Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

دانشگاه بیرجند

دستور کار:

آزمایشگاه فیزیک «۱»

ویژهٔ دانشجویان رشته های:

علوم پایه: فیزیک، شیمی، زمین شناسی

مهندسی: مکانیک، برق

شکرالله محمدی

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

○ مقدّمه :

فیزیک تنها از این نظر مهم نیست که زیر بنای مفاهیم و تئوریهای سایر علوم طبیعی است، بلکه از نظر علمی نیز از امتیاز ویژه‌ای برخوردار است، زیرا تکنیکهایی را فراهم می‌کند که در تمام رشته‌های پژوهشی محض یا علمی می‌توان بکار برد.

فیزیک همانند سایر علوم طبیعی نظری و یا کاربردی، برای رسیدن به منظور خود به مشاهده و تجربه بستگی دارد. مشاهده عبارتست از بررسی دقیق یک پدیده و تجزیه و تحلیل عوامل و موقعیّتهای گوناگون که روی این پدیده اثر دارند. تجربه یا آزمایش عبارتست از مشاهدهٔ یک پدیده در شرایطی که از پیش با دقّت کافی بررسی و تنظیم شده است. بدون تجربه، علوم جدید هرگز نمی‌توانستند به این درجه از پیشرفت نایل شوند بدین دلیل است که آزمایشگاه محل نمایش علمی مفاهیم نظری در فیزیک است. در آزمایش رابطهٔ میان تجربه و نظریه که جوهر اصلی موضوع است، بدست می‌آید. امیدواریم که جزوهٔ حاضر توانسته باشد رهیافت مشخّصی را نسبت به عملّیات آزمایشگاهی تجربی ارائه کرده باشد.

از همکاران محترمی که اشکال و نقص جزوه قبلی را گوشزد کرده‌اند تشکر می‌کنم و همچنین از نظر همکاران و دانشجویان محترم راجع به این جزوه استقبال می‌کنم.

از آقای علی‌اکبرنفیسی که زحمت تایپ و صفحه‌آرایی و طرح روی جلد این جزوه را بر عهده داشته‌اند قدردانی می‌کنم.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

فهرست مندرجات

- نکاتی در مورد نحوهٔ کار در آزمایشگاه ۱
گزارش کار ۳
رسم نمودار ۵
بیراهی ۷
روش محاسبه ۱۳
آزمایش شمارهٔ ۱ (اندازه‌گیری طول، دما، جرم و چگالی) ۱۵
آشنایی با ورنیه ۱۵
کولیس ۱۶
ریزسنج ۱۷
گوی‌سنج و پیکنومتر ۱۸
آزمایش شمارهٔ ۲ (اندازه‌گیری ضریب اصطکاک) ۲۳
تعیین ضریب اصطکاک ۲۴
آزمایش ۱ ..... ۲۵
آزمایش ۲ ..... ۲۶
آزمایش شمارهٔ ۳ (تحقیق قانون اوّل و دوم نیوتن) ۲۷
الف) تحقیق قانون اوّل نیوتن ۲۷
ب) حرکت یک جسم تحت اثر نیروی خارجی در بستری از هوای فشرده ۲۹
آزمایش شمارهٔ ۴ (آونگ ساده) ۳۳
آزمایش ۱ ..... ۳۴
آزمایش ۲ ..... ۳۵
آزمایش ۳ ..... ۳۷

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش شمارهٔ ۵ (فنر) ۳۷

آزمایش (۱) و (۲) و (۳) ۳۹

آزمایش شمارهٔ ۶ (سقوط آزاد و حرکت پرتابی) ۴۱

حرکت پرتابی ۴۲

آزمایش شمارهٔ ۷ (تحقیق اصل بقای اندازه حرکت خطی و برخوردها) ۴۷

آزمایش شمارهٔ ۸ (آونگ دو طرفه) ۵۲

آزمایش شمارهٔ ۹ (حرکت دورانی) ۵۷

آزمایش شمارهٔ ۱۰ (ممان اینرسی) ۶۱

آزمایش (۱) ۶۳

آزمایش (۲) ۶۳

آزمایش (۳) ۶۴

آزمایش (۴) ۶۴

آزمایش (۵) ۶۵

آزمایش (۶) ۶۶

آزمایش شمارهٔ ۱۱ (آونگ کاتر *(Kater pendulum)*) ۶۷

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

□ نکاتی در مورد نحوهٔ کار در آزمایشگاه :

برای موفقیّت در هر کاری رعایت نکاتی لازم است. در آزمایشگاه نیز برای اینکه از وقت محدود حداکثر استفاده شود، رعآیت نکات زیر ضروری است.

➢ ۱- حضور در آزمایشگاه از اوّل وقت ضروری است. از غیبت در آزمایشگاه باید تا حدّ امکان خودداری کرد. کار در آزمایشگاه مانند کار در کلاس درس نیست که یک یا چند ساعت غیبت در آن را به راحتی بتوان جبران کرد.

⇦ ۲- از روز اوّل باید شماره گروه، اسم همکاران و میز کار خود را شناخت.

➢ ۳- باید دفتر کاری همراه داشت و همهٔ اطّلاعات مفید را مطابق دستورهای داده شده در آن نوشت. البتّه این نوشتن باید در ضمن کار کردن انجام گیرد. این نوشته‌ها از چند نظر مفید و ضروری است : کارهای انجام گرفته برای همیشه ثبت شده و محفوظ می‌ماند و برای تکرار آن آزمایش و تهیّهٔ گزارش کار می‌توان از آنها استفاده کرد و همینطور برای ارزیابی کار، ارائهٔ آن به کارشناس الزامی است.

⇦ ۴- قبل از به جلسه آمدن باید پیشاپیش دستور کار آزمایش آن جلسه را مطالعه کرده و کار آن روز را برای خود تفهیم کرد. اگر سئوالی در این مورد باشد از مربّی و یا همکاران مطّلع پرسیده شود. در اوّل وقت کوئیزی از آن آزمایش گرفته می‌شود که نمرهٔ آن در امتحان پایان ترم مؤثّر است.

➢ ۵- در ضمن کار باید مقرّرات ایمنی را رعایت کرد و مواظب بود که به خود و دستگاهها صدمه‌ای وارد نشود.

⇦ ۶- در تمام طول مدّت کار در آزمایشگاه باید سعی شود که از سر میز کار خود دور نشده و از رفت و آمدهای غیر ضروری بین میزها خودداری کرد.

➢ ۷- در حین آزمایشها بهتر است که دانشجو فکر خود را بکار انداخته و سعی کند جواب سئوالهای پیش آمده را شخصاً و اگر نشد با مشورت همکاران خود و اگر باز هم نشد توسّط مربّی آزمایشگاه بدست آورد. ولی این روش که دانشجو تا با سئوال و مشکلی مواجه گردید فوری بخواهد آن را از دیگران سئوال کند آموزنده نیست.

⇦ ۸- در زمان انجام آزمایش‌ها بهتر است دانشجو با انجام محاسبات تقریبی از صحّت کار خود اطمینان حاصل کند ولی انجام محاسبات دقیق را باید به بعد از اتمام آزمایش موکول نماید.

➢ ۹- در حین اندازه‌گیری کمیّت‌های آزمایش، از همان اوّل باید مراقب منابع خطای اندازه‌گیری بوده و سعی شود تا حدّ امکان از میزان خطاها کاسته گردد.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

۱۰- در مواردی که احتمال وجود خطا زیاد است باید آزمایش را به دفعات لازم تکرار کرده و میانگین اندازه‌گیریها را بدست آورد (برای خطاهای تصادفی)

۱۱- در ثبت نتایج اندازه‌گیریها باید مراقب بود که تمام ارقامی را که وسیلهٔ اندازه‌گیری نشان داده است درست خواند و از وارد کردن ارقام بی معنی خودداری کرد.

۱۲- پس از انجام آزمایشها باید وسایل آزمایش را روی میزها به حال اوّلیه برگردانده و میزها را مرتّب و تمیز کرد.

۱۳- دانشجو در حین خروج از آزمایشگاه باید نتیجهٔ کار خود را به امضاء مربّی برساند تا اینکه مربّی کار وی را بررسی نماید و اگر کم و کسری روی داده باشد، همانجا جبران شود.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

☐ گزارش کار :

گزارش کار باید طوری تهیّه شود که اطّلاعات لازم و مفید را هر چه دقیقتر و واضح‌تر در اختیار خواننده قرار دهد و از هر نظر خودکفا باشد. گزارش کار معرّف کار دانشجو در آزمایشگاه و راهنمای او میباشد. هر گزارش کار بعد از تهیّه توسّط مربّی مطالعه و کنترل می‌شود و راهنمایی‌های لازم داده می‌شود؛ لذا ضروری است حداکثر سعی در رعایت نکات مزبور و صحّت و دقّت مطالب علمی نگاشته شده مبذول گردد.

خصوصیّات یک گزارش کار خوب :

مهمترین خصوصیّتی که یک گزارش کار باید داشته باشد وضوح و روشنی آن است. در نوشتن گزارش کار باید ترتیب منطقی را رعایت کرد یعنی اینکه گزارش کار باید طوری تنظیم شود که خواننده در جریان همهٔ مراحل آزمایش از اوّل تا آخر قرار گیرد. بنا به ماهیّت کار و مطالب، یک گزارش کار را باید در قسمتهای گوناگونی تنظیم کرد. برای تهیّهٔ گزارش کار، نوشتن قسمتهای زیر الزامی است :

⇦ ۱- موضوع آزمایش، تاریخ انجام آزمایش، نام و نام‌خانوادگی دانشجو و همکار یا همکارانی که در یک گروه کار می‌کنند.

➢ ۲- هدف آزمایش .

⇦ ۳- وسایل مورد نیاز و میزان دقّت آنها.

➢ ۴- تئوری آزمایش: در این قسمت باید اشاره‌ای به تئوری آزمایش شود بدین ترتیب که آن قانون یا قوانین فیزیکی که توجیه‌کننده پدیده مورد آزمایش می‌باشد بطور دقیق بیان گردد و سپس چگونگی ارتباط آن قانون با پدیدهٔ مزبور نیز نشان داده شود. اگر با رسم شکل و نمودار بتوان موضوع را به خوبی نشان داد بهتر است.

⇦ ۵- شرح دستگاه و رسم شکل آنها.

➢ ۶- روش انجام آزمایش : روش آزمایش باید درگزارش کار نوشته شود و در صورت لزوم از ذکر جزئیّات مفید نباید خودداری کرد بطورکلی روش آزمایش باید طوری شرح داده شود که خواننده بتواند ارزش علمی آن را قضاوت کرده و هرگاه خواست بتواند آن را عملاً تکرار نماید.

⇦ ۷- جدول نتایج حاصله : در این قسمت بدون هیچگونه نوشته و عملیّات محاسباتی فقط باید مقادیر اندازه‌گیری

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

شده و یا محاسبه شده را گزارش کرده و برای این کار باید جداول متعدد و مناسبی تهیّه کرد.

➢ ۸- ذکر عوامل ایجاد کننده خطا و محاسبهٔ خطا و نحوهٔ کاهش آن.

⇦ ۹- محاسبهٔ نتایج حاصله.

➢ ۱۰- رسم منحنی : منحنی‌های لازم را با قید مقیاس روی کاغذ میلیمتری باید رسم کرد.

⇦ ۱۱- نتیجهٔ آزمایش : در اینجا باید ابتداء قابل قبول بودن نتیجه را بررسی کرد. معمولاً در آزمایش‌های مقدّماتی، آزمایشها برای تحقیق تئوریها انجام میگیرند و تئوری برای نتیجهٔ آزمایش مقداری پیش‌بینی می‌کند. اوّلین کار، مقایسهٔ مقدار بدست آمده با مقدار تئوری است. در این بررسی باید معلوم کرد که میزان سازگاری بین دو مقدار تجربی و تئوری چقدر است. بررسی منابع خطا و اینکه مهمترین عامل خطا کدام بوده و حداکثر کوشش بعمل آمده برای کم کردن اثر آن یکی از مطالبی است که در اینجا باید ذکر شود. بطور خلاصه باید مراحل آزمایش را بررسی کرد و نظرات تأیید کننده و یا اصلاحی خود را نوشت.

➢ ۱۲- فهرست منابع مورد استفاده.

⇦ ۱۳- در هر هفته یک آزمایش انجام، گزارشی از آن آزمایش تنظیم و کامل می‌کنید و جلسهٔ بعد تحویل می‌دهید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

❑ رسم نمودار :

مقدمه :

بررسی پدیده‌های طبیعی و فیزیکی و وضع قوانین جدید معمولاً در دو مرحلهٔ کاملاً متمایز صورت می‌گیرد.در مرحلهٔ اوّل کوشش می‌شود تا عواملی که به هم بستگی دارند بشناسند و سپس در مرحلهٔ بعدی سعی بر آن است که میزان و درجهٔ این بستگی‌ها به کمک آزمایش یا قوانین مسلّم دیگر تعیین گردد. برای اینکه بتوان رابطهٔ دو متغیّر و چگونگی وابستگی آنها را بهتر حدس زد و نیز مقادی ثابتی که دو متغیّر را به هم مربوط سازد محاسبه نمود لازم است با تکرار آزمایش مقادیر مختلفی از متغیّرها را یافته و در جدولی قرار داد. با توجّه به اعداد جدول نمی‌توان به سادگی رابطهٔ دو متغیّر را بدست آورد ولی اگر مقادیر را روی محورهای مختصّات منتقل نموده، نمودار تغییرات دو عامل را رسم نمایید در آن صورت بررسی میسّر خواهد بود و علاوه بر آن می‌توانید مقادیر مورد لزوم را از روی نمودار بدست آورید که قبلاً اندازه نگرفته‌اید و نیز اشتباهات آزمایش را بطور تقریبی برآورد کنید. منحنی‌های محاسبه‌ای بیشتر بصورت خطّ مستقیم رسم می‌شوند و اطّلاعات لازم از تعیین عرض از مبدأ و ضریب زاویهٔ این خط بدست می‌آید لذا باید کاری کرد که در هر مورد کمیات مجهول بصورت ثابت‌های معادله خط در بیایند.

بنابراین دستور کلّی چنین می‌شود که هرگاه شکل ریاضی تغییرات معلوم باشد آنرا بصورت $y=ax+b$ تبدیل می‌کنیم که در آن x و y متغیرها و a و b ثابت‌ها می‌باشند. پس از رسم منحنی y بر حسب x، a و b را که به ترتیب شیب خط و عرض از مبدأ آن هستند تعیین می‌کنیم.

روش رسم نمودار : در رسم نمودار به نکات زیر باید توجّه داشته باشید:

➢ ۱- نمودار را فقط روی کاغذهای میلیمتری رسم کنید.

⇦ ۲- تعیین محورهای مختصّات.

➢ ۳- تعیین مبدأ مختصّات : لزومی ندارد که مبدأ هر محور صفر انتخاب شود برای سهولت می‌توانید مبدأ را در مورد هر محوری عددی انتخاب کنید که به کمترین مقدار مربوط به آن محور نزدیک باشد.

⇦ ۴- تعیین مقیاس : نظر به حدود تغییرات متغیّرها و تقسیمات کاغذ خود مقیاس مناسبی را برای هر دو محور را انتخاب کنید مقیاس مناسب مقیاسی است که نتایج زیر را داشته باشد.

الف) بتوان تقسیمات جزء را براحتی از روی تقسیمات کاغذ تشخیص داد.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

ب) منحنی، بیشتر کاغذ میلیمتری را در بر گیرد.

➢ ۵- لزومی ندارد که برای هر دو محور یک مقیاس انتخاب شود. مقیاس هر محور را در کنار محور یادداشت کنید.

⇦ ۶- نقاط تجربی نمودار را با علامت (⊙ یا ×) مشخص کنید.

➢ ۷- در رسم منحنی و نمودار لازم نیست که نقاط را بیکدیگر وصل کنید بلکه باید رسم نمودار طوری باشد که نزدیکترین فاصله را به نقاط داشته باشد.

طرز استفاده از منحنی : اکنون نتیجه‌ای را که با رسم منحنی به دنبالش هستیم براحتی می‌توان از روی خطّ رسم شده بدست آورد. کافی است که عرض از مبدأ و ضریب زاویهٔ خط را تعیین کرد و مطلوب آزمایش را از روی آنها و به کمک فرمول تئوری بدست آورد. برای تعیین ضریب زاویهٔ خط دو نقطهٔ غیر مشخّص در روی خط در نظر بگیرید و تفاوت مختصّات قائم آنها را به تفاوت مختصّات افقی آنها تقسیم کنید حاصل، تانژانت زاویه‌ای است که خط با جهت مثبت محورها می‌سازد. توجّه به دو نکته در اینجا ضروری است یکی اینکه شیب خط در این موارد یک کمیّت فیزیکی بوده و معمولاً دارای واحد است و برای تعیین آن حتماً باید از مختصّات خط با استفاده از مقیاس‌ها و واحدهای محورهای مختصّات استفاده کرد. شیب هندسی خط هیچگونه ارتباطی با شیب فیزیکی آن ندارد. دو نقطهٔ انتخابی روی خط باید دور از هم و غیر مشخّص انتخاب شوند تا حداکثر دقّت در تعیین شیب حاصل شود.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

❑ بیراهی: ⮛

۱- خصوصیّات یک سنجش:

سنجش یا اندازه‌گیری یک کمیّت عبارتست از تعیین اندازهٔ دقیق آن بر حسب یکای مربوط. سنجش، علمی است تجربی و همیشه بیراهی یا خطایی را در بر دارد. آگاهی بر حدود این بیراهی لازم است. آزمایشگر باید بداند که نتیجهٔ اندازه‌گیری که با روش معیّن و وسایل معیّن انجام گرفته تا چه اندازه قابل اطمینان است و در صورت امکان چگونه می‌توان این نتیجه را دقیق‌تر کرد. همچنین آگاهی بر حدود بیراهی به طرح و انتخاب روش و اسباب اندازه‌گیری کمک می‌کند. تا دقّت نتیجهٔ آزمایش از حدّ معیّنی کمتر نشود. بطورکلّی عواملی که معمولاً در اندازه‌گیری‌ها، ایجاد بیراهی می‌کنند عبارتند از:

الف) تغییر کمیّت مورد اندازه‌گیری: مثلاً هنگام اندازه‌گیری دمای یک کوره، خود دما کاملاً ثابت نیست.

ب) عیب روش اندازه‌گیری: مثلاً در اندازه‌گیری گرمای ویژهٔ مایع اگر مایع به عنوان جسم گرم بکار رود مقداری از آن تبخیر می‌شود و نتیجهٔ آزمایش دقیق نخواهد بود.

پ) عدم مهارت و سهل‌انگاری آزمایشگر: مثلاً ممکن است آزمایشگر بر اثر خستگی یا بی‌میلی خواندن اسباب‌ها را بخوبی انجام ندهد.

ت) عیب و نقص اسباب و اندازه‌گیری: مثلاً فرسودگی اسباب یا بدی تنظیم آن نتایج اندازه‌گیری را از مقدار واقعی آن دور می‌کند.

۲- انواع بیراهی‌ها:

الف) بیراهی‌های شخصی: منشأ این بیراهی‌ها در شخص آزمایشگر است. مثلاً هنگامی که آزمایشگر می‌خواهد کمیّتی را چندین بار اندازه‌گیری کند، اغلب نتیجهٔ اندازه‌گیری اوّل را تقریباً درست می‌پندارد و سعی می‌کند نتایج اندازه‌گیری‌های بعدی را به آن نزدیک کند، که مربوط به وضع روانی و سابقهٔ ذهنی و عدم دقّت کافی شخص است.

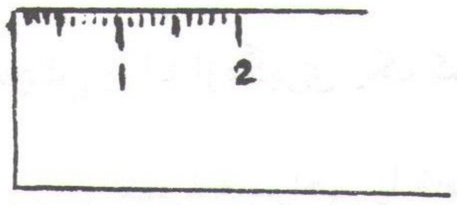
ب) بیراهی‌های اسبابی: بیراهی اسبابی هنگامی بوجود می‌آید که اسباب در شرایطی غیر از شرایط مدرّج‌سازی آن بکار برده شود. مثلاً اگر یک خط‌کش آهنی برای $25^{\circ}c$ مدرّج‌سازی شده باشد ولی در دمای $5^{\circ}c$ بکار رود، نتایج اندازه‌گیری دقیق نخواهد بود.

