به X . بنابران حرکت رقاصه نیز کاملاً SHM نمیباشد ولی اگر زاویه θ کوچك باشد این تفاوت قابل صرف نظر است .)

از ین معلومات استفاده کرده معادلهٔ پریود رقاصه را بدست می آوریم . چون $f=\frac{1}{T}$ است لذا میتوانیم بنویسیم که:

$$F/X=4\pi^2 m/T^2$$

از ینجا :

$$mg/l=4\pi m/T^2$$

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

این فورمول نظیری فورمول پریودیك کتله نوسانی بالای فنر بوده ودر بسیاری چیز ها بان قابل مقایسه است . دامنهٔ اهتزاز در هیچکدام ازین دومعادله دخیل نیست. درمعادلهٔ رقاصه کتله رقاصه وجود ندارد اگر کتلهٔ رقاصه بزرگ می بود عطالت وقوه جاذبه بران هردو بعین اندازه تزاید میکرد و بنابران حرکت آن تغیر نمی خورد . شتاب جاذبوی که درفورمول کتله نوسان کننده حذف شده بود درفورمول رقاصه طوریکه باید توقع داشته باشیم وجود دارد. چون قوهٔ بازگشت رقاصه توسط کشش جاذبوی فراهم میگردد بنابران هر تغیر درمقدار g بالای رقاصه تاثیری معادلی که یك فنر با ثابت های فنری متفاوت

بالای یك كتلهٔ نوسانی دارد خواهد داشت. یك رقاصه درمهتاب پرید طو یلتر و فر کونسی کمتر خواهد داشت زیرا مقدار g درمهتاب کمتر است برای محاسبه تغیرات کوچك g در نقاط مختلف زمین ازرقاصه های مخصوص استفاده مینمایند.

(4—5) حرکت هارمونیکی سادهٔ دورانی: مفکوره حرکت هارمونیکی میتواند بسهولت ادامه یابد تاحرکت دورانی را احتوانماید. معادلهٔ ذیل را برای حرکت انتقالی قبلاً یافتیم:

$$F/X = 4\pi^2 f^2 m$$

نظیری این معادله برای حرکت دورانی میتوانیم بنویسیم:

$$\tau/\theta = 4\pi^2 f^2 I$$

یا:

$$\tau/\theta = 4\pi^2 I/T^2$$

درحالیکه τ ترك عامل، θ اندازه تاب خوردگی که توسط τ تولید میگردد و به رادیان اندازه میشود.

I مومنت عطالت باطراف محور تاب است. ازرابطهٔ اخیر میتوانیم بنویسیم که:

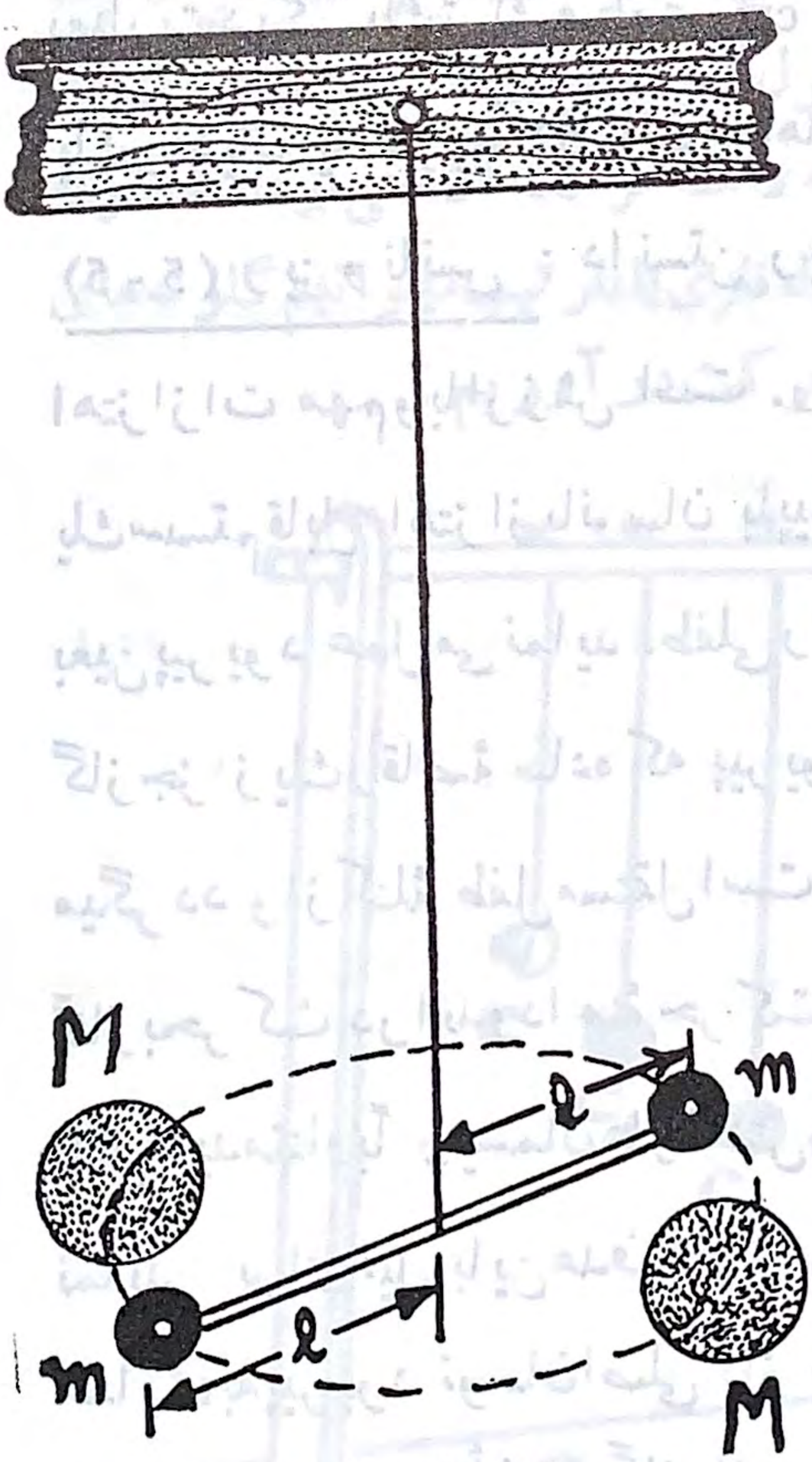
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I\theta}{\tau}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\tau/\theta}}$$

شکل (4—5) چنین یك آله (رقاصه تاب) رانشان میدهد که ازیك میله افقی سبك که ازمرکزش توسط یك سیم یارشته کوارتز آویزان گردیده و بهریك ازانجامهای آن گلوله‌های به کتله m وصل است ساخته شده است. وقتیکه میله ازوضع تعادلش دوران مینماید تاب

تاریك ترك بازگشت را متناسب به تغیر مکان زاویوی تولید کرده و بنابران میله با یك حرکت هارمونیکی سادهٔ دورانی به پس و پیش حرکت می کند. تقریباً تمام ساعت های دستی و برخی از ساعت های دیواری ذریعه همین نوع رقاصه کار می کند.

رقاصهٔ تاب برای تعین ثابت جاذبوی G نیز بکار میرود. شکل (4—5) دو کتله بزرگ M را نزدیك به گلوله های رقاصه که با آنها در یك مستوی افقی قرار دارند نشان میدهد. عمل قوهٔ جاذبه بین کتله های M و m رقاصه را از حالت تعادلش بیك زاویه کوچك تاب میدهد که بصورت درست اندازه شده میتواند. لذا وقتیکه سختی رشته ای تعلیق (τ/θ) معلوم باشد ترك انحراف و بنابران قوهٔ جاذبه بین M و m حساب شده میتواند.

برای تعین سختی رشته ای تعلیق کتلهٔ های M را دور ساخته پیریود رقاصهٔ تاب را بعد از اهتزاز آن در اثر تاب دادن بسیار خفیف اندازه می نمایند.



شکل (4—5)

بطور مثال اگر رقاصهٔ از دو گلوله به کتله های ده گرام که بدو انجام یك میله سبك بطول 20 سانتی متر محکم گردیده و پیریود 20 دقیقه دارد ساخته شده باشد سختی رشته را میتوانیم طور ذیل حساب کنیم.

$$I=2ml^2=2\times10\times10^2=2000\ gm—cm^2$$

(از کتله میله صرف نظر شده)

همچنان $T=20\times60=1200\ sec$

بنابران $T/\theta=4\pi^2\times12000/(200)^2=0.0548\ \frac{dynes—cm}{rad}$

بعبارت دیگر یك ترك مساوی 0.0548 dynes — cm رقاصه را باندازه یك رادیان یا تقریباً 57° تاب میدهد.

(5 - 5) ریزونانس : دانستن ریزونانس در مطالعهٔ تمام انواع اهتزازات مهم و باارزش است. ریزونانس عبارت از پاسخ خاص یك سیستم قابل اهتزاز یا نوسان با پیریود معین بیك قوهٔ خارجی است که بعین پیریود عمل می نماید. طفلی را در یك گاز در نظر میگیریم. طبعاً گاز جز از یك رقاصهٔ ساده که پیریود آن ذریعهٔ طول ریسمان ها تعین میگردد و از کتلهٔ طفل مستقل است چیزی دیگری نیست. برای اینکه گاز بحرکت درایدو دامنهٔ حرکت آن بزرگ و بزرگتر شده برود طفل باید متناوباً ریسمان ها را کش و همزمان بان پاهای خویش را دراز نماید. برای نیل باین هدف لازم است تا این کوشش عضلوی در پیریود مساوی به پیریود نوسان اصلی گاز صورت بگیرد. درغیر آن هرگونه تلاش در زمینه بی تأثیر و گاز از حرکت باز می ماند.

عملیهٔ فوق میتوانند توسط تجربه شکل (5-5) نمایش داده شود. یك میلهٔ فلزی افقی A در سوراخ های چوکات B آزاد گذاشته شده و از آن یك تعداد گلوله های چوبی سبك C_1، C_2، C_3 وغیره از تار های بطول مختلف اویزان گردیده است یك گلولهٔ سنگین دیگری D نیز از انجام میلهٔ A طوری اویزان شده که طول تار ان تغیر پذیر است. هر گاه طول تار این گلوله را بطول تاریکی از گلوله های دیگر مثلاً گلوله سوم مساوی ساخته آنرا در مستوی عمود به میلهٔ A باهتز ازدر آوریم برخی از انرژی این گلوله بشکل تکان های خفیف از راه میله به گلوله های چوبی داخل چوکات انتشار می نماید. اگرچه تمام گلوله های دیگر آهسته حرکت می نمایند ولی گلوله سوم که طولش مساوی بطول گلوله فلزی است شروع به تکان زیاد و زیادتر خواهد کرد تا اینکه دامنهٔ حرکت آن حتی از دامنهٔ گلوله فلزی بزرگتر گردد. با تغیر طول گلوله فلزی بالترتیب میتوانیم گلوله های دیگری آویخته داخل چوکات را بحرکت در آوریم.

شکل (5_5)

از اصل ریزونانس درساختن آلهٔ بنام سرعت سنج (Tachometer) استفاده مینمایند . این آله برای اندازهٔ سرعت دورانی موتورهای مختلف بکاربرده میشود. آله مذکور از یك تعداد پتره های فولادی که بالای یك میله نصب گردیده ساخته است. وقتیکه این آله بارتباط یك موتور فعال گذاشته شود اهتزازات خفیفی را که از دوران محور موتور تولید میگردد اخذ مینماید. پیریود دوران موتور به پیریود اهتزاز یکی از پتره های آله مطابقت نموده و بنابران پترهٔ مذکور یك دامنهٔ قابل ملاحظه باهتزاز آمده درحالیکه پتره های دیگر تقریباً ساکن باقی میمانند. باین ترتیب فوراً تعداد دورهای موتور را فی دقیقه ازروی اعداد خطکشیکه بامتداد قطار پتره ها وجود دارد حساب میکنند.

تمرینات

(5-1) 1 — یك وزن 8000 lb بالای یك ستون 4in.x4in عمل می کند فشاری را که در ستون ایجاد می شود در یافت کنید.

2 — یك وزن 0.8Kg از سیمی بقطر 0.01cm آویزان شده فشار بالای سیم را به dynes/cm2 حساب کنید .

(5-2) 3 — یك جسم با فرکونسی 2000cycles/sec اهتزاز می کنند پیریودان را معلوم کنید.

4 — کتلهٔ شکل (2—5) در SHM در 4 ثانیه 10 دور میزند (a) فرکونسی آن را دریابید.

(b) پیریودان راحساب کنید.

(c) سرعت زاویه‌ی نقطه مشابه به Pref رابدورفمی ثانیه دریافت نمائید.

(d) فرکونسی آنرابرادیان فی ثانیه معلوم کنید.

(5-3) (5)— طول رقاصهٔ ساده راکه پیریودان 2 ثانیه است دریافت کنید.

6 — رقاصهٔ سوال پنجم چقدر وقت راخواهد گرفت تازمان یك ساعت را درمهتاب جائیکه g=163cm/sec2 است حساب نمائید.

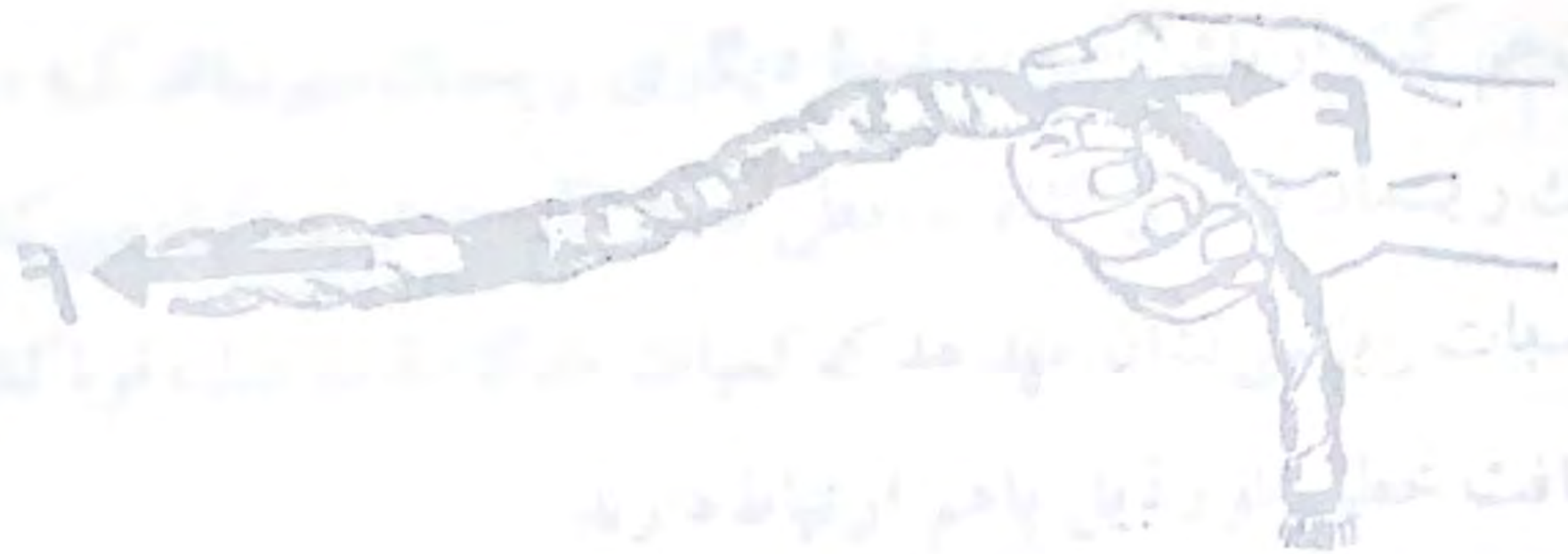
(5-4) 7 — اگر کتله ای هریك ازگلوله‌های بزرگ شکل (4—5) درمبحث مربوطه 25Kg وفاصلهٔ بین هرجوره از گلوله های خورد و بزرگ 15cm می‌بود زاویه‌ای انحراف رقاصه تاب چقدرمی‌شد.

8 — یك رقاصه تاب که سرعت یك نوع ساعت را تنظیم می کند دارای مومنت عطالت 3000gm-cm2 و پیریود 30sec میباشد. چه اندازه ترك لازم است تاآنرابزاویه 30° دوردهد.

(5-5) 9 — یك ماشین بوزن 3200lb بالای چهار فنر نصب شده طوریکه هرفنرچهارم حصهٔ وزن آن رامتحمل می شود. هرگاه ثابت هریك از فنرها 2050lb/in باشد مشوره داده

میتوانید که ماشین بسرعت 300rev/min بکار انداخته شود چرا؟

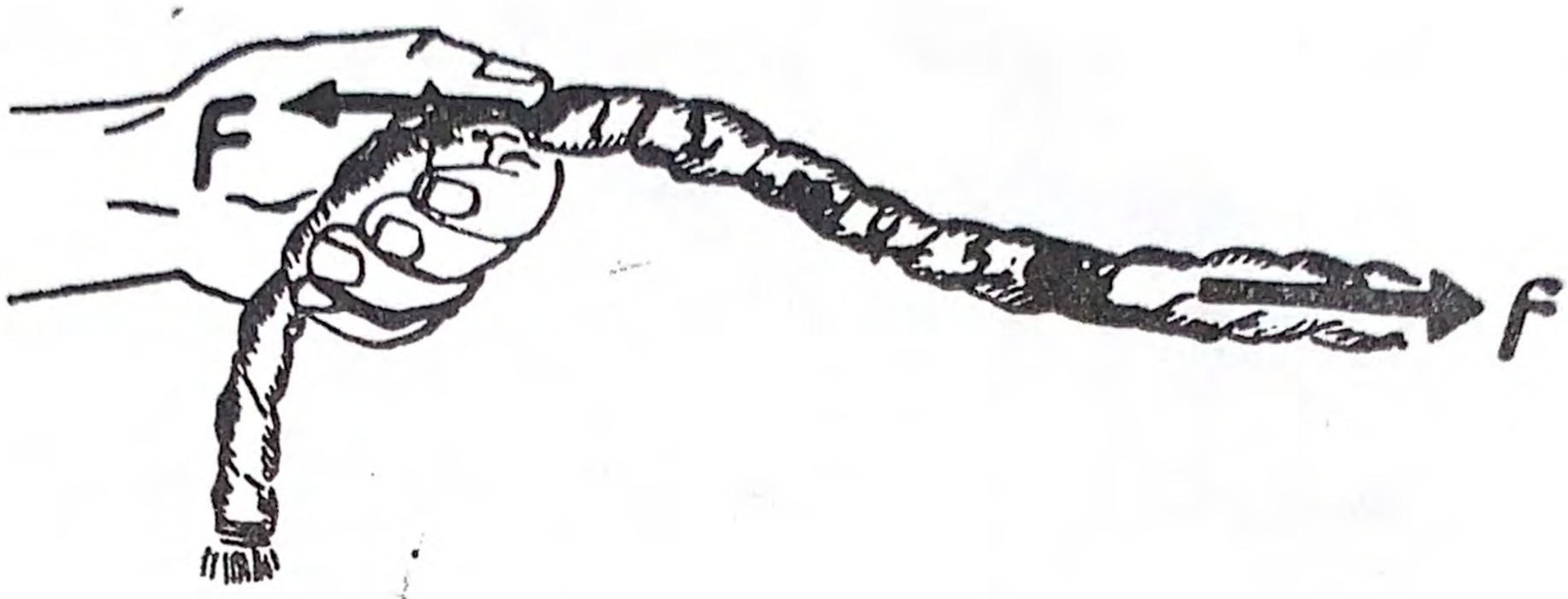
10 – یك ثبت کننده بوزن 12Kg بالای سه عدد فنر نصب شده تا آنرا از اهتزاز و جنبش محفوظ نگهدارد و وقتیکه آله نصب میگردد هر فنر باندازهٔ 15.5 ملی متر کوتاه می گردد آیامیتوانیم این ثبت کننده را بالای ماشین که بسرعت 240 rev/min دوران مینماید نصب کنیم؟ توضیح کنید.



فصل ششم

امواج

(1—6) نبض های موج : ساده ترین موجی را که ما تصور کرده میتوانیم ممکن اخلال و یا نبض باشد که از تکان انی یک ریسمان ذریعهٔ دست تولید و بطرف انجام محکم آن به مانع حرکت می کند. به کمك یك ستاپ واچ بسهولت میتوانیم زمانیرا که برای رسیدن موجی الی انجام اخیر ریسمان بکار است دریافت و بنا بران سرعت موج را حساب کنیم . همچنان باسانی درك خواهیم کرد که موج در یك ریسمان با کثافت خطی بیشتر (کثافت خطی عبارت از کتله فی واحد طول است) نظر به ریسمان دارای کثافت خطی کمتر که بعین قوهٔ کشش تکان داده شده باشد آهسته ترحرکت می کند . بررسی بیشتر نشان خواهد داد که سرعت موج به تکان سریع و آهسته دست ویا تغیر مکان زیادو کم آن مربوط نبوده بلکه این عوامل بالای شکل وجسامت آن تاثیرمی اندازد .



شکل (1-6)

مطالعه شکل (1—6) علت این را که چرا سرعت موج مربوط کشش F ریسمان و کثافت خطی m_1 انست واضح می‌سازد. ناحیه 1 ریسمان بی اختیار تحت تاثیر قوهٔ دست دفعتاً بالا و پائین حرکت می کند. دررسم ناحیه 1 در قلهٔ تکان موقعیت داشته ودر حال تقریباً بازگشت است. درین موقع ناحیه 2 عملیه را تعقیب- مینماید. هرقدریکه قوه کشش F بزرگتر باشد بهمان تناسب شباهت بشتری بین حرکات این دوناحیه وجود دارد. درحالیکه ناحیه 1 شروع به پائین آمدن می کند انرژی حرکی ناحیهٔ 2 باعث صعودان بفاصله اعظمی ناحیهٔ 1 که قبل از تغیر جهت بطرف پائین داشت میگردد. بعین پرنسیب ناحیهٔ 3 ناحیهٔ 2 را تعقیب کرده وبهمین ترتیب الی اخیر هرناحیه حرکت مشابه بحرکت ناحیه قبلی را با یك تاخیرزمان متناسب به قوهٔ کشش تعقیب مینماید. بنابران قوهٔ کشش بیشتر انتشار سریعتری موج را باعث میگردد. همچنان واضح واشکاراست که اگر کتله ناحیهٔ 2 تزاید کند کشش در ناحیهٔ 1 برای وقت زیادتری باید عمل نماید تابرای ناحیهٔ 2 عین سرعت بدهد. این تاخیر بیشتر

زمان حرکت از یك ناحیه به ناحیهٔ دیگری ریسمان میرساند که موج در یك ریسمان دارای کثافت خطی بیشتر آهسته ترحرکت می کند. محاسبات ریاضی نشان میدهد که کمیات سه گانهٔ سرعت، قوهٔ کشش و کثافت خطی طورذیل باهم ارتباط دارند :

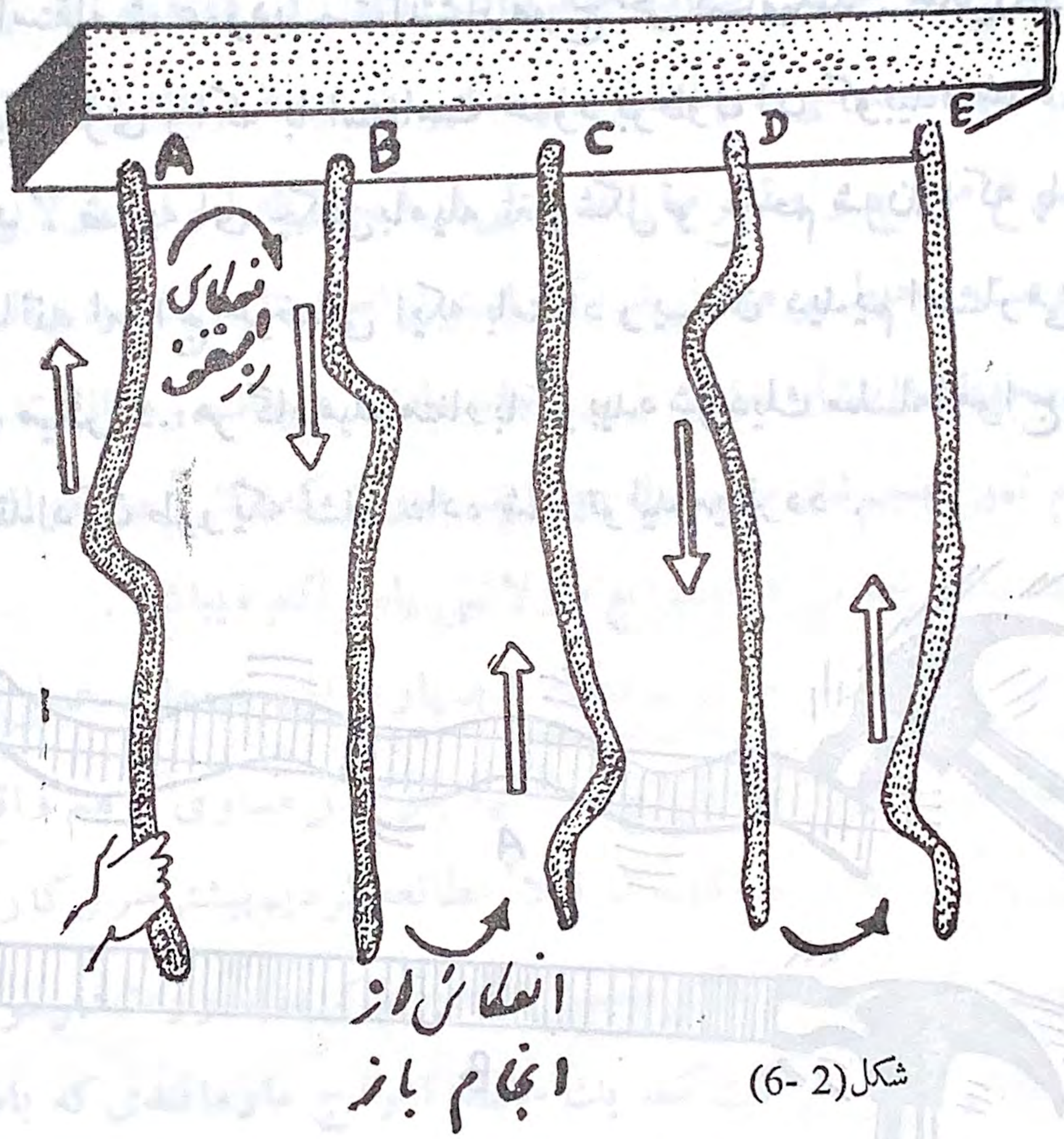
$$V = \sqrt{F/ml}$$

فورمول اخیر برای امواج جانبی (Sideways Waves) نوعیکه تا حال شرح کردیم وبامتداد یك سیم یك تیوب رابری، یك فنرمارپیچ طویل ، زنجیر ، تار ویاهر انتقال دهندهٔ دیگری یك بعدی نسبتاً نرم حرکت می کند قابل تطبیق است . ولی برای میله‌های سخت، تخته های ضخیم چوب واجسام مشابه باین‌ها که قوه برگشت بحالت اولی درآنها بیشتر به اندازه سختی محیط مربوط است نه به مقاومت خالص آن درمقابل فشارطوریکه درمثال ریسمان دیدیم کار نمیدهد .

(2—6) انعکاسات موج : تاحال درباره اینکه بالای یك موج یا نبض چه واقع میشود فکر نکرده تنها انرا تولید حوادث را که بران رخ میدهد نادیده گرفتیم . بالای یك موج بصورت عموم دوحادثه رخ میدهد . یکی اگر ریسمان باندازه کافی طویل باشد انرژی نبض ممکن بتدریج توسط اصطکاك هوا ورشته های داخل ریسمان که مقابل هم عمل مینماید کاسته شده برود تابالاخره دامنه به صفر تقلیل یافته واخلال در ریسمان معدوم گردد . دیگر اینکه اکثراً یك موج کاملاً ویابرخی ازان به نسبت عدم ادامه ریسمان منعکس میگردد .

چنین گسیختگی را میتوان از پیوند یک تو ته ریسمان به کثافت خطی زیادتر و یا کمتر به ریسمان اولی خویش بدست آورد. ولی طوریکه درفزیک اکثراً چنین است باید بکوشیم تا چیزی را که در اثر ایجاد این موانع رخ میدهد تا جائیکه ممکن است دیده بتوانیم. لذا این عمل را با اویختن یک تو ته ریسمان از یک جسم سخت در یک سقف بلند انجام میدهیم، انجام فوقانی ریسمان بیک جسم سنگین که هنگام وسیدن موج بان هرگز حرکت نمی کند محکم شده حالانکه انجام تحتانی ان ازادو به هیچ چیزی ارتباط ندارد. شکل (2A — 6) چنین یک ریسمان را که در ان موج بطرف بالا در حرکت است نشان میدهد. موج یا نبض از حرکت اهستهٔ دست تجربه کننده بطرف چپ و پس اوردن سریع ان تولید گردیده است. لذا موج با یک دامنه خورد شروع و با دامنهٔ بزرگتری ختم می‌شود. چون حصهٔ پیشقدم موج با دامنهٔ خورد پیشتر بسقف برخورد مینماید لذا زودتر انعکاس می کند. بنابران موج بعین شکلیکه به سقف میرسد به پهلوی دیگری ریسمان منعکس میگردد شکل (2B — 6). از انجائیکه سمت انتشار موج بعد از انعکاس تغیر مینماید سمت تغیر مکان ذرات ریسمان نیز تغیر می خورد.

انعکاس از انجام ازاد پائین ریسمان فرق دارد باوجودیکه سمت انتشار موج تغیر میخورد موج بعین پهلوی ریسمان باقی میماند شکل



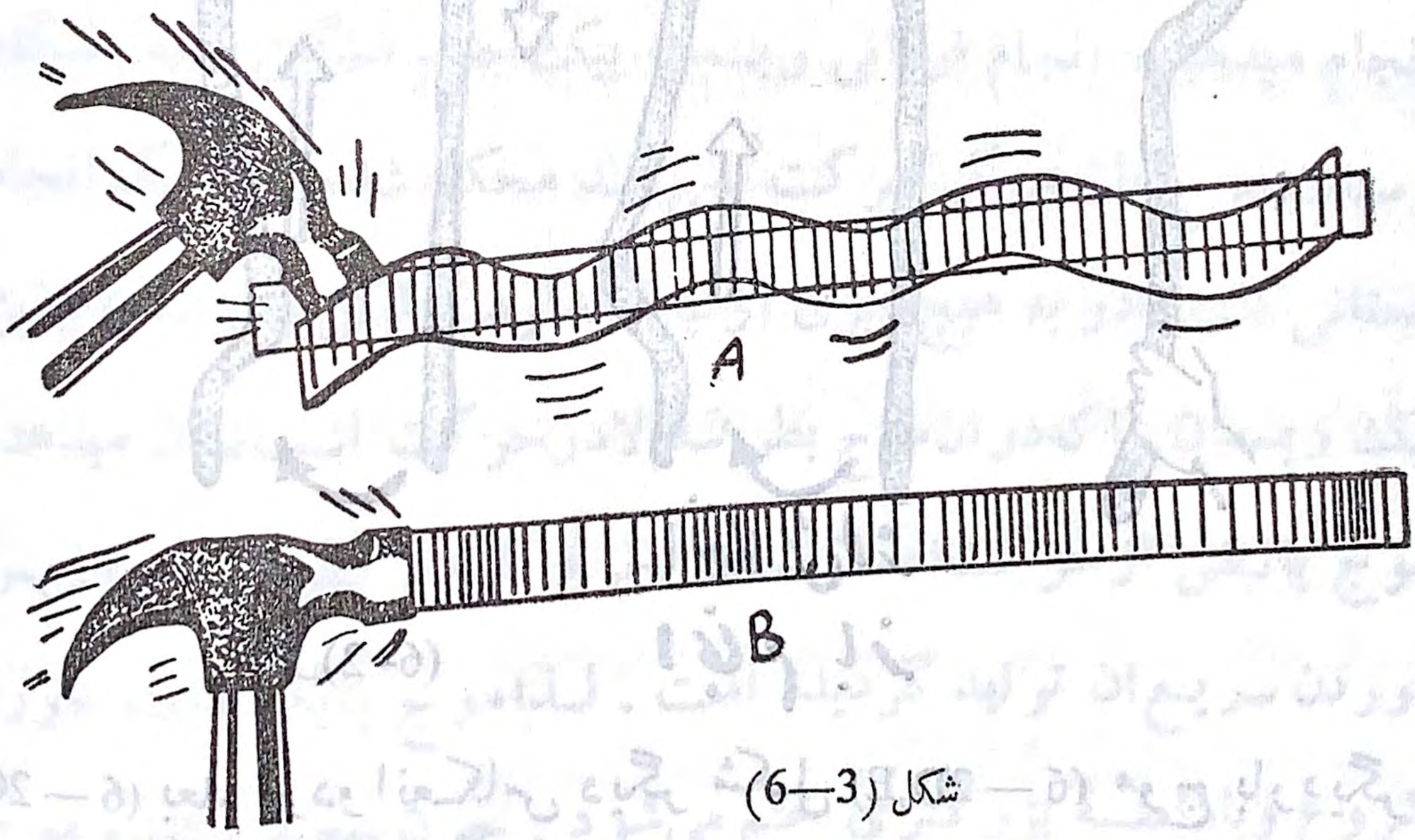
شکل(2 -6)

انجام باز

(6 — 2C) بعد از دو انعکاس دیگر شکل (6 — 2D,E) موج بار دیگر عیناً بشکل اولیش به نظر میرسد. (در عمل هر نوع ریسمانیکه استعمال گردد موج منعکسه بنابر پراگنده شدن انرژی توسط اصطکاك خیلی کوچکتر میباشد).

(6 — 3) انواع امواج : تاحال تنها یک نوع مخصوص موج را بررسی کردیم نبضیکه توسط یک امپلس جانبی شروع و بامتداد محیط یک بعدی حرکت مینمود. این یک مثال سادهٔ موج نوع عرضانی است. هنگامیکه موج با امتداد ریسمان یا فنر حرکت مینماید ذرات

انها باستقامت عمود بسمت انتشار موج حرکت میکنند . شکل(3A — 6)
یک میله فلزی را که با استقامت عمود برطول آن کوبیده شده نشان
میدهد . ضربه ای چکش باه میله تغیر شکل نوع نخم شدن را که بامتداد
میله مانند امواج عرضانی ایکه بامتداد ریسمان دیدیم انتشار می کند
باعث میگردد. هر گاه میله متناوبا کوبیده شود یک سلسله امواج منظم
درامتداد آن طوریکه نشان داده شده تولید میگردد .



شکل (3—6)

هر گاه میله راعوض پهلودر انجام ضربه دهیم شکل (3B—6)
نوع دیگری ازموج تولید میگردد . درینصورت مواد داخل میله
ذریعهٔ ضربه متراکم گردیده واین تراکم (باانبساط دنبال می‌شود)
بامتداد میله انتشار می نماید . این مثالی ازموج طولانی است که
دران ذرات محیط باستقامت سمت انتشار موج حرکت می نماید .
درین صورت نیز اگر میله را متناوبا ضربه دهیم یک سلسله امواج
منظم درامتداد میله تولید میگردد .

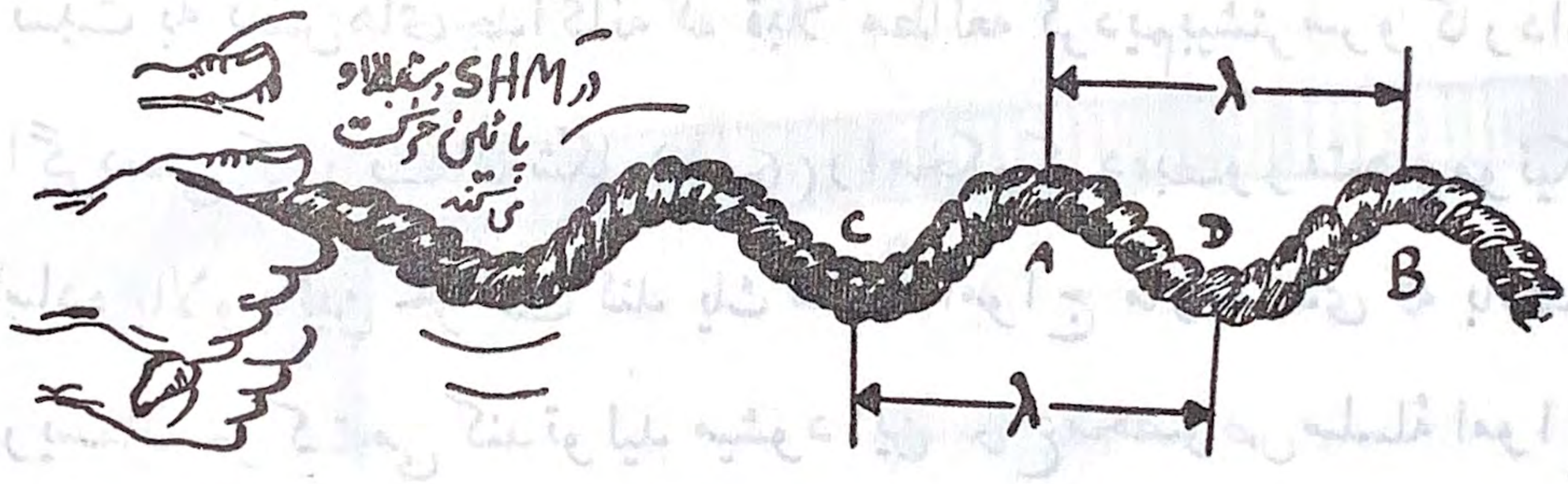
امواج عرضانی تنهادر جامدات انتقال کرده میتواند زیرا انتشار آنها بسه سختی محیط تعلق دارد بنا بر ان مایعات و غازات نمیتوانند این نوع امواج را منتشر سازند. ولی از آنجائیکه امواج طولانی تنها بمقاومت محیط در مقابل تراکم استوار است بنا بر ان میتوانند در تمام محیط ها انتشار نمایند زیرا جامدات، مایعات و غازات تماماً هنگام تغیر حجم شان مقاومت مینمایند. صوت که اکثراً در هوا انتشار می کند مثالی خوبی از امواج طولانی یا متراکم میباشد.

(4—6) سلسله امواج پیریودیک : بسیاری از پدیده های عملی موج باسلسله های طویلیکه امواج در آنها بفواصل مساوی ازهم واقع اند نسبت به نبض های جداگانه که قبلاً مطالعه کردیم بیشتر سروکار دارد اگر دستی که ریسمان شکل (4—6) را محکم کرده بصورت هارمونیکی ساده بالا و پائین حرکت کند یك سلسله امواج مارمانندی که بامتداد ریسمان حرکت می کند تولید میشود این نوع مخصوص سلسلهٔ امواج را موج ساینی (Sine Wave) می گویند زیرا تغیر مکان ریسمان متناسب ساین θ یا زاویهٔ تولید کنندهٔ حرکت هارمونیکی ساده میباشد بشکل (2—5 مراجعه شود).

چنین سلسله های پیریودیك امواج خواه ازنوع امواجی ساینی باشند یاشکل دیگری دارای مشخصاتی اند که درنبض های ساده وجود ندارد. اگرفرض کنیم که دست شکل (4—6) f مرتبه فی ثانیه بالا و پائین می شود f موج کامل فی ثانیه تولید میگردد. لذادرهرجای

انتخابی ریسمان که استاده شویم وامواج را حساب کنیم موج فی ثانیه از آن عبور می کند. این تعداد امواج کامل را که فی ثانیه از یك نقطهٔ معین می گذرد فرکونسی امواج مذکور می گویند. وقتی را که برای عبور یك موج کامل از یك نقطه ضرورتست نیز حساب کرده میتوانیم. این فاصله زمان را که عبارت از زمان عبور دو قله یاد و درهٔ متعاقب یك موج از یك نقطه معین است پیریود موج مذکور می نامند. واضح است که فرکونسی (f موج فی ثانیه) و پریود (T ثانیه فی موج) توسط رابطهٔ ذیل ارتباط دارد.

$$f=\frac{1}{T} \text{ یا } T=\frac{1}{f}$$



شکل (4—6)

مشخصهٔ دیگری یك موج پیریود یك منظم طول موج آنست. طول موج را عموماً به لمدا (λ) نمایش میدهند که عبارت ازطول یك موج کامل است واز یك قله الی قلهٔ بعدی (از A تا B شکل 4-6) یا یك دره الی درهٔ متعاقب (از C تا D) حساب می شود.

یك رابطهٔ خیلی ساده ولی بسیار اساسی بین λ.f وسرعت انتشار امواج موجود است. تصور کنید که پهلوی خط آهنی ایستاده اید

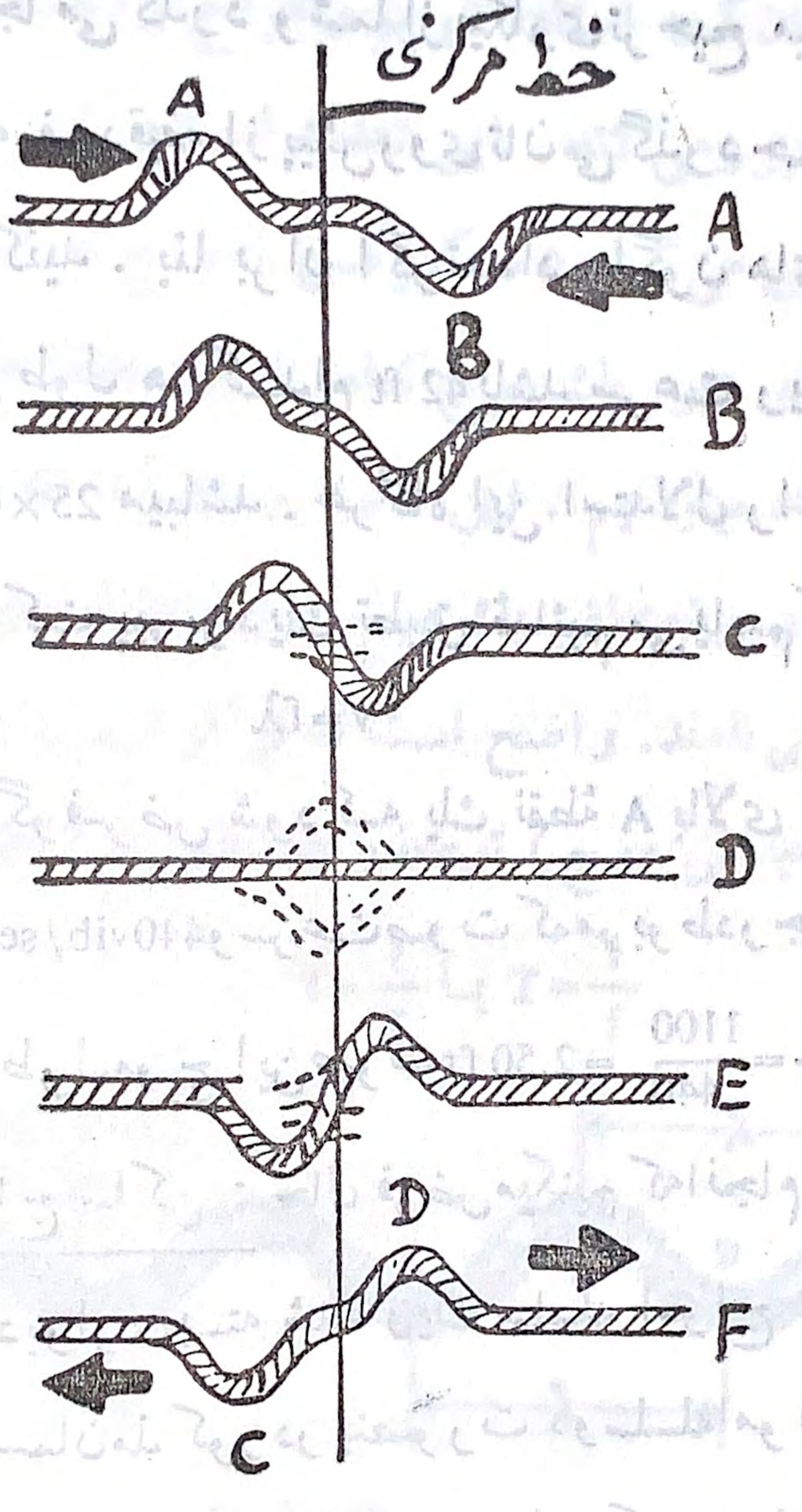
که یك ریل از آنجا می گذرد و شما از بیکاری ترجیح میدهید تا تعداد واگون‌های را که فی دقیقه از پیش روی تان می گذرد حساب و سرعت ریل را در یافت کنید . بنا بر ان اگر تعداد واگون های که فی دقیقه عبور می کند 25 و طول هر کدام 42 ft باشد سرعت ریل عبارت از $25 \times 42 = 1050\ ft/min$ میباشد . هر گاه این استدلال را بالای امواج ویا هر پدیدهٔ حرکت پیریودیك تطبیق نمائیم می یابیم که :

$$v = f\lambda$$

بطور مثال اگر فرض شود که یك نقطهٔ A بالای تار یك تنبور دارای فرکونسی 440vib/sec وسرعت صوت که مربوط درجه حرارت است 1100ft/sec باشد طول موج این صوت $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1100}{440} = 2,50\ ft$ میباشد

(5—6) امواج ساکن : حال فرض میکنیم که انجام اخیر ریسمان شکل (4—6) به دیواری بسته شده ویك سلسله امواج ازان انعکاس می کند. طبعاً ریسمان مذکور در ینصورت دو سلسله امواج را همزمان انتقال میدهد. امواجیکه توسط دست تولید گردیده ازچپ براست حرکت می کند وسلسله امواج منعکسهٔ مشابه که از راست به چپ درحرکت است. برای اینکه بدانیم در ینصورت در ریسمان چه واقعه رخ میدهد حالتی را در نظر میگیریم که دران دو نبض مجزا ازجهات مخالف در یك نقطهٔ ریسمان مواجه شوند .

یك تکان آهسته دست بطرف بالا یك نبض را در پهلوی فوقانی ریسمان که دو باره در پهلوی تحتانی آن انعکاس مینماید تولید



شکل (5—6)

می کند. تکان دیگری نبض ثانی را مقابل نبض منعکسه می فرستد. شکل (5 A - 6) که در آن نبض A بطرف نبض منعکسه B در حرکت است این وضع را نشان میدهد.

خاصیت عجیبیکه عموماً در تمام انواع امواج مشاهده می شود قدرت عبور آنها از هم دیگر در یک محیط بدون اینکه تغیر شکل کند

میباشد. شکل (6—5 B — F) صورت وقوع یك سلسله تصادمات لحظوی وشکل ریسمان را که در وقفه های چندم یك ثانیه رسم گردیده نشان میدهد.