پ) بیراهی‌های سیستماتیک: بیراهی سیستماتیک بر اثر بدی تنظیم اسباب، عیب طریقهٔ سنجش، بدی طرز

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

درجه‌بندی و یا هرگونه نقش ساختمانی اسباب بوجود می‌آید. این بیراهی یک جهته است یعنی اندازهٔ کمیّت مورد اندازه‌گیری را همیشه در یک جهت، مثبت یا منفی تغییر می‌دهد. مثلاً اگر بخواهیم طولی را با یک خط کشی که انتهای طرف صفر آن مطابق شکل روبرو فرسوده است اندازه بگیریم تمام نتایج بزرگ خواهد بود.



ت) بیراهی اتّفاقی : بیراهی‌های اتّفاقی که در اثر شرایط و عواملی بوجود می‌آیند که از حدود اختیار آزمایشگر خارجند. این بیراهی‌ها غیر قابل اجتنابندو از نظر مقدار و جهت تغییر می‌کنند، علل عمدهٔ بیراهی‌های اتّفاقی عبارتنداز: بیراهی ناشی از ثابت نبودن شرایط آزمایش مانند تغییر دمای محیط در آزمایشهای حرارتی، بیراهی ناشی از عوامل غیر قابل مهار، مانند انحرافهای عقربهٔ گالوانومتر در اثر لرزش‌های خفیف ساختمان آزمایشگاه، بیراهی ناشی از ثابت نبودن کمیّت مورد اندازه‌گیری در حدود دقّت مورد نظر، مثلاً اندازه‌گیری ولتاژ برق شهر هیچگاه تا این اندازه ثابت نیست. هرگاه بوسیلهٔ یک اسباب معیّن در شرایط و حالتهای یکسان، کمیّت معیّنی را چندین بار اندازه بگیریم، اختلاف نتایج حاصل بیشتر به سبب وجود بیراهی‌های اتّفاقی است، مخصوصاً در اندازه‌گیری‌های دقیق این نوع بیراهی بیشتر ظاهر می‌شود. مثلاً اگر بخواهیم طول میله‌ای را با دقّتی حدود سانتیمتر اندازه بگیریم و برای این کار از یک کولیس که فرضاً دقّت آن یک میلیمتر است، استفاده کنیم در تمام دفعات اندازه‌گیری عددی مانند ۱۳ سانتیمتر بدست می‌آید. ولی اگر بخواهیم طول همان میله راکه ۵ بلر با دقّتی برابر یک‌دهم میلیمتر اندازه‌گیری کنیم به احتمال زیاد نتایج اندازه‌گیری با هم برابر نخواهد بود. این نتایج ممکن است به صورت زیر باشند:

۱۲/۶۲ - ۱۲/۶۰ - ۱۲/۶۲ - ۱۲/۶۱

اختلاف این اعداد با اندازه حقیقی طول میله به سبب وجود بیراهی اتّفاقی است.

۳- *بیراهی‌های مطلق و نسبی :*

الف) قدر مطلق اختلاف بین اندازه گرفته شده یک کمیّت و مقدار واقعی آنرا بیراهی مطلق می‌گویند. اگر x مقدار واقعی کمّیت و x' مقدار اندازه‌گیری شده آن باشد بیراهی مطلق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\delta x = |x - x'|$$

بیراهی مطلق از جنس خود کمیّت است و بر حسب یکای آن بیان می‌شود. چون مقدار واقعی کمیّت مورد سنجش معلوم نیست، مقدار دقیق بیراهی مطلق نیز معلوم نمی‌باشد. تنها می‌توان برای آن حداکثری بنام بیراهی مطلق

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

ماکزیمم را با Δx نشان می‌دهیم در این صورت می‌توان مطمئن بود که x مقدار واقعی کمیّت بین $x'+\Delta x$ و $x'-\Delta x$ قرار دارد.

ب) بیراهی مطلق به تنهایی نمی‌تواند دقّت اندازه‌گیری را نشان دهد و باید دید که این بیراهی در اندازه‌گیری چه مقدار از کمیّت رخ داده است. مثلاً اگر در سنجش طولی برابر ۱۰ متر بیراهی مطلق، برابر یک سانتیمتر باشد، مثل این می‌ماند که در هر متر ۱ میلیمتر بیراهی وجود داشته باشد. اگر همین بیراهی مطلق یک سانتی‌متری در سنجش طولی برابر با ۲ متر ایجاد شود، مثل این است که در هر متر ۵ میلیمتر بیراهی باشد بنابراین دقّت اندازه‌گیری در آزمایش اوّل پنج برابر دقّت اندازه‌گیری در آزمایش دوّم است. برای تعیین میزان دقّت اندازه‌گیری از بیراهی نسبی استفاده می‌کنیم نسبت بین بیراهی مطلق و مقدار واقعی کمیّت را "بیراهی نسبی " اندازه‌گیری می‌نامند. از آنجا که مقدار واقعی کمیّت معلوم نیست در محاسبهٔ بیراهی نسبی مقدار اندازه‌گرفته را بجای مقدار واقعی بکار می‌برند چون بیراهی نسبی نسبت بین دو کمیّت همجنس است عدد مطلق بوده و مقدار آن با تغییر یکای اندازه‌گیری تغییر نمی‌کند. مقدار دقیق بیراهی نسبی نیز معلوم نیست بلکه می‌توان حداکثری برای آن تعیین کرد. هر چه حداکثر بیراهی نسبی کمتر باشد سنجش دقیقتر انجام گرفته است. این بیراهی معمولاً با چند در صد بیان می‌شود.

۴- محاسبهٔ بیراهی‌ها :

بیراهی شخص را نمی‌توان محاسبه کرد. از بیراهی‌های اسبابی و سیستماتیک باید تا حدّ امکان پرهیز کرد. در اینجا فرض می‌کنیم آزمایشگر بیراهی سیستماتیک را حذف کرده باشد و بیراهی‌های شخصی نیز وجود نداشته باشد در این صورت بیراهی‌های اتّفاقی که از اختیار بیرون‌اند باقی می‌مانند که کاملاً تصادفی بوده و در معرض شانس خالص می‌باشند. در اینجا محاسبهٔ بیراهی‌ها را بطور خلاصه عنوان می‌کنیم.

الف) محاسبهٔ بیراهی در اندازه‌گیری مستقیم :

هرگاه کمیّتی را چندین بار اندازه‌گیری کنیم و سپس مقدار میانگین نتایج حاصل را به عنوان مقدار کمیّت مزبور اختیار کنیم بیشتر بیراهی‌های اتّفاقی از بین خواهند رفت این مقدار میانگین را احتمالی‌ترین مقدار کمیّت می‌نامند.

مثلاً فرض می‌کنیم x_1 و x_2 و ..... و x_n نتایج n اندازه‌گیری مستقیم از یک کمیّت باشد مقدار میانگین نتایج اندازه‌گیری چنین است : ⇦

$$x = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n}$$

وقتی n بحد کافی بزرگ باشد (از ۵ تا ۱۰) به احتمال زیاد بیراهی‌ها همه در یک جهت نخواهد بود. در این حالت در

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

محاسبهٔ میانگین بیراهی ها کوچک تقریباً یکدیگر را جبران می‌کنند و اگر از این راه بیراهی بزرگتر از بین نرود، حداقل به عدد بزرگی مانند n تقسیم می‌گردد به همین دلیل x را احتمالی‌ترین نتیجه اندازه‌گیری می‌نامند.

اگر x را برابر با مقدار واقعی کمیّت فرض کنیم بزرگترین مقدار مطلق، اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و x، برابر با بیراهی مطلق ماکزیمم خواهد بود.

$$\delta x_1 = |x_1 - x|$$

$$\delta x_2 = |x_2 - x|$$

.....

.....

$$\delta x_n = |x_n - x|$$

بزرگترین δx را با Δx نشان داده، بیراهی مطلق ماکسیمم می‌نامند. بیراهی نسبی از رابطهٔ زیر بدست می‌آید: ⇩

$$\text{بیراهی نسبی} = \frac{\Delta x}{x}$$

ب) محاسبهٔ بیراهی در اندازه‌گیری غیر مستقیم :

بعضی از کمیّت‌ها مستقیماً قابل سنجشند یعنی با مقایسه مستقیم با یکای خودشان اندازه‌گیری می‌شوند، مانند طول و جرم. امّا اکثر کمیّت‌ها را نمی‌توان مستقیماً اندازه‌گیری کرد. برای سنجش چنین کمیّت‌ها بطور مستقیم باید فرمولی را بکار برد که کمیّت مورد سنجش را به کمیّت‌های دیگر که مستقیماً قابل سنجش‌اند مربوط سازد.

در این صورت اگر بیراهی کمیّت‌ها که مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند معلوم باشند می‌توان بیراهی اندازه‌گیری کمیّت موردنظر را بدست آورد.

پ - ۱) بیراهی مجموع دو کمیّت :

فرض می‌کنیم کمیّت U مساوی مجموع دو کمیّت x و y باشد. $U = x + y$

اگر بیراهی مطلق ماکزیمم اندازه‌گیری x و y به ترتیب با Δx و Δy نشان داده شود بیراهی مطلق ماکزیممی که برای U بدست می‌آید ΔU خواهد بود، به طوریکه:

$$U + \Delta U = (x + \Delta x) + (y + \Delta y)$$

$$\Delta U = \Delta x + \Delta y$$

بنابراین بیراهی مطلق ماکزیمم در مجموع چند کمیّت مساوی مجموع بیراهی‌های مطلق ماکزیمم آن کمیّت‌ها است.

بیراهی نسبی از رابطهٔ روبرو بدست می‌آید :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

پ - ۲) بیراهی تفاضل دو کمیّت :

هرگاه U مساوی تفاضل دو کمیّت x و y باشد U=x - y بیراهی مطلق ماکزیممی که در مقدار U رخ می دهد ΔU است

بطوریکه :

$$U + \Delta U = (x + \Delta x) - (y + \Delta y)$$

$$\Delta U = \Delta x - \Delta y$$

ولی چون منظور بدست آوردن بیراهی مطلق ماکزیمم U است نتیجه می‌گیریم : ➢ $\Delta U = \Delta x + \Delta y$

بنابراین بیراهی مطلق ماکزیمم در تفاضل دو کمیّت مساوی مجموع بیراهی‌ها مطلق ماکزیمم آن کمیّت‌ها است.

بیراهی نسبی چنین است:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$$

پ - ۳) بیراهی حاصلضرب و تقسیم - حالت کلّی :

فرض می‌کنیم که کمیّت U از فرمول روبرو بدست می‌آید: $U = x^{\alpha} \frac{y^{\beta}}{z^{\gamma}}$

که در آن x و y و z کمیّت‌هایی هستند که مستقیماً اندازه‌گیری شده‌اند و α و β و γ اعداد مثبت‌اند. ابتداء بیراهی نسبی را بدست می‌آوریم و از روی آن بیراهی مطلق را حساب می‌کنیم.

برای محاسبهٔ بیراهی نسبی از رابطهٔ بالا لگاریتم می‌گیریم: $\ln U = \alpha \ln x + \beta \ln y - \gamma \ln z$

از این رابطه دیفرانسیل گرفته سپس به جای دیفرانسیل هر کمیّت بیراهی مطلق ماکسیمم آن را می‌نویسیم در این صورت مثل این است که بیراهی نسبی هر کمیّت را جانشین لگاریتم آن کنیم بنابراین:

$$\frac{\Delta U}{U} = \alpha\frac{\Delta x}{x} + \beta\frac{\Delta y}{y} - \gamma\frac{\Delta z}{z}$$

و چون باید حداکثر بیراهی را حساب کنیم علامت منها را به جمع تبدیل می‌کنیم.

$$\frac{\Delta U}{U} = \alpha\frac{\Delta x}{x} + \beta\frac{\Delta y}{y} + \gamma\frac{\Delta z}{z}$$ بیراهی نسبی

اگر حاصل طرف راست رابطه بالا را برابر N فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم :

$$\frac{\Delta U}{U} = N \quad \Rightarrow \quad \Delta U = UN$$ بیراهی مطلق

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

تمرین:

خطای نسبی رابطه‌های زیر را پیدا کنید :

I) $\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{x'}$

II) $Z^2 = xy$

III) $Z = x - ay$

IV) $Z = \frac{x^2 - y}{(2x - y)(y - 3x)}$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

❑ روش محاسبه :

اعداد با معنا و مفهوم صفر بعد از ممیز :

دو وسیله اندازه‌گیری داریم اوّلی متری نواری که کوچکتر از دسی‌متر را نشان نمی‌دهد و دیگری متر نواری که سانتی‌متر را هم نشان می‌دهد. حال اگر طول اتاقی ۵ متر و ۳۰ سانتی‌متر باشد در اندازه‌گیری اوّل ۵/۳ و در اندازه‌گیری دوّم به صورت ۵/۳۰ نوشته می‌شود. بطوریکه ملاحظه می‌شود در ریاضیات ۵/۳ و ۵/۳۰ هر دو یکی است و با یکدیگر تفاوتی ندارند ولی در فیزیک دارای دو مفهوم مختلف‌اند. عدد ۵/۳ نشان می‌دهد که دقّت اندازه‌گیری در حدود دهم متر بوده و مقدار صدم اندازه‌گیری نشده است. ممکن است کمیّت مورد اندازه‌گیری به اندازهٔ چند صدم کمتر یا بیشتر اندازه‌گیری شده باشد زیرا احتمالاً مقدار طول ۵ متر و ۲۹ سانتی‌متر بوده یا ۵ متر و ۳۱ سانتی‌متر بوده است و با توجّه به دقّت وسیلهٔ اندازه‌گیری ۵ متر و ۳ دسی‌متر خوانده شده است.

عدد ۵/۳ دارای دو رقم با معنا می‌باشد و رقم آخر یعنی ۳ مشکوک است. عدد ۵/۳۰ دارای ۳ رقم با معناست. در اینجا نیز امکان دارد مقدار حقیقی کمیّت به اندازهٔ چند میلیمتر کمتر یا بیشتر از مقدار اندازه گرفته شده باشد. لذا رقم سوّم یعنی صفر مشکوک است.

دقّت اندازه‌گیری مربوط به تعداد ارقامی است که اندازه‌گیری شده‌اند و صفر بعد از ممیز دقّت بیشتر اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. وسایلی که برای اندازه‌گیری به کار می‌روند هر چه دقیقتر باشند رقمهای با معنا بیشتر خواهد بود.

گرد کردن اعداد :

موقعی که بخواهیم از تعداد ارقام با معنا عددی بکاهیم، اگر رقمی که حذف می‌شود از ۵ کوچکتر باشد، حذف می‌شود و رقم قبلی به همان صورت که بوده است باقی می‌ماند. اگر رقم حذف شدنی از ۵ بیشتر باشد، آن را حذف و به رقم قبل از آن یک واحد اضافه می‌کنیم.

چهار عمل اصلی اعداد با معنا :

در محاسبه‌های اعداد با معنا سه موضوع زیر باید رعایت شود :

➢ ۱- کمیّتهایی که بر هم افزوده می‌شوند یا از هم کم می‌شوند حتماً باید هم جنس و برحسب یک واحد باشند.

⇦ ۲- میزان دقّت یا تعداد ارقام بعد از ممیز کمیّتها، به یک اندازه باشند. در غیر اینصورت عددی را که دقّت کمتری دارد و ارقام بعد از ممیز آن کمتر از بقیه است مبنا قرار می‌دهند و اعدادی را که ارقام بعد از ممیز آنها بیشتر است گرد

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

می‌کنند تا تعداد ارقام آنها به اندازهٔ ارقام بعد از ممیز عدد مبنا برسد.

➢ ۳- در ضرب و تقسیم اعداد با معنا معمولاً تعداد ارقام با معنای حاصل‌ضرب یا خارج‌قسمت باید برابر ارقام با معنای یکی از عوامل ضرب یا مقسوم یا مقسوم‌علیه باشد و بیشتر از آن نشود. البتّه این موضوع استثناهایی دارد.

مثال ۱) مجموع سه عدد ۲۵/۶g و ۴۳/۳۵g و ۱۱/۴۹۸g را حساب کنید. ۲۵/۶ + ۴۳/۴ + ۱۱/۵ = ۸۰/۵g

مثال ۲) عدد ۳۶/۸km را از ۹۷km کم کنید. ۹۷ - ۳۷ = ۶۰

مثال ۳) عدد $۲/۷۵ \times ۱۰^{۶}$ را در $۴/۸ \times ۱۰^{-۲}$ ضرب کنید. $۴/۸\times۱۰^{-۲} \times ۲/۷۵\times۱۰^{۶} = ۱/۳\times۱۰^{۵}$

مثال ۴) عدد ۶۸/۷۳ را بر ۲۲/۹ تقسیم کنید. ۶۸/۷۳ ÷ ۲۲/۹ = ۳/۰۰

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۱ ...

موضوع آزمایش:

اندازه‌گیری طول، دما، جرم و چگالی

☑ مقدمه:

شاید اندازه‌گیری فاصله دو نقطه، یعنی طول، بیش از هر کمیّتی در سنجش کمیّت‌های دیگر وارد شود. اندازه‌گیری طول دامنهٔ بسیار وسیعی را، از فاصلهٔ کهکشانها تا شعاع هسته عناصر در بر می‌گیرد. آشکار است که روش اندازه‌گیری برای تمام این دامنه وسیع نمی‌تواند یکسان باشد.

در اندازه‌گیری طولهای معمولی می‌توان از متر نواری یا فنری یا خط‌کش استفاده کرد و فاصلهٔ بین دو نقطه را بطور مستقیم با دقّتی در حدود میلی‌متر بدست آورد. برای دقّت بیشتر از دستگاههایی استفاده می‌شود که در این آزمایش با آنها آشنا می‌شوید. امّا برای اندازه‌گیری فاصله‌های بیشتر، مثل فاصلهٔ بین دو کوه یا دو شهر با روش مستقیم دشواری‌هایی همراه دارد؛ در این مورد از روش‌های غیر مستقیم مانند مثلث‌بندی، استفاده می‌شود. در اندازه‌گیری فاصله سیاره‌ها رادار بکار برده شده و برای اندازه‌گیری فاصله‌های بسیار کوچک میکروسکوپ الکترونی بکار می‌رود.

آشنایی با ورنیه:

برای نخستین بار پی‌یر ورنیه (***piere verni***) (۱۶۳۷-۱۵۸۰ میلادی) وسیله‌ای اختراع کرد که بنام وی ورنیه نامیده می‌شود. این وسیله در اکثر وسایل اندازه‌گیری، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اساس تقسیمات ورنیه - ورنیه وسیله‌ای است که به کمک آن می‌توان کسرهای تقسیم یک خط‌کش متری یا هر تقسیم‌بندی دیگر را دقیق‌تر و راحت‌تر از خواندن مستقیم بدست آورد. هر ورنیه دارای تقسیماتی بنام مقیاس ورنیه است که می‌تواند در طول تقسیم‌بندی اصلی موسوم به مقیاس اصلی بلغزد. ورنیه بر حسب کسر تقسیمی که تعیین می‌کند، ورنیه $\frac{۱}{۱۰}$ ، $\frac{۱}{۲۰}$ ، ..... ، $\frac{۱}{n}$ ، نامیده می‌شود.