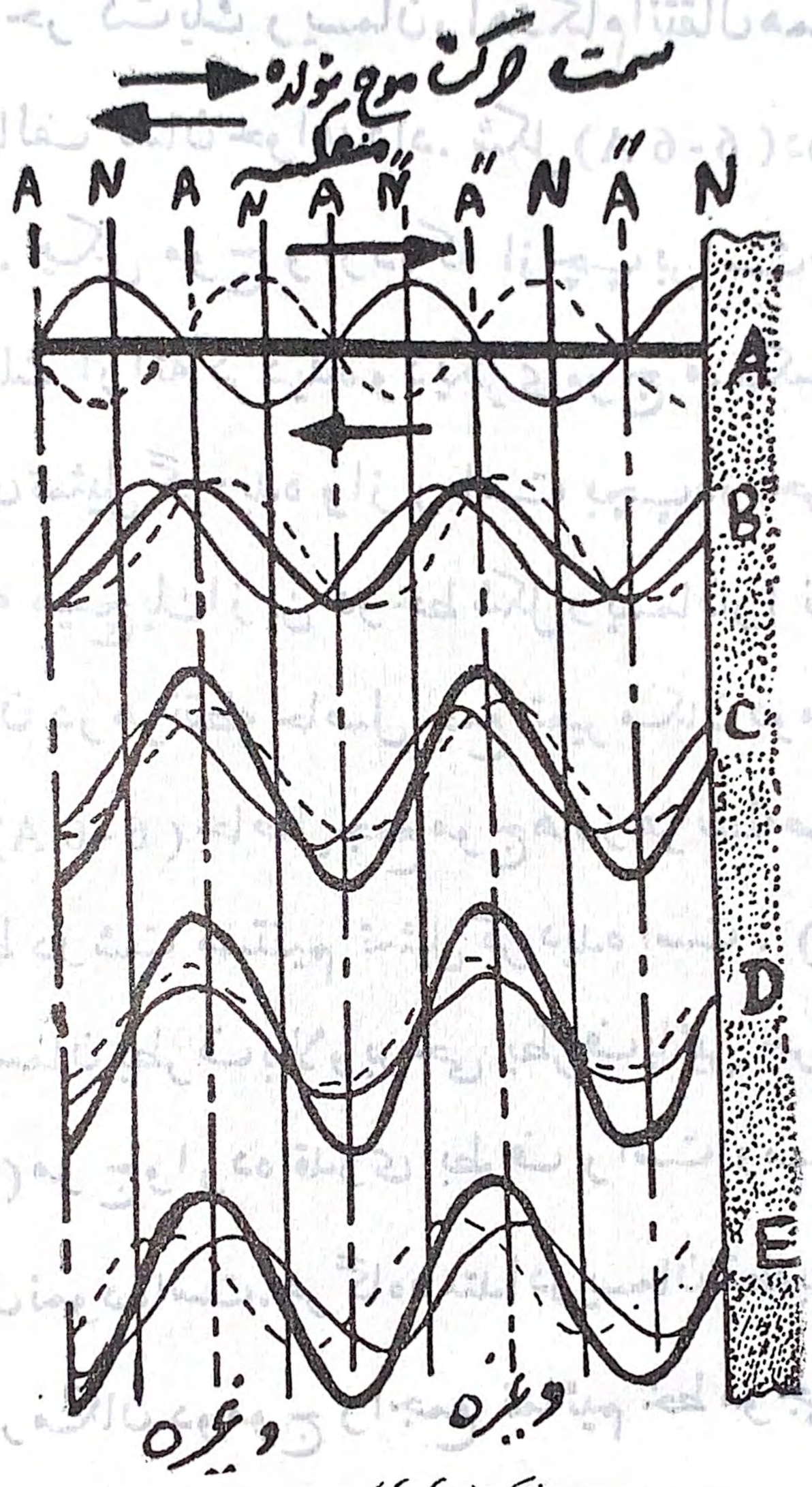
در شکل (6 - 5 A) نبض های مذکور در حال نزدیك شدن بیکدیگر و در شکل (6 - 5 B) درحال برخورد قبل از تداخل دیده می شود. شکل (6 - 5 C) هردو نبض را درحال نیمه منطبق و خطوط نقطوی موج ها را درحالیکه اگر بدون اخلال پیش میرفت همچنان خط درشت خود ریسمان را که مجموع وکتوری دو موج نقطوی متداخل است نشان میدهد. درشکل (6 - 5 D) دو نبض کاملا باهم متقابل بوده وریسمان بنا بر تناسب کامل اشکال آنها بکلی مستقیم میگردد. فراموش نباید کرد که ریسمان درین لحظه باوجود اینکه مستقیم نشان داده شده دارای حرکت میباشد. ذرات پهلوی چپ خط مرکزی بطرف پائین و از پهلوی راست آن به بالا حرکت مینماید. انرژی حرکی ذرات ریسمان لحظهٔ بعدتر آنها را بوضع شکل (6 - 5 E) میرساند که میتوانیم آنرا مانند قبل توضیح نمائیم. خط درشت ریسمان عبارت از مجموع خطوط نقطوی که نبض ها را در صورتیکه باهم اخلال نمی شد نشان میدهد میباشد. درشکل (6 - 5 F) نبض ها دوباره جدا گردیده و هر کدام طوری پیش میرود که گوئی تصادم در بین آنها صورت نگرفته باشد.

حال باید دوباره باشکال شش گانه نظر انداخته تشخیص دهیم که

درمرکز ریسمان بالای خط مرکزی باوصف اینکه دونبض ظاهراً از آنجاعبورمی نماید ولی هیچ یك از رشته‌های آن محل را ازموقعیت اولیش تغیر نمی دهد . درین جاسوال پیدا می شود که موج چطورمیتواند دریك ریسمان انتقال نماید درحالیکه پارهٔ از ریسمان درمسیر آن حرکت نکند؟ درجواب این سوال باید بگوئیم که امواج هیچوقت ازمرکز ریسمان عبورنکرده نبض D شکل (5 F - 6) نبض A شکل (5 A - 6) نمیباشد بلکه درعوض نبض B است که ازخط مرکزی مانند اینکه دیواری سختی بوده باشد انعکاس نموده است . همچنان C نبض B نیست بلکه منعکسه A میباشد. این نوع استدال معقول است زیرا حینیکه نبض A کوشش دارد ذرات مرکزی را بطرف بالا براند توام بان نبض B آنهارا بطرف پائین کش کرده و در نتیجه برای هر موج ذرات مرکزی طوری محکم وغیر قابل اخلال باقی می مانند که گوئی دیواری سختی بوده باشد .

انعکاسات درست شکل (5 - 6) تنها وقتی امکان دارد که دو موج ازنگاه شکل وجسامت یکسان باشد . اگر A و B هم شکل نمی بود حصهٔ مرکزی تا اندازهٔ حرکت می کرد وبنا بران C از ترکیب A و B که قابلیت خزیدن در ریسمان را دارد تشکیل می گردید . باوجودیکه تحلیل مغلق ریاضی شکل C راعیناً مانند B نشان میدهد ولی باآنهم دانستن منشأ آن خیلی پیچیده است گرچه ظاهراً شکل B را که بدون اخلال پیش رفته باشد دارد .

تحلیل مشابه حرکت یك ریسمان راهنگام انتقال همزمان دوسلسله موج بجهات مخالف نشان خواهدداد. شکل (6-6 A) دوموج سا ینی را نمایش میدهد . یکی موج وارده که ازچپ براست حرکت کرده و توسط خط باریك ارائه گردیده ودیگری موج منعکسه ازدیوار که توسط خط نقطوی تمثیل گردیده واز راست بچپ در حرکت است . متوجه باید بود که هیچ یك ازین دوخط شکل ریسمان را نشان نمیدهد. تغیر مکان ریسمان در هر نقطه حاصل جمع تغیر مکان دوموج مذکور میباشد. درشکل (6-6 A) حاصل جمع موج هادرهر نقطه صفر و بنابران ریسمان ذریعهٔ خط درشت مستقیم تمثیل گردیده است . (باوجودیکه بعضی حصص ریسمان بطرف بالاو برخی بطرف پائین حرکت دارد.) درشکل (6-6 B) موج وارده قدری بطرف راست وموج منعکسه بطرف چپ انتقال نموده است. هرگاه بامتداد ریسمان نقطه به نقطه حرکت کرده دو باره تغیر مکان دوموج راجمع نمائیم خط موجی درشت که ریسمان را درلحظهٔ چندم یك ثانیه بعد ازشکل (6-6 A) نشان میدهد . حاصل میکنیم .دیاگرامهای دیگر اشکال بعدی را که در طول لحظات مختلف یك ثانیه بوقوع میرسندوهر کدام از امواج وارده ومنعکسه قدری ازموقعیت های قبلی شان انتقال نموده نشان میدهند . در هر دیاگرام خط درشت شکل حقیقی ریسمان را در لحظات مذکور تمثیل مینماید .



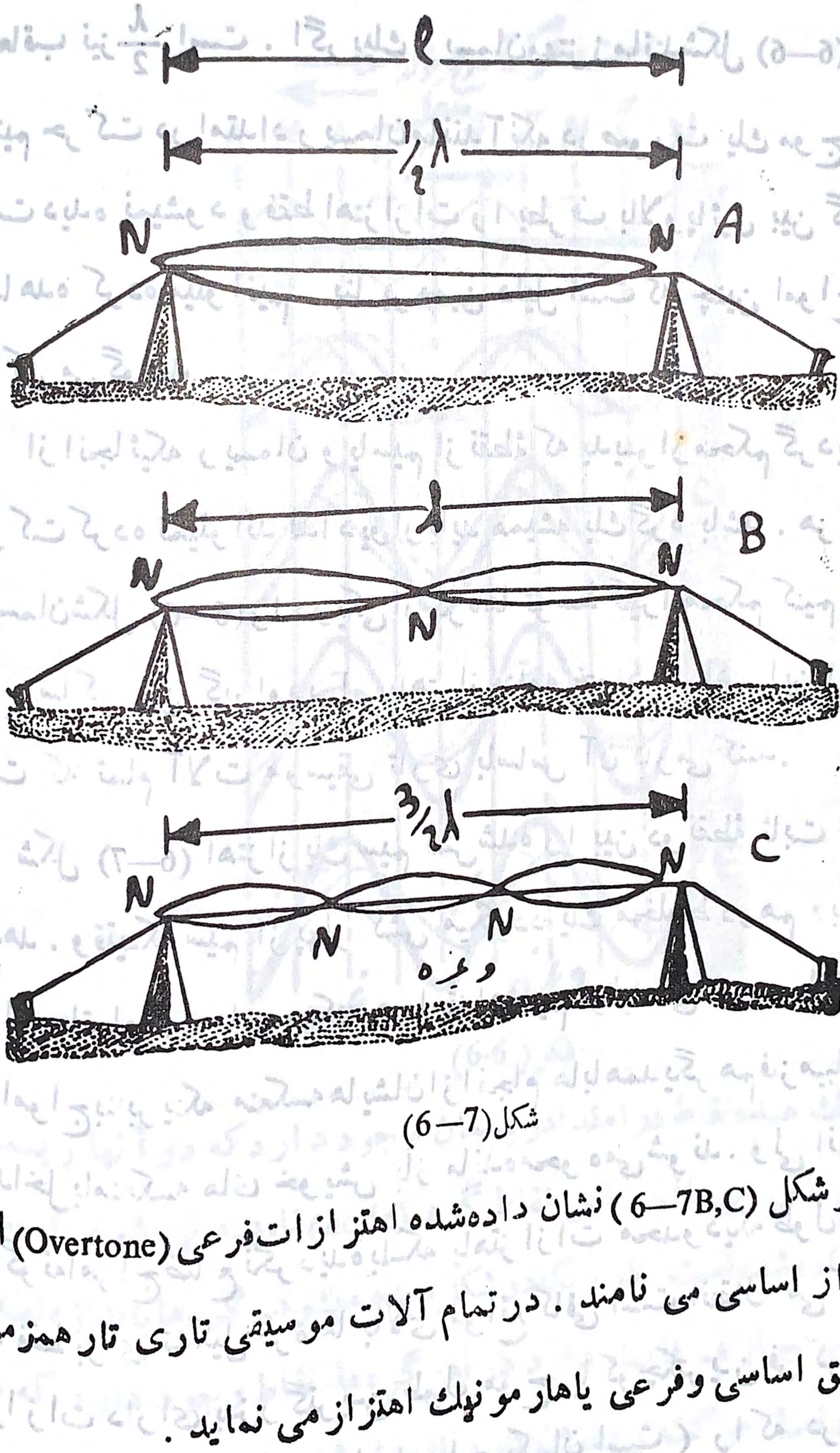
شکل (6-6)

یك عده نقاط در امتداد ریسمان وجود دارد که در آنها ریسمان ساکن باقی می‌ماند . این نقاط گره (node) نامیده می شود که به N نشان داده شده است. طوریکه در شکل دیده میشود. گره‌ها باندازه نصف طول موج از هم فاصله دارد در بین گره‌ها نقاط وجود دارد که در آنها دامنهٔ حرکت ریسمان دو برابر دامنهٔ امواج مؤلده میباشد. چنین نقاط را قله (Antinode) می گویند (A). فاصله بین دو قلهٔ

متعاقب نیز $\frac{\lambda}{2}$ است . اگر بیلك ریسمان مهتز زمانندشکل (6—6) نگاه کنیم حرکت در امتداد ریسمان مانند آنکه در صورت یك موج میسر است دیده نمیشود و فقط اهتزازات را بطرف بالا و پائین بین گره‌ها مشاهده کرده میتوانیم . بنا بر همین دلیل است که چنین امواج را ساکن می گویند .

از انجائیکه ریسمان و یا سیم از نقطهٔ که بدیوار محکم گردیده حرکت کرده نمیتواند لذا دیوار باید همیشه یك گره باشد . هرگاه ریسمان شکل (6—6) را در یکی از گره‌ها توسط گیرا محکم کنیم عین موج ساکن بین گیرا و دیوار باهتزازات ادامه خواهد داد . این اصلی است که تمام آلات موسیقی تاری باساس آن کار می کنند.

شکل (6—7) اهتزاز یك سیم کش شده را بین دو نقطهٔ ثابت نشان میدهد . وقتیکه سیم از پهلو کشش میکردد یك مخلوط درهم و برهم امواج باتمام طول‌های ممکنه در امتداد سیم تولید می شود . اکثری این امواج بنابر اینکه منعکسه‌ها یشان از انجام ها با همدیگر هم فز میباشد. از تداخل با منعکسه های خویش باز مانده محو ه می‌شوند. ولی انرژی این گونه امواج ضایع نگردیده بلکه باهتزازات محدودیکه طول موج شان فقط برای تشکیل گره ها بالای موانع کافی است انتقال می کند. اهتزازات دارای بزرگترین طول موج یا کوچکترین فرکونسی (زیرا f=v/λ و v برای تمام امواج یکسان است) را که درشکل (6—7A) نشان داده شده است اساسی واقسام دیگری اهتزازات را



شکل(7—6)

که‌در شکل (6—7B,C) نشان داده‌شده اهتزازات‌فرعی (Overtone) این اهتزاز اساسی می نامند . در تمام آلات موسیقی تاری تار همزمان بطریق اساسی وفرعی یاهارمونیك اهتزازمی نماید .

تمرینات

(1 - 6)1 - سیمی بطول مترو کتلا کیلوگرام باسیم دیگری ازعین جنس بطول 100 مترو قطر نصف سیم اولی وصل شده است. هرگاه سیم حاصله که 150مترطول دارد باقوهٔ مساوی به 40 کیلوگرام وزن کش شود چقدروقت لازم است تا یك نبض عرضانی الی اخیر سیم برسد.

2- سیمی بطول 100 مترو کتله گرام باسیمی مختلف الجنسی دیگری بطول 200 مترو عین قطر که کثافت خطی آن 3 برابرسیم اولی است وصل گردیده است. اگراین سیم که 300 مترطول دارد با قوهٔ یلوگرام وزن کش شود مدت را که برای رسیدن یك نبض عرضانی بانتهای سیم بکار است دریافت کنید.

(2—6)3 - در سوال اول وقتیکه یك نبض عرضانی ازیك انجام ریسمان فرستاده شود دو نبض باید مراجعت کند علت آن را شرح وزمان بازگشت نبض هارا محاسبه کنید.

4- متن سوال سوم را بالای سوال دوم تطبیق کنید.

(4—6)5-نوریك حرکت موجی است که بسرعت $3\times10\ 10$ cm/sec حرکت می کند. طول موج نور که برنگ متعلق است میتواند بصورت درست محاسبه گردد. فرکونسی اهتزازات رنگ سبز را که طول موج آن 5—10×6 سانتی متر است حساب کنید.

6- امواج رادیـو نیز مانند نور از جمله امواج الـکترومقناطیسی است که بسرعت 3×10^{10}Cm/sec انتشار می کنند .طول موج رادیو کابل را که بـه فرکونسی 1490 کیلوسایـکـل فی ثانیه انتشار می کند دریافت کنید .

(5—6)7 - یك سلسله امواج صوتی ساکن ذریعهٔ انعکاسات امواج از پستو نهائیکه در دهانه های یك تیوب شیشه‌ای گـذاشته شده تولید میشود. براده کارك در تیوب در گره هاجائیکه هوا نسبتاً مختل نمیگردد ساکن باقی می ماند هر گاه فاصله بین دو گره متعاقب 4 in. باشد :

(a) . طول موج این صوت را دریافت کنید .

(b) . فرکونسی آنرا حساب نمائید .

8- یك سیم کش شده بطول 3,2 متر و کتلهٔ خطی 4 گرام فی سانتی متر از وسطش کش گردیـده وصوتی بافرکونسی اساسی 20 vib/sec تولید می کند اندازهٔ کشش تار را حساب کنید .

فصل هفتم

صوت

(1 — 7) انتشار صوت: در فصل گذشته برخی از خواص امواج را که به‌امتداد انتقال‌دهنده های یک بعدی مثلاً ریسمان حرکت میکند مطالعه نمودیم . درینجا وقتیکه بفکر صوت می‌افتیم باید انتشار امواج را از یک منبع درسه بعد در نظر گرفته و تصور کنیم که بصورت امواج طولانی درهوا و یا ندرتاً اب انتقال میکنند .

هرگاه از یک فاصله مراقب توپی در حال عملیات باشیم روشنی انرا چندلحظه قبل از شنیدن صدای فیران مشاهده خواهیم کرد . همچنان روشنی الماسک را قبل ازشنیدن صدای رعد که‌مربوط‌فاصله ان از ما است بارها دیده ایم . چون انتشار نور به‌مقیاس معیار های روزمره انی است بنابران سرعت صوت را میتوانیم از ثبت کردن تاخیر زمان بین دیدن اتش توپ وشنیدن صدای ان بکمک اندازه گیری فاصله بین مشاهد و توپ در یافت کنیم . توسط این‌طریقه سرعت صوت را درهوا درصفر درجهٔ سانتی گراد 330m/sec یا 1100ft/sec یافته‌اند.

بطور مثال فرض کنیم صدای یک انفلاق را 15 ثانیه بعدتر از مشاهدهٔ اتش و یا اثار دیگری ان شنیده باشیم و هم محاسبهٔ دقیق فاصلهٔ انفلاق را ازما 4950 مترنشان دهد . در ینصورت میتوان سرعت صوت را چنین دریافت کرد :

$$V = \frac{d}{t} = \frac{4950}{15} = 330 m/sec$$

تاثیر تغیر فشار هوا بالای سرعت صوت ناچیز است . این مسئله تجربی را به نحوی شایسته میتوانیم از مقایسه انتشار امواج طولانی درهوا نظیری انتقال امواج عرضانی در ریسمان قضاوت کنیم . هرگا فشار هوا (یاهرغاز دیگر) زیادشود. شایدفکر کنیم ارتجاعیت (جهندگی) غاز اضافه شده و بنابران سرعت نواحی منبسط و منقبض هوا مانند اینکه سرعت امواج عرضانی از یک نقطهٔ ریسمان به نقطهٔ دیگری ان با تزئید کشش اضافه میگردد بیشتر می شود . لیکن ملتفت باید بود که تاثیرات کشش بالای ریسمان و فشار درغاز ازهم بکلی فرق دارد تزئید کشش کثافت خطی ریسمان را انقدر تغیر نمیدهد درحالیکه هواوغازات دیگر بسهولت متراکم میشود . تزئید فشار درغاز حجم را کم ومتناسب بان کثافت را زیادمی سازد . لذا اگر از یک طرف تزئید فشار جهندگی غاز ودر نتیجه سرعت صوت را زیاد می کند ازطرف دیگر عطالت غاز را باندازهٔ بلندمی برد که این تزئید سرعت بی نتیجه می ماند . بنا برهمین دلیل است که تزاید فشار درغاز بالای سرعت صوت دران تاثیری ندارد . چون تزئید دردرجه

حرارت‌غاز را منبسط میسازد لذا اگر یک غاز حرارت داده شود درحال ازاد بدون تغیر فشارو درصورت حبس باتغیرفشار و حفظ کثافت انبساط مینماید . درهردوحالت فوق‌سرعت صوت‌درهوای گرم نسبت به هوای سرد بیشتر است .

یک غاز سبک مثلاً هایدروجن نسبت به هوای دارای عین فشار خیلی رقیق تربوده وبنابران‌صوت دران نسبت به هوا خیلی سریعتر حرکت میکند . همچنان سرعت صوت دریک غاز غلیظ مثلا کاربن‌دای اکساید نظر به هوا کمتراست.

عوامل ارتجاعیت و کثافت‌درمایعات وجامدات‌نیز بالای‌سرعت صوت درانها تاثیردارد . بطورمثال یک موج طولی با متداد یک میله باسرعت ذیل‌حرکت مینماید .

$$v = \sqrt{\frac{y}{d}}$$

درحالیکه y مودولس یانگ‌و d کثافت‌ماده‌ایست که‌میله‌ازان ساخته شده است.

برای اینکه بلندی (Pitch) یا فرکونسی یك صوت را شرح کرده بتوانیم لازمست تا صوت از یك سلسله امواج متعددی تشکیل شده باشد . طریقه که‌میتوانیم توسط آن یك سلسله امواج را بافرکونسی معین تولید کنیم اینست که یك صفحهٔ سخت را توسط ترتیبات میخانیکی ویا برقی بااهتزازوادارسازیم تا متناوباً یك

سلسله نواحی متکاثف ومتلاطف راکه درهوای ما حول انتشار می کند تولید نماید . بلندترین اهنگ زیر (Soprano) راکه از رادیو یاتلویزیون می‌شنویم ازاهتزاز پردهٔ ممبران لود سپیکر که توسط کشش متغیر مقناطیسی که‌هزارهامرتبه فی ثانیه به‌اهتزازوادار ساخته میشود تولید میگردد . یک قطعه مقوا یا چوب سبك که در مقابل دندانه های چرخ یك گیرد ورانی قرارگرفته توسط دندانه‌های چرخ که به‌آن برخورد مینمایند به اهتزازآمده امواج صوتی‌را با عین فرکونسی حرکت خویش درهوا تولید می کند .

تقریباً صوت تمام الات موسیقی (همچنان صدای‌خودما) بوضع تولید امواج ساکن در تارها) پیانو، گیتار، ویلون وغیره) یادرستون های هوائی (ارگن، توله ، ترم وغیره) متکی میباشد :

شکل (7—6) انواع مختلف اهتزازات یك سیم رانشان میدهد . این گونه اهتزازات اساس تمام الات‌موسیقی تاری میباشد . ناخن کردن ویلون یاگیتارطول تاربین دوگره‌ای انجام ها ودرنتیجه فرکونسی اهتزازات اساسی را تغیر میدهد . بطورمثال تاری‌راکه 40 سانتی مترطول دارد وتحت قوه کشش معین به فرکونسی‌اساسی 440vib/sec اهتزاز مینماید . درنظرمیگیریم. هرگاه یك نوازنده این تار را به پرده فشارداده وبالاثرطول آن را به 38 سانتی متر کوتاه سازد طول موج اساسی آن از 80 سانتی متر به 72 سانتی متر تنقیص می یابد . لذا ازمعادله اساسی موج $V=\lambda F$ میتوانیم حکم

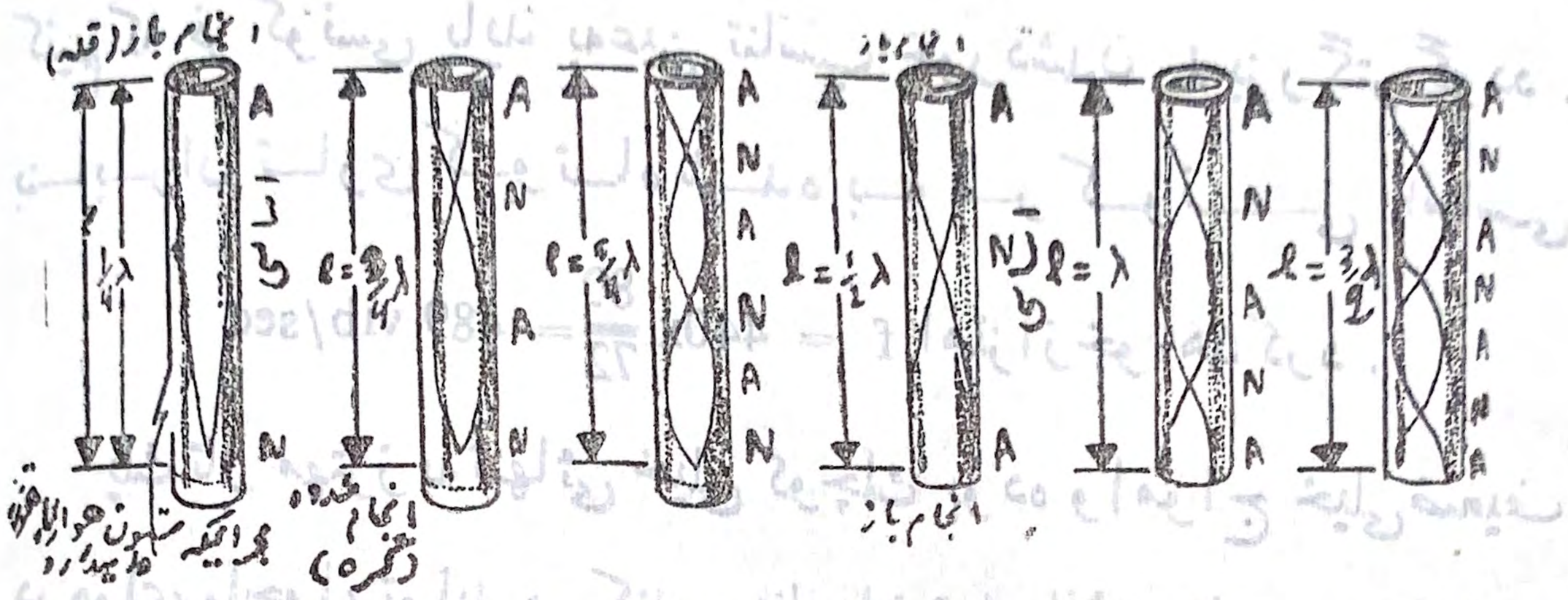
کنیم که فرکونسی باید به‌عین تناسب خوردشدن $\frac{8}{7}$ بزرگتر گردد .
بنابران تاری کوتاه شده به فرکونسی اساسی

$$f = 440x \frac{8}{7} = 489 \text{ vib/sec}$$

اهتزازخواهد کرد .

یك تار مهتزز به تنهائی خیلی کوچك بوده وامواج خیلی ضعیف درهوای ماحول تولید می کند . بنابران تمام الات تاری را ازنوع لوحه‌های صدادهنده باشکال صفحات بزرگ که تارها بروی آنهاحمل شده همنوا به تارها اهتزازمی کند تهیه مینمایند. لوحه‌های صدادهنده به بعضی ازفرکونسی‌ها نظر به برخی دیگرزودتر پاسخ میدهد بنابران بعضی ازاهنگ‌های فرعی یا هارمونیك تاکید وبرخی از آنهاحذف میگردد . همین تفاوت نسبتی شدت بین اهنگ های مختلف فرعیست که بین صدای الات متفاوت فرق می گذارد بطور مثال صدای گیتار ازبنجو وازسنتورازویلن فرق دارد .

اکثرالات‌صوتی که باساس ستون‌های هوائی مهتزز کارمی کند درحقیقت ازتیوب های ساخته‌شده‌اند که یك انجام‌شان بازو انجام دیگر شان مسدود است. طول موثر این‌ستون هاتوسط سوراخهای که بامتداد تیوب هاموجود است کنترول میگردد . نل های ارگن رابد وقسم میسازندیکی دارای‌دوانجام بازودیگری بایك انجام باز ویک انجام مسدود. (یك نل یاتیوب بادوانجام مسدود بحیث یك آله موسیقی چندان مفید نمیباشد لذا برای اینکه هوای متراکم ومنبسط متناوبأ دراتموسفیرماحول فرارکرده بتواند اقلاً بایدیك انجام تیوب باز باشد) :



شکل (1—7)

شکل (1-7) این دونوع تیوب را با امواج هوائی ساکن در آنها نشان میدهد. چون هوای مجاور انجام مسدود حرکت کرده نمیتواند لذا انجام مسدود بسایدگره و انجامیکه بتماس انمو سلهر است و در آن هوا بهر اندازهٔ که وادار ساخته شود آزادانه حرکت کرده میتواند قله باشد. یك ستون هوائی نیز مانند یك تار یاسیم نواخته بافرکونسی اساسی خویش و همچنان تعدادزیادهارمونیک های آن همزمان اهتزازمینماید. در شکل بالا تنها بیمك تعدادمحدود فرکونسی های فرعی ممکنه اشاره گردیده است.

بطور مثال میتوانیم طول تیوب یك ارگن را که یك انجام آن مسدود دو آهنگی بافرکونسی اساسی (550vib/sec) تولیدمینماید حساب کنیم. میدانیم که صوت درهوا بسرعت (330m/sec) انتشار مینماید. لذا ازمعادلهٔ ($\lambda=v/f$) می یابیم که ($\lambda=0,6m$) چون طول نل ($\frac{\lambda}{4}$) است لذاطول واجبی نل 15 سانتی متر است (اگرچه

این کاملاً درست نیست زیرا قلهٔ موج به کلی در انجام با زنه بلکه قدری بالاتر از آن است که فاصله آن مربوط طول موج و قطر نسل میباشد ولی در اینجا از آن صرف نظر میکنیم.)

(2-7) فرکونسی های ماورای صوت: گوش انسان صداهای دارای فرکونسی خیلی کمتر از 20 و بزرگتر از 20000 را شنیده نمیتواند (هرقدر که پیر شده میرویم به همان اندازه حد اعظمی فرکونسی قابل شنید کم شده میرود. اشخاص میانه‌سن فرکونسی های بزرگتر از 10000 را تشخیص داده نمیتوانند.) لیکن گوش سگ فرکونسی های خیلی بلند را شنیده و بنابر آن از این استعداد سگها در امور پولیسی وغیره استفاده می کنند. سگ ها میتواند اوامر خیلی آهستهٔ صوت های ماورای صوت را که توسط گوش انسان قابل شنید نمیباشد اخذ کنند.

امواج ماورای صوت بعلتی توسط گوش انسان قابل سمع نیست که انرژی بیشتر را نسبت به امواج دارای عین دامنه و فرکونسی کمتر انتقال میدهد. امواج پیریودیك A و B را (در یك ریسمان) که فرکونسی دومی دوچند اولی ولی دامنه های شان باهم مساوی است مقایسه میکنیم. هرذرهٔ موج B باید عین فاصلهٔ رفت و آمد را در طول نصف مدتیکه برای یك ذره A بکار است طی کند. بنابر آن سرعت وسطی و انرژی حرکی هرذره موج B بالترتیب دو برابر وچهار برابر سرعت و انرژی حرکی یك ذرهٔ موج A میباشد. لذا انرژی منتشرهٔ یك موج متناسب به مربع فرکونسی آن موج بوده

و بناء فرکونسی های بسیار بزرگ ماورای صوت مقدار کافی انرژی را انتقال داده باعث اجرای کارهای میگردد که امواج قابل شنید ازعهده آنهابدرشده نمیتواند. وقتیکه این نوع امواج دریك مایع تولید شودبزودترین فرصت ناپاکی های روی فلزات داخل مایع راپاك، بقه‌ها ودیگرذوالمعشتین راکه درآن بسرمیبرد کشته بکتریاوویروس هاراپارچه پارچه ومحو می کند.

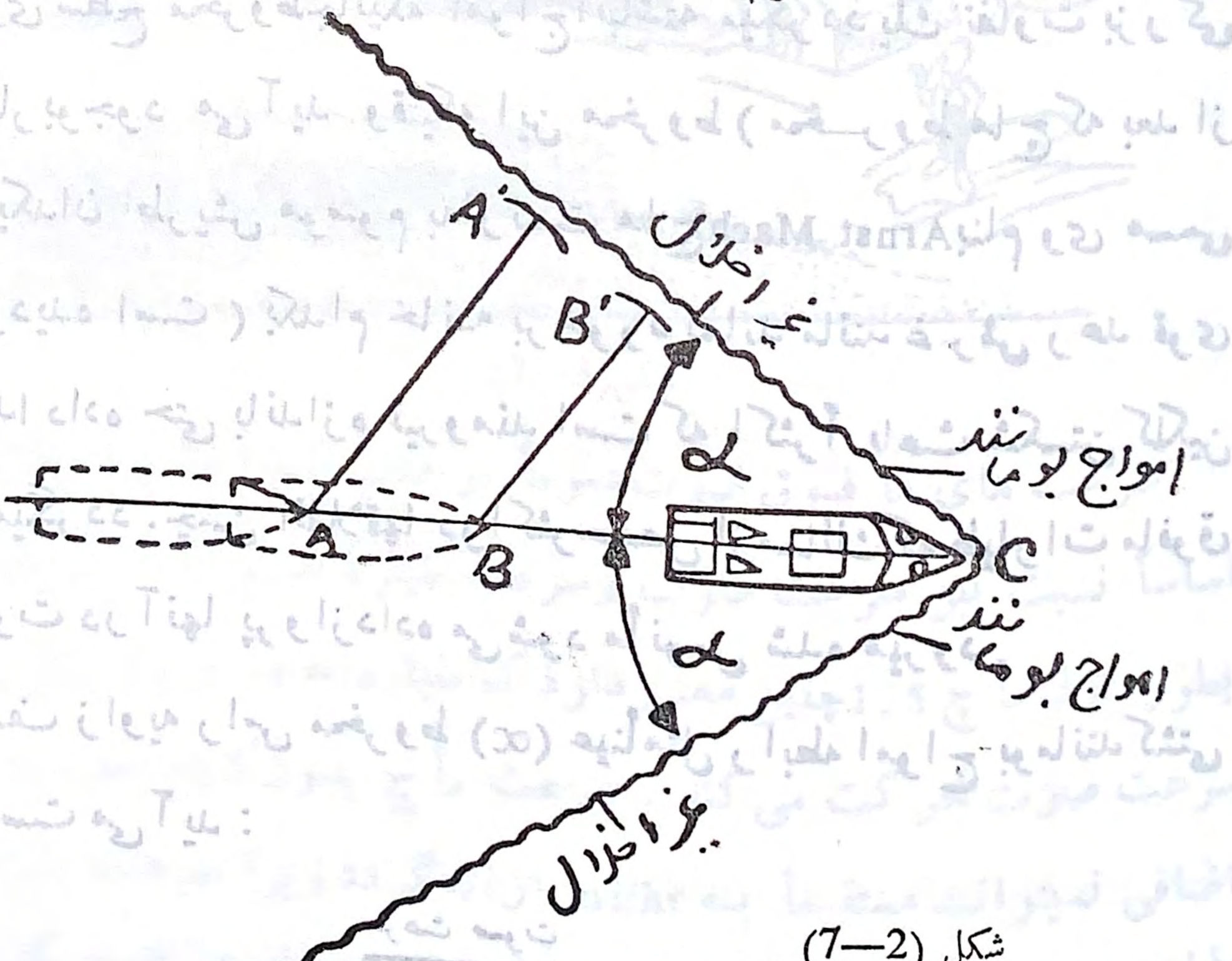
(7-3) امواج شوك دهنده ومافوق صوت: امواج مافوق‌صوت که نباید بافرکونسی های ماورای صوت اشتباه گردد عبارت از مطالعهٔ تأثیرات اجسام میباشد که دریك محیط بسرعت‌های بزرگتر از امواجیکه تولید می کنند حرکت مینمایند. درجامدات هیچ چیزی نمیتواند خیلی سریع حرکت کند حتی بهترین طراهان خیالی تاحال تحت البحری راکه بتواند درآب سریعتر از صوت حرکت کند تصور کرده نتوانسته اند. بنابر آن مسائل عملی ما فوق صوت اساساًمربوط به طیارات ودیگراجسام پرتاب شونده درهواکه به سرعت های بیشترازصوت حرکت مینماید میباشد. درچنین وضع متحرك قبل ازآنکه ازمحیط خارج گردد یك سلسله اضطرابات یا امواج راانباشته میسازدکه باعث مزاحمت طاقت فرسای ناحیوی میگردد. این امواج مزاحم رابنام شوك دهنده یادمی کنند.

تصورحادثات ناشی ازامواج شوك دهنده میتواند از مطالعه امواج بوما نند (Bow waves) یك کشتی کـه نسـبت بـه امواج

سطحی مولدهٔ توسط آن سریعتر حرکت مینمایند عام فهمتر و واضحتر بررسی گردد .

شکل (2-7) چنین یك کشتی را نشان میدهد . درخلال مدتیکه کشتی با سرعت V_s از A الی C حرکت می کند امواج سطحی مولده توسط آن در A بسرعت V_w از A به A′ می رسد. به همین ترتیب امواج مؤلده در B در همین لحظه به B′ رسیده وهکذا تمام نقاط غیر معین دیگری که اگر بین A و C درنظر گرفته میشود. زاویه بین امواج بوما نند وسمت حرکت کشتی (α) بسرعت های نسبتی امواج و کشتی ارتباط دارد یعنی :

$$\text{Sin}\alpha = \frac{AA'}{Ac} = \frac{V_w t}{V_s t} = \frac{V_w}{V_s}$$



شکل (2—7)

بطور مثال مخروطی را که بسرعت 20 میل دریانوردی کرده و امواجی بسرعت 8 میل تولید مینماید در نظر میگیریم . دریمصورت زاویه $\propto$ بین مسیر کشتی و استقامت امواج بومانند از رابطه ذیل بدست می آید:

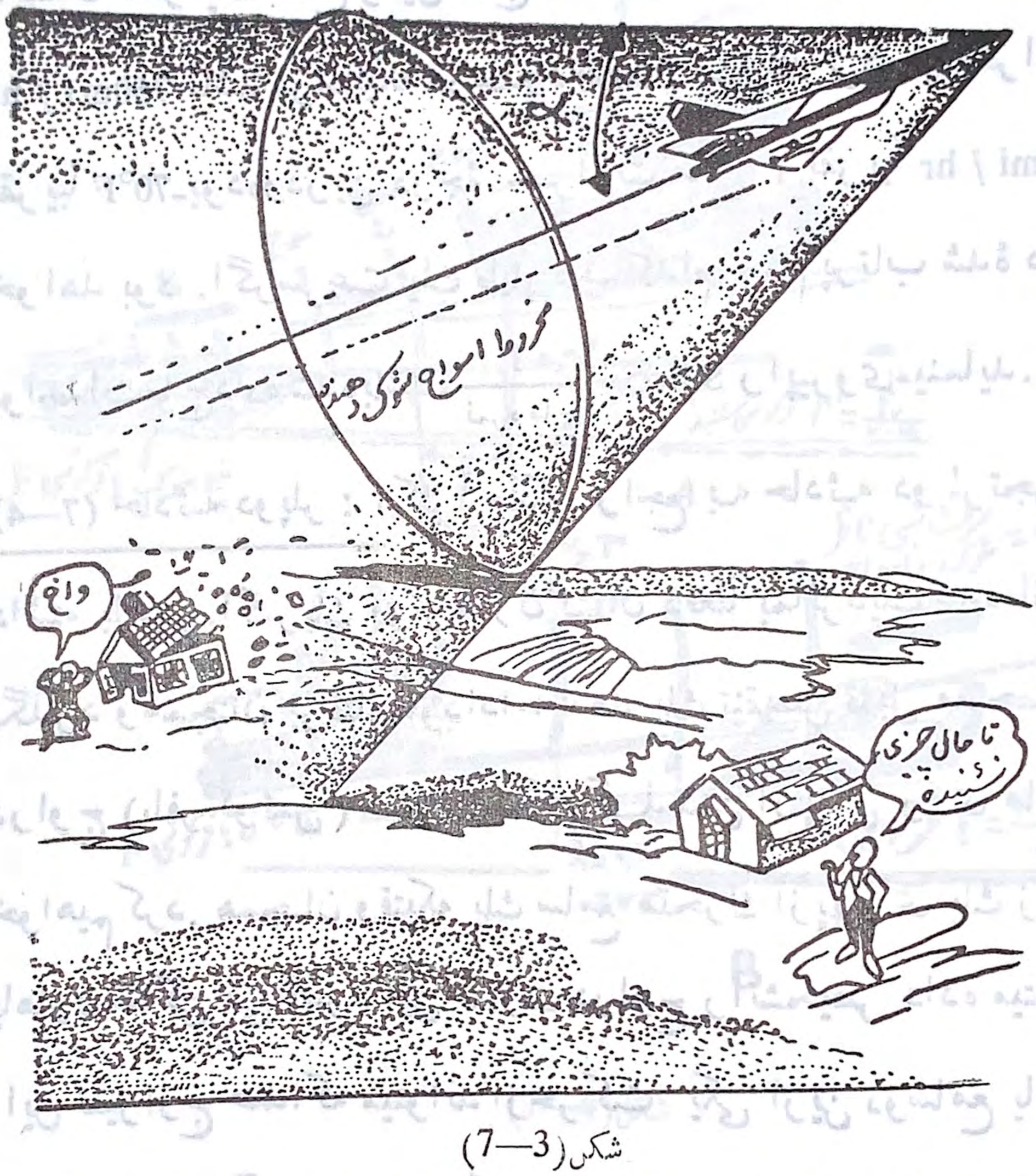
$$\text{Sin}\propto = \frac{8}{20} = 0.4$$

بنابران : $\propto = 23,6^{\circ}$

طیاره ایکه درهوا سریعتر ازصوت حرکت می کند بعین طریق هوا را اخلال می کند. درینصورت عوض جبهۀ موج شوك دهندۀ V مانند درسطح آب مخروط عظیمی درهوا تشکیل میگردد زیرا امواج مولده توسط طیاره درتمام جهات انتشار می نمایند شکل (3-7) روی سطح مخروط جائیکه امواج انباشته میگردد یك تفاوت بزرگی فشار بوجود می آید. وقتیکه این مخروط (مخروط ماچ که بعد از فزیکدان اطریش موسوم به ارنست ماچ Arnst Mach بنام وی مسمی گردیده است) بکدام خانه برخورد نماید مانند غرش رعد قوی صدا داده حتی باندازه نیرومند است که اکثراً باعث شکستن کلکین هامیگردد. چنین انفلاقها دراکثرحصص ازممالك که طیارات مافوق صوت درآنها پروازداده می شود مأنوس شده میرود.

نصف زاویه راس مخروط ($\propto$) عیناً مثل رابطه امواج بومانند کشتی بدست می آید :

$$\text{Sin}\propto = \frac{\text{سرعت صوت}}{\text{سرعت طیاره}}$$



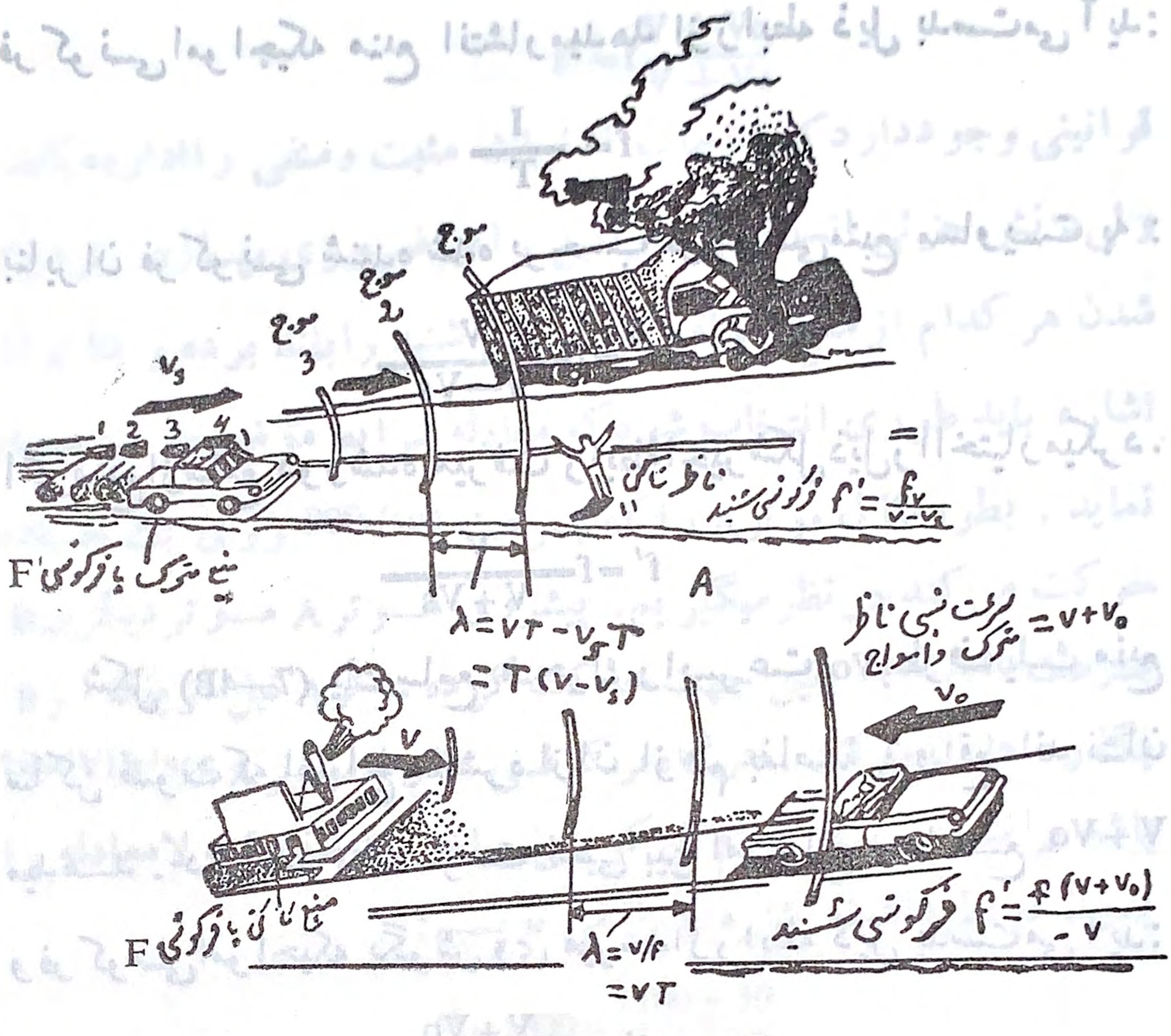
شکل (3—7)

سرعت های ما فوق صوت عموماً برحسب نمرهٔ مأچ شان که اساساً نسبت بین سرعت صوت وسرعت طیاره است ارائه می شود بطور مثال مأچ 1,5 چنین معنی دارد که طیاره به سرعت 1,5 برابر سرعت صوت حرکت می کند . سرعت مأچ بدون کدام معلومات اضافی نمیتوانند مستقیماً به mi/hr ارائه گردد زیرا سرعت صوت بذات خود بادرجه حرارت تغیر میخورد . دریك روز خوش گوار

تابستان نـزدیك سطح زمین ماچ 1ـ(سرعت صوت) ممکن درحدود 750ml / hr باشد درحالیکه درحدود 30000 فت بلند تر درجه حرارت تقریباً 70°F ـ بوده ودرین درجهٔ حـرارت ماچ 1 تقریباً 640mi / hr خواهد بود . اگرسرعت یك طیاره یـا کدام جسم پرتاب شدهٔ دیگر بواحدات ماچ داده شده باشد، $\frac{1}{\text{نمره ماچ}} = \text{Sin}\propto$ را پیروی مینماید.

(4ـ7) حادثـه دوپلر : اکثراً ممکن راجع بـه حادثـه دوپلر تجربـه داشته باشیم . اگـر یك موتر هارن کنـان دفعتاً بما نزدیك شده ازما بگذرد وهمچنان برفتارخود ادامه دهد یك تنقیص قابل ملاحظهٔ را دراوج (یافرکونس) هـارن هنگام گـذشتن از پیش روی مادرك خواهیم کرد. همچنان وقتیکه یك سامع متحرك از پهلوی یك زنگ یاهارن ساکن می گذرد این تفاوت دراوج را تشخیص داده میتواند . این تغیر اوج صدا که میتواند ازحرکت یکی ازین دوسامع یا منبع صوت بوجود آید بعد از فزیکدان قرن 19 اطریش بنام دوپلـر بـه حادثهٔ دوپلـر موسوم گردیده است .

درمرحلهٔ اولی فرض میکنیم منبع صوت متحرك باشد . قسمت بالائی شکل (4A ـ7) یك منبع صوت را که درزمان $t=0$ درحال انتشار یك موج است نشان میدهد. منبع بسرعت V_s بطرف مشاهد حرکت می کند . T ثانیه (زمان یك پیریود) بعد تر موج نمبر 3 فاصلهٔ VT را



شکل(4—7)

بطرف ناظر طی می کند درحالیکه منبع بفاصلهٔ $V_s T$ بعین جهت تغیر مکان نموده ودرحال انتشار موج نمبر 4 میباشد . لذا فاصله بین امواج $VT - V_s T$ یا $\lambda' = T(V - V_s)$ میباشد. از ینجافر کونسی ای که بگوش سامع میرسد عبارتست از :

$$f' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{T(V - V_s)}$$

فرکونسی امواجیکه منبع انتشارمیدهد ازرابطه ذیل بدست‌می آید:

$$f = \frac{I}{T}$$

بنابران فرکونسی شنیده شده برحسب فرکونسی منبع مساویست به :

$$f' = f\frac{V}{V - Vs}$$

اگرمنبع ازسامع دورشده میرفت رابطهٔ اخیر شکل ذیل را اختیار میکرد:

$$f' = f\frac{V}{V + Vs}$$

شکل (7—4B) یك سامع متحرك رابسرعت Vo بطرف یك منبع ساکن صوت که امواج منتشره ازان ازهم بفاصلهٔ λ واقع اند نشان میدهد . درینصورت سرعت نسبی بین امواج وسامع $V+Vo$ وفرکونسی امواجیکه بگوش وی میرسدازرابطه ذیل بدست می آید:

$$f' = \frac{V + Vo}{\lambda}$$

درحالیکه فرکونسی انتشارعبارت از $f = \frac{V}{\lambda}$ وازینجا $\lambda = \frac{V}{f}$ میباشد.