ورنیه $\frac{۱}{n}$ - اگر (n-1) قسمت از خط‌کش اصلی را به n قسمت مساوی تقسیم کنیم، بنابراین هر درجهٔ ورنیه $\frac{n-1}{n}$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

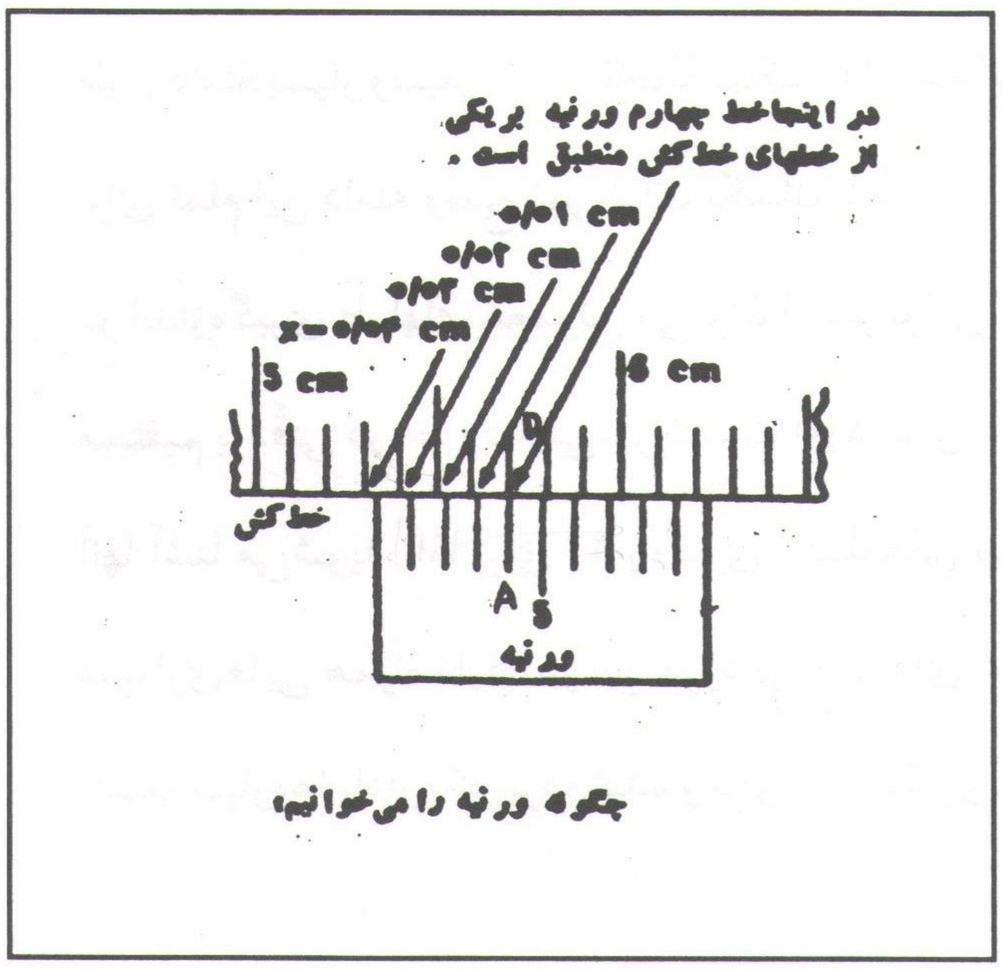
میلیمتر و از یک میلیمتر به اندازهٔ $\frac{1}{n} = \frac{n-1}{n} - 1$ میلیمتر کمتر است. $\frac{1}{n}$ نشان‌دهندهٔ میزان دقّت یا حساسیّت دستگاه درجه‌بندی شده است. با چنین دستگاهی حداکثر خطا در اندازه‌گیری برابر با $\frac{1}{n}$ خواهد بود.

دستور کلّی خواندن ورنیه ـ

الف) ابتدا تقریب ورنیه را معلوم کنید. برای این منظور کوچکترین تقسیم خط‌کش اصلی را بر تعداد تقسیمات ورنیه تقسیم کنید. حساسیت دستگاه را شما بدست آورده‌اید.

ب) شمارهٔ خطی از ورنیه را که مقابل خطی از تقسیمات خط‌کش اصلی است تعیین کرده آنرا در تقریب ورنیه ضرب کنید.

ج) حاصلضرب را به آنچه بطور مستقیم روی خط‌کش اصلی تا صفر ورنیه خوانده‌اید اضافه کنید. فرض کنید هنگام کار با ورنیه درجه صفر ورنیه بین درجه‌های ۵۳ و ۵۴ خط‌کش اصلی قرار گیرد و خط چهارم آن A بر درجه D خط‌کش منطبق شود. سرانجام درجه صفر ورنیه به اندازهٔ ۰/۴ = ۰/۱ × ۴ میلی‌متر از درجه ۵۳ بیشتر است. بنابراین صفر ورنیه روی درجه ۵۳/۴ خط‌کش است در بعضی ورنیه‌ها فاصله ۳۹ یا ۱۹ میلیمتر به ۲۰ قسمت مساوی تقسیم شده است. دقت این ورنیه $\frac{۱}{۲۰}$ میلیمتر می‌باشد.



چگونه ورنیه را می‌خوانیم؟

خطای صفر ـ بعد از مدّتی کار با ورنیه اتّفاق می‌افتد که صفرهای خط‌کش و ورنیه کاملاً بر هم منطبق نمی‌گردند، در این حالت لازم است پیش از آزمایش، خطای حاصل که خطای صفر نامیده می‌شود تعیین گردد. مثلاً اگر صفر ورنیه به اندازهٔ Δl پس از صفر خط‌کش قرار گیرد نتیجه تمام اندازه‌گیریهایی که با این خط‌کش بعمل آید به اندازهٔ Δl بیش از مقدار واقعی است.

کولیس:

یکی دیگر از ابزار اندازه‌گیری طول، کولیس است. کولیس شامل یک خط‌کش فلزی میلیمتری M و ورنیه V می‌باشد و

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

دارای دو شاخه است. شاخه طرف چپ ثابت بوده و شاخهٔ طرف راست به ورنیه V متّصل است و می‌تواند همراه با ورنیه در طول خط‌کش حرکت کند (شکل ۲). لبهٔ شاخه‌ها عمود بر ردیف درجه‌های خط‌کش است. هنگامیکه لبهٔ شاخه‌ها بر هم منطبق‌اند، صفر ورنیه برابر صفر خط‌کش قرار می‌گیرد. برای اندازه‌گیری قطر و ضخامت اجسام، آنها را بین دو شاخه قرار می‌دهند. برای اندازه‌گیری قطر داخلی و فاصله بین دو صفحه از شاخه‌های بالا استفاده می‌شود. در پشت خط‌کش، میله‌ای به شاخهٔ متحرک متّصل است که می‌توان با آن گودی حفره‌ها را اندازه گرفت.

ریـــزسنـــج:

ریزسنج دستگاهی است که برای اندازه‌گیری قطر سیمها یا ضخامت صفحات نازک بکار می‌رود؛ و یا قطر گلوله کوچک را با دقّت خیلی زیادی اندازه‌گیری می‌کند. این ابزار تشکیل شده از یک رکاب E که ثابت و به یک طرف آن پاشنه T وصل شده است. در طرف دیگر، استوانهٔ مدرّجی است که روی آن با تقسیم‌بندیهای ۰/۵ و یا یک میلیمتری درجه‌بندی شده است. قسمت متحرک M، یک پوستهٔ استوانه‌ای است که محیط آن به ۵۰ یا ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است. این استوانه توسّط پیچی که در میان آن قرار دارد، می‌تواند روی استوانهٔ ثابت حرکت رفت و برگشت داشته باشد. گام این پیچ نیم یا یک میلیمتر است و هر دوری که پوسته بزند، به اندازهٔ گام پیچ یعنی نیم یا یک میلیمتر جلو یا عقب می‌رود، و میله‌ای که به پیچ وصل است به همان اندازه از پاشنهٔ ثابت فاصله می‌گیرد.

در ریزسنجهایی که گام پیچ یک میلیمتر است، دور پوسته به ۱۰۰ قسمت تقسیم شده که هر قسمت نمایندهٔ $\frac{۱}{۱۰۰}$ میلیمتر است. در ریزسنجهایی که گام پیچ ۰/۵ میلیمتر است، دور پوسته به ۵۰ قسمت تقسیم شده است. دقّت اندازه‌گیری هر دو نوع یکسان و برابر ۰/۰۱ میلیمتر خواهد بود.

در انتهای پوسته یک پیچ هرزگرد وجود دارد که به پوسته وصل است. موقع اندازه‌گیری اگر نیروی وارد شده از حدّ مجاز بیشتر شود، این قسمت آزاد و از فشردگی بیشتر پیچ جلوگیری می‌کند. همیشه وقتی که میلهٔ متحرّک به پاشنه چسبیده است و فاصله بین آنها وجود ندارد، درجهٔ صفر پوسته روی صفر استوانه قرار می‌گیرد. در صورتی که این تنظیم برقرار نباشد، دستگاه خطای صفر دارد.

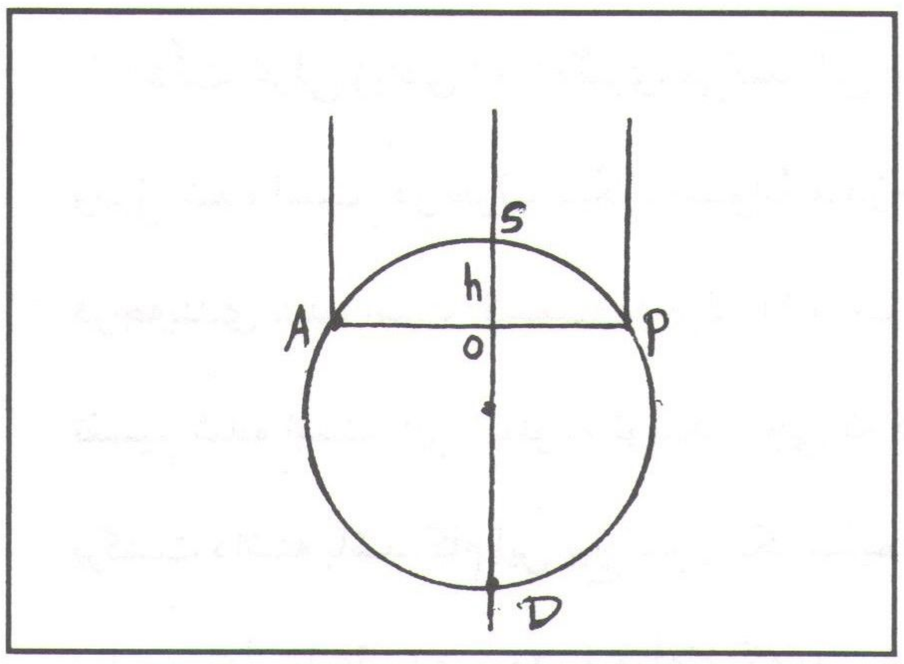
برای اندازه‌گیری ضخامت اجسام، جسم را بین دو پاشنه قرار می‌دهند. با پیچ هرزگرد، پوسته را می‌چرخانند تا T و T' بر جسم مماس شوند. میلیمترها را از روی G و صدم میلیمترها را از روی درجه‌بندی M می‌خوانند.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

گـوی‌سـنـج :

از این اسباب برای اندازه‌گیری شعاع انحنای اجسام گوی‌سان‌ها (کوژ یا کاو) مانند عدسی‌ها یا آینه‌ها، استفاده می‌شود. گوی‌سنج شامل پیچ S است که با پیچاندن H در مهره‌ای ثابت حرکت می‌کند؛ پایه‌ها برابر و ثابت A و B و C موازی یکدیگر و به فاصلهٔ مساوی از S قرار دارند (شکل ۴). معمولاً پیرامون صفحه دایره‌ای به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است. این صفحه با چرخش S در راستای خط‌کش میلیمتری ثابت و قائم M حرکت می‌کند. برای یافتن گام پیچ، صفر صفحه D را برابر یکی از درجه‌های M قرار دهید و آن را چهار یا پنج دور بگردانید، آنگاه توجّه کنید که صفر D با کدام درجهٔ M برابر است. با این حالت گام پیچ را بدست آورید. با توجّه به شکل مقابل و به کمک خاصیّت هندسی وترهای قاطع در یک دایره می‌توان نوشت:



$$SO \times OD = OA \times OP$$

$$h(2r - h) = a \cdot a = a^2$$

$$SD = 2r$$

$$r = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

برای اندازه‌گیری فاصلهٔ پایهٔ متحرک تا ثابت a، گوی‌سنج را روی صفحهٔ شیشه‌ای قرار داده و پیچ S را بچرخانید تا هر چهارپایه به صفحه تماس گیرد. سپس گوی‌سنج را روی یک کاغذ گذاشته و فشار دهید تا نوک پایه‌ها بر کاغذ اثر بگذارد. آنگاه با کولیس a را اندازه بگیرید.

پـیـکـنـومـتـر :

پیکنومتر یا تنگ چگالی، تنگ کوچکی است که سرپوش آن مجرای باریکی دارد. تنگ را پر از مایع کنید و سرپوش را به آرامی در جای خود قرار دهید. اضافی مایع از مجرای باریک بیرون می‌ریزد و به کمک این وسیله می‌توانیم حجمهای مساوی از مایعات مختلف برداشت.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

$$\text{چگالی} = \frac{\text{جرم جسم}}{\text{حجم جسم}} \quad \Rightarrow \quad \rho = \frac{M}{V}$$

$$\text{چگالی جسم A نسبت به آب} = \frac{\text{جرم جسم A}}{\text{جرم آب هم حجم جسم A}} = \frac{m}{m'}$$

Fig. 2: Vernier caliper.

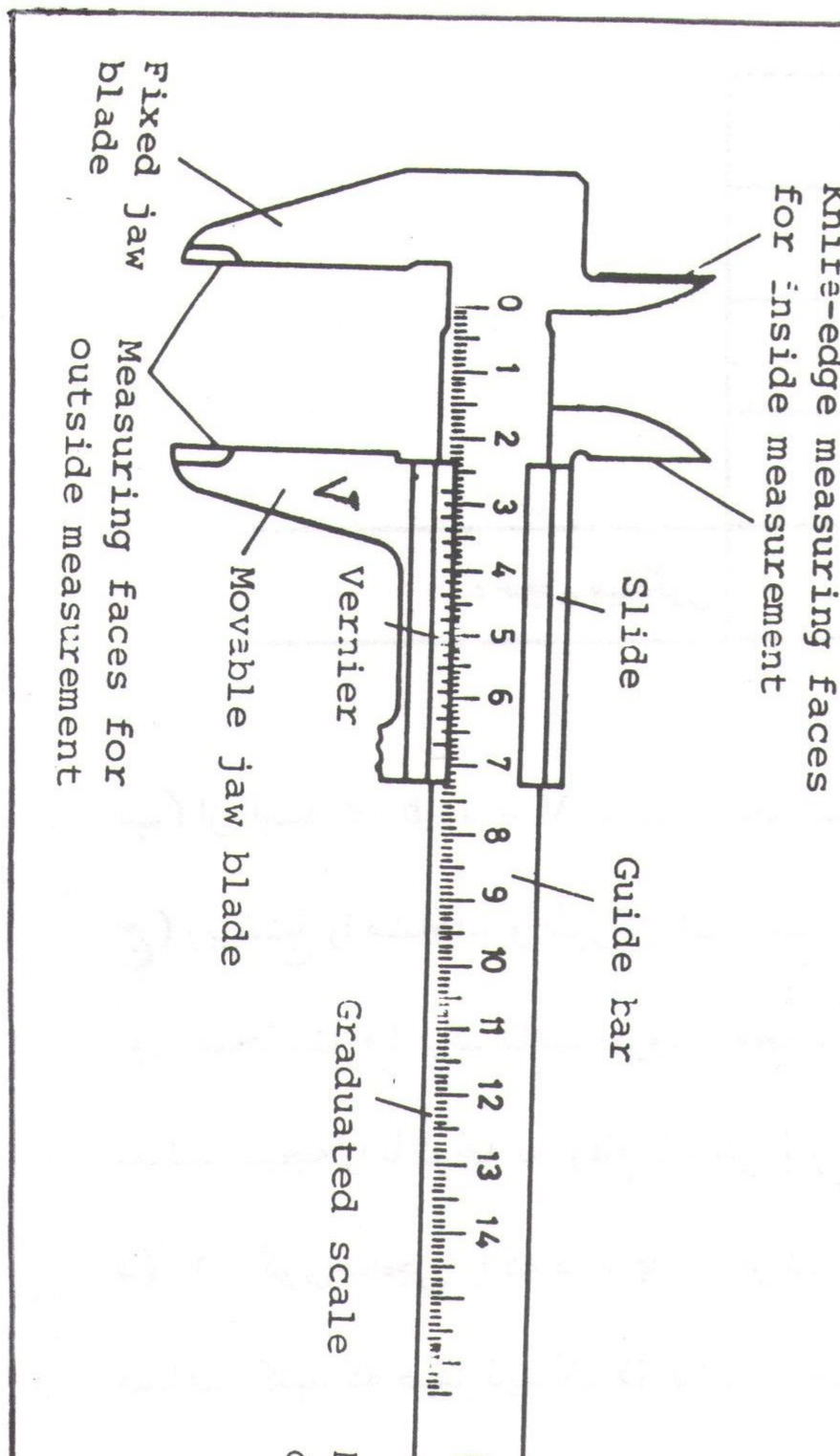


Fig. 4: Spherometer.

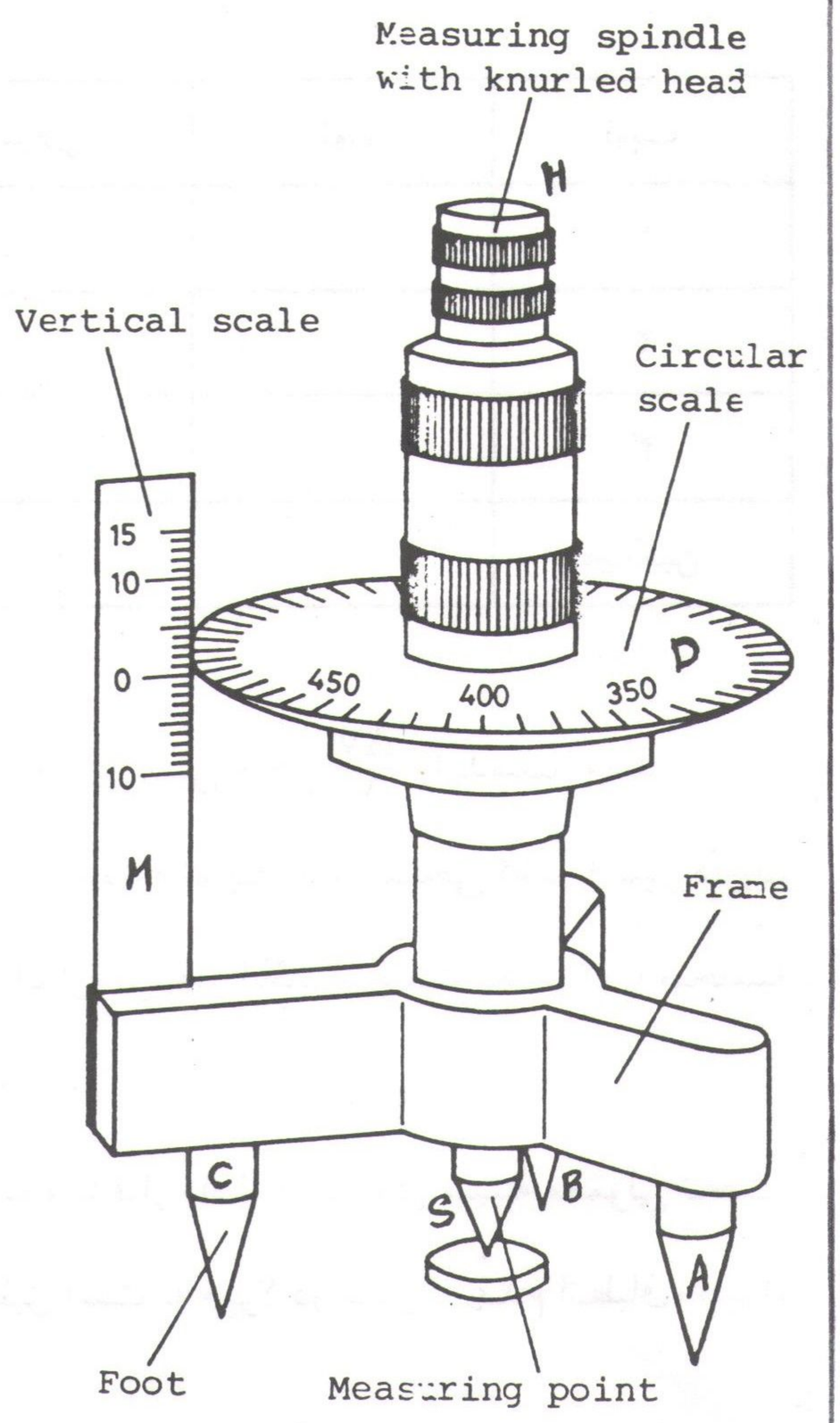
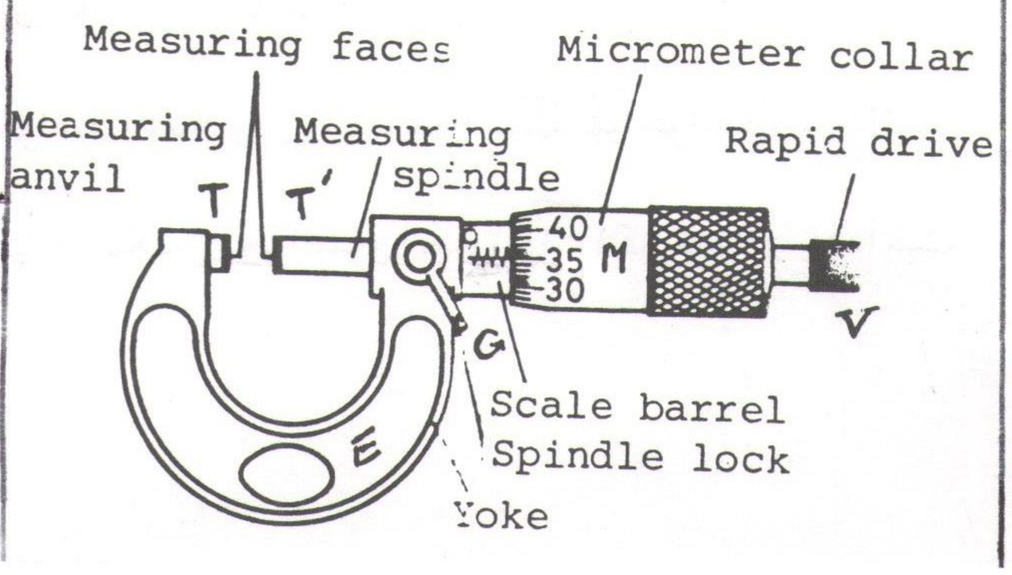


Fig. 3: Micrometer, reading off 4.35 mm.



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

□ روش آزمـایـش: ⮜

الف) انواع کولیس را مورد مطالعه قرار دهید و حساسیّت هر کدام را پیدا کنید. ابعاد مکعب چوبی را که در اختیار دارید یک بار با خط کش و یک بار دیگر با کولیس اندازه گیری نموده، اعداد حاصل را با هم مقایسه و نتیجه را بنویسید. (اعداد اندازه گیری را در جدول تنظیم کنید.)

نوبت	طول	عرض	ارتفاع
۱			
۲			
۳			
میانگین			

: حجم میانگین

ب) از رابطه $V = a \cdot b \cdot c$ به طریق لگاریتمی خطاگیری کنید و خطای نسبی حجم $\frac{\Delta V}{V}$ را بدست آورید.

ج) ریزسنج را مشاهده و طرز کار آن را مطالعه کنید و حساسیّت آنرا معلوم نمایید. با ریزسنجی که در اختیار دارید، آوّل ضخامت ۱۰ برگ کاغذ جزوه و مجدداً ضخامت ۵ برگ را اندازه گرفته و آنگاه ضخامت یک برگ را محاسبه نمائید. نتیجه را با توجّه به ارقام با معنی بنویسید.

د) ۱- گوی‌سنجی را که در اختیار دارید، مورد مطالعه قرار داده و با قرار دادن آن بر روی شیشهٔ معمولی تخت، مشاهده کنید که صفر دیسک D با صفر خط کش M بر هم منطبق است یا خیر؟ در صورت عدم انطباق، مبداء اندازه گیری را مشخّص کنید.(خطای صفر)

۲- گوی‌سنج را بر روی عدسی محدّب یا مقعری که در اختیار دارید، قرار داده و ارتفاع h را نسبت به مبداء اندازه گیری از خط کش M و دیسک، (نظر به مبداء اندازه گیری تعیین شده) بدست آورید.

(توضیح اینکه اگر R عدسی مقعر اندازه گیری می نمایید خواندن اعداد روی دیسک را مستقیماً خوانده و یادداشت نمائید. و اگر R عدسی محدب اندازه گیری می نمائید اعداد روی دیسک را بخوانید و آنگاه از ۱۰۰ کم کرده و یادداشت نمائید.)

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

۳- فاصلهٔ یک پایه ثابت تا پایهٔ وسطی (متحرک) را اندازه‌گیری نمائید. (اندازه‌گیری را تکرار و میانگین‌گیری نمائید) و این مقدار را برابر a قرار دهید.

۴- آنگاه با استفاده از رابطه $R = \frac{a^2 + h^2}{2h}$ شعاع انحنای عدسی را بدست آورید.

۵- طرز کار با ترازوی موجود را مورد مطالعه قرار داده و جرم چند جسم مختلف را با توجّه به دقّت وسیله، اندازه‌گیری نمائید.

هـ) طرز خواندن و استفاده از ترمومترها و کرنومترهای موجود در آزمایشگاه را یاد بگیرید.

و) اندازه‌گیری چگالی مایعات

۱- ابتداء پیکنومتر را با آب و سپس با الکل بشویید و خشک کنید و جرم آن را با ترازو بدست آورید. (m_1)

۲- پیکنومتر را از آب مقطر پرکنید و سرپوش آن را به آرامی در جای خود قرار دهید توجّه کنید که حباب هوا در زیر سرپوش تشکیل نشود. پیکنومتر را به کمک دستمال خشک کنید. وزن آن را بدقّت بدست آورید. (m_2)

۳- شماره (۲) را با الکل تکرار کنید. (m_3)

۴- پیکنومتر را خالی و خشک کنید. داخل آن مقداری ماسهٔ خشک بریزید (حدود $\frac{1}{3}$) سرپوش پیکنومتر را در جای خود قرار دهید؛ آن را با دقّت وزن کنید. (m_4)

۵- روی ماسه‌های داخل پیکنومتر آب بریزید تا پیکنومتر لبریز شود. سرپوش آن را به جای خود قرار دهید. آنرا وزن کنید. (m_5)

۶- پیکنومتر را خالی و خشک کنید. داخل آن مقداری نمک بریزید (حدود $\frac{1}{3}$). وزن آن را بدست آورید (m_6). روی آن الکل بریزید، وزن آن را بدست آورید (m_7). نتایج مراحل را در جدولی ثبت کنید. با استفاده از فرمولهای زیر چگالی الکل، ماسه و نمک را بدست آورید.

$$\text{چگالی الکل} = \frac{\text{جرم الکل}}{\text{جرم آب هم حجم الکل}} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}$$

$$\text{چگالی ماسه} = \frac{\text{جرم ماسه}}{\text{جرم آب هم حجم ماسه}} = \frac{m_4 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_5 - m_4)}$$

$$\text{چگالی نمک} = \frac{\text{جرم نمک}}{\text{جرم آب هم حجم نمک}} = \frac{m_6 - m_1}{(m_3 - m_1) - (m_7 - m_6)} \times \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

سئوال:

۱- آیا روش سادهٔ دیگری برای تعیین چگالی اجسام جامد می‌دانید؟

۲- چرا اندازه‌گیری یک کمیّت را چند بار تکرار می‌کنند؟

۳- خطای نسبی چگالی ماسه را بدست آورید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۲ ...

موضوع آزمایش:

اندازه‌گیری ضریب اصطکاک

وسائل آزمایش: سطح شیبدار - مکعب مستطیل چوبی - وزنه - کفه - نخ.

☑ تـــئوری:

تجربه نشان می‌دهد وقتی جسمی می‌خواهد بر روی جسم دیگری بلغزد، نیروی مقاومی در سطح تماس دو جسم و در خلاف جهت حرکت پدید می‌آید. این نیرو را نیروی اصطکاک می‌نامند.

نیروهای اصطکاک خودبخود در جهت مخالف حرکت عمل می‌نمایند و هیچ وقت به آن کمک نمی‌کنند. حتّی در حالتی که بین دو سطح حرکت نسبی وجود ندارد.

نیروهای اصطکاک ممکن است بین دو سطح وجود داشته باشند. وقتی که نیروهای اصطکاک بین دو جسم که نسبت به هم ساکن هستند عمل می‌کنند آنها را نیروهای اصطکاک "استاتیک" یا "ایستایی" می‌نامند.

ماکزیمم نیروی اصطکاک استاتیک برابر است باکوچکترین نیروی لازم برای به حرکت در آوردن جسم، وقتی حرکت شروع می‌شود، نیروهای اصطکاک کاهش می‌یابند. آن دسته از نیروهای اصطکاک که بین سطوح متحرّک وجود دارند، نیروهای اصطکاک جنبشی نامیده می‌شوند. بطور ساده می‌توان نیروی اصطکاک را در اثر ناهمواریهای بسیار ریز سطح تماس و نیروی چسبندگی میان ذرّات دو جسم دانست.

نیروهای اصطکاک به عوامل زیادی بستگی دارند و هنوز نظریهٔ دقیقی راجع به اصطکاک خشک وجود ندارد و قوانین اصطکاک تجربی می‌باشند.

نیروی اصطکاک از قوانین تجربی زیر تبعیت می‌کند.

۱- این نیرو با تقریب خیلی خوبی از مساحت سطح تماس مستقل است.

۲- این نیرو با نیروی عمودی متناسب است.

۳- نیروی اصطکاک تا اندازه‌ای مستقل از سرعت جسم است.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

۴- این نیرو بستگی به جنس سطح تماس، درجهٔ حرارت و رطوبت دارد.

در لحظهٔ شروع حرکت لازم است نیروی وارد بر جسم و نیروی اصطکاک با هم برابر باشند.

اگر F_s نیروی اصطکاک استاتیک و F_N نیروی عمودی باشد، داریم: ➢

$$F_s = \mu_s F_N$$

μ_s را ضریب اصطکاک استاتیک گویند.

هنگام حرکت جسم نیز می‌توان رابطه‌ای مانند رابطهٔ بالا نوشت.

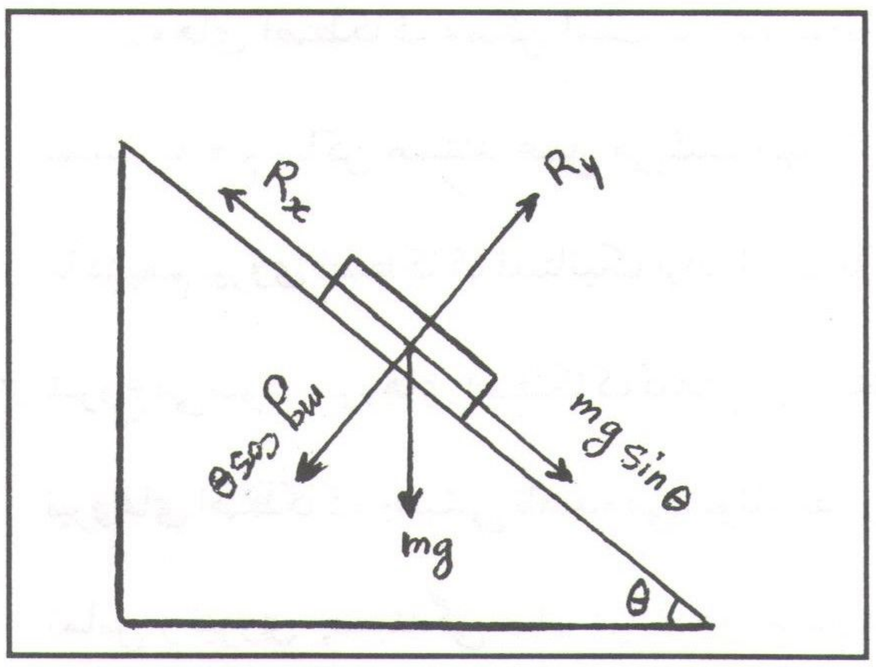
μ_k را ضریب اصطکاک جنبشی گویند. ➢

$$F_k = \mu_k F_N$$

تجربه نشان می‌دهد که μ_k همواره از μ_s کوچکتر است.

μ_k و μ_s ضرایب بدون دیمانسیونی هستند که می‌توانند هر مقدار دلخواهی را اختیار کنند ولی معمولاً کوچکتر از واحد هستند. چرا؟

اگر جسم m را روی سطح شیب‌دار در نظر بگیریم نیروی وزن دارای دو مؤلّفه است. $mg\cos\theta$ عمود بر سطح $mg\sin\theta$ که در امتداد سطح است می‌تواند جسم را بطرف پایین بلغزاند. متقابلاً از طرف سطح دو نیروی R_x در امتداد سطح و در خلاف جهت حرکت و R_y عمود بر سطح به جسم وارد می‌شود. R_x مانع حرکت جسم می‌شود. در حالت تعادل داریم: ➢



$$R_y = -mg\cos\theta$$

$$R_x = -mg\sin\theta$$

R_y و R_x مقدار ثابتی نیستند و از صفر تا مقدار ماکزیممی میرسند (با تغییر θ). در صورتی که جسم با سرعت یکنواخت حرکت کند، مطابق تعریف ضریب اصطکاک، در این حالت داریم: ➢

$$\mu_K = \frac{R_x}{R_y} = \frac{-mg\sin\theta}{-mg\cos\theta} \Rightarrow \mu_K = tg\theta$$

یعنی در این حالت تانژانت زاویه سطح شیب‌دار برابر ضریب اصطکاک است.

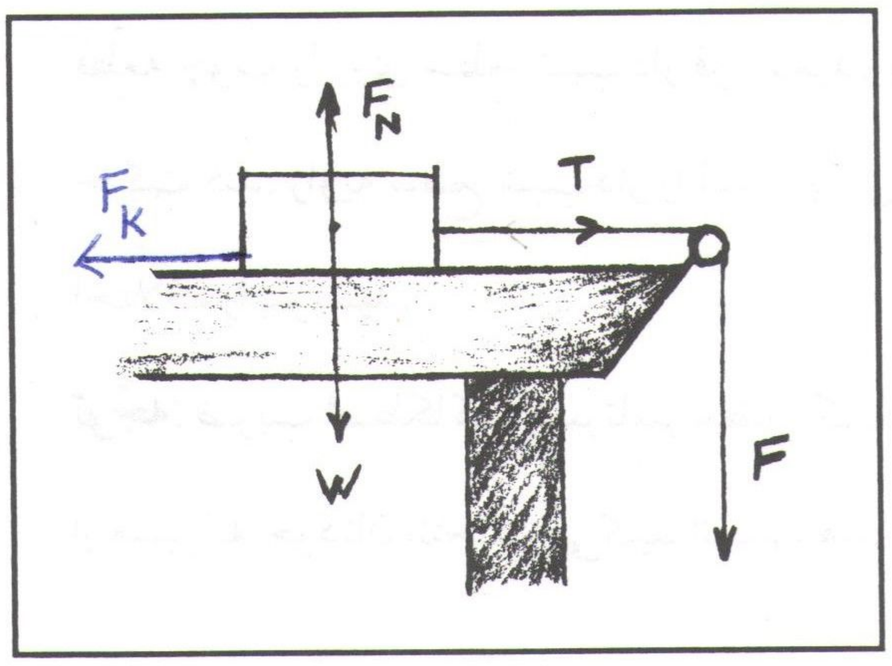
تعیین ضریب اصطکاک: ➢

دستگاهی که برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک بین دو سطح بکار می‌رود مانند شکل زیر است. جسم مورد نظر را به

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

نخ ببندید و روی سطح افقی قرار دهید. انتهای نخ را به یک کفه ببندید. درکفه بتدریج وزنه بگذارید تا جسم شروع به لغزش کند. در راستای عمود بر سطح اتکا ترازمندی برقرار است، لذا:



$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_N - W = 0 \Rightarrow F_N = W$$

چون از وزن ریسمان و اصطکاک قرقره صرفنظر می‌شود، پس:

$$F = T$$

در زمان لغزش با سرعت ثابت در راستای محور x می‌توان نوشت:

$$\Sigma F_x = 0 \quad T - F_K = 0 \quad F - F_K = 0 \Rightarrow F = F_K$$

با توجّه به تعریف اصطکاک:

$$F_K = \mu_K F_N$$

برای دقّت بیشتر در اندازه‌گیری μ_K با تغییر W مقادیر F را بدست آورید. نمودار F را بر حسب W رسم کرده و از شیب آن مقدار μ_K را محاسبه کنید.

آزمایش ۱:

روش آزمایش:

۱- وزن قطعه چوب مورد آزمایش و کفه را بدست آورید.

۲- قطعه چوب را به نخ و نخ را به کفه ببندید و آن را روی سطح افقی قرار دهید. یک وزنه ۵۰۰گرمی را روی قطعه چوب قرار دهید.

۳- درکفه آنقدر وزنه اضافه کنید تا با یک ضربهٔ انگشت قطعه چوب با سرعت یکنواخت حرکت کند. (اگر قطعه چوب شتاب گرفت از وزنه‌ها کم کنید.) مقدار وزنهٔ موجود درکفه به اضافه وزن کفه را یادداشت کنید. (F)

۴- آزمایش را ۳ بار تکرار کنید، مقادیر F و میانگین آن را در جدول بنویسید.

۵- آزمایش را برای وزنه‌های داده شده در جدول تکرار کنید و جدول (۱) را پر کنید.

۶- نمودار F را بر حسب W رسم کنید. از روی آن μ_K را محاسبه کنید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمـایـش ۲: ✓

روش آزمایش:

قطعه چوب را روی سطح شیب‌دار قرار دهید، و شیب را افزایش دهید تا با یک ضربه قطعه چوب بطور یکنواخت حرکت کند. زاویه سطح شیب‌دار را اندازه بگیرید و μ_k را محاسبه کنید. آن را با آزمایش قبل مقایسه نموده و علّت اختلاف را بنویسید.

توجّه: ضریب اصطکاک در سرتاسر سطح یکسان نیست؛ از این رو دقّت کنید که تمام آزمایش‌هایتان در قسمت معیّنی از مسیر که خودتان انتخاب می‌کنید انجام دهید.

شماره	وزنهٔ موجود روی قطعه چوب	W مجموع وزن قطعه چوب و وزنه‌ها	F_1 مجموع وزن وزنه‌ها و کفه	F_2	F_3	$F_{متوسط}$
۱	۵۰۰گرم					
۲	۵۵۰گرم					
۳	۶۰۰گرم					
۴	۶۵۰گرم					
۵	۷۰۰گرم					
۶	۷۵۰گرم					
۷	۸۰۰گرم					
۸	۸۵۰گرم					

سـئوال:

۱- تغییر کمیّتهای نظیر θ ،W یا g چه تأثیری بر μ_k و μ_s دارند؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۳ ...

موضوع آزمایش:

تحقیق قانون اوّل و دوم نیوتن

○ الف) تحقیق قانون اوّل نیوتن:

☑ تئوری:

قانون اوّل نیوتن بیان می‌کند که هرگاه برآیند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد، آن جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت خود را بر روی خطّی مستقیم حفظ می‌کند. اگر بتوان شرایطی بوجود آورد که برآیند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد، (بوجود آوردن چنین شرایطی عملاً بسیار مشکل است) سرعت آن جسم در مسیری به طول S که در مدّت t آنرا می‌پیماید باید ثابت باشد. و رابطهٔ فاصله با زمان، خطی است و همچنین رابطهٔ سرعت با زمان تغییر نمی‌کند. بستر هوای فشرده یکی از بهترین وسایل برای این آزمایش است. این بستر یک منشوری فلزّی است که روی آن سوراخهای ریزی تعبیه شده است، و هوا با سرعت در سوراخها دمیده می‌شود. طول این بستر حدود ۲ متر است. در حقیقت لغزنده روی یک لایه هوا حرکت می‌کند و اصطکاک فلز با فلز از بین می‌رود. ولی هنوز اصطکاک فلز با هوا (مقاومت هوا) وجود دارد و اختلاف سرعتی که عملاً در طول مسیر مشاهده می‌شود، به این دلیل است که بسیار ناچیز می‌باشد.

زمان سنج دیجیتال : زمان‌سنج دیجیتال وسیلهٔ دقیقی برای اندازه‌گیری فاصله زمانی است. دو فتوسل با دو منبع کوچک نور به آن متّصل است. برای بکار انداختن زمان‌سنج نکات زیر ضروری است:

۱- سویچی را که در زیر آن Switch نوشته شده است، روی علامت Time/s تنظیم کنید.

۲- سویچی را که با E.H.T مشخص شده روی OFF تنظیم کنید.

۳- فتودایود و منبع نور را روی پایهٔ مربوطه نصب کنید و آنها را طوری تنظیم کنید که اشعه خروجی از منبع نور دقیقاً روی مرکز فتودایود بیفتد.

۴- منبع نور را بوسیلهٔ سیمهای رابط به ولتاژ دو ولتی (a.c) که روی زمان‌سنج است متّصل کنید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

۵- دو سیم مربوط به فتودایود را به دو ترمینال (قرمز رنگ) که با علامت Stop مشخّص شده‌اند ببندید و توجّه داشته باشید که سیم سیاه رنگ به قسمت زمین که با علامت مشخص شده باید متّصل باشد.

۶- دو ترمینال سبز رنگ را که با علامت Start مشخّص شده‌اند، بهم وصل کنید. حال اگر مطمئن هستید که مدار را درست بسته‌اید زمان‌سنج را روشن کنید و دکمه Reset را فشار دهید تا تمام ارقام روی صفحهٔ زمان‌سنج صفر شود.