درینصورت نیزفرکونسی f' رابرحسب f برای سامعیکه به منبع نزدیك میگردد ویاازان دورمی‌شود ارائه کرده میتوانیم:

$$f' = \frac{V \pm Vo}{V/f}$$

$$= f\frac{V \pm Vo}{V}$$

معادلات فوق میتوانند بطوریکجائی توسط رابطهٔ ذیل افاده شود:

$$f' = f\frac{V \pm V_o}{V \pm V_s}$$

قوانینی وجود دارد که انتخاب اشارات مثبت ومنفی راادارهمیکند؛ ولی دانش جزئی انسان این قوانین راغیرضروری میسازد. نزدیك شدن هر کدام ازمنبع یاسامع فرکونسی شنید رابلند برده و بنا بران اشاره باید طوری انتخاب شود که معادله شرایط موضوعه را صدق نماید. بطورمثال موتر A را که بسرعت 90ft/sec روی یك جاده حرکت می کند درنظر میگیریم. پیشروی موتر A موتر دیگری B بسرعت 30ft/sec بعین جهت حرکت کرده موتر A قبل ازینکه از B بگذرد هارن می کند. هرگاه فرکونسی هارن موتر A 1000Vib/sec باشد رانندهٔ موتر B کدام فرکونسی راخواهد شنید؟ اولامعادله را بدون درنظرداشت اشاره چنین می نویسیم:

$$f' = 1000 \times \frac{1100 \pm 30}{1100 \pm 90}$$

ازیکطرف چون منبع صوت (موتر A) بطرف سامع (موتر B) حرکت می کند لذا بررسی چنین حرکت خودنشان میدهد که فرکونسی شنید بزرگتر میگردد. بنابران باید مخرج کسر را که V_s دران شامل است ذریعهٔ تفریق نمودن 90 خورد ترسازیم. ازطرف دیگر چون سامع ازمنبع دور شده میرود لذا فرکونسی شنید کمتر گردیده وبناً صورت را که V_o رادر بردارد باید. ذریعهٔ تفریق نمودن 30 کوچکتر سازیم. اینجا نتیجه میشود که:

$$f' = 1000\ \frac{1100-30}{1100-90}$$
$$= 1059 Vib/sec$$

تمرینات

(1—7) 1 ـ یک نفر از یک کوه بفاصله 400 فت دورتر استاده با تفنگی فیر مینماید بعداز چقدر وقت انعکاس صدای فیر را خواهد شنید ؟

2 ـ اگر بدهن تونلی که در انجام نهائی ان یک انعکاس دهندهٔ خوبی صوت وجود دارد ایستاده شوید صدای انعکاس کف زدن های خویش را بخوبی شنیده میتوانید. با کمی کوشش و تمرین میتوانید منظماً طوری کف بزنید که هر کف زدن تان بارسیدن منعکسه کف زدن قبلی توام باشد . حال فرض کنید از انجام تونل بفاصلهٔ 135 فت قرار دارید وهمکارتان 120 کف زدن را در 30 ثانیه حساب می کند درین صورت سرعت صوت را درین تونل حساب کنید .

3 ـ فرکونسی اساسی یک سیستم بطول 33in در یک اله موسیقی 192vib/sec میباشد اگر نوازنده توسط انگشت طول انرا به 30,5in کوتاه سازد فرکونسی انرا دریابید .

4 ـ فرکونسی اساسی پایپ ارگن 440vib/sec است طول پایپ را حساب کنید (درصورتیکه یک انجام ان مسدود باشد) .

(2—7) 5 ـ دوصوت را بادامنه های مساوی که اولی دارای فرکونسی 2000vib/sec ودومی از نوع ماورای صوت بفرکونسی 100000vib/sec در نظر بگیرید. انرژی که ذریعهٔ دومی انتقال می کند

چند برابر انرژی اولی میباشد .

6- اله که امواج صوتی را بافرکونسی 3000cycle/sec در اب تولید می کند بیک طاقت مساوی 25 وات ضرورت دارد . برای تولید امواج صوتی باعین دامنه وفرکونسی 60000 cycle/sec بچه اندازه طاقت ضرورت است؟

(3—7) 7- زاویه بین امواج بومانند یک کشتی که بسرعت 30k/hr حرکت مینماید 60° است سرعت امواج سطحی را که کشتی تولید میکند دریافت کنید .

8- یک مرمی باسرعت 610m/sec درهوا فیر میگردد زاویه بین مسیر مرمی وامواج شوک دهنده راحساب کنید .

(4—7) 9- یک موتر بکدام سرعت بطرف یک سامع ساکن حرکت کند تاسامع صداي رادیوی داخل موتررا به اوج 10% بلندتر ازاوج حقیقی رادیو بشنود ؟

10- هارن یک موتر صدای بااهتزاز 2000vib/sec تولید می کند . فرکونسی های شنیدرا درحالات ذیل تعین کنید :

(a) . وقتیکه موتر بسرعت 45mi/hr بطرف یک سامع ساکن درحرکت باشد .

(b) . زمانیکه موتر استاده وسامع بسرعت 45mi/hr بطرف انحرکت کند .

(c) . درصورتیکه موتر بسرعت 60mi/hr بگریزد وسامع ان را بسرعت 30mi/hr دنبال نماید .

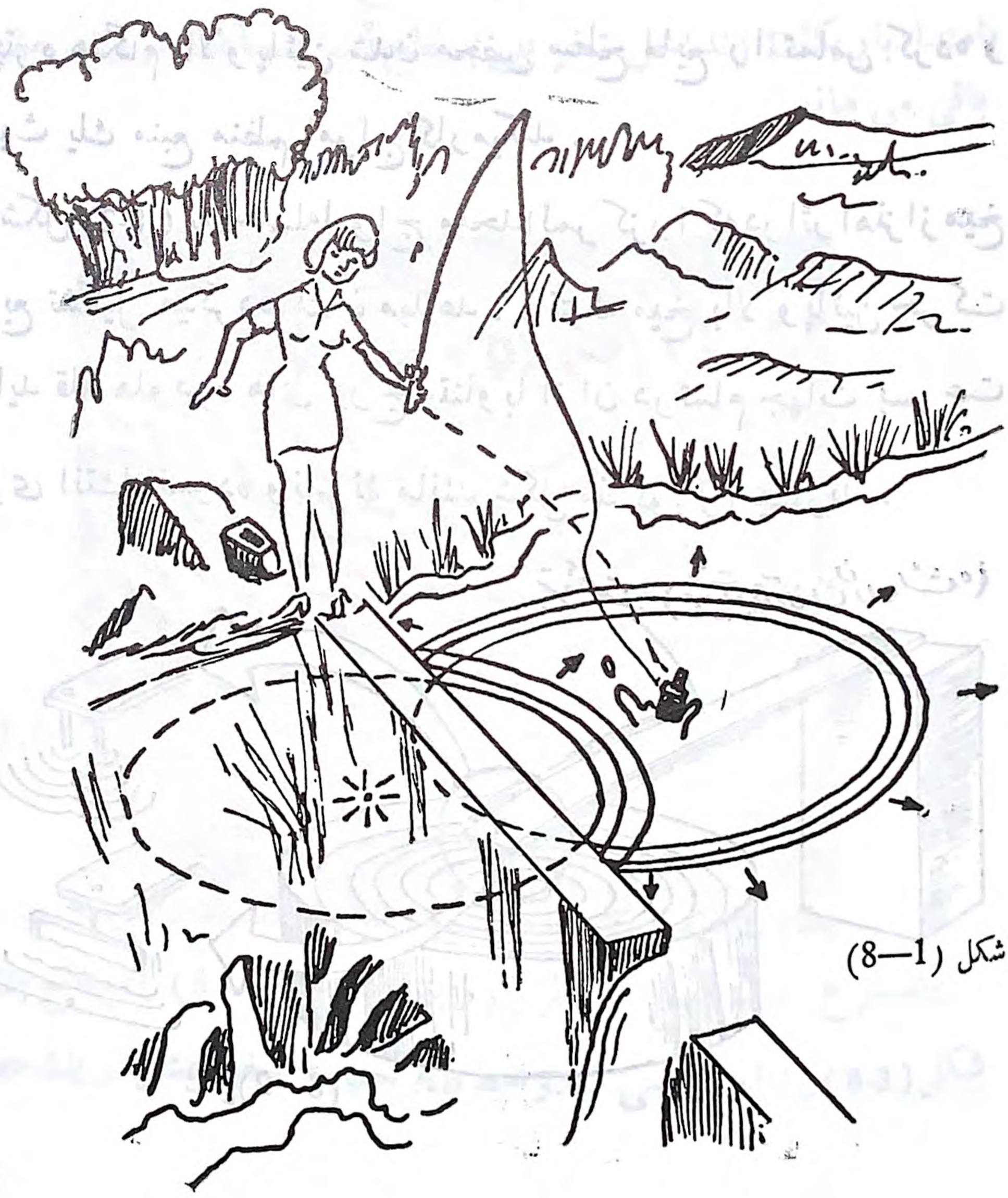
فصل هشتم

خاصیت موجی نور

(8-1) امواج سطحی : درین فصل طوریکه ازعنوانش فهمیده می‌شود خاصیت موجی‌نورر امطالعه خواهیم کرد. از نقطه نظر عملی این کاربا سانی انجام‌شده نمیتوانند چه خاصیت موجی نور صدها عالم ذکی راباوجود داشتن قدرت تجربی شان در قرون متمادی تاریخ مصروف ساخته است . حتی اسحق نیوتن عالم بزرگ فزیك بعد ازبررسی خاصیت موجی نور ذریعهٔ تجارب متعدد بالاخره باین فیصله رسید که نظریهٔ دزوی نوررارد کند بنابران بهتر خواهد بود اگر اولاً بان عده ازصفات موجی که بصورت واضح و آسان مشاهده شده میتواند نظراندازی کنیم .

اگردرحال انداختن سنگ ریزه درحوضی میباشیم و به تولید و انتشاردوائری روی آب کدام توجهٔ ندار یم مصروفیت ما قرار گفته فیلسوف وداستان نویس مشهوررروسی کزما پروتکوف (Kumza Prutkoff) بی فایده وعبث است . چه میتوانیم چیزهای

زیادی از انتشار این دو اثر قشنگ که از انداختن سنگ وغیره در آب ایستاده حوض تشکیل میگردد بیاموزیم . وقتیکه یکی از امواج به کدام مانع بطور مثال به دیوار حوض برخورد می نماید دوباره بطرف عقب انعکاس می کند شکل (1-8) . این موج منعکسه قسمی معلوم میشود که گوئی از انداختن سنگی در نقطهٔ دیگری مقابل نقطهٔ اولی در خارج حوض بوجود آمده باشد بنابر ان دیوار حوض در مقابل امواج سطحی آب عیناً مانند آئینهٔ بمقابل امواج نور عمل مینمایند .

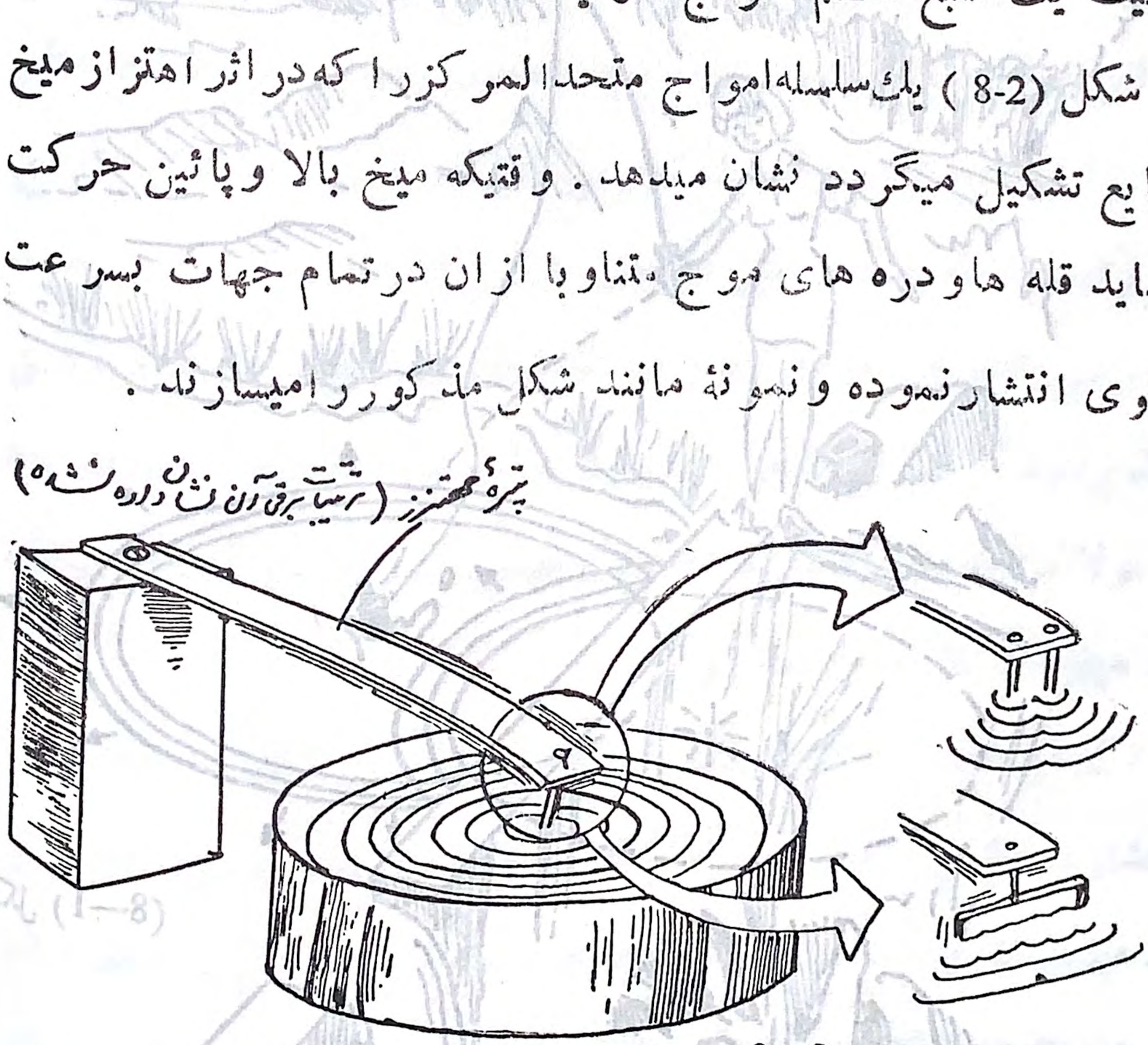


شکل (1—8)

برای مطالعه بیشتری انتشار امواج سطحی لازم می افتد تا از حوض به لابراتوار رفته عوض تولید موج توسط انداختن سنگ وغیره در حوض از آلات کاملاً قابل کنترول کار بگیرم. شکل (2-8) یك ظرف پر از آب و یا سیماب را نشان میدهد که در ان امواج توسط یك پتره که ذریعه ترتیبات برقی عیناً مانند یك زنگ برقی و یا بزز کار میکنند تولید میگردد. بانجام مهتزز پتره و یك یا دو میخ و یا پتره طول دومی نصب گردیده است. دستگاه طوری ترتیب شده است که پتره هنگام بالا و پائین شدن محض سطح مایع را تماس کرده و وبحیث یك منبع منظم امواج کار میکنند.

شکل (2-8) یك سلسله امواج متحدالمرکز را که در اثر اهتزاز میخ درمایع تشکیل میگردد نشان میدهد. وقتیکه میخ بالا و پائین حرکت مینماید قله ها و دره های موج متناوبا از ان در تمام جهات بسرعت مساوی انتشار نموده و نمونهٔ مانند شکل مذکور را میسازند.

پتره مهتزز (ترتیبات برقی آن نشان داده نشده)



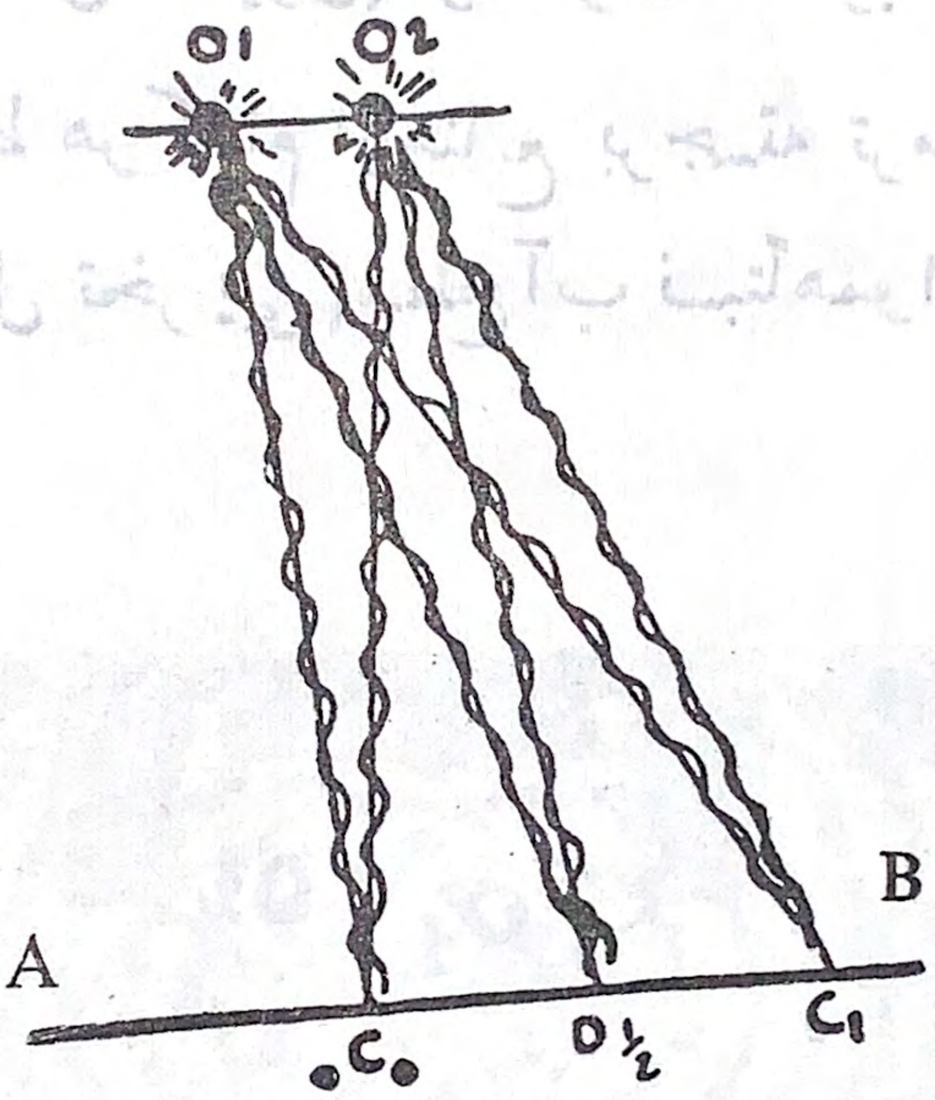
شکل (2—8)

حال اگر دو میخ را در انجام مهتزز پتره وصل کنیم هریك ازدو میخ موج های متحدالمرکز جداگانهٔ رابوجود خواهند آورد که یك دیگر رامتأثرساخته ودر نتیجه چیزی رابوجودمیاورند که تداخل نامیده میشودشکل (3-8) طوریکه درشکل دیده‌شده میتواند سطح مایع به باریکه های متعددی که به C و D نشان داده شده می شکند. به‌امتدادباریکه (C تداخل تعمیری) دره‌هاو قله‌هانظربه دره هاو قله‌های امواج جداگانه توسط هرکدام ازمنابع برجسته ترمیباشند درحالیکه بامتدادباریکهٔD (تداخل تخریبی) سطح آب نسبتاً هموار وغیر مضطرب باقی می ماند.

شکل (3-8)

یکنوع توضیح این طرز رویداددرشکل (4-8) که منابع O_1 و O_2 شکل (3-8) را ارائه می کندو خط AB حسب الخواهش در یك حصهٔ آن

رسم گردیده نشان داده شده است . نقطهٔ C_0 ازهر دو منبع هم فاصله بوده لذا امواج دران هم فیرمیرسد ، بعبارهٔ دیگر دره ها وقله های امواج هم زمان به آن مواصلت نموده بنابران تأثیر شان جمع میشود بناءً دامنه حرکت سطح آب درین ناحیه دو برابر امواج جداگانه توسط هریك ازمنابع است .



شکل (4-8)

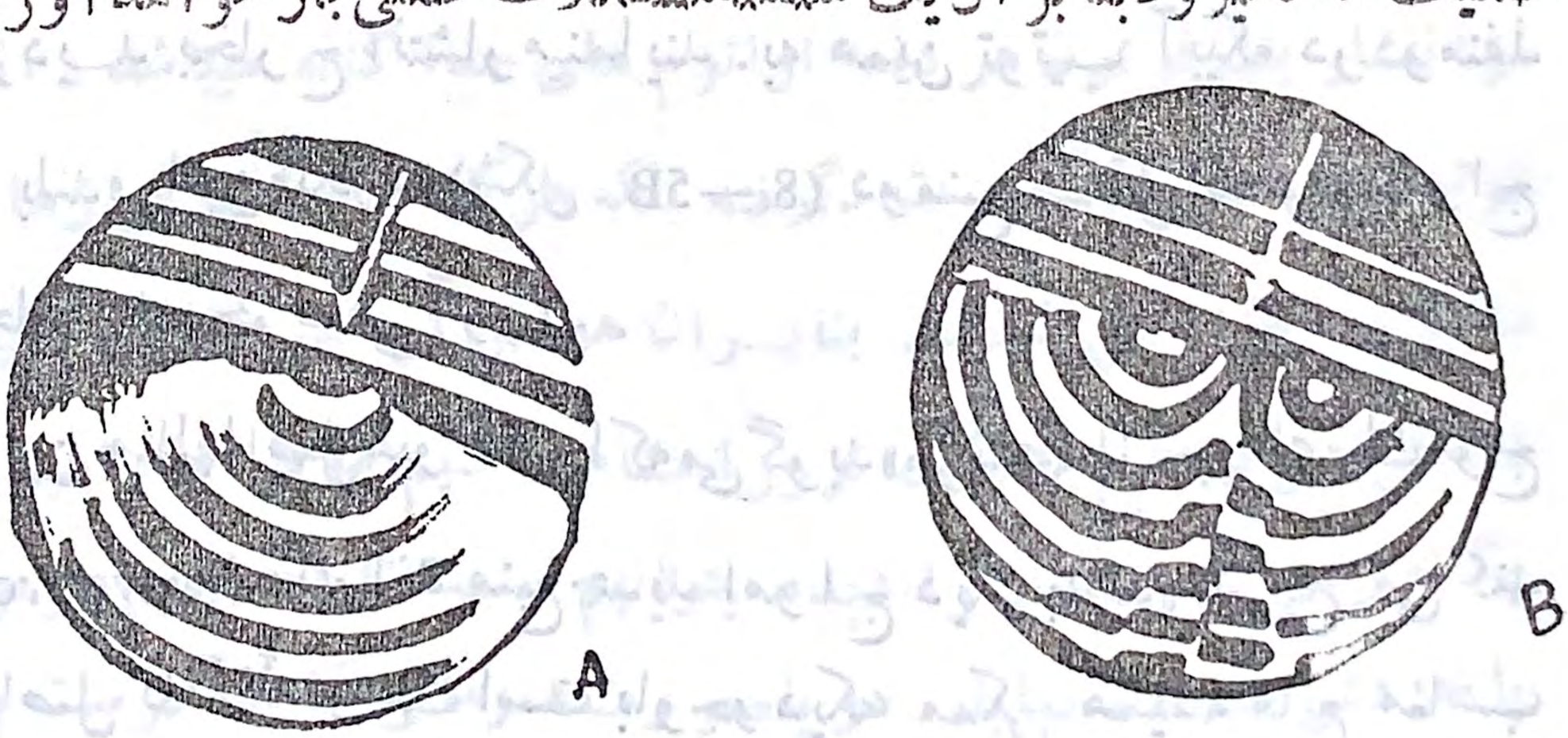
هرگاه بامتداد AB حرکت کنیم بعدازطی فاصلهٔ کوچکی بد و طرف C_0 به نقطهٔ میرسیم که به $\frac{D_1}{2}$ نشان داده شده و از O_1 نسبت به O_2 با ند ازهٔ $\frac{\lambda}{2}$ دورتر واقع است. دره های امواج از O_1 با ین نقطه فقط و قتی میرسند که قله های امواج از O_2 می آیند و یا برعکس . بنابر آن مجموع دو نبض همیشه درین جا صفر میباشد . ا ین تداخل تد ا خل تخریبی بوده لذاسطح مایع درین نقطه تقریباً غیر مضطرب با قی می ماند.

بعدازین بامتداد AB بد و طرف C_0 به نقاط ما نند C_1 و C_2 میرسیم

که فاصلهٔ آن از دو منبع باندازهٔ $2\lambda, \lambda$ و غیره تغییر دارد. از آنجائیکه تغیر فاصله درچنین نقاط ضریب های تام λ است بنا بر آن امواج به طور هم فیز در نجار سیده و اضطراب اعظمی سطح مایع را باعث میگردد. در نقاط مانند $D_{3/2}$، $D_{5/2}$ وغیره امواج کاملاً مخالف الفیز بوده و بنابر آن یك دیگر را خنثی مینماید.

هر گاه در شکل (3—8) مثل AB چندین خط رسم مینمودیم با متداد هر کدام از آنها نقاط شدیداً متلاطم (بطن) و ارام (گره) را یافته و در نتیجه از اتصال نقاط مشابه خطوط متلاطم و ارام را عیناً مانند که در شکل (3—8) نشان داده شده است بدست آورده میتوانستیم. (شاگردانیکه هندسه تحلیلی میدانند تشخیص خواهند داد که این خطوط های پربولا ها اند.)