۷- اگر سویچی که با علامت Range مشخص شده است روی ۱۰ باشد زمان‌سنج فقط فاصله زمانی صفر تا ۹/۹۹۹ ثانیه را تعیین خواهد کرد و چنانچه روی ۱۰۰ باشد فاصله زمانی صفر تا ۹۹/۹۹ و چنانچه روی ۱۰۰۰ باشد فاصله زمانی صفر تا ۹۹۹/۹ را مشخص خواهد کرد.

۸- کلیدی که با علامت mode مشخص شده روی حالت (۱) بگذارید. در این وضع زمان‌سنج مدّت زمانی را که اشعهٔ خروجی از منبع نور به فتودایود نتابیده است اندازه خواهد گرفت.

۹- اگر کلیدی که با علامت mode مشخص شده است روی حالت (۲) باشد زمانی که نور تابیده شده به فتوسل اول قطع می‌شود دستگاه شروع به شمارش می‌کند و هنگامیکه نور تابیده شده به فتوسل دوّم قطع می‌شود دستگاه شمارش را ختم می‌کند.

□ روش آزمایش: ⮜

از مسئول آزمایشگاه بخواهید تا مدار دستگاه را کنترل نماید. حال دمنده را روشن کنید و لغزنده را در وسط مسیر به حالت سکون قرار دهید. با پیچاندن پیچ زیر منشور فلزی مسیر را کاملاً افقی کنید، تا لغزنده هیچگونه حرکتی نداشته باشد.

در این آزمایش باید در اندازه‌گیری فاصله و زمان دقّت زیادی بشود. فاصله‌ای که باید آزمایش در آن صورت گیرد فاصله بین دو سلول فتوالکتریک است. فتوسل اوّل را همیشه ثابت نگهدارید. فتوسل دوم را حرکت داده و در فاصلهٔ ۲۰cm از فتوسل اوّل قرار دهید. کلید mode را روی حالت ۲ قرار دهید و دمنده را روشن کنید. لغزنده را به انتهای مسیر برده و به نوار لاستیکی فشار دهید. نوک خودکارتان را در یکی از سوراخهای بستر جلوی لغزنده بگذارید (دقّت کنید که تا آخر آزمایش باید از همین سوراخ استفاده کنید) با برداشتن خودکار، لغزنده به حرکت در می‌آید و زمان حرکت لغزنده بین دو سلول فتوالکتریک اندازه‌گیری می‌شود (t) این زمان را ۳ بار اندازه بگیرید. این مقادیر و میانگین آنها را

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

در جدول یادداشت کنید. کلید mode را روی حالت ۱ قرار دهید. زمان عبور لغزنده را از جلوی فتوسل دوم اندازه بگیرید. این زمان را نیز ۳ بار اندازه بگیرید. این مقادیر (Δt) و میانگین آنها را در جدول یادداشت کنید. این آزمایشات را برای فواصل داده شده در جدول تکرار کنید. طول Δs زائد بالای لغزنده را بدقّت با کولیس اندازه بگیرید و $V=\frac{\Delta s}{\Delta t}$ را از روی آن حساب کنید. دو نمودار S و V را بر حسب t روی کاغذ میلیمتری رسم کنید. شیب نمودارها را پیدا کنید و از نظر فیزیکی توجیه نمائید.

S_{cm}	$t_{1\ sec}$	t_2	t_3	$t_{\text{میانگین}}$	Δt_1	Δt_2	Δt_3	$\Delta t_{\text{میانگین}}$	$V=\frac{\Delta s}{\Delta t}$
۲۰									
۲۵									
۳۰									
۳۵									
۴۰									
۴۵									
۵۰									

$\Delta s =$

○ ب) حرکت یک جسم تحت اثر نیروی خارجی در بستری از هوای فشرده:

هدف : تحقیق رابطهٔ فاصله و سرعت با زمان، در حرکت اجباری و تحقیق قانون دوم نیوتن.

☑ تئوری:

لغزنده به جرم m_1 (به وزن ω_1) بر سطح افقی بستر هوا در حرکت است. لغزنده با نخ بی وزنی که از روی قرقره بدون اصطکاک عبور کرده و به وزنهٔ $\omega_2 = m_2 g$ وصل شده است. بنابراین برای جسمی که روی بستر قرار دارد می‌نویسیم:

$$\Sigma F_x = m_1 a = T \qquad \Sigma F_y = N - \omega_1 = 0$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

چون هر دو جسم، با یک نخ بهم وصل‌اند شتاب حرکت هر دو یکی است. قانون دوم نیوتن را برای جسم آویزان می‌نویسیم: ➤

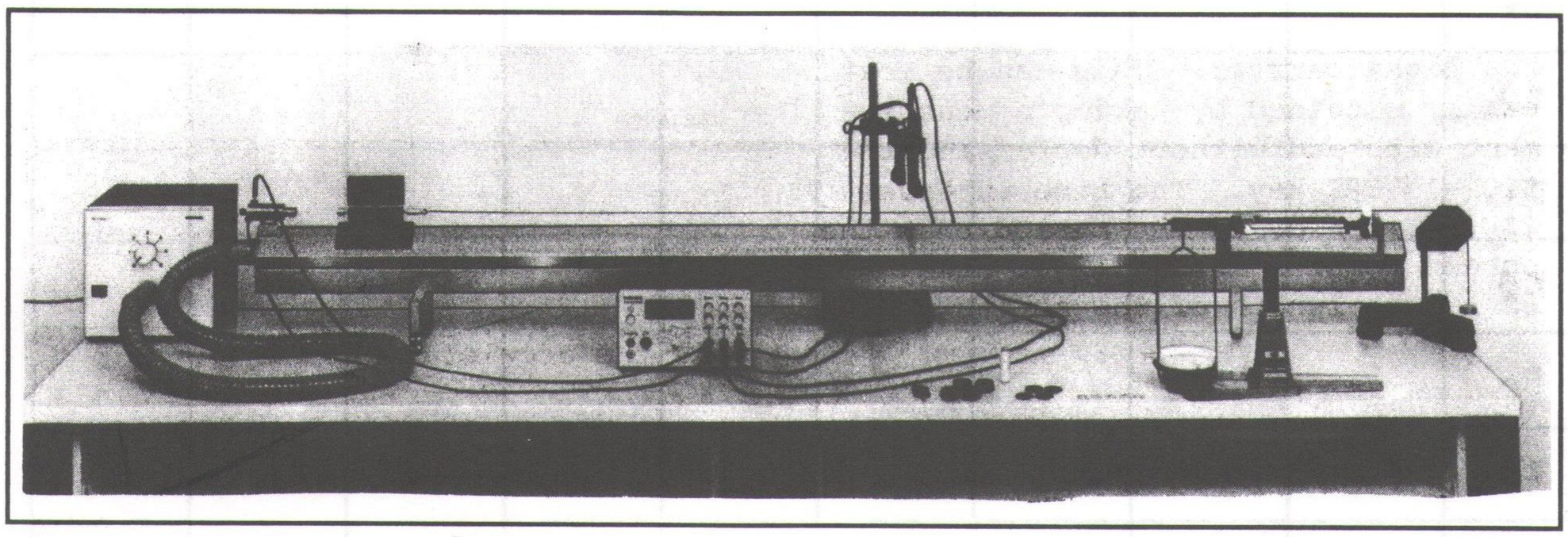
$$\Sigma F_y = \omega_2 - T = m_2 a$$

$$\begin{cases} m_1 a - T = 0 \\ \omega_2 - T = m_2 a \end{cases} \Rightarrow \quad \omega_2 - T + T = m_1 a + m_2 a$$

$$\omega_2 = a(m_1 + m_2) \qquad a = \frac{\omega_2}{m_1 + m_2}$$

این نشان می‌دهد که شتاب کلی دستگاه برابر خارج قسمت نیروی خارجی وارد بر دستگاه (که فقط ω_2) است بر جرم کل دستگاه یعنی ($m_1 + m_2$) است پس داریم: ➤

$$a = g \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$



□ روش آزمـایـش: ➤

۱- تحقیق رابطهٔ فاصله با زمان در حرکت اجباری :

از مسئول آزمایشگاه بخواهید تا مدار دستگاه را کنترل کند. دو فتودایود را به فاصله ۰/۲ متر از یکدیگر قرار دهید. لغزنده را در فاصلهٔ مناسب از فتودایودها با دست نگه دارید. پس از صفرکردن زمان‌سنج لغزنده را رها کنید. لغزنده در اثر نیرویی که به آن وارد می‌شود دارای شتاب خواهد شد. زمان عبور لغزنده از فاصلهٔ بین دو فتودایود را بوسیلهٔ زمان‌سنج اندازه‌گیری کنید. این آزمایش را برای فواصل ۳۰، ۴۰، ۵۰ سانتی‌متری تکرار کنید و جدول صفحهٔ بعد را کامل کنید. آنگاه با رسم منحنی S بر حسب t منحنی و حرکت لغزنده را توجیه نمائید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

S_{cm}	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰
t_{sec}					

۲- *تحقیق رابطهٔ سرعت با زمان :*

در حرکت جسم با شتاب ثابت سرعت متناسب با زمان تغییر می‌کند $V = \gamma t + V_0$ که در رابطهٔ فوق V سرعت جسم، γ شتاب حرکت، t زمان و V_0 سرعت جسم در لحظه $t = 0$ می‌باشد. بدیهی است که معادلهٔ فوق یک خط راست است. برای تحقیق این مسئله ابتدا دستگاه بستر هوای فشرده باید کاملاً تراز شود سپس یک نخ بی‌وزن به لغزنده وصل می‌کنیم و این نخ را از روی قرقره‌ای که در انتهای بستر قرار داده‌ایم رد می‌کنیم. کفه‌ای به انتهای نخ وصل کرده و یک وزنه روی آن می‌گذاریم (وزنه تا ۵۰گرم) فاصلهٔ دو فتوسل را ابتداء ۲۰cm اختیار می‌کنیم. سلول اوّلی فتوسل را ثابت نگه می‌دارید. حال یک زائده روی لغزنده قرار می‌دهیم Δs طول زائده را اندازه می‌گیریم و زمانی که طول می‌کشد که زائده از جلوی فتوسل دوّمی رد شود Δt را اندازه می‌گیریم $V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ مجدداً برای همین فاصله با استفاده از ساعت دیجیتال t زمانی که طول می‌کشد که جسم فاصلهٔ دو سلول فتوسل را بپیماید پیدا می‌کنیم. سپس این آزمایش را در حالی که فتوسل دوم را جابجا کرده برای فواصل ۳۰، ۴۰، ۵۰ نیز انجام می‌دهیم و جدول زیر را پر می‌کنیم و منحنی V را بر حسب t رسم می‌کنیم. با بدست آوردن شیب منحنی آنرا از نظر فیزیکی توجیه نمایید.

فاصلهٔ دو فتوسل	طول زائده Δs	Δt	$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	t
۲۰ cm				
۳۰ cm				
۴۰ cm				
۵۰ cm				
۶۰ cm				

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

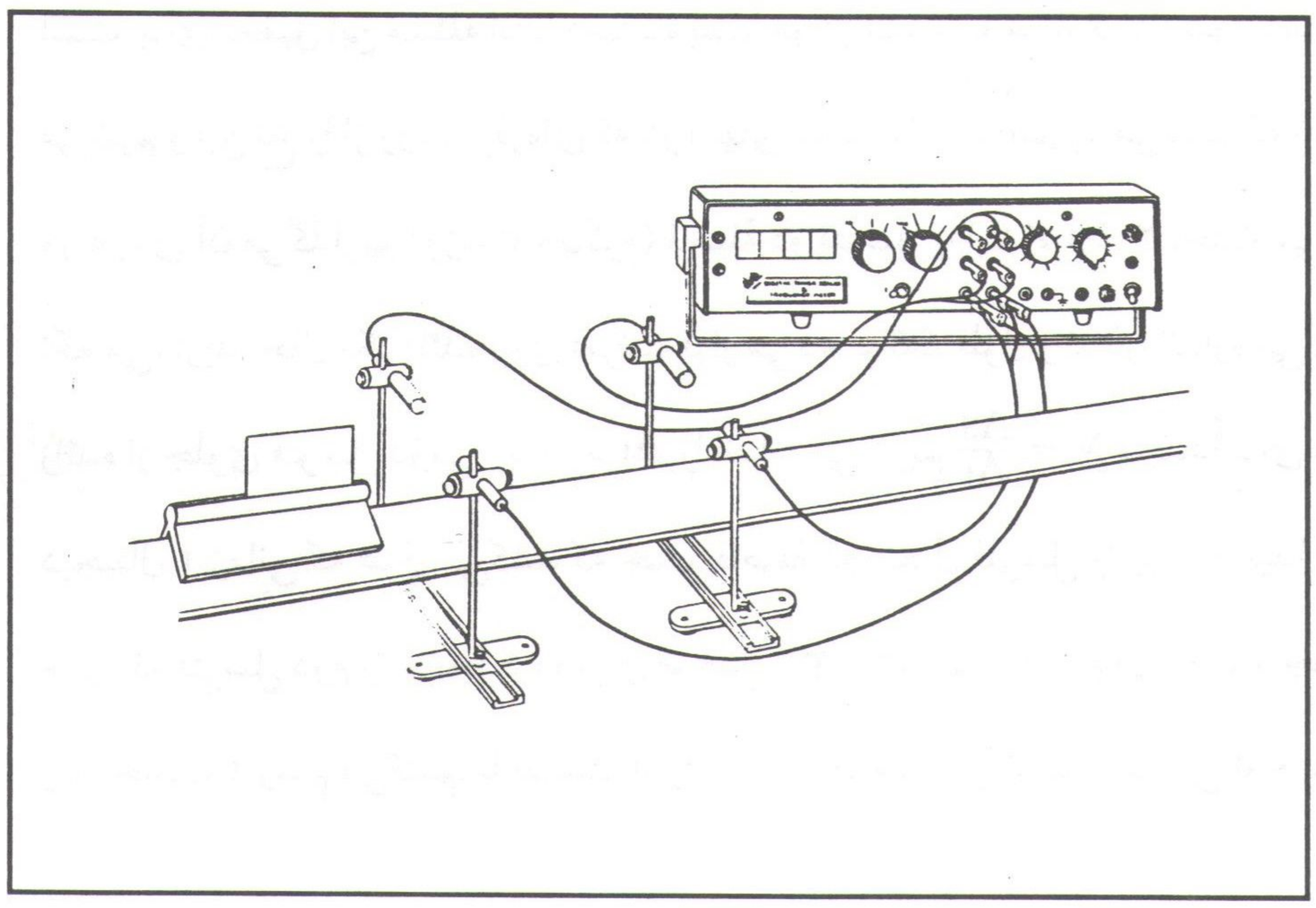
۳- تحقیق قانون دوّم نیوتن:

اگر m_1 جرم لغزنده و زائده و m_2 جرم کفه و وزنه باشد، طبق قانون دوم نیوتن داریم:

$$F = (m_1 + m_2)a = (m_1 + m_2)\frac{dV}{dt}$$

و اگر F نیروی اعمال شده به سیستم باشد که همان وزن وزنه می‌باشد داریم: $F = m_2 g$

برای پیدا کردن شتاب سیستم سرعت را در دو نقطه حساب کنید و سپس x فاصله آن دو نقطه را نیز یادداشت کرده و از رابطهٔ (۱) $V_1^2 - V_2^2 = 2ax$ شتاب را حساب کنید. در رابطهٔ اخیر V_2 و V_1 سرعت در نقطهٔ (۲ و ۱) است x فاصله دو نقطه می‌باشد. شتاب را از این رابطه $a = g\frac{m_2}{m_1 + m_2}$ پیدا کنید و با شتابی که از رابطهٔ (۱) و نمودار بدست آورده‌اید مقایسه کرده و علّت اختلاف جزئی آنرا بنویسید.



شکل (۲) - اندازه‌گیری شتاب ثابت

سئوال:

۱- اگر جرم لغزنده افزایش یابد تغییرات شتاب بر حسب تغییرات جرم لغزنده چگونه است ؟

۲- در صورتی که نیروی وارد شده به لغزنده تغییر کند، نمودار شتاب بر حسب F چگونه است ؟

۳- با استفاده از این آزمایش آیا می‌توان جرم جسمی را معیّن کرد ؟ چگونه ؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۴ ...

موضوع آزمایش:

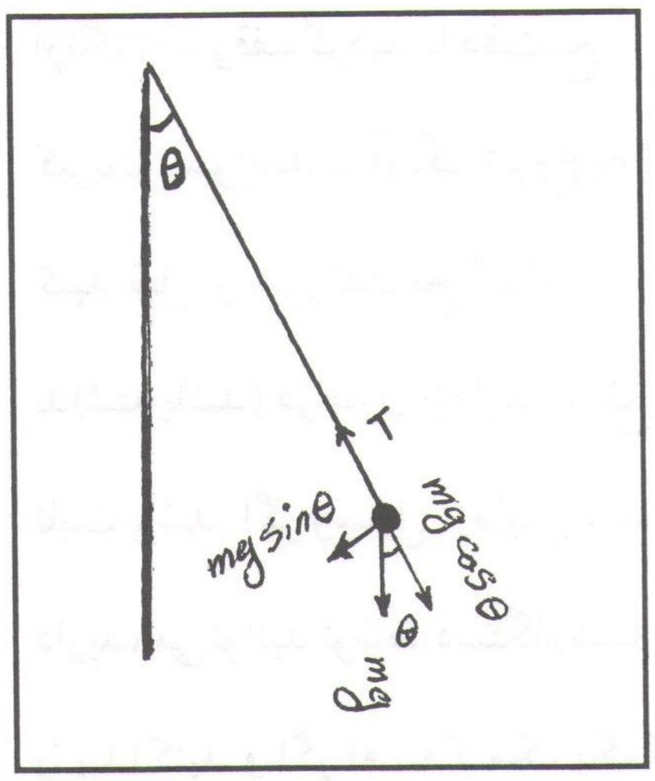
آونـــگ ســـاده

هدف : مطالعه حرکت نوسانی آونگ ساده، تحقیق عدم وابستگی پریود T به جرم m، تحقیق رابطه پریود با طول و زاویه انحراف آونگ و تعیین شتاب ثقل.

وسایل آزمایش : خط‌کش یک‌متری، کرنومتر، نخ، گلوله وزین کوچک و کبریت.

☑ تـــئوری:

آونگ ساده و یا آونگ ریاضی عبارت از نقطه مادی است که به انتهای نخ بی‌وزنی آویخته باشد و بتواند حول محور افقی در یک صفحهٔ قائم نوسان کند و از ابعاد گلوله در برابر طول نخ و همچنین از وزن نخ در برابر وزن گلوله می‌توان صرف نظر نمود. در نوسانات کم دامنه زمان نوسان (پریود T) تابع دامنهٔ نوسان نیست بلکه تابع طول آونگ و شتاب ثقل می‌باشد. هرگاه مطابق شکل روبرو آونگ ساده را از وضعیّت تعادل به اندازهٔ θ منحرف کنیم و سپس رها سازیم جرم نقطه‌ای تحت تأثیر دو نیرو قرار می‌گیرد.



۱- بردار نیروی وزن گلوله Mg که جهت آن رو به پایین و در هر لحظه عمود بر سطح افق است.

۲- نیروی کشش نخ T.