(2—8) اصل هیوگنز: میخ های اهتزاز کنندهٔ شکل (2—8) را میتر انیم با پتروهٔ طویل مستقیم که میتواند یك سلسله امواجی خطی را که در تانك انتشار مینمایند تولید کند تبدیل نمائیم. (امواج خطی میتواند از اهتزاز یك میخ بیك فاصله خیلی دور نیز تولید گردد ولی چون با تزئید فاصله امواج ضعیف شده میرود بنا بر آن یك سلسله مشکلات عملی بار خواهد آورد.)



شکل (5_8)

حال اگر مانعی را بامنفذ باریك ومناسب درسر راهی امواج خطی قراردهیم امواج منفذ اعبور نموده وامواج کروی رادر عقب مانع بوجود می آورند که باموا ج مولده توسط اهتزازمیخ واحد شباهت کامل دارد شکل (5A — 8) هر گاه مانع دومنفذ داشته باشد نمونه امواج که درعقب آن تولید میگردد بانمونه امواج که در نتیجه اهتزازدو میخ تولید میگردد شباهت دارد شکل (5B — 8) .

اگر چه طوریکه قبلاً بیان کردیم موج منفذ مانع راعبور می نماید وقسماً این حکم مادرست است لیکن برای مطالعه خوبتر مسئله باید آن را از نقطه نظر هیو کنز بررسی کنیم. هر گاه ازحصهٔ زیر تصویر شکل (5A-8) بان نگاه کنیم اهتزازات بالا وپائین آب را که در منفذ مانع که بمجرد برخورد امواج سطحی بطرف دیگری مانع صورت میگیرد تصور کرده میتوانیم . اضطرابات که توسط این آب مهتزز تولید میگردداز منفذ بقسم نبض های متحدالمرکز مشابه باموا جیکه توسط میخ تولید میگردید بخارج انتشار مینمایند . به همین ترتیب آبیکه در دومنفذ مانع بلند وپائین میگردد (شکل 5B — 8) دومنبع مستقل نقطوی امواج تداخلی را بوجود می آورند .

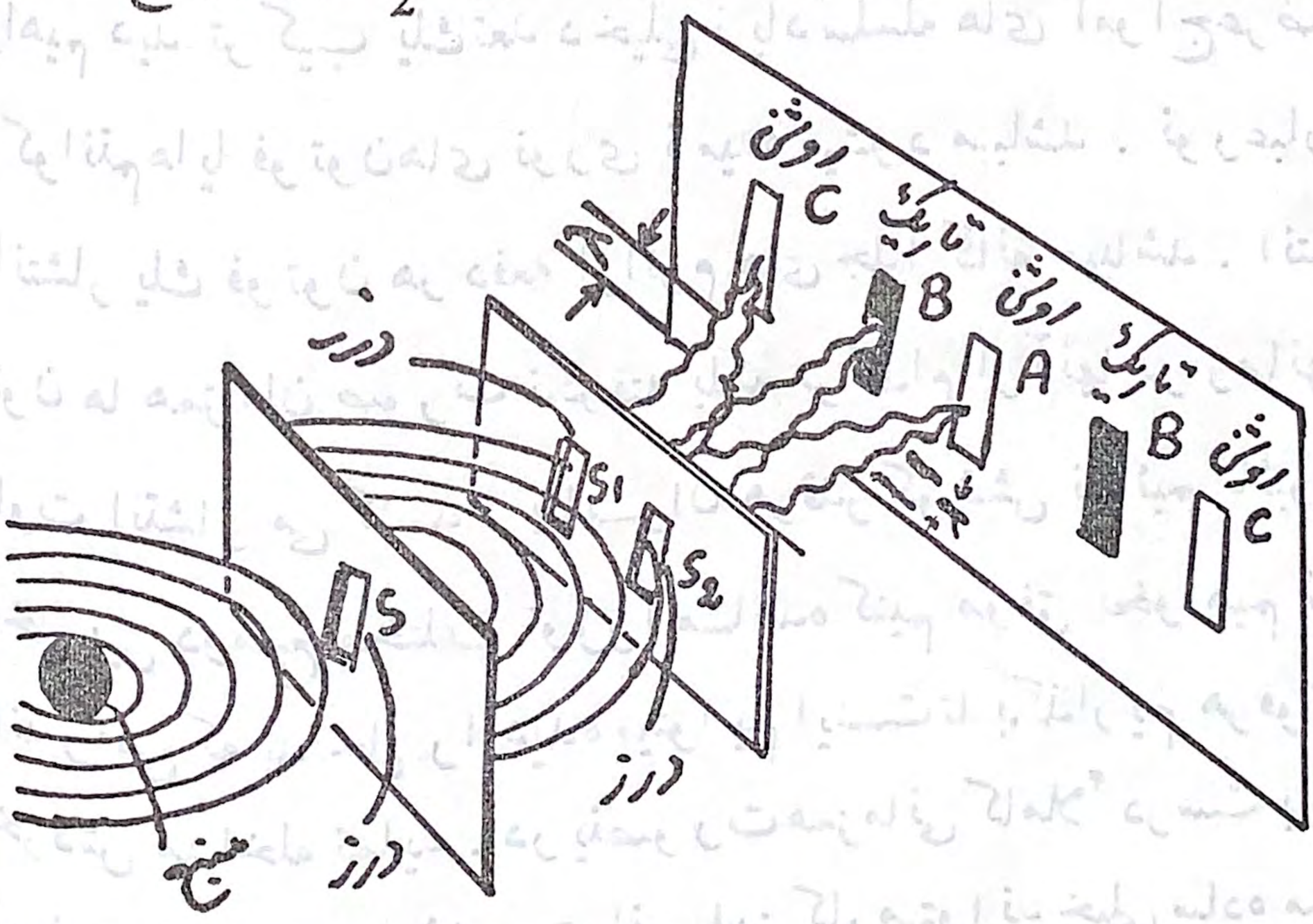
این مثالها اصل هیو گنز را که می گوید «هر نقطهٔ از جبهه ای یك موج (wave front) میتواند منبع جدید امواج دیگر باشد» تشریح می کند این اصل کاملاً درست است باوجودیکه ممکن همیشه مانع مناسب برای جلوگیری از تمام تاثیرات آن بجز در یکی یا دو نقطه مجزا بامتداد

یك جبهه ای موج نداشته باشیم . انتشار نبض های متحد المرکز روی یك سطح بدون مانع یا پیشرفت امواج سطحی که در نتیجهٔ تداخل دو جانبه (به جلو وعقب) میان موجك هائیکه همزمان از یك سلسله نقاط غیر معین بامتداد هر موج خارج میگردد صورت می گیرد. اصل هیو گنز در فزیك نظری نور خیلی مهم بوده وروول بزرگی رادر مطالعه امواج نوری بازی می کند .

(3—8) تداخل امواج نور : قبلاً حادثهٔ تداخل را بارتباط امواج سطحی روی مایع شرح کردیم عیناً همین استدلال میتواند در مورد دوموج نوری عامل بر یك دیگر تطبیق گردد .

لیکن سوال در بن جاست که چطور میتو انیم اهتزازات دو منبع نوری را همزمان (Synchronize) سازیم. نور مرئی که آن رابزودی خواهیم دید ترکیب یك تعداد خیلی زیاد سلسله های امواج عرضانی که کوانتم ها یا فوتون های نوری نامیده میشود میباشد . نور عبارت از انتشار یك فوتون هر دفعه ازاتوم های جدا گانه میباشد . انتشار فوتون ها همزمان صورت نمیگرفته بلکه هر کدام از آنها در زمانهای متفاوت انتشار می کند . بنابران هرقدر کوشش نمائیم تاثیرات تداخل بین دومنبع مختلف نوررا مشاهده کنیم موفق نخواهیم شد. یگانه راهی که تداخل را دیده میتوانیم اینست تا بگذاریم هرفوتون با خردش مداخله نماید . در ینصورت همزمانی کاملاً درست برای تمام فوتون ها تضمین شده میتوانند. این کار میتوانند خیلی ساده مشابه

دو منفذیکه قبلاً در شکل (8—5B) برای امواج سطحی دیدیم انجام شود. شکل (8 – 6) منبع نور مونوکرومتیک (نور را باطول های موج مساوی) که درز S را روشن ساخته—ه وازان نور به درز های S_1 و S_2 انتشار می نماید نشان میدهد. میتوانند تصور شود هر فوتونکه به درز اولی برمی خورد درزهای S_1 و S_2 راهمزمان تنویر نموده وامواجیکه از S_1 و S_2 راعبور مینمایند باهم هم فیز باشد. برای روشن شدن بیشتری موضوع انتشار گرافیکی امواج بخطوط مستقیم بالای یك پرده و یا فلم توسط نقاط A, B و C نشان داده شده است. چون نقطهٔ A ازدرزهای S_1 و S_2 هم فاصله است بنابران امواجیکه همزمان ازدرزهای مذکور شروع به حرکت مینمایند کاملا هم فیز به نقطه A رسیده و یك دیگر را تقویه می کنند لذا نقطهٔ A بیشتر روشن میشود. نقطهٔ B در رسم طوری انتخاب گردیده که از S_2 نسبت به S_1 به اندازهٔ $\frac{\lambda}{2}$ دورتر واقع است.



شکل (8–6)

لذا امواج هم فیزیکه از درزهای S_1 و S_2 انتشار می کند کاملا مختلف الفیز به نقطهٔ B رسیده و یك دیگر را خنثی می کند بنابران نقطه مذکور تاریك باقی میماند. نقطهٔ C از S_2 نسبت به S_1 بفاصلهٔ λ دورتر واقع است لذا امواجیکه به نقطه C میرسد بالترتیب از هم بقدر λ فاصله داشته بنابران امواج درین نقطه هم فیز و در نتیجه نقطهٔ C روشن میگردد.

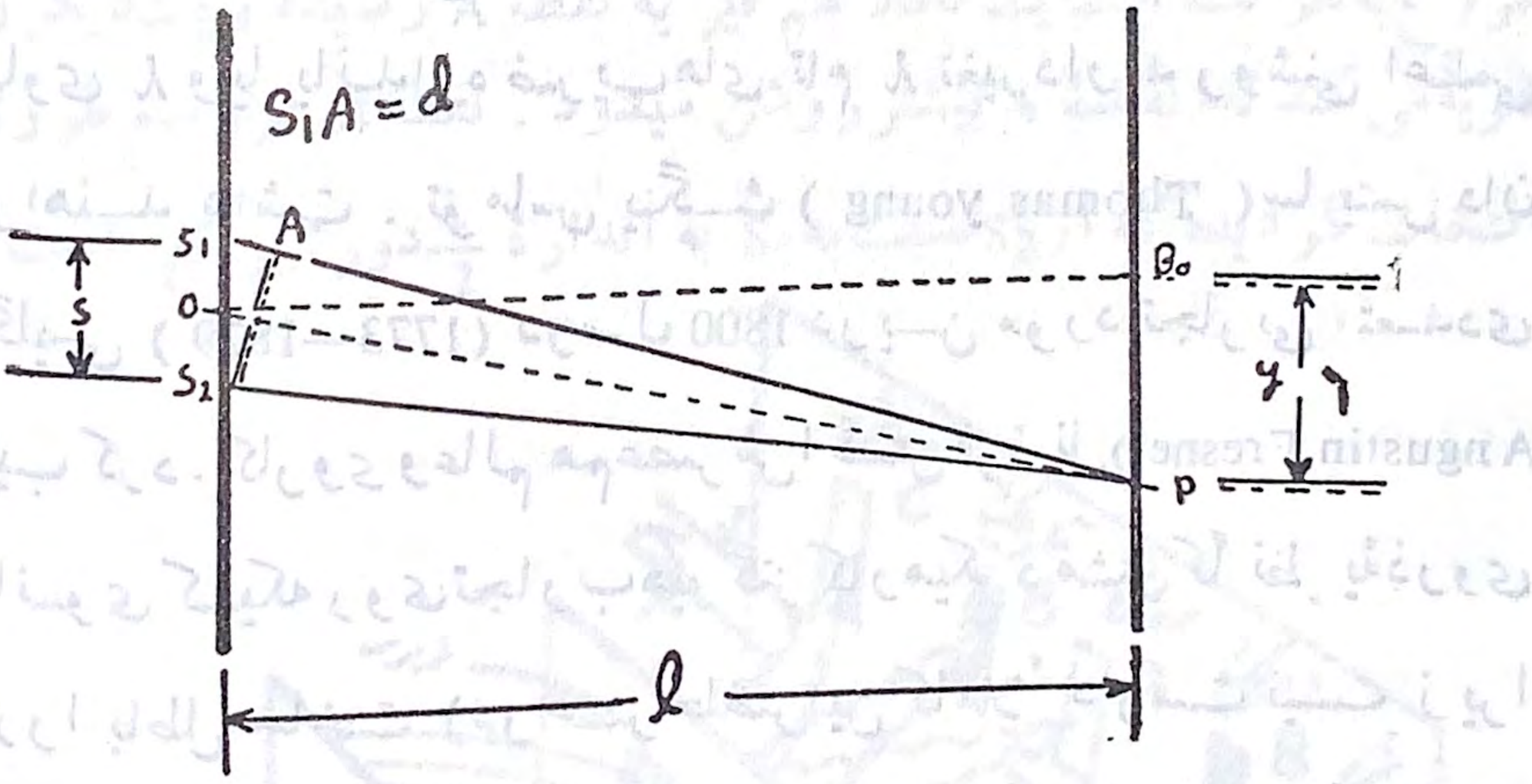
چنین استدلال میتواند ادامه یابد و بنابران این حکم عمومی را صادر مینمائیم. نقاطیکه بفاصله ضریب های طاق $\frac{\lambda}{2}$ از یك درز نسبت بدرز دیگر دورتر واقع اند تاریك و نقاطیکه فواصل شان از درزها مساوی λ و یا باندازه ضریب‌های تام λ تغیر دارند روشنی اعظمی خواهند داشت. توماس ینگ (Thomas young)سا ینس دان انگلیسی (1773—1829) درسال 1800 درین مورد تجاربی متعددی ترکیب کرد. کاروی وعالم هم‌عصرش اگستن فرزنل(Angustin Fresnel) فرانسوی کسیکه روی تجارب هیوگنز کار میکرد مشترکاً نظریهٔ ذروی نور را باطل ساخت (در عصر حاضر این کاملا درست نیست زیرا نور گاهی خاصیت ذره وی ازخود نشان میدهد ولی از چیزیکه نیوتن تصور میکرد کاملا فرق دارد.)

متودهای تداخل زمینه را برای اندازه نمودن مستقیم طول موج رنگ‌های مختلف نور فراهم میسازد. هر گاه درزها توسط نورابی تنویر شود فاصله بین نقاط روشن و تاریك خیلی کوچك تر از حالتی

خواهد بود که نور سرخ استعمال گردد . این مسئله نشان میدهد که طول موج نورابی نسبت بـه نور سرخ کوچکتر است . کوتاه ترین طول موج نور قابل دید توسط چشم انسان تقریباً 4×10^{-5}Cm (طول موج نور بنفش) وطویلترین آن $7,5\times10^{-5}$ Cm (طـول موج رنگ سرخ تیره) میباشد. طول امواج اکثر آذریعهٔ واحدی بنام انگستروم (A°) اندازه میشود .

$$1A^\circ = 10^{-8}\ Cm$$

بنابران گفته میتوانیم کـه ساحه طول امواج قابل دیـد از 4000 تا 7500 انگستروم میباشد .



شکل (7—8)

بطور نمونه که چطور میتوانیم یك جورهٔ درزها را برای دریافت طول موج یك رنگ معین استعمال کنیم شکل (7-8) را که دران درزهای S_1 و S_2 بفاصله s ازهم دیگر واقع اند در نظر میگیریم . این درزها ذریعهٔ درزویا منبع کوچك دیگری نورمونوکرومتیك

که در شکل نشان داده نشده تنویر میگردد . اگر فرض شود که نور همزمان به S_2 و S_1 میرسد و هم نقطهٔ B_0 را روی پرده مستقیماً مقابل O که نقطه تنصیف S_2S_1 است نشانی کنیم B_0 بفاصله مساوی از S_1 و S_2 واقع بوده و موج نور هر طول که داشته باشد بدون کدام تفاوت درزهای مذکور را روشن کرده در آنجا امواجی را تولید میکنند که بصورت هم فیز به نقطه B_0 میرسد و بنابران یك دیگر را در ین جاه تقویه نموده نقطهٔ B_0 را روشن می سازد .

حال بدو طرف B_0 بالای پرده پائین (و یا بالا) تا نقطه مانند P که از B_0 باندازهٔ y واقع است حرکت کرده و درعین حال نقطهٔ A را بالای S_1P طوری انتخاب مینمائیم که $AP = S_2P$ گردد . فاصلهٔ S_1A را به d نشان میدهیم . هرگاه فاصلهٔ d مساوی به ضریب های تام طول موج باشد امواج از S_1 و S_2 به P بصورت هم نیز رسیده لذا نقاط مانند P بطور اعظمی روشن میگردد . اگر فاصلهٔ d مساوی به ضریب های طاق نصف طول موج باشد در ینصورت امواج کاملاً مختلف الفیز به نقطهٔ P رسیده و بنابران در ینصورت نقاط همچو P بالای پرده تاریك باقی میمانند .

شکل (7-8) طوری ترسیم گردیده که در ان OB_0 و OP بالترتیب بر S_1S_2 و AS_2 عمود میباشد . بنا بر ان زوایای S_1S_2A و POB_0 باهم مساوی اند . اگرچه از نظر یك هندسه دان دقیق مثلثات S_2S_1A و OB_0P باهم مشابه نمیباشند لیکن متشابه دانستن آنها وقتیکه S نظر به

d و یا نظر به y بزرگتر باشد چنانچه تقریباً همیشه همین طور است آنقدر از حقیقت دور نیست لذا با تشابه مثلثات مذکور داریم :

$$\frac{d}{s} = \frac{y}{l}$$

بطور مثال درز های رادر نظر میگیریم که از همدیگر بفاصلهٔ $6,1 \times 10^{-3}$ سانتی متر واقع بوده و در مقابل یک فلم عکاسی که بفاصلهٔ 25 سانتی متر از آنها واقع است قرار دارند. درز ها ذریعهٔ نورمونوکرومتك تنویر گردیده و بعد از یك وقت مناسب فلم یك سلسله نوار های روشن را نشان میدهد که از همدیگر بفاصله 0,21 سانتیمتر واقع اند. اگرچه فاصله بین نوار های مذکور مساوی است وفرقی ندارد کدام جورهٔ ازآن هارا انتخاب میکنیم بیائید مطابق شکل (7-8) فاصله بین نوار مرکزی B_0 و نزدیکترین نوار مجاور آن B_1 را که برابر $y=0,21$ سانتی متر است در نظر بگیریم. چون B_1 نزدیکترین سامحه‌ای روشن به B_0 است لذا $\lambda = d$ بوده و بنابران :

$$\lambda = d = \frac{sy}{l} = \frac{6.1 \times 10^{-3} \times 0.21}{25}$$

$$\lambda = 5,1 \times 10^{-5} \text{ Cm}$$

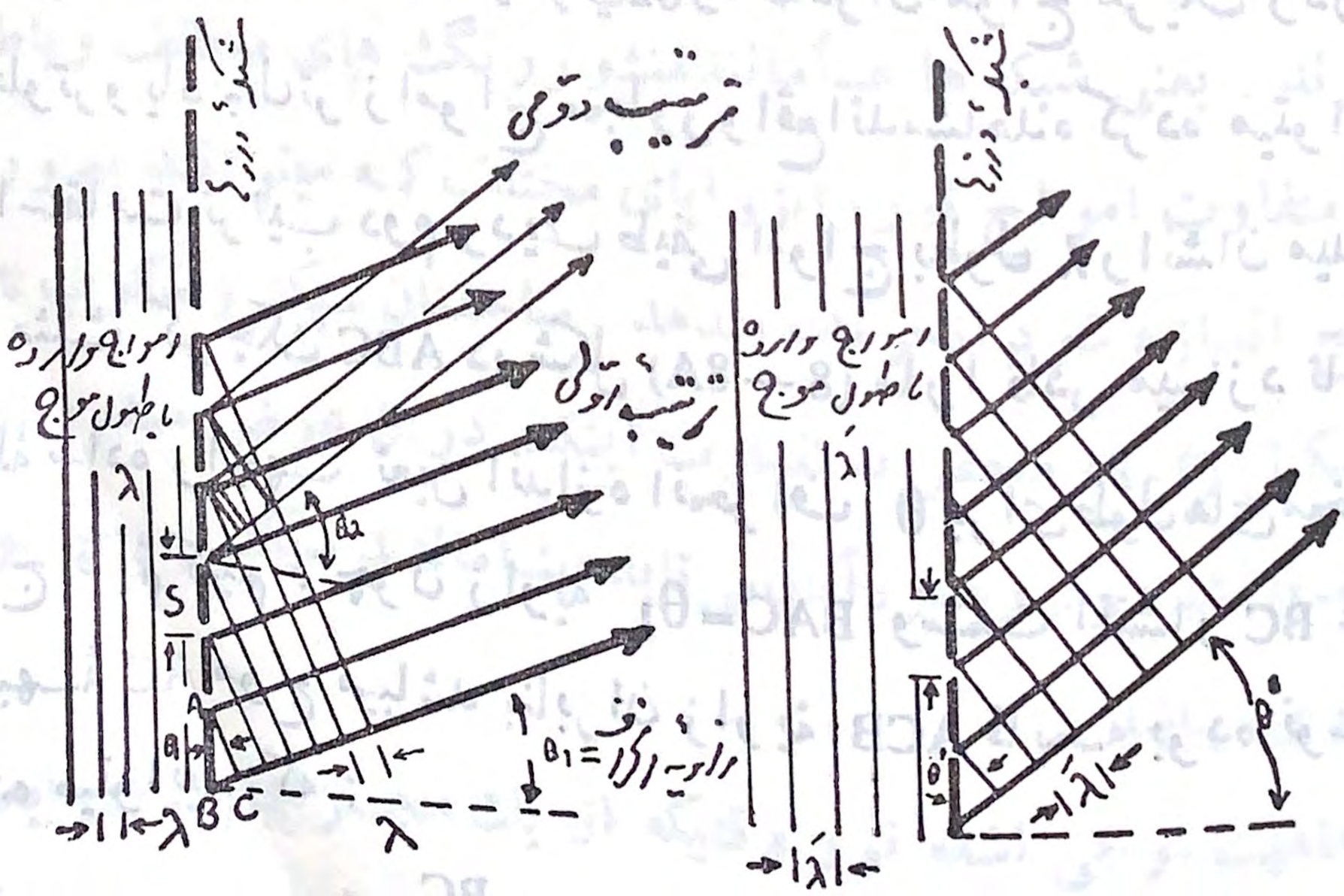
$$= 5,1 \times 10^{-5} \times 10^{-8}$$

$$= 5100 A^{\circ}$$

(8 — 4) شبکهٔ نوری Optical Gratings : موضوع تداخل امواج

اب میتوانند به یک تعداد زیاد منفذها در یک مانع طویل مورد تطبیق قرار گیرد. عین همین تاثیر را یک شبکهٔ بالای امواج نور دارد. یک

شبکهٔ عبور دهنده نور را میتوانیم از یک تو ته شیشه که روی ان یک تعداد زیاد خطوط بسیار باریک کنده شده باشد بسازیم . وقتیکه چنین شیشه در مقابل اشعهٔ نور قرار گیرد تنها نوریکه روی خطوط بان میرسد آن را عبور کرده تجزیه و نوریکه بین خطوط میرسد از ان انعکاس مینماید یک شبکهٔ انعکاس دهنده عیناً مانند اینکه نور از پهلوهای صیقلی خطوط صحیح قالب شده در سطح آئینه های فلزی انعکاس مینماید کار میکند . ذریعهٔ تکنیک های جدید شبکه های را امروز تهیه میدارند که در انها هزارها در زفی میلمتر تهیه گردیده است . این شبکه های اصلی خیلی قیمت بها بوده و از انها معمولاً در ریسرچ های بسیار مهم استفاده مینمایند اثرات بالای این شبکه های اساسی را میتوانیم در پلاستیک که از نگاه درستی مانند شبکه های اساسی ولی خیلی ارزانتر از ان است و برای بسیاری از مقاصد قناعت بخش میباشد ثبت کنیم .



A B (شکل 8—8)

شکل(8A — 8) یک سلسله جبهات موج یک شعاع نور بطول موج λ را بالای یک شبکه عبور دهنده نور که فاصله بین درزهای آن s است نشان میدهد . نظر به اصل هیگونز هر خط شبکه بحیث منبع جدید امواج که بطرف راست شبکه پیش میروند کار میدهد . برای یک طول موج مشخص λ یک انحراف معین θ_1 در سمت انتشار امواج رخ میدهد که درین استقامت امواج مولده در هر یک از درزها با اندازهٔ λ جلوتر و یا عقب تر از امواج مولده در درزهای مجاورش میباشد . بنابران تمام امواج مولده توسط تمام درزها درین جهت هم فیز میباشند .

استقامت θ_1 که در آن امواج نوری هر یک از درزها محض بفاصله λ جلوتر و یا عقب تر از امواج درزهای مجاور واقع اند . استقامت ترتیب اول ردیف طیفی امواج دارای طول λ را تعین مینماید . در شکل(8A — 8) استقامت دیگری θ_2 را که در آن امواج هر یک از درزها 2λ جلوتر و یا دنبال تر از امواج مجاور واقع اند مشاهده کرده میتوانیم. این استقامت ترتیب دوم ردیف طیفی امواج بطول λ را نشان میدهد.

مثلث کوچک ABC در شکل (8A — 8) ما را قادر میسازد تا یک رابطهٔ ساده را جهت تعین اندازه انحراف θ برای طول های مختلف امواج قایم کنیم . چون زاویه $BAC=\theta_1$ وسمت انتشار BC عمود بر جبههٔ AC موج میباشد بنابران زاویهٔ ACB قایمه بوده نوشته کرده میتوانیم که :

$$\sin\theta_1 = \frac{BC}{AB}$$

چون $BC=\lambda$ و $AS=S$ است لذا داریم که :

$$\mathrm{Sin}\theta 1=\frac{\lambda}{S}$$

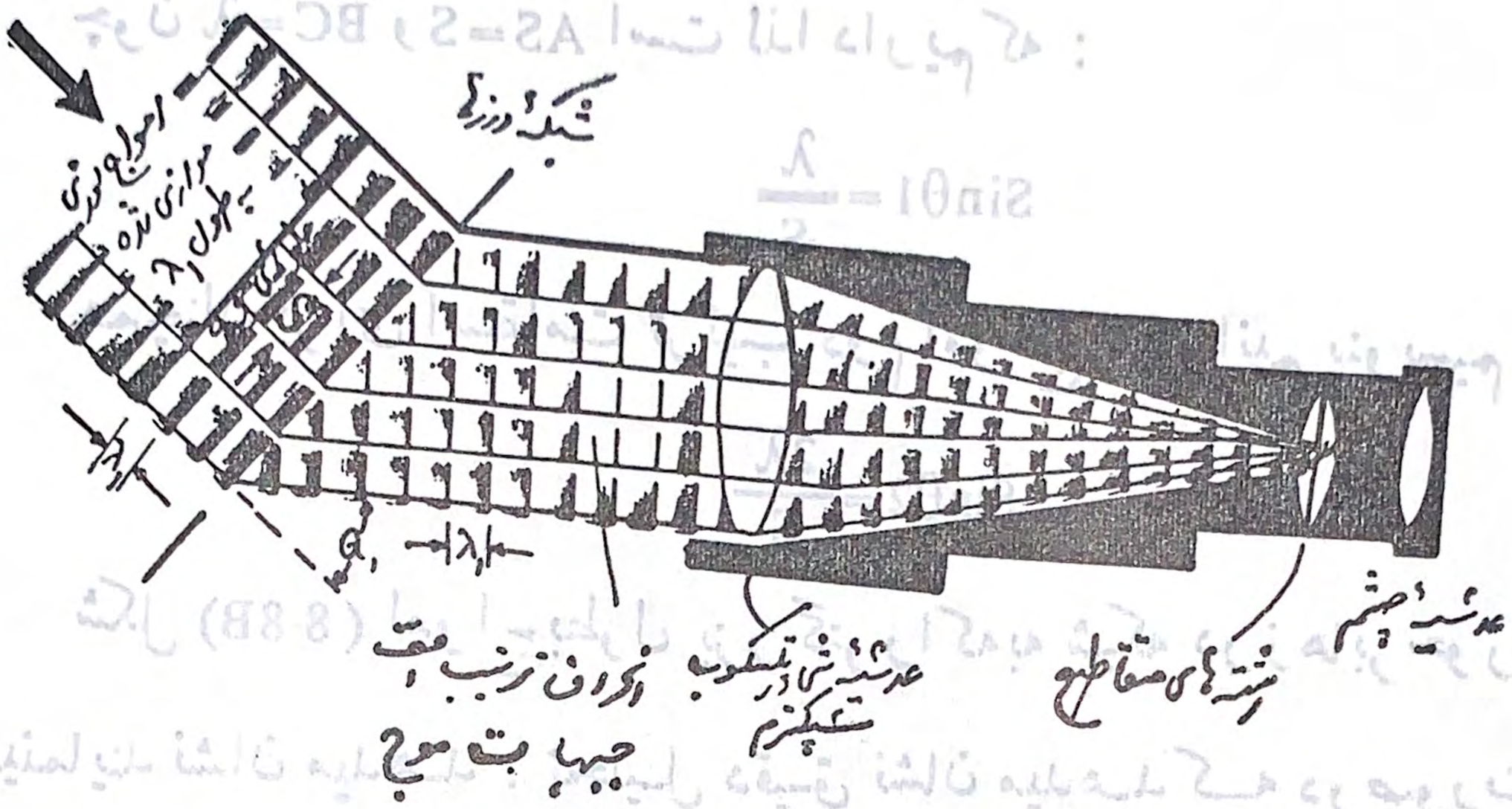
همچنان برای استقامت ترتیب دوم امواج میتوانیم بنویسیم :

$$\mathrm{Sin}\theta 2=\frac{2\lambda}{S}$$

شکل (8-8B) امواج بطول بزرگتر را که به شبکه درزها برخورد مینمایند نشان میدهد . تحلیل دقیق نشان میدهد که درصورت $\lambda'>\lambda$ باید $\theta'>\theta$ باشد . بعبارت دیگر در سپکتروسکوپ شبکه ای طول موج بزرگتر بیشتر انحراف مینماید (عکس مسئله وقتیکه نور از منشور بگذرد واقع میشود).

در بسیاری از سپکتروسکوپ های امروزی برای مطالعهٔ اجزای نور که در طیف آن موجود است عوض منشور بیشتر از شبکه ها کار میگیرند . یعنی شبکه ها عیناً مانند منشور رنگ های مختلف و یا طول های متفاوت امواج نور را بزوایای مختلف که مینوانند بصورت صحیح اندازه شود انحراف میدهد . ساختمان سپکترو سکوب شبکه ای شکل (9-8) محض به تفاوت اینکه دران عوض منشور شبکه استعمال شده و نور عموداً بان می تابد عیناً مانند سپکتر وسکوب منشوری میباشد .

ماهیت موجی اشعه نور وقتیکه از یك مجرای دارای ابعاد متناسب بطول موج نور عبور کند نیز تشخیص شده میتوانند اگر

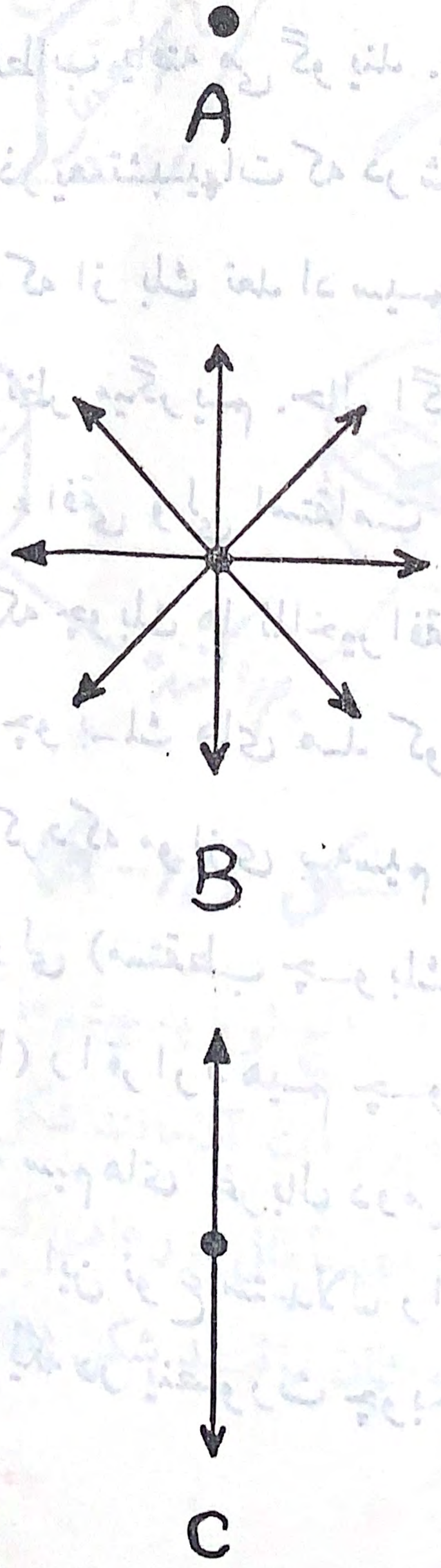


شکل (9—8)

ابعادسو راخیکه نوراز ان عبورمینمایدخیلی بزرگتراز طول موج نور باشد نو رهنگام گذشت از ان لکه روشنی مشابه بـه سوراخ راروی پرده که عقب سوراخ گذا شته‌شده است تو لیدمی نماید . لیکن وقتیکه ابعاد مجرا باطول موج نور قابـل مقا یسه باشد اشعـه در آن تجربه گردیده وچیزیکه روی پرده دیده شده میتوا ند عبارت از یك لکهٔ پراگنده درخشان از حلقه های متحد المر کزروشن وتاریك ترکیب گرد یده وازان بصورت درست چیزیکه در باره‌شکل یا اندازه‌سوراخ نتیجه گیری کرده نمیتوانیم میباشد. این حادثه که انرا تجزیه نورمینامند جسا مت اجسام کو چك رانظر به دیدن یاعکاسی نمو دن آنها ذریعهٔ نورمرئی محدو دترمی ساز د. درحقیقت نـو راصلاً ازاجسام محض به طول موج نورعیناً مانند اینکه یـك نقاش نمـیتوا نـد یـك عکس مینا تورزا ذریعهٔ یاك برس دوانچه رسم کند تصو یر تو لید کرده نمیتوا ند.

(5 — 8) استقطاب نور: طوریکه از گذشته میدانیم دو قسم انتشار موج ممکن است: (1) امواج طولی که در ان حرکت هریك از ذرات باستقامت انتشار موج و (2) امواج عرضی که در ان حرکت ذرات عمود بر استقامت انتشار موج صورت میگیرد.

حال سوال درین جاست که موج نور از جمله ای کدام نوع امواج فوق است؟ فرقی بسیار بزرگی که بین امواج طولی و عرضی موجود است اینست که اخری استقطاب پذیر میباشد. برای درك خوبتر موضوع بطرف یك موج مطابق شکل (10 — 8) بامتداد استقامت انتشار ان می بینیم.

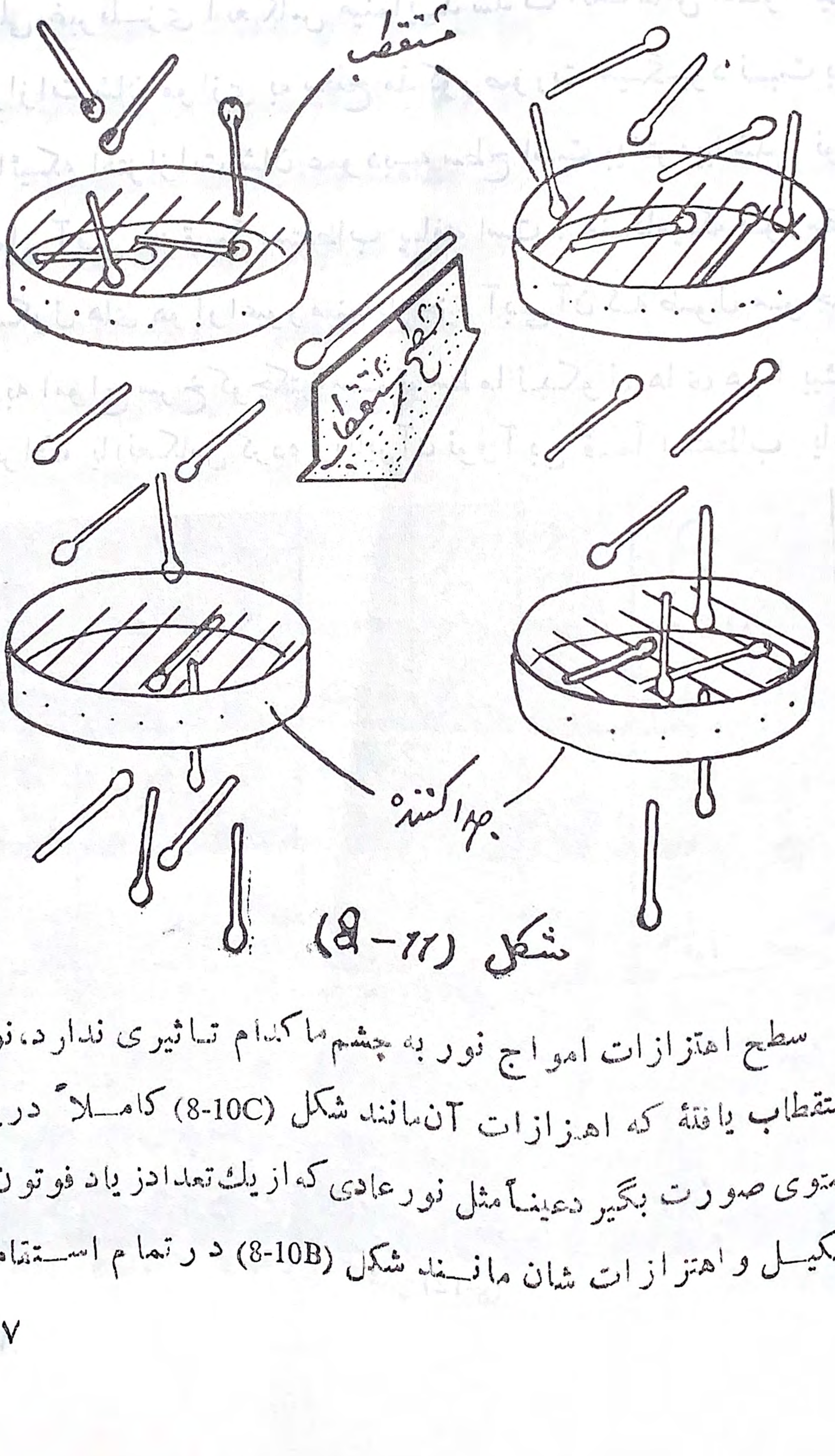


شکل (8-10)

در صورت امواج طولانی شکل (8—10A) حرکت ذرات عمود بر صفحهٔ کاغذ صورت گرفته وامکان ندارد از استقامت که انرا می بینیم مشاهده شود. درصورت امواج عرضانی شکل (8— 10B,C) حرکت ذرات در صفحه کاغذ صورت گرفته وباسانی میتواند دیده شود. امواج عرضانی ای راکه دران حرکت ذرات به تمام جهات ممکنه مانند شکل (8—10 B) صورت بگیرد امواج استقطاب نا یافته وانهای راکه حرکت ذرات در انها تنها مانند شکل (8-10 C) بیك استقامت باشد استقطاب یافته می گویند.

مفهوم استقطاب میتواندذریعه تشبیهات که در شکل (8 — 11) داده شده تشریح گردد. غربال راکه از یك تعداد سیم های موازی بهم ساخته شده باشد در نظر میگیریم. حال اگر یك تعداد چوبك های گوگرد راکه کاملاء افقی ولی استقامت های مختلف دارد در غربال رها کنیم طوریکه چوبك ها تااخیر افقی باقی بماند. واضع است که از جمله ای چوبك های مذکور انهای سیم های غربال راعبور خواهد کرد که موازی بهسیم های مذکور باشد. اگر در تحت غربال اولی (مستقطب چوبك ها) غربال دیگری (جداکنندهٔ چوبك ها) را قرار دهیم چوبك ها زمانی ازان عبور کرده میتوانند که سیم های غربال دومی موازی به سیم های غربال اولی قرار گیرد. این نوع استدلال رابرای امواج طولانی نیز میتوان دوام داد طوریکه در ینصورت چوبك ها را عموداً در

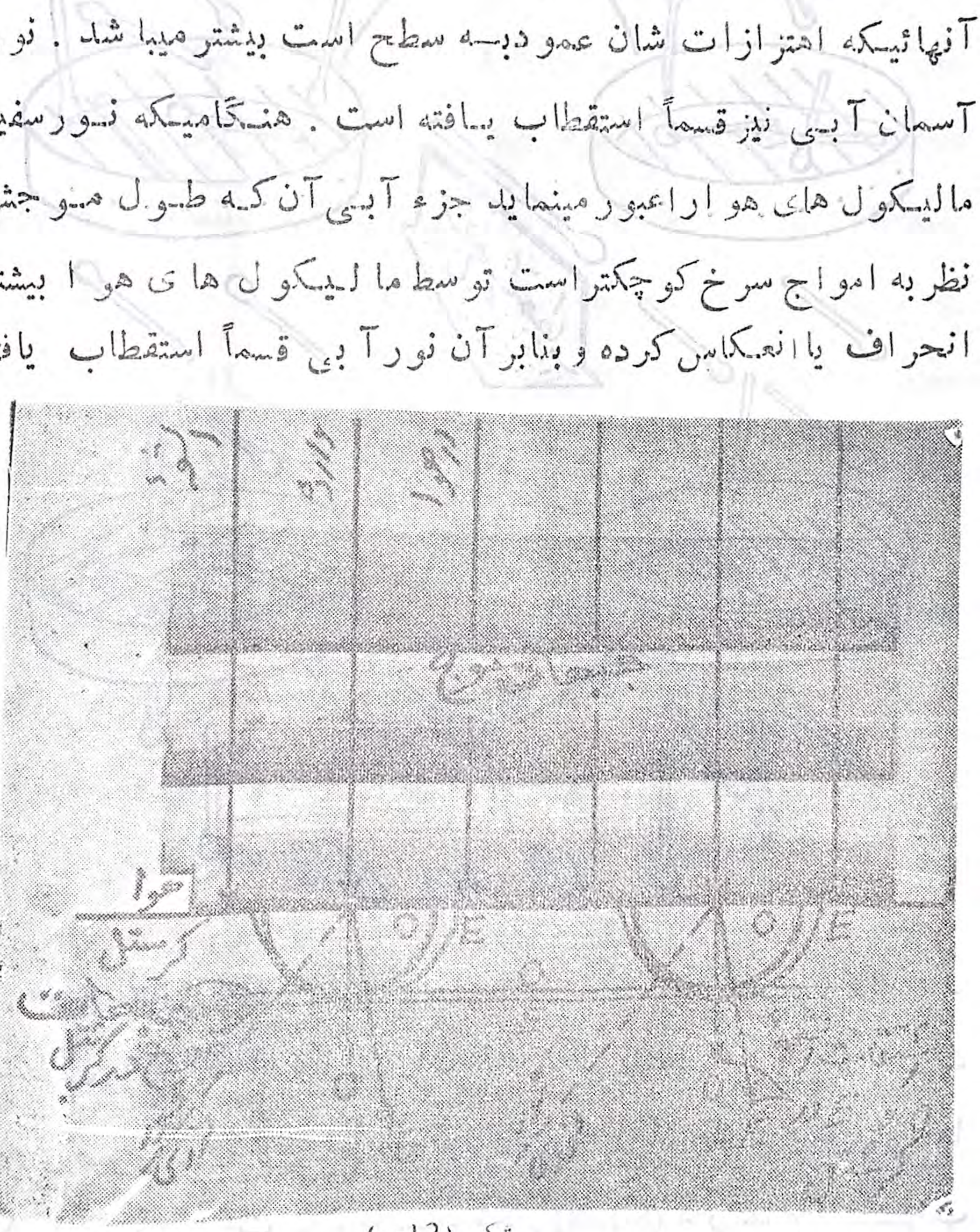
غربال پرتاب میکنم در ین حالت خواهیم دید که تمام چوبك‌ها بدون اینکه تابع طرز گذاشتن غربال ها باشد انها را عبور مینماید .



شکل (8-10)

سطح اهتزازات امواج نور به چشم ما کدام تاثیری ندارد، نور استقطاب یافتهٔ که اهتزازات آن مانند شکل (8-10C) کاملاً در یك مستوی صورت بگیرد عیناً مثل نور عادی که از یك تعداد زیاد فوتون ها تشکیل و اهتزازات شان مانند شکل (8-10B) در تمام استقامت

های ممکنه صورت میگیرد معلوم میشود. حداکثری نور را که مشاهده مینمائیم قسماً استقطاب یافته میباشد، زیرا وقتیکه نور از یك سطح صیقلی غیر فلزی انعکاس مینماید شدت انعکاس امواجیکه اهتزازات شان موازی به سطح مذکور صورت میگیرد نسبت به آنهائیکه اهتزازات شان عمود به سطح است بیشتر میباشد. نور آسمان آبی نیز قسماً استقطاب یافته است. هنگامیکه نور سفید مالیکول های هوا را عبور مینماید جزء آبی آن که طول موجش نظر به امواج سرخ کوچکتر است توسط مالیکول های هوا بیشتر انحراف یا انعکاس کرده و بنابر آن نور آبی قسماً استقطاب یافته



شکل (12-8)

است . چشم زنبور عسل نه تنها نور استقطاب یافته را از نور غیر استقطاب یافته تشخیص داده میتواند بلکه سطح استقطاب را نیز تعیین کرده میتواند . ظاهر آزنبوران عسل این استعداد را جهت بازگشت به کندوهای خویش حتی در اوقاتیکه آفتاب زیر ابر پوشیده شده باشد و تنها یك قطعهٔ از آسمان آبی مشاهده شده بتواند بکار میبرند .

عدهٔ از منرال ها مانند کوارتز، کلسایت وغیره (بشمول یخ تا اندازه کم) در استقامت های مختلف خواص متفاوت دارد. خواص برقی ، هدایت حرارتی و خواص نوری آنها به جهت مربوط است که در منرال در نظر گرفته میشود. شکل (12-8) انتشار امواج نور را در چنین یك منرال نشان میدهد . در یك جهت معین که محور نوری نامیده میشود (در ین جا مقصد از محور تنها یك خط نیست بلکه یك استقامت است) تمام نور به عین سرعت انتشار می نماید و به سطح اهتزازات آن ارتباط ندارد. در شکل (12-8) فرض کرده میتوانیم که اهتزازات امواج نور عمود بر امواج وارده در تمام جهات ممکنه به اطراف آن صورت بگیرد . اهتزازات مذکور میتوانند به مرکبات عمود و موازی به محور نوری تجزیه شود . تجربه نشان داده که مرکبات عمودی اهتزازات بر محور نوری رفتار کاملاً عادی داشته و با استعمال اصل هیوگنز میتوانیم نشان دهیم که در تمام جهات به عین سرعت طوری انتشار مینماید که جهات موج میتوانند کره های کوچك فرض شود. لیکن مرکبات موازی به محور نوری رفتار

به کلی غیر عادی داشته و به سرعتهای مختلف به جهات مختلفه انتشار مینماید. این موجك های هیوگنز طوریکه نشان داده شده بشکل کره هانه بلکه درعوض بقسم بیضوی انتشار مینماید. ازین جا نتیجه میشود که اشعه وارده مابدوحصه تقسیم میشود یکی اشعه عادی که از قانون سنل پیروی می کندو دیگری غیرعادی که بقانون سنل مطابقت ندارد. (بخاطر باید داشت که درقانون سنل فرض کرده بودیم سرعت انتشار درتمام جهات مساویست تطبیق شکل سادهٔ آن درموادیکه این فرضیه رانقض نماید درست نمیباشد.)

ضریب انکسار (n) رابحیث نسبت سرعت نوردرهوا (یاخلا) و سرعت نور درجسم موردنظر تعریف کردیم یك منوال که خاصیت انکساردوگانه دارد دونوع ضریب انکسار میداشته باشد یکی n_O برای اشعهٔ عادی ودیگری n_E برای اشعهٔ غیرعادی. ضریب های انکسار اشعهٔ عادی وغیرعادی برای یك عده مواد معمولی درذیل داده شده است.

	n_O	n_F
کلسایت	1'658	1'486
کوارتز	1'544	1'553
تورمالین (کهربای اصل)	1'637	'619

تورمالین درمقابل اشعه عادی خاصیت جسم نسبتاً مکدر رادارد

بنابران تنها اشعه غیر معمولی از ان عبور می نماید. لذا وقتیکه یك شعاع نور استقطاب نیافته بالای منزال تورمالین باستقامت عمود بمحور نوری آن بتابد نوریکه منزال را عبور می نماید کاملاً استقطاب یافته بوده واهتزازات آن تماماً دریك مستوی موازی به محور نوری صورت میگیرد. کرستل های اودو کونین سلفیت (Iodo-gnlnine sulfate) نیزعین خاصیت را دارابوده یعنی یکی از اشعه هارا جذب و درمقابل دیگران رول جسم شفاف را دارد. پولاریود (Polaroie) ترکیب بلیونها کرستل سوزن مانند اودو کونین سلفیت که بامحورهای نوری موازی قطار گردیده ودریك پلاستیك جای داده شده اند میباشد. نوریکه ازیك صفحه ای پولاریودعبور مینماید تقریباً کاملاً استقطاب یافته است واهتزازات دران موازی بامتداد منزالهای بکار رفته میباشد.