نیرویی که موجب می‌شود تا نقطه مادی را به حالت تعادل بیاورد، به این صورت می‌باشد: ➢

$$F = - Mg \sin\theta$$

نیروی F همواره مماس در راستای مسیر حرکت میباشد. علامت منفی بدان خاطر است که نیروی برگشتی در خلاف جهت حرکت است. طبق اصل اساسی دینامیک میتوان نوشت: ✍

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = - mg \sin\theta$$

چنانچه زاویهٔ انحراف θ کوچک باشد ($\theta < 6^\circ$) در این صورت $\sin\theta \approx \theta \approx \frac{x}{l}$ بوده و نیروی برگشتی برابر خواهد

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

شد با : $\frac{md^2x}{dt^2} = -mg\theta$

چون $\theta = \frac{x}{l}$ است پس: $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l}x = 0$

اگر $\frac{g}{l} = \omega^2$ اختیار کنیم معادلهٔ دیفرانسیل بالا به این صورت در می‌آید: $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$

از حلّ معادلهٔ بالا نتیجه می‌شود که: $x = x_0 \cos\omega t$

معادله حرکت نوسانی ساده است و از آنجا طبق تعریف سرعت زاویه‌ای داریم:

$$w = \frac{2\pi}{T} = (\frac{g}{l})^{1/2} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

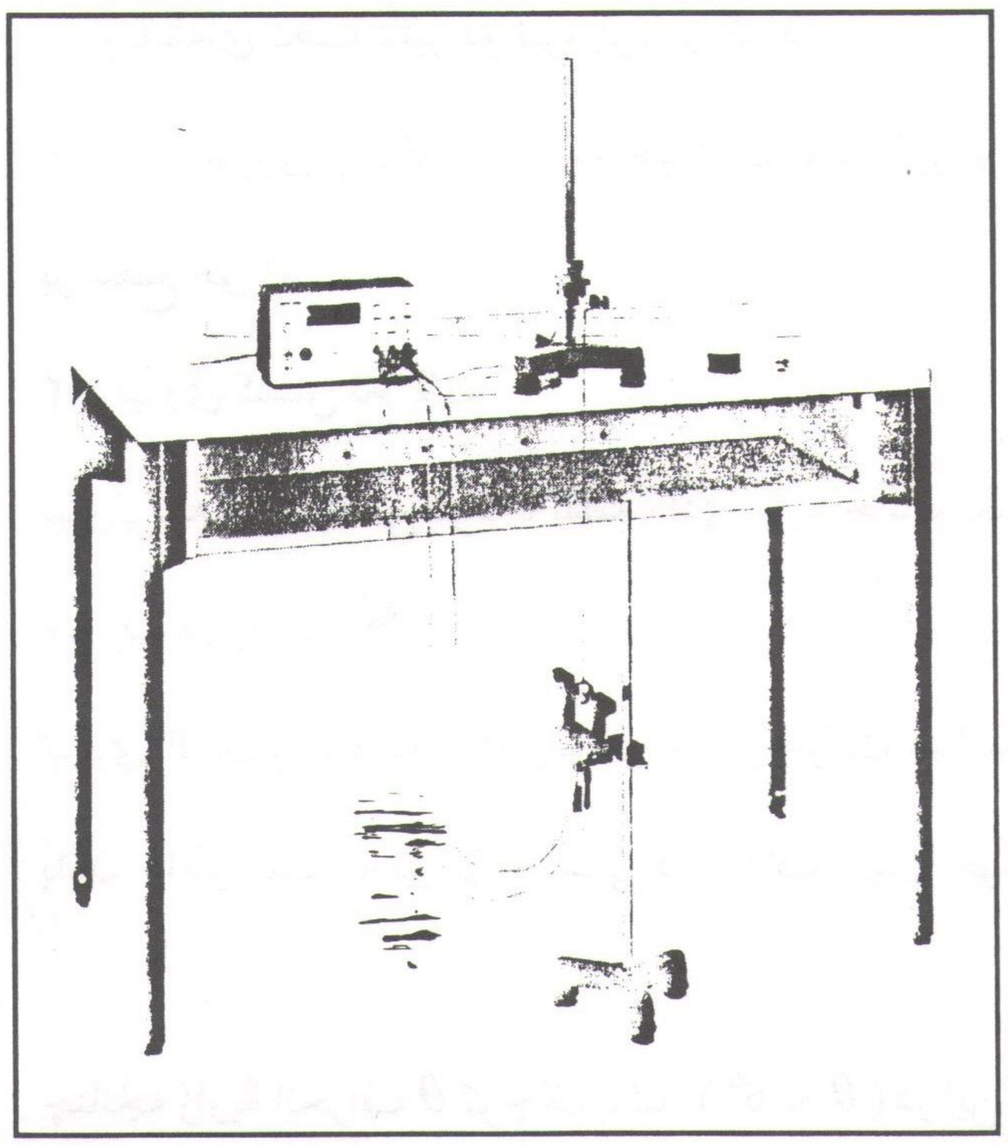
که در آن l طول آونگ و g شتاب ثقل و T زمان نوسان آونگ می‌باشد. اگر دامنهٔ نوسان کوچک نباشد می‌توان نشان داد که معادلهٔ کلّی دورهٔ تناوب به صورت زیر می‌باشد.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{1}{2^2}\sin^2\frac{\theta}{2} + \frac{1}{2^2}\frac{3^2}{4^2}\sin^4\frac{\theta}{2} + \ldots\right)$$

آزمایش ۱:

هدف آزمایش: تحقیق قوانین آونگ ساده و تعیین شتاب ثقل.

روش آزمایش: آونگ را از پایه‌ای آویزان کنید. نخی را به گلوله ببندید و آنرا بکشید، تا آونگ چند درجه از وضع تعادل منحرف شود (۵ درجه حداکثر انحراف مجاز می‌باشد) سر دیگر نخ را به پایه ببندید. پس از اینکه کلیهٔ نوسانات آونگ را متوقف گردید با دقّت نخ را از نزدیکی گلوله با کبریت بسوزانید تا آونگ شروع به نوسان کند. (توجّه کنید قبل از سوزاندن نخ گلوله باید هیچگونه حرکتی نداشته باشد) در طول آزمایش سطح نوسان آونگ باید ثابت باشد. اگر وسایل آزمایش شکل مقابل در اختیار دارید، می‌توانید توسّط دستگاه شمارنده زمان تناوب T را پیدا کنید و اگر نه به کمک یک کرنومتر زمان ۵۰ نوسان کامل را اندازه بگیرید.(توجّه کنید که وقتی کرنومتر را به کار می‌اندازید بگویید صفر پس از اینکه آونگ به محلّی که صفر گفته‌اید برگشت یک نوسان



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

کامل انجام شده است) طول آونگ را مطابق جدول تغییر دهید و آزمایش را تکرار نمایید. جدول را کامل کنید و از روی آن نمودار l را بر حسب T^2 رسم کنید. از روی شیب نمودار، g را محاسبه نمایید.

از رابطهٔ g دیفرانسیل لگاریتمی گرفته، خطای آزمایش را حساب کنید.

ترتیب	طول آونگ	زمان ۵۰ نوسان	زمان یک نوسان T	مربع پریود T^2
۱	۶۰ cm			
۲	۷۰ cm			
۳	۸۰ cm			
۴	۹۰ cm			
۵	۱۰۰ cm			

آزمایش ۲:

هدف آزمایش: تحقیق وابستگی T به θ وقتی که $\theta < 6^\circ$ باشد.

روش آزمایش: طول آونگ را ۸۰ سانتی‌متر انتخاب کنید و آنگاه آونگ را تحت زاویه‌های مختلف از حالت تعادل خارج کنید و آنگاه زمان ۵ نوسان را با کرنومتر دیجیتالی اندازه بگیرید و جدول زیر را کامل کنید.

ترتیب	زاویه انحراف	زمان ۵ نوسان کامل	زمان یک نوسان T	$2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}(1+\frac{1}{4}\sin^2\frac{\theta}{2})$
۱	۴۵°			
۲	۶۰°			
۳	۷۵°			
۴	۹۰°			

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

مقدار $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ با مقدارهای ستون نهائی جدول مقایسه کنید.

آزمایش ۳:

هدف آزمایش: زمان تناوب آونگ به جرم و جنس گلوله بستگی ندارد.

روش آزمایش:

دو گلوله را با جرم‌های مختلف انتخاب نمایید و آنگاه با یک طول مشخّص (l) از نقطه‌ای آویز نمایید. برای هر یک زمان ۵ نوسان را اندازه‌گیری نمایید و زمان تناوب آنها را با هم مقایسه کنید. نتیجهٔ حاصل را بیان کنید.

سئوال:

۱- آیا زمان نوسان یک آونگ در ارتفاعهای مختلف از سطح زمین تغییر می‌کند؟ چرا؟

۲- اگر آونگی را از سطح زمین به کره ماه ببریم دورهٔ آن چه تغییری می‌کند؟

۳- نشان دهید اگر r شعاع گلوله و a فاصلهٔ نقطه آویز تا مرکز گلوله باشد، طول حقیقی آونگ برابر است با:

$$l = a + \frac{2}{5}\frac{r^2}{a}$$

۴- روشی جهت تعیین حجم اطاق بیان نمایید در صورتیکه یک نخ نازک نسبتاً بلند، کرنومتر و یک گلوله کوچک مدد کار شما باشد.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۵ ...

موضوع آزمایش:

فنـــر

هدف :

۱- مطالعه حرکت نوسانی فنر و اندازه‌گیری ثابت کشانی فنر

۲- اندازه‌گیری جرم مؤثر فنر

۳- بهم بستن فنرها بطور سری و موازی

☑ تـــئوری:

هر حرکتی که در فاصله‌های زمانی متساوی تکرار شود حرکت تناوبی نامیده می‌شود. اگر ذرّه‌ای که حرکت تناوبی دارد روی مسیر واحدی رفت و برگشت کند حرکت را نوسانی یا ارتعاشی می‌نامیم.

دوره متناوب T یک حرکت هارمونیک عبارت از زمان لازم برای انجام یک رفت و برگشت یعنی یک نوسان یا دور کامل. فرکانس حرکت، f تعداد نوسانهای (یا دورها) در واحد زمان است. بنابراین فرکانس عکس دوره تناوب می‌باشد می‌باشد یعنی $f = \frac{1}{T}$ یکای فرکانس در دستگاه SI دور در ثانیه یا هرتز (HZ) است. موضعی که در آن نیروی خالص بر ذره نوسان کننده وارد نمی‌شود، موضع تعادل ذرّه نامیده می‌شود. جابجایی (خطی یا زاویه‌ای) ذرّه نوسان کننده در هر لحظه فاصله (خطی یا زاویه‌ای) آن از موضع تعادلش است.

هنگامیکه جسمی بجرم m به انتهای فنر آویخته شود، دستگاه پس از افزایش طول فنر به میزان x دوباره به حالت تعادل می‌رسد در این حالت نیروی عکس‌العمل فنر در خلاف جهت افزایش طول بر جسم وارد شده و نیروی وزن را خنثی می‌نماید. اگر وزنهٔ متّصل به فنر را از وضعیت تعادل خارج نموده (و مثلاً اندکی به طرف پائین کشیده) سپس رها کنیم مجموعه فنر و وزنه در امتداد قائم و حول وضع تعادل شروع به نوسان می‌کند.

اگر جرم وزنه m و جرم فنر در برابر جرم وزنه بسیار ناچیز و قابل صرفنظر باشد در اینصورت با استفاده از قانون دوم

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

نیوتن و قانون هوک می‌توانیم معادله حرکت وزنه آویخته شده را بطریق زیر بیابیم:

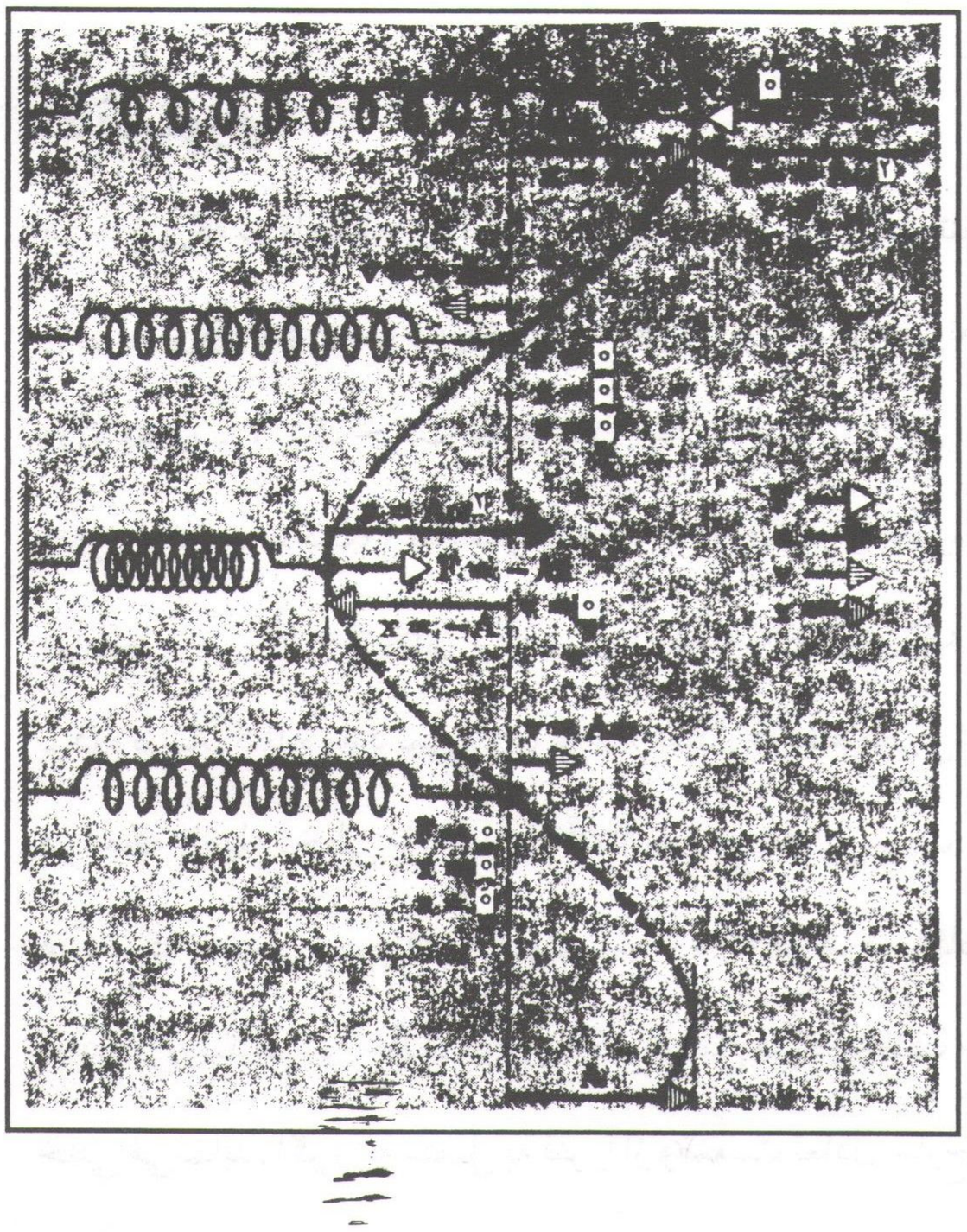
$$\begin{cases} F = ma \\ F = -kx \end{cases} \Rightarrow ma = -kx \Rightarrow ma = m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$$

جواب x در معادله دیفرانسیل اخیر بصورت $x = A\sin\left(\sqrt{\frac{K}{m}}\,t\right)$ است.

به سادگی مشاهده می‌شود که در مقایسه با معادله حرکت نوسانی هماهنگ ساده که بصورت $x = \sin\omega t$ می‌باشد حرکت وزنه متّصل به فنر نیز حرکت نوسانی هماهنگ ساده است به قسمی که مقدار ω (سرعت زاویه‌ای نوسان) در اینجا $\sqrt{\frac{k}{m}}$ است. بنابراین :

$x = A\sin\omega t$ ⟵ معادله حرکت نوسانی

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ⟵ سرعت زاویه‌ای نوسان



و بدین ترتیب در مورد دوره تناوب نوسانات وزنه داریم $\omega = \frac{2\pi}{T}$، $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ دوره تناوب نوسانات وزنه در حالت واقعیتراگر جرم فنر در مقابل جرم وزنه (m) قابل توجّه باشد بجای m در معادله حرکت فوق m' را قرار می‌دهیم بطوریکه جرم مؤثر فنر + جرم وزنه $m' = m + fm_s$، fm_s جرم مؤثر فنر است و f ضریب جرمی می‌باشد لذا:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m'}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m + fm_s}{k}}$$

به این ترتیب ضریب جرمی فنر نشان می‌دهد که چه کسری از جرم فنر را جزء جرم وزنه محسوب کنیم تا بتوانیم از فرمول فنر بدون جرم استفاده نماییم.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش ۱:

وزنه‌های تعیین شده در جدول را از فنر بیاویزید و با کمک یک خط کش کوچک که در زیر وزنه قرار می‌دهید به آرامی آنرا کمی بالا ببرید (کمتر از یک سانتیمتر) و رها کنید.

بدقّت زمان ۱۰۰ نوسان کامل را با کرنومتر برای هر وزنه اندازه بگیرید و جدول را کامل کنید. آنگاه با رسم نمودار m نسبت به T^2 ضریب زاویه و عرض از مبدأ را از روی نمودار مشخّص کنید با تعیین این دو مقدار f و k را معیّن نمائید.

ترتیب	مجموع جرم وزنه و کفه	زمان ۱۰۰ نوسان کامل	زمان یک نوسان	مربع پریود
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				

آزمایش ۲:

بروش آزمایش قبل مقادیر T و K دو فنری راکه در اختیار دارید بدست آورید و سپس هر دو فنر را بطور متوالی بهم ببندید و به انتهای آنها مقادیر مشخص وزنه طبق جدول آزمایش قبل آویخته و مقدار T و K را حساب نموده و روابط ذیل را تحقیق کنید.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$$T^2 = T_1^2 + T_2^2$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمـایـش ۳:

دو فنر آزمایش قبل را بطور موازی بهم ببندید و مانند قبل عمل نموده و از مقادیر بدست آمده T و K روابط ذیل را تحقیق کنید.

$$K = K_1 + K_2$$

$$\frac{1}{T^2} = \frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2}$$

سـئوال:

۱- رابطه‌های $\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$ و $K = K_1 + K_2$ را بدست آورید.

۲- ثابت کنید که ضریب جرمی فنر تقریباً یک‌سوّم است.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۶ ...

موضوع آزمایش:

سقوط آزاد و حرکت پرتابی

هدف:

۱- مطالعه سقوط آزاد و تحقیق رابطهٔ $y = \frac{1}{2} gt^2$

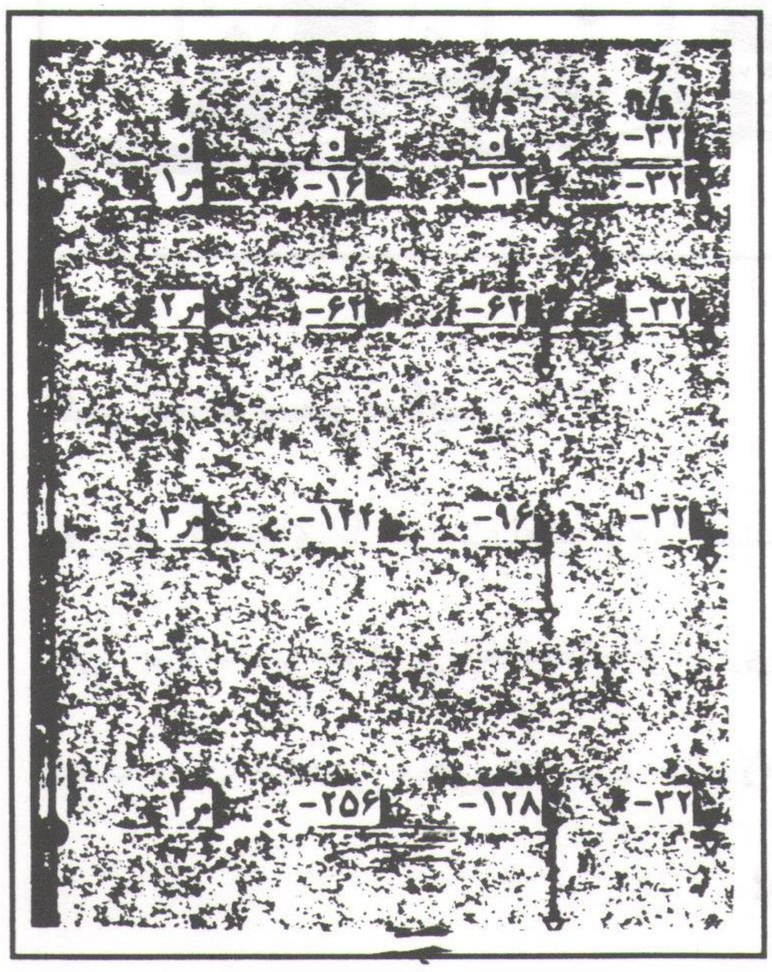
۲- مطالعه حرکت پرتابی و تحقیق رابطهٔ $V = \sqrt{2gy}$

☑ تئوری:

اگر مقاومت هوا در یک نقطه از سطح زمین وجود نداشته باشد تمام اجسام با یک شتاب سقوط می‌کنند و این شتاب بستگی به اندازه وزن و یا ترکیب آنها ندارد و اگر مسافت طی شده خیلی بزرگ نباشد، شتاب در تمام مدّت سقوط ثابت می‌ماند. این حرکت ایده‌آل راکه در آن از مقاومت هوا و تغییرات جزئی شتاب نسبت به ارتفاع صرفنظر می‌شود "سقوط آزاد" می‌نامند.

شتاب جسمی که به طور آزاد سقوط می‌کند به شتاب ناشی از ثقل موسوم است و با علامت g نشان داده می‌شود.