(6—8) ماهیت امواج نور: تجارت نشان دهندهٔ اثرات تداخل نور ثابت ساخت که نور باید دارای صفات موجی باشد. بعداً حادثه استقطاب، عرضانی بودن این امواج راثبیت کرد. دراوائل قرن نزدهم هنوز هم ماهیت این امواج نزد سایینس دانها کاملاً یك معما بود.

مطالعه انتشار نورمنحیث امواج عرضانی درفضاعلمارا وادار ساخت تامنطقاً محیطی را برای انتشار امواج مذکور فرض نمایند. چون نور باسانی درخلا انتشار کرده میتواند لذا تصور میکردند که این محیط فرضی تمام فضارا احتوا وداخل همهٔ اجسام نفوذ کرده میتواند

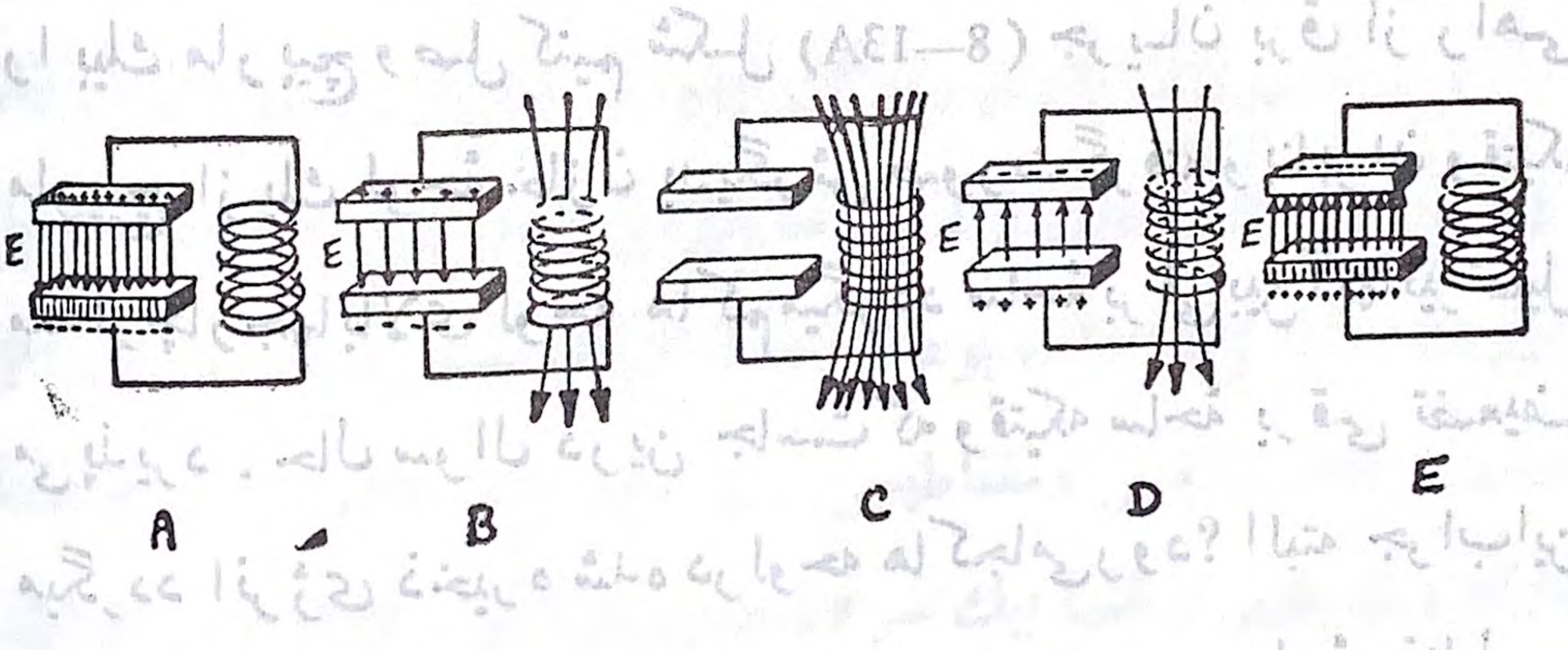
این ماده را بنام های مختلف مثلاً ایتر نورا یتر دنیاو یا بطور خلص ایتر نامیده اند .این ماده باید بقسم اصلی و جامد وجـود میـداشت تا می توانست امواج عرضانی نور را از آفتاب و ستاره های دیگر بفو اصل خیلی زیاد انتقال داده و درعین حال سیارات واقمار را اجازه بدهد تابسرعت های بزرگی که دارند بدون اینکـه اصطکاك قابل اندازهٔ تولید گردد داخل آن حرکت کنند. تاآنوقت راهی معقول که بتواند صلح را بین چنین مشاجرات ضروری برای همیشه قائم نماید وجـود نـداشت .

درسال 1864 فزیکدان بزرگ بنام ماکسول نشریـهٔ انتشار داد کـه خواص ساحـه های برقـی و مقناطیسی راتوضیح میکرد . درین نشریـه تذکـر داده شده بود که تحت شرائط مناسب یك ترکیب از ساحـه های برقـی ومقناطیسی ویـابصورت خلص یـك ساحـه الکترومقناطیس درفضا بیك سرعت 3×10^{10} Cm/sec انتشارمی نماید. بخاطر باید داشت که نشریه ماکسول بانور سروکاری نداشت وعدد 3×10^{10}Cm/sec ازیك نسبت معین واحدات برقی ومقناطیسی استنباط شده بود. ولی مطابقت عدد 3×10^{10} Cm/sec باسرعت نورمحض بحیث یك تصادف قبول گردید واکثراً ساینس دانها آن را دلیل خـوبی برای الکترومقناطیس بودن امواج نوردانستند . چون اشاره بریك موضوع ثبوت آن نیست بنابران درسال 1888 فزیکدان جرمنی بنام هرتز (Heinrich Hertz) خواست معادلات نظری ماکسول را شکل

عملی بدهد . درین جا بهتر است اصل های اساسی را که در نتیجه کار هر تز بمیان آمده از نظر بگذرانیم .

هر گاه یك خازن را گرفته لوحه های آن را چار جهای مختلف برقی بدهیم باید به نحوی از انحا کاری انجام دهیم تا الکترون ها را از لوحه مثبتاً چارج شده دور ساخته وهم الکترون های اضافی را بطرف پلیت که قبلاً منفی چارج گردیده پمپ نمائیم . اگر فکر کنیم که این کار کجا رفته است ممکن در یافت نمائیم که بشکل ساحه برقی بین دو لوحهٔ خازن ذخیره شده است. هر گاه لوحه های خازن را بیك مار پیچ وصل کنیم شکل (13A—8) جریان برق از راهی مار پیچ از یك لوحهٔ خازن بدیگرش صورت گرفته و بنابران وقتیکه مقدار چارجها بالای لوحه ها کم میگردد ساحهٔ برقی بین آنها نیز تقلیل می پذیرد . حال سوال درین جاست که وقتیکه ساحهٔ برقی تضعیف میگردد انرژی ذخیره شده در لوحه ها کجا می رود؟ البته جواب این سوال این خواهد بود که بگوئیم انرژی ضایع شده درساحهٔ مقناطیسی که در اثر عبور جریان از مار پیچ تولید گردیده ذخیره شده است شکل (13B — 8) شکل (13C — 8) حالت را نشان میدهد که لوحه ها کاملاً تخلیه و ساحه برقی بکلی ختم و تمام انرژی در ساحه مقناطیسی ذخیره شده است . بیشتر از ین تفاوت چارج موجود نیست که جریان را جاری نگهدارد لذا جریان ختم میشود (براستی اگر تمام قصه تنها همین قدر می بوده جریان متوقف میگردید). لیکن بنا بر اصل کتیلیو

(chatelier) و قتیکه جریان قطع میشود ساحهٔ مقناطیسی انرژی ذخیره شده خویش را به‌سیم فرستاده لذا جریان دوباره جاری (شکل 13D—8) وچارجهای روی خازن درجهت مختلف ذخیره می شود. بالاخره وقتیکه ساحهٔ مقناطیس صفر میشود جریان بازقطع گردیده ودوباره لحالت اولی محض به تفاوت اینکه علامت چارجها درلوحه ها تغیر می کند تکرار می شود شکل (13E—8). تمام مراحل بالا باردیگر درسمت مخالف تکرار گردیده وبه همین ترتیب الی اخیر ادامه پیدا می کند.



شکل (13—8)

این نوسانات جریان برق مشابه به اهتزازات یک رقاصه ساده که بان ثر محرک ف ساختن از حال تعادل انرژی پوتانشیل داده می شود صورت میگیرد. وقتیکه رقاصه دراثنای نوسان بطرف پائین حرکت مینماید انرژی پوتانشیل آن بانرژی حرکی وهنگامیکه از نقطه تعادل می گذرد. انرژی حرکی آن به پوتانشیل تبدیل شده میرود. طوریکه زمان تناوب رقاصه باطول آن بستگی دارد زمان نوسان برق درسیستم

فوق به خازن و مار پیچ دورهٔ مربوط میباشد.

طوریکه رقاصه برای دایم اهتزاز نکرده وارانرژی آن بنابر موجودیت اصطکاك کاسته شده میرود در مقابل الکترون ها نیز هنگام رفت و آمد دردوره برقی فوق مقاومت ایجاد گردیده ویك مقدار انرژی ضایع می شود که اگر مرتباً دوباره اعاده نگردد جریان دردوره ختم خواهد شد.

این شباهت بین اهتزازات دوره برقی ورقاصه را قدری عمیق ترمطالعه میکنیم. هرگاه رقاصه را عوض پایه سخت از یك طناب کالاشوئی آویزان کنیم یك مقدار انرژی رقاصه برای حرکت پیش وپس طناب بمصرف میرسد که بصورت امواج بامتداد طناب بدو طرف پراگنده می شود. برخی ازانرژی دورهٔ نوسانی برقی نیز به نوع ازانواع مشابه به فوق باعث تولید امواج الکترو مقناطیسی گردیده که درفضا انتشارمینماید.

هرتز یك اهتزاز کنندهٔ ساده برقی را استعمال وامواج الکترو مقناطیسی منتشره ازان را توانست ذریعهٔ یك آخذهٔ ابتدائی رادیو ازیك فاصلهٔ نسبتاً دور حاصل کند. این نوع تجارب توسط علمأ دیگر ادامه یافته تا اینکه بالاخره توسط انجینر ایتالوی بنام گلگیلمو مارکونی (Guglielmo Marconi) کسیکه مخابرهٔ رادیوای را درانگلستان در سال 1899 ودر بحرا تلانتیك درسال 1901 قائیم ساخت اهمیت تجارتی پیدا کرد. امروز تماماً رادیو، را دار و تلویزیون محض محصول همان

تجارب اولی و اشکال انکشاف یافته آنها بوده وهم اکنون ارسال ووصول آنها بدوره های اهتزازی که اساس شان بدوره های هرتز شباهت کامل دارد استوار است .

(7—8) طیف الکترومقناطیسی: امواج رادیوای و نوری دریک نظر سطحی ممکن ازهم متفاوت تصور شود . ولی حقیقت اینست که هردوی آنها عین امواج الکترومقناطیسی بوده و تنها درفرکونسی خویش ازهم فرق دارند . امروزیك ساحهٔ بزرگ طیف الکترو مقناطیسی را بافرکونسی های متفاوت وطول های موج مختلف کشف کرده اند که تمام شان درفضا به یك سرعت ثابت 3×10^{10}Cm/sec طوریکه مکسول در 1864 پیش بینی کرده بود انتشار مینماید .

تابش قابل دید توسط چشم انسان ساحهٔ بسیار کوچك ازین طیف بزرگ را احتوانموده است . سرخترین نوریکه آن را دیده میتوانیم دارای طول موج تقریباً $7{,}5\times10^{-5}$ سانتی متروفرکونس 4×10^{14} هرتز میباشد . انجام دیگری آبی ، بنفش ساحهٔ قابل دید طول موج تقریباً $4{,}0\times10^{-5}$ سانتی متروفرکونس 7.5×10^{14} هرتز را داراست .

جدول تابش الکترومقناطیسی

طرز تولید	فرکونسی	نام امواج
از تابش ضعیف یک دورهٔ معمولی جریان متناوب.	$60H_z$	۶۰ سایکل؛
از اهتزازات دورهٔ برقی	$10^4 - 10^{10} H_z$	رادیو، رادار و تلویزیون
از جریان‌های اهتزازی در تیوب های تخلیهٔ مخصوص.	$10^9 - 10^{12} H_z$	مایکروویوز
از الکترونهای خارجی اتوم‌ها و مالیکول ها.	$10^{11} - 4x10^{14} H_z$	ماورای سرخ
از الکترونهای خارجی اتوم ها.	$4x10^{14} - 8x10^{14} H_z$	نور قابل دید
از الکترون‌های خارجی اتوم ها.	$8x10^{14} - 10^{17} H_z$	ماورای بنفش
از الکترون‌های داخلی اتوم‌ها و بطی شدن آنی الکترون های آزاد دارای انرژی بلند.	$10^{15} - 10^{20} H_z$	اشعهٔ مجهول (X)
از هستهٔ اتوم‌ها و بطی شدن آنی ذرات در آلات شتاب دهنده	$10^{19} - 10^{24} H_z$	اشعهٔ گاما

تجربه کنندگان قرن 19 بزودی درك نمودند که در طیف حاصله ذریعهٔ منشورها و شبکه های نوری شان ساحهٔ وجود دارد که بچشم دیده شده نمیتوانند. بعداز بنفش «ماورای بنفش» تابشات وجود دارد که برعلاوهٔ تاثیرات دیگر روی صفحهٔ عکاسی نیز ثبت شده میتوانند. همچنان بعد از انجام سرخ ساحهٔ قابل دید « ماورای سرخ » تابشات موجود است که نظر به تاثیرات حرارتی شان بالای ترمامیترهای حساس بسهولت درك شده میتوانند. کار هرتز این ساحه را هنوز هم توسعه داده باعث کشف اشعه مجهول ایکس «X—rays» و اشعه گاما گردید. جدول بالا تا اندازهٔ بالای ساحهٔ تابش الکترومقناطیسی روشنی می اندازد.

تمرینات

(1—8) 1— دوسوزن که بفاصله ده سانتی متر از هم قرار دارند به فرکونسی های 15 cycle/sec اهتزاز نموده امواج را که درسطح آب بسرعت 25Cm/sec حرکت می کنند تولید مینمایند (a) طول موج مولده رادریافت نمائید . (b) تعداد قله هاي موج روی سطح آب بامتداد خط واصل بین دوسوزن چند عدد خواهد بود (c) تعداد عقده هارا بامتداد این خط دریافت کنید .

2— ایا در کدام کره از کره های مولدهٔ درسوال اول واقعاً خلال سطح آب صفرشده میتواند « تصور کنید که دامنه امواج با ازدیاد

فاصله کوچك شده میرود.»

(3—8) 3— دودرز موازی که ازهم 0'03 سانتیمتر فاصله دارد بفاصله 20 سانتی متر ازیك فلم عکاسی قرار گرفته . هرگاه ازیك درز سومی اشعه مونوکروماتیك بطول 5710 انگستروم باین دودرز بتابد فاصله بین لکه های روی فلم رادریافت کنید.

4 - هرگاه فرض شود که در شرایط فوق فاصله بین لکه های روشن $2-10\times1,70$ سانتیمتر باشد درینصورت طول موج را دریافت نمائید.

(4—8) 5 - سپکترو گراف شبکه ای جهت امتحان امواج نوری بطول 6200 انگستروم استعمال گردیده است. شبکه 5000 درز فی سانتیمتر دارد . تصویر جبهه صفر امواج طبعاً وقتیکه کالیمترو تلسکوب بیك استقامت قراردارند معلوم میشود . (a) تلسکوب بکدام زاویه دوران داده شود تا ردیف ترتیب اول رادیده بتوانیم (b) یامشاهدهٔ استقامت ترتیب دوم ممکن است ؟ اگرچنین باشد تلسکوب بایدبکدام زاویه دور داده شود ؟ . (c) جز b رابرای ردیف ترتیب سوم تطبیق کنید .

6 - دریك سپکترو گراف یك شبکهٔ 12000 درزفی انچ باید استعمال گردد تا توسط ان ردیف ترتیب اول یك پرتوی مجهول درتقاطع رشته ها تحت زاویه 17° دیده شود . طول موج این پرتو رادریافت کنید .

(5—8) 7 - بااستعمال یک پارچهٔ کوچک پولاریود چطور میتوانید تعیین کنید یک اشعهٔ نور استقتاب یافته است یاخیر ؟

8 - سطوح یک پارچه کلسایت متوازی السطوح که یک ملی متر ضخامت دارد بامحور نوری انموازی قرار گرفته است. هر گاه یک شعاع واردهٔ عادی که در هوا 6000 انگستروم طول موج دارد عمودا بر کلسایت بتابد (a) طول امواج اشعه عادی وغیر عادی رادران دریافت نمائید . (b) تعدادطول امواج اشعه عادی وغیرعادی، رادرپارچه کلسایت معلوم کنید. (c) وقتیکه شعاعات عادی وغیرعادی دوباره داخل هوا میگردند مرکبه غیرعادی چندطول موج نظر به مرکبهٔ عادی زیاد تر دارد .

(7—8) 9 - هر گاه فرکونسی های امواج الکترومقناطیسی جدولی را که فرقاً مطالعه گردید بالای یک خط ازصفر تا 10^{24} هرتز روی کاغذ گراف که یک کیلومتر طول دارد نشان داده شود چقدر فاصلهٔ این گراف اشعهٔ قابل دیدرا ارائه مینماید ؟

جدول تبدیل واحدات

واحدات طول

CGS	MKS	other
1 cm	$=10^{-2}$ m	=0,3937 in.
10^2cm	=1 m	=39.37 in.
10^5 cm	$=10^3$ m	=1 km
10^{-4} cm	$=10^{-6}$ m	=1 μ
2,54 cm	=0,0254 m	=1 in.
10^{-8} cm	$=10^{-10}$ m	=1 Å
$1{,}609 \times 10^5$ cm	=1609 m	=1 mile

واحدات سطح

CGS	MKS	
1 cm^2	$=10^{-4}$ m^2	=0,1550 in^2.
10^4 cm^2	=1 m^2	=10,76 ft^2
6,452 cm^2	$=6{,}452 \times 10^{-4}$ m^2	=1 in^2
929 cm^2	=0,0929 m^2	=1 ft^2

واحدات حجم

CGS	MKS	
1 cm^3	$=10^{-6}$ m^3	=0,06102 $in.^3$
10^6 cm^3	=1 m^3	=35,31 ft^3
16,39 cm^3	$=1{,}639 \times 10^{-5}$ m^3	=1 $in.^3$
$2{,}832 \times 10^4$ cm^3	=0,02832 m^3	=1 ft^3

Angle	Sine	Cosine	Tange
27	0.454	0.891	0.510
28	.469	.883	.532
29	.485	.875	.554
30	.500	.866	.577
31	.515	.857	.601
32	.530	.848	.625
33	.545	.839	.649
34	.559	.829	.675
35	.574	.819	.700
36	.588	.809	.727
37	.602	.799	.754
38	.616	.788	.781
39	.629	.777	.810
40	.643	.766	.839
41	.656	.755	.869
42	.669	.743	.900
43	.682	.731	.933
44	.695	.719	.966
45	.707	.707	1.000
46	.719	.695	1.036
47	.731	.682	1.072
48	.743	.669	1.111
49	.755	.656	1.150
50	.766	.643	1.192
51	.777	.629	1.235
52	.788	.616	1.280
53	.799	.602	1.327
54	.809	.588	1.376
55	.819	.574	1.428
56	.829	.559	1.483
57	.839	.545	1.540
58	.848	.530	1.600
59	.857	.515	1.664

Angle	Sine	Cosine	Tangent
60	0.866	0.500	1.732
61	.875	.485	1.804
62	.883	.469	1.881
63	.891	. 454	1.963
64	.899	438	2.050
65	.906	.423	2.145
66	.914	.407	2.246
67	.921	.391	2.356
68	.927	.375	2.475
69	.934	.358	2.605
70	.940	.342	2.747
71	.946	.326	2.904
72	.951	.309	3.078
73	.956	.292	3.271
74	.961	.276	3.487
75	.966	.259	3.732
76	.970	.242	4.011
77	,974	.225	4.331
78	.978	.208	4.705
79	.982	.191	5.145
80	.985	.174	5.671
81	.988	.156	6.314
82	.990	.139	7.115
83	.993	.122	8.144
84	.995	.105	9.514
85	.996	.087	11.43
86	.998	.070	14.30
87	·999	.052	19.08
88	.999	.035	28.64
89	1.000	.017	57.29
90	1.000	.000	

جواب سوالات

فصل اول

1. (a) 1,66m/sec^2 ' (b) 83,33m
2. -8×10^{12} cm/sec2
3. 5400dynes,5,40 nt (5,40.10^{5}dynes)
4. 0,625
5. 2,74 sec
6. (I) 12m/sec^2' (II) 60nt
7. 335 cm/sec^2,3,35m/sec^2'10,9ft/sec^2
8. 11,54
9. 3,47
10. (a) 8,55 sec' (b) 1111m

فصل دوم

1. 5,10^{4}nt.m
3. 2,57.10^{5}Joules
4. 273,6nt-m^{2}273,6Joules
5. 76,7cm/sec
7. 1,35.10^3 dynes/cm^2
8. 866cm^3/sec
9. 1633 watts
10. 1,555.10^{2}watts,207.4watts
11. 2,5.10^{4}sec
12. 4,52.10^{7}cm/sec

فصل سوم

1. (a) 251 rad/sec , (b) 83,8 ft/sec
2. 131 rev
3. 9.10^5 gm-cm^2 یا 0,09 Kg-m^2
4. 2,67 Kg-m^2
5. (a) $1,5.\ 10^5$ gm-cm^2 , (b) $1,80.10^7$ dynes-cm
6. 0,0208 Slug-ft^2
7. 17, 020 1b
8. (a) 3, 57.10^{27} dynes
9. 1,42 Joules
11. $\frac{1}{2}$ rev/sec
12. طرف پائین

فصل چهارم

1. 0,107 dynes
2. 1,08 cm/sec^2
4. (a) $6,24.10^{11}$ erg (b) $-6,24.10^{11}$ erg
5. (a) 15,8 Km/sec , (b) 7,92 Km/sec
6. 4,40 mi/sec
7. 23mi /sec
8. 9,64 dynes

فصل پنجم

1. 500 Lb/in^2
2. $9,98.10^9$ dynes/cm^2
3. 5.10^{-4} sec
4. (a) 2,5 Cycle/sec, (b) 0,4 Sec, (c) 2,5 rev/sec, (d) 15,7 rad/sec
5. 99,3 cm
6. 2,452 hr
7. 0,027 rad
8. 65,41 dynes-cm
9. نه خیر فرکونسی 299,6 vib/min میباشد

فصل ششم

1. 0,78 sec

3. t=0,78 sec, 1,56 sec
5. 5.10^{14} waves/sec
6. 201,34 m
7. (a) 8 in, (b) 1650 waves/sec
8. 6,55.10^{8} dynes

فصل هفتم

1. 0,73 sec
2. 1080 ft/sec
3. 208 Vib/sec
4. 0,625 ft
5. 2500
7. 15 Km/hr
9. 100 ft/sec
10. (a) 2128 vib/sec, (b) 2120 vib/sec, (c) 1926 vib/sec

فصل هشتم

1. (a) 1,667 cm, (b) 11, (c) 12
3. 0,38 mm
4. 2,55.10^{-5} cm یا 2550 Å
5. (a) 18,1° , (b) 38,3° , (c) 68,4°
6. 2,435.10^{-5} in یا 6190 Å
8. (a) $\lambda_{\circ}$ = 3,6188.10^{-5} cm , 4,0377x10^{-5} cm

   (b) No=2763,3 N_E = 2476,6

   (c) = 286,7 طول موج
9. 4.10^{-5} cm یا 4000A°

چاپ چهارم

تعداد طبع (۱۴۴۰۰) جلد

دورهٔ استهلاك (٤) سال

مطبعه تعلیم و تربیه