شتاب ناشی از ثقل g برداری، در امتداد قائم و به طرف پایین (به سمت مرکز زمین)، یعنی در جهت منفی محور y خواهد بود. باید معادلات حرکت با شتاب ثابت زیر را بکار برد.



شکل (۱) - جسم در حال سقوط آزاد

$$y = V_{g\circ}\, t - \frac{1}{2} gt^2 \qquad y = -\frac{1}{2} gt^2$$

$$V_y = V_{y\circ} - gt \qquad V_y = -gt$$

$$V_y^2 = V_{y\circ}^2 - 2gy \qquad V_y^2 = -2gy$$

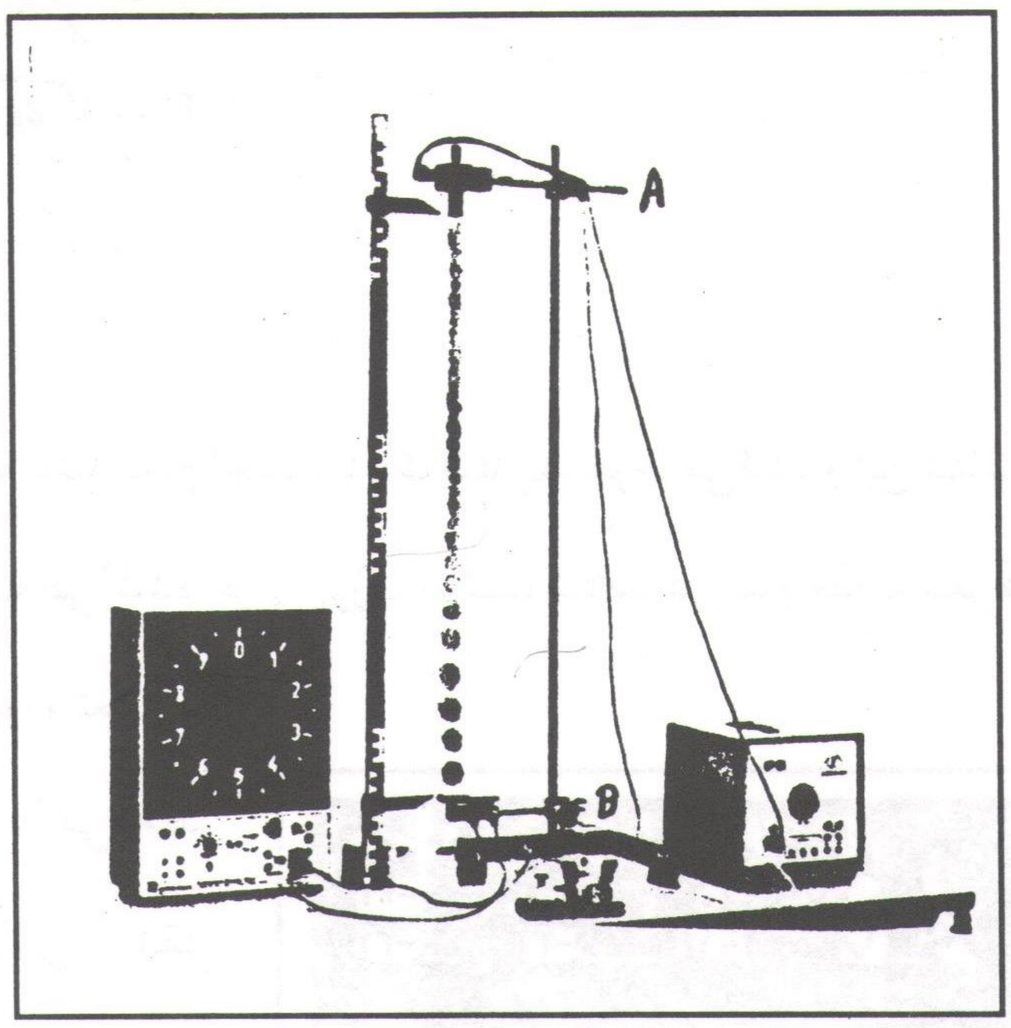
Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

□ روش آزمـایـش:

دستگاه سقوط آزاد را مطابق شکل زیر آماده کنید. مدار شامل یک ساعت دیجیتالی می‌باشد که زمان سقوط گلوله را نشان می‌دهد. گلوله فلزی توسّط آهنربای الکتریکی A در فاصله y از سکوی B قرار می‌گیرد با قطع جریان گلوله سقوط خواهد کرد و همزمان ساعت دیجیتالی شروع به کار خواهد کرد تا موقعی که گلوله به سکوی B برخورد نماید آنگاه فاصله سکوی و آهنربا را مطابق جدول تغییر داده و زمان سقوط گلوله را بدست آورید. y را بر حسب t^2 رسم کرده و آنگاه شیب نمودار و شتاب ثقل زمین را در این محل بیابید. خطای نسبی g را بیابید.

ترتیب	y	t	t^2
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			



حـرکـت پـرتـابـی:

تئوری: گلوله‌ای با سرعت اوّلیهٔ V_0 از نقطه O که به عنوان مبدأ مختصات انتخاب می‌شود، تحت زاویه θ_0 با سطح افقی، پرتاب می‌شود. پرتابه تحت اثر نیروی گرانش زمین مسیری را می‌پیماید و دارای شتابی در امتداد قائم در خلاف جهت مثبت انتخابی محور y،ا است. معادلات حرکت پرتابه به صورت زیر خواهد بود.

$$y = -\frac{1}{2} gt^2 + (V_0 \sin\theta_0)t \qquad \text{و} \qquad x = (V_0 \cos\theta_0)t$$

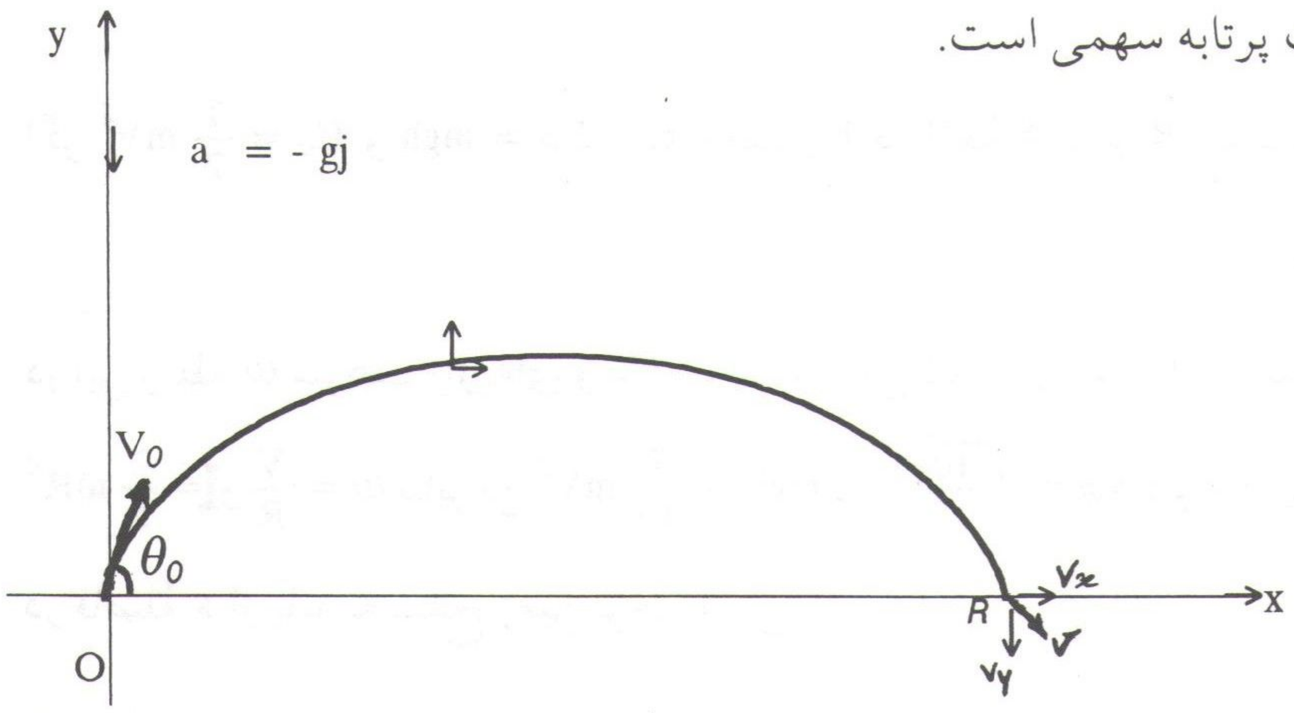
در صورتی که t را در دو معادلهٔ بالا حذف کنید، معادلهٔ سیر حرکت به دست می‌آید:

$$y = x \tan\theta_0 - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2\theta_0}$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

این معادله نشان می‌دهد که مسیر حرکت پرتابه سهمی است.



پرتابه پس از مدّتی در نقطهٔ R فرود می‌آید. فاصله O R را برد افقی گلوله نامند. در معادله مسیر به ازاء $y = 0$ خواهیم داشت: $x = \frac{V_0^2 \sin 2\theta_0}{g}$

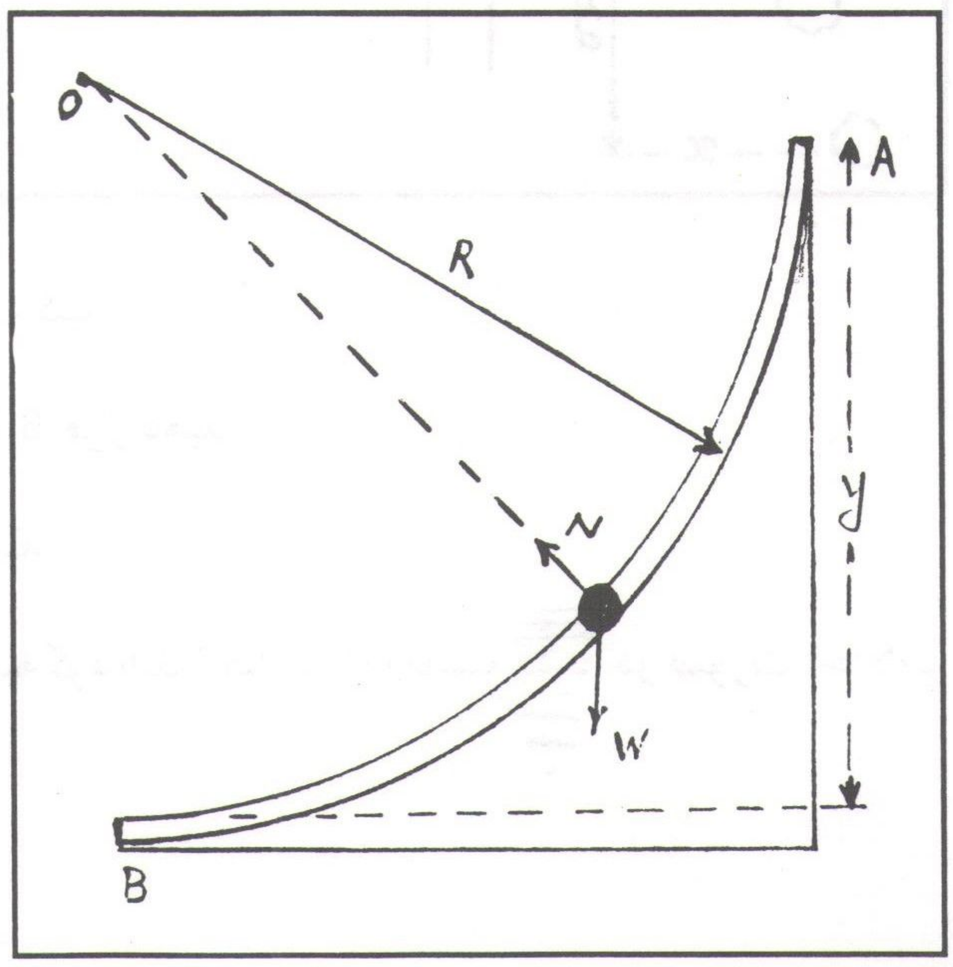
اگر پرتابه در امتداد افق ($\theta_0 = 0$) با سرعت اوّلیه V_0 پرتاب شود، معادلات حرکت و معادلهٔ مسیر به صورت زیر در می‌آیند: ➢

$$x = V_0 t \quad , \quad y = -\frac{1}{2} g t^2 \quad , \quad y = \frac{-gx^2}{2V_0^2}$$

اگر جهت محور y را به طرف پایین انتخاب کنیم معادله به صورت $y = \frac{gx^2}{2V_0^2}$ در می‌آید.

الف) تئوری حرکت پرتابی در امتداد افق:

گلوله‌ای با وزن W روی مسیر منحنی که شعاع آن R است حرکت می‌کند. هنگامی که گلوله در نقطهٔ A قرار دارد انرژی پتانسیل ماکزیمم را دارا است. اگر از اصطکاک مسیر صرفنظر کنیم و حرکت دورانی گلوله را در نظر بگیریم نیروهایی که در طول مسیر بر گلوله وارد می‌شود عبارتند از: نیروی وزن گلوله (W) (کنش) و نیروی عمودی N از جانب مسیر بر گلوله (واکنش). کاری را که نیروی N انجام می‌دهد صفر است و با توجّه به انرژی مکانیکی در طول مسیر داریم: ⬘



$$\frac{1}{2} I\omega^2 + E_{cB} + E_{PB} = E_{cA} + E_{PA}$$

از نقطه A مسیر $E_{cA} = 0$ (انرژی جنبشی صفر است) و در نقطهٔ B مسیر $E_{PB} = 0$ (انرژی پتانسیل صفر است) لذا و داریم: ⬙

$$E_{cB} + 0 + \frac{1}{2} I\omega^2 = 0 + E_{PA}$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

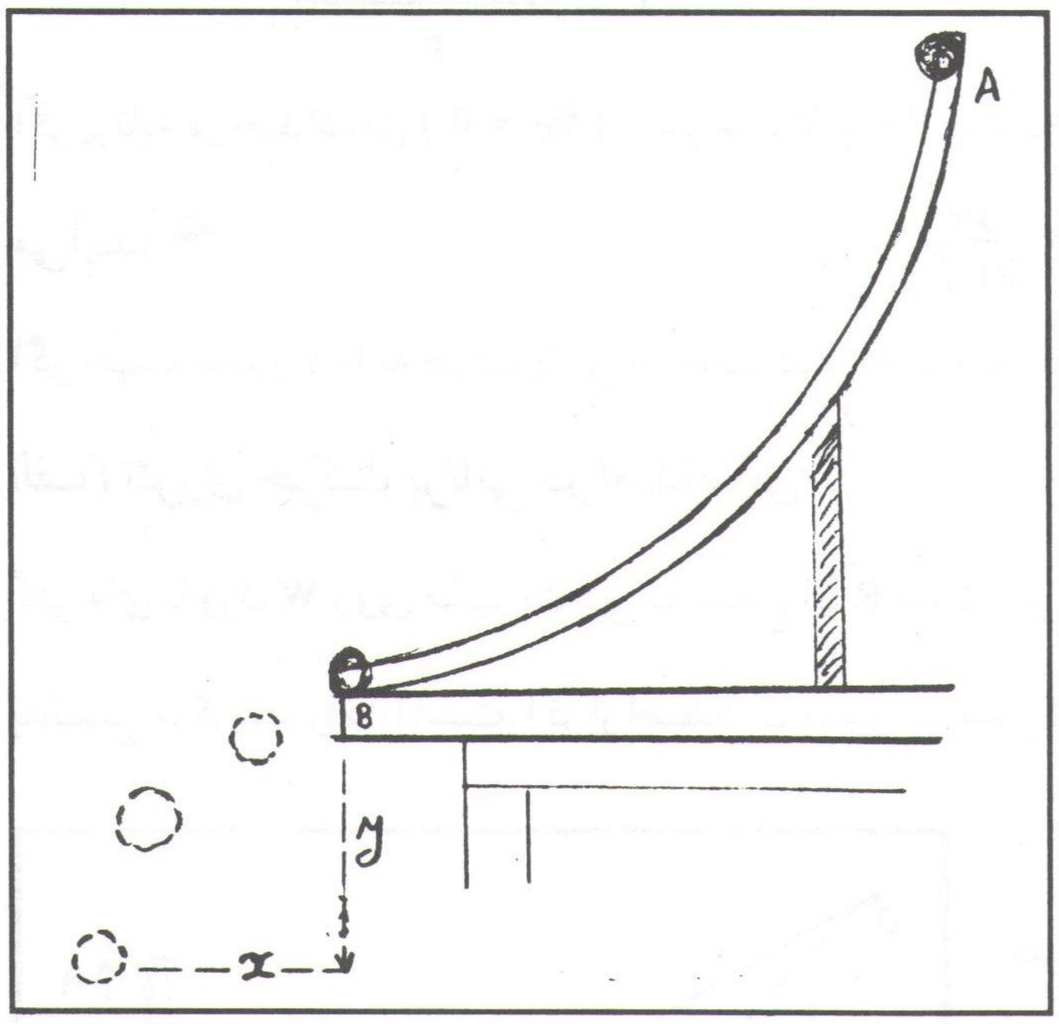
$$\frac{1}{2} I\omega^2 + E_{cB} = E_{PA}$$

اگر $E_c = \frac{1}{2} mV^2$ و $E_P = mgh$ باشد (مقدار h در نقطهٔ A برابر R است) پس:

$$\frac{1}{2} I\omega^2 + \frac{1}{2} mV_B^2 = mgh = mgR$$

در این رابطه ω سرعت زاویه‌ای و V_B سرعت خطّی گلوله در نقطهٔ B و I گشتاور ماند آن است. گشتاور ماند کرهٔ توپر $I = \frac{2}{5} mR^2$ و $\omega = \frac{V}{R}$ بنابراین $mgh = \frac{7}{10} mV^2$ ، $V_B = \sqrt{\frac{10gh}{7}}$ گلوله با این سرعت در امتداد افقی پرتاب می‌شود و در فاصلهٔ x از پایه به سطح زمین برخورد می‌کند.

□ روش آزمایش:



۱- شعاع مسیر را به ترتیب دلخواه اندازه بگیرید.

۲- مسیر منحنی را طوری روی میز محکم کنید که نقطهٔ B آن درست در راستای لبهٔ میز قرار بگیرد.

۳- گلوله را بدون سرعت اوّلیه $V_0 = 0$ از نقطهٔ A روی میز رها کنید، گلوله از نقطهٔ B با سرعت V_B سقوط نموده و به فاصلهٔ x از پای عمود نقطه B به سطح زمین برخورد می‌نماید.

۴- با اندازه گرفتن h و با استفاده از رابطهٔ $V_B = \sqrt{\frac{10gh}{7}}$ ، V_B را محاسبه نموده و انرژی جنبشی گلوله را نقطهٔ B و انرژی پتانسیل را در نقطهٔ A حساب کنید.

۵- در رابطهٔ $y = \frac{gx^2}{2V_0^2}$ به جای V_0 سرعت گلوله را در نقطهٔ B قرار دهید.

۶- از رابطهٔ $y = \frac{7x^2}{20h}$ با اندازه‌گیری x و h ، y را محاسبه کنید.

۷- مقدار y را با خط‌کش اندازه گرفته و با مقداری که محاسبه کرده‌اید (حالت ۶) مقایسه کنید. در صورت اختلاف علّت را توضیح دهید.

۸- این مرحله از آزمایش را سه مرتبه تکرار کنید.

Sample output to test PDF Combine only

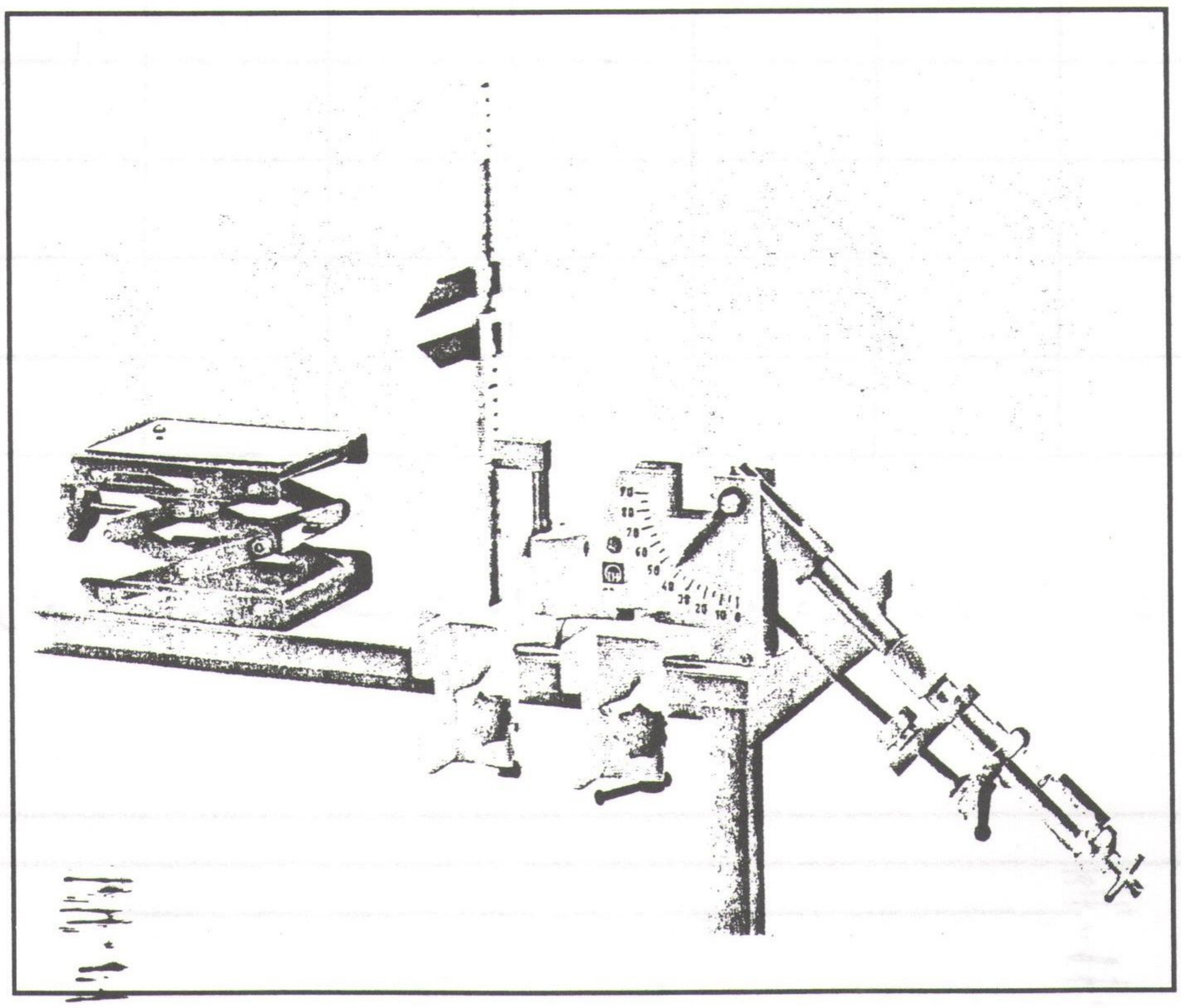
Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

ب) حرکت پرتابی تحت زاویهٔ θ:

شرح دستگاه: تفنگ پرتابی مطابق شکل زیر استوانه‌ای است که روی پایه‌ای سوار شده است. پایه توسّط چند پیچ به میز محکم شده است. داخل استوانه پیستونی است که به دسته‌ای وصل است. در طرف دیگر پیستون گلولهٔ کوچکی را قرار می‌دهیم. موقعی که دسته به طرف جلو کشیده می‌شود، پیستون از گلوله فاصله می‌گیرد و هنگام برگشت ضربه‌ای به آن می‌زند.

روی پیستون نزدیک به دسته، سه شیار وجود دارد و اهرمی شبیه ماشهٔ تفنگ می‌تواند در یکی از شیلرها قرارگیرد و پیستون را در همان حالت نگه دارد. اگر ضربه‌ای به اهرم بخورد، پیستون آزاد می‌شود و به گلوله برخورد می‌کند و سرعت اوّلیه‌ای به آن می‌دهد. چون سه شیار وجود دارد، می‌توان گلوله را با سرعت اوّلیه مختلف پرتاب کرد.

زاویه پرتاب توسّط دو مهره تغییر می‌کند. در بدنهٔ پایه در دو طرف، صفحات مدرّجی هستند که در هر طرف آن عقربه‌ای نصب شده است و می‌توان زاویهٔ پرتاب را اندازه گرفت.



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

□ روش آزمـایـش:

دسته را به جلو بکشید و اهرم را در شیار اوّل قرار دهید. مهره‌ها را شل کنید و زاویهٔ پرتاب را انتخاب کنید. سپس دو مهره را سفت کنید تا زاویهٔ پرتاب ثابت بماند. در مقابل دستگاه، صفحه‌ای قرار بدهید که روی آن یک برگ کاغذ و روی کاغذ کاربن قرار دارد.

پس از گذاشتن گلوله در جای مخصوص خود، در طرف دیگر پیستون، با انگشت اهرم را به سرعت آزاد کنید. گلوله پس از طی مسیر سهمی شکل روی صفحهٔ کاغذ فرود می‌آید که محلّ فرود به وسیلهٔ کاربن مشخّص می‌شود. فاصلهٔ بین جای اوّلیهٔ گلوله و محل فرود را که بُرد پرتابه است اندازه‌گیری کنید. همین عمل را با شیارهای دوّم و سوّم انجام دهید و هر بار بُرد را اندازه بگیرید. زاویهٔ پرتاب را تا 80° هر بار 10° تغییر دهید و برای هر کدام با سه سرعت اوّلیه گلوله را پرتاب کنید و بردها را بدست آورید. نتایج حاصل را در جدول زیر ثبت کنید.

زاویهٔ پرتاب	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
V_1								
V_2								
V_3								
بُرد								

منحنیهای نمایش تغییرات برد گلوله بر حسب زاویهٔ θ را رسم کنید که برد پرتابه با زاویهٔ پرتاب 45° بیشترین مقدار را دارد.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۷ ...

موضوع آزمایش:

تحقیق اصل بقای اندازه حرکت خطی و برخوردها

هدف :

تحقیق اصل بقای اندازه حرکت خطی و اندازه‌گیری کاهش نسبی انرژی جنبشی دو جسم برخورد کننده در حالت:

الف) برخورد الاستیک ب) برخورد غیر الاستیک

☑ مقدمه :

حاصلضرب جرم هر ذرّه در تندی‌اش را اندازه حرکت ذرّه می‌نامند $P = mv$ اندازه حرکت، کمیتی برداری است. اندازه حرکت یک سیستم، مجموع برداری اندازه حرکت‌های اجزاء آن سیستم خواهد بود، یعنی:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots = m_1v_1 + m_2v_2 + m_3v_3 + \ldots\ldots$$

m_1 جرم ذرّه (۱) و v_1 سرعت آن می‌باشد. در این سیستم ممکن است ذرّات با یکدیگر اندرکنش داشته باشند و ممکن است نیروهای خارجی نیز بر آن وارد شوند. قانون دوم نیوتن را برای یک سیستم ذرّات می‌توان بصورت $F_{ext}=Ma_{cm}$ نوشت که در آن F_{ext} برابر با حاصل جمع برداری تمام نیروهای خارجی وارد به سیستم است.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dv_{cm}}{dt}M = Ma_{cm} \Rightarrow F_{ext} = \frac{dp}{dt}$$

بقای اندازه حرکت خطّی در حین برخورد :

از قانون سوّم نیوتن استفاده کرده ثابت می‌کنیم که برای یک سیستم منزوی اندازه حرکت کل ثابت است. فرض می‌کنیم که سیستم شامل دو ذرّه به جرمهای M_1 و M_2 باشد. می‌دانیم که :

$$F = ma = m\frac{dv}{dt}$$ (قانون دوّم نیوتن)

جسم اوّل نیروی $F_{1\,2}$ را بر جسم دوم وارد می‌کند. طبق قانون سوّم نیوتن (کنش و واکنش) جسم دوّم نیز نیروی $F_{2\,1}$ را

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

در جهت مخالف نیروی $F_{1\,2}$ بر جسم اوّل وارد می‌کند.

$$F_{1\,2} = M_2 \frac{dv_2}{dt}$$

$$F_{2\,1} = M_1 \frac{dv_1}{dt}$$

چون جهت دو نیروی اخیر عکس یکدیگرند پس :

$$F_{1\,2} + F_{2\,1} = 0 \qquad M_2 \frac{dv_2}{dt} + M_1 \frac{dv_1}{dt} = 0$$

با توجّه به اینکه $dp = m \frac{dv}{dt}$ داریم: ➤

$$\frac{dP_1}{dt} + \frac{dP_2}{dt} = 0 \qquad \frac{d}{dt}(P_1 + P_2) = 0$$

مقدار ثابت $= P_1 + P_2$

اگر برخورد بین دو یا چند ذرّه در مدّت کوتاهی اتّفاق بیفتد، نیروهای ایجاد شده در طول این بر هم کنش کوتاه مدّت به اندازه‌ای بزرگ هستند که اثر تمام نیروهای خارجی دیگر صرفنظر کردنی است بنابراین با یک سیستم منزوی سر و کار داریم. لذا می‌توانیم قانون بقای ممانتوم را صادق بدانیم.

معمولاً دو حالت برخورد را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

۱- برخورد غیر الاستیک کامل یا نرم

۲- برخورد الاستیک کامل

الف) برخورد غیر الاستیک :

دو جسم را در نظر می‌گیریم که سرعتهای قبل از برخورد V_1 و V_2 بوده و جرمهای m_1 و m_2 داشته باشند. بعد از برخورد این دو جسم واحدی را تشکیل داده که دارای سرعت یکسان V می‌باشد و جرم آن $m_1 + m_2$ است. براساس قانون بقای ممانتوم داریم : ✍

$$(۴)\quad m_1V_1 + m_2V_2 = (m_1 + m_2)\,V$$

در این برخورد مقداری از انرژی جنبشی دو جسم صرف تغییر شکل ساده‌ای می‌شود که دو جسم را به یکدیگر می‌چسباند. از این نظر برخورد نرم رابطه بقای انرژی صادق نیست و این کاهش نسبی انرژی را می‌توان به روش زیر محاسبه کرد.

$$(۵)\quad E_k = \frac{1}{2}(m_1V_1^2 + V_2^2m_2)$$

$$(۶)\quad E_k' = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\,V^2$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

از تقسیم رابطهٔ (۶) بر (۵) خارج قسمت انرژی بدست می‌آید:

$$\frac{E_k'}{E_k} = \frac{(m_1 + m_2)\, V^2}{m_1V_1^2 + m_2V_2^2} \quad (۷)$$

مقدار V را از رابطهٔ (۴) محاسبه و در رابطهٔ (۷) قرار می‌دهیم. نتیجه عبارت است از :

$$\frac{E_k'}{E_k} = \frac{(m_1V_1 + m_2V_2)^2}{(m_1V_1^2 + m_2V_2^2)\,(m_1 + m_2)}$$

اگر جسم دوّم قبل از برخورد، ساکن فرض شود ($V_2 = 0$) در نتیجه :

$$\frac{E_k'}{E_k} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (۹)$$

یعنی انرژی جنبشی سیستم کاهش پیدا می‌کند.

$$\frac{\Delta E_k}{E_k} = \frac{E_k - E_k'}{E_k} \quad (۱۰)$$

و این رابطه کاهش نسبی انرژی جنبشی را نشان می‌دهد.

ب) برخورد الاستیک کامل :

در برخورد کاملاً الاستیک هیچگونه تغییری در حالت اجسام داده نمی‌شود. بنابراین با بقای انرژی جنبشی نیز روبرو خواهیم بود. روابط مربوط بر اساس قوانین بقای ممانتوم و بقای انرژی جنبشی نوشته می‌شوند:

$$m_1V_1 + m_2V_2 = m_1V_1' + m_2V_2'$$

$$\frac{1}{2}m_1V_1^2 + \frac{1}{2}m_2V_2^2 = \frac{1}{2}m_1V_1'^2 + \frac{1}{2}m_2V_2'^2$$

V_1' و V_2' سرعت‌های دو جسم بعد از برخورد می‌باشد.

کمیّت دیگری را بنام ضریب بازگشت بصورت نسبت سرعتهای نسبی دو جسم در لحظهٔ برخورد و قبل از برخورد ($V_2 - V_1$ و $V_2' - V_1'$) تعریف می‌کنیم. (با فرض اینکه تمام سرعتها دارای یک امتداد باشند)

$$e = -\frac{V_2' - V_1'}{V_2 - V_1}$$

این ضریب برای برخورد الاستیک کامل یک و برای برخورد نرم صفر است.

☐ روش آزمایش: ۷

۱- برخورد نرم :

بستر هوای فشرده را تراز کرده و انتها و ابتدای لغزنده بزرگ (m_1) و کوچک (m_2) را با موم آلوده می‌کنیم که در اثر

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

برخورد به هم بچسبند. دو فتوسل (حالت Stop) از دو زمان‌سنج دیجیتالی که دارای مدیک هستند در مدار قرار داده تا سرعتهای پیش از برخورد و بعد از برخورد را اندازه‌گیری نمایند. دو فتوسل حالت (Start) را در آزمایش کاربردی ندارند ولی روشن و در کنار دستگاهها قرار دارند. حال لغزندهٔ بزرگ را که کاغذ ضخیم روی آن قرار دارد با سرعت دلخواه بطوری که از جلو فتوسل اوّلی بگذرد بطرف لغزندهٔ کوچک حرکت می‌دهیم. لغزنده در زمانی که از جلو فتوسل اوّل می‌گذرد زمان‌سنج اوّل زمان عبور لغزنده را اندازه‌گیری خواهد کرد (Δt_1) هنگامی که دو لغزنده به هم برخورد نمایند از جلو فتوسل دوّم هر دو با یک سرعت در مدّت $\Delta t'$ عبور خواهند نمود، داریم :

$$V_1 = \frac{\Delta x}{\Delta t_1} \qquad V' = \frac{\Delta x}{\Delta t'}$$

Δx طول زائدهٔ روی لغزنده می‌باشد.

با توجّه به رابطه‌های فوق، سرعت پیش و بعد از برخورد را خواهیم داشت.

جدول زیر را کامل کنید :

حالت	Δt_1	$\Delta t'$	Δx	V_1	V_2	V'	$m_1V_1 = (m_1 + m_2)V'$	$\frac{E_{k_1} - E_{k_2}}{E_{k_1}}$	$\frac{m_2}{m_1 + m_2}$	e
۱										
۲										
۳										

از این آزمایش چه نتیجه‌ای گرفتید ؟

۲- برخورد نسبتاً الاستیک :

لغزنده‌های m_1 (بزرگتر) و m_2 (کوچکتر) را روی بستر هوای فشرده تراز شده قرار دهید. لغزندهٔ کوچکتر را بین دو فتوسل ساکن ($V_2 = 0$) قرار دهید. لغزندهٔ (m_1) را با سرعت معیّنی به طرف لغزندهٔ کوچکتر حرکت دهید. دو لغزنده را به عنوان دو جسم سخت در نظر بگیرید، که با هم برخورد می‌کنند. در این قسمت از آزمایش موم‌ها از دو لغزنده پاک شده است. فتوسل دوّم سرعتهای بعد از برخورد V_1' و V_2' را معیّن می‌کند.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

با توجّه به مقداری که برای لغزنده‌ها در نظر گرفته شده، جدول زیر را کامل کنید.

جرم لغزندهٔ m_1 و وزنهٔ روی آن	جرم لغزندهٔ m_2 و جرم وزنه‌های روی آن	Δt_1	$\Delta t_1'$	$\Delta t_2'$	V_1	V_2	V_1'	V_2'	$\delta = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2$	$\frac{m_1\vec{V}_1 - \delta}{m_1 V_1}$
m_1	m_2									
m_1 + 50 g	m_2 +									
m_1 + 100	m_2 +									
m_1 + 150	m_2 +									
m_1 + 200	m_2 +									

الف) P_1' و P_2' را بر حسب نسبت جرم لغزندهٔ m_1 و جرم وزنهٔ روی آن به جرم لغزندهٔ m_2 و جرم وزنه‌های روی آن رسم کنید.

ب) E_1' و E_2' را بر حسب نسبت جرم‌ها رسم کنید.

ج) از این قسمت از آزمایش چه نتیجه‌ای گرفتید.

سئوال:

۱- اصل بقای انرژی جنبشی و ضریب بازگشت را تحقیق کنید.

۲- بیراهی درصد هر کدام از کمیّت‌های اندازه‌گیری شده را معیّن کنید.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۸ ...

موضوع آزمایش:

آونـــگ دو طـرفـه

هدف : اندازه‌گیری شتاب جاذبهٔ زمین.

وسایل : آونگ فیزیکی (تیغه‌ای) ، کرنومتر.

☑ تئوری:

آونگ مرکّب : هر جسم که حول یک محور افقی ثابت در اثر نیروی جاذبه زمین نوسان کند آونگ مـرکّب نـامیده می‌شود. آونگ‌های واقعی از این نوع‌اند. البته گرانیگاه جسم سخت بایستی در زیر محور تعلیق قرار گیرد.

آونگ ساده یا ریاضی عبارت از نقطهٔ مادی است که به انتهای نخ بی وزن بسته شده و تحت اثر وزن این نقطه نوسان می‌کند. در نوسانات کم دامنه با معلوم بودن زمان نوسان و طول آونگ از فرمول زیر :

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

شتاب ثقل محاسبه می‌شود. جسمی که بعنوان نقطهٔ مادی مورد استفاده قرار می‌گیرد، معمولاً گلولهٔ کوچکی است که از ابعاد آن صرفنظر می‌شود.

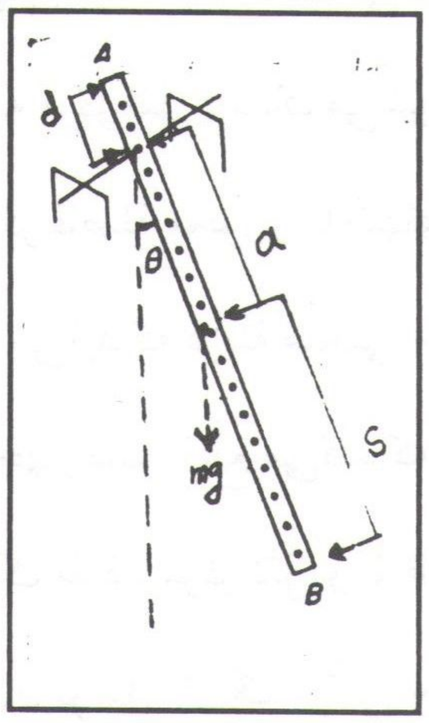
در صورتیکه از ابعاد آونگ در مقابل فاصله مرکز ثقل آن تا محور نوسان نتوان صرفنظر کرد با آونگ مرکّب یا آونگ فیزیکی سر و کار داریم. آونگ تیغه‌ای یک آونگ مرکّب (دو طرفه) است. برای بدست آوردن زمان نوسان آونگ از فرمول $\tau = I\alpha$ استفاده می‌کنیم. که در آن θ زاویهٔ آونگ با خطّ قائم است. اگر فاصلهٔ OG را به a نشان دهیم، گشتاور بازگردانند برای جابجایی زاویه‌ای θ، برابر است با :

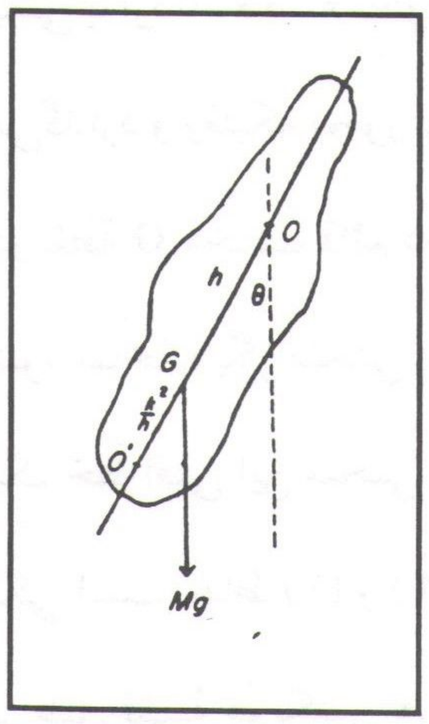
$$\tau = I\alpha = I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -Mga\sin\theta$$

وقـــتی θ کـــوچک بـــاشد $\sin\theta \approx \theta$ و مـــعادلهٔ آونگ بـصورت $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{Mga}{I}\theta = 0$ نـوشته مـی‌شود.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)





که یک معادلهٔ دیفرانسیل خطّی ناقص مرتبه دوّم است و جواب آن بصورت:

$$\theta = \theta_0 \cos\sqrt{\frac{Mga}{I}}\ t$$

است که می‌توان آن را به فرم :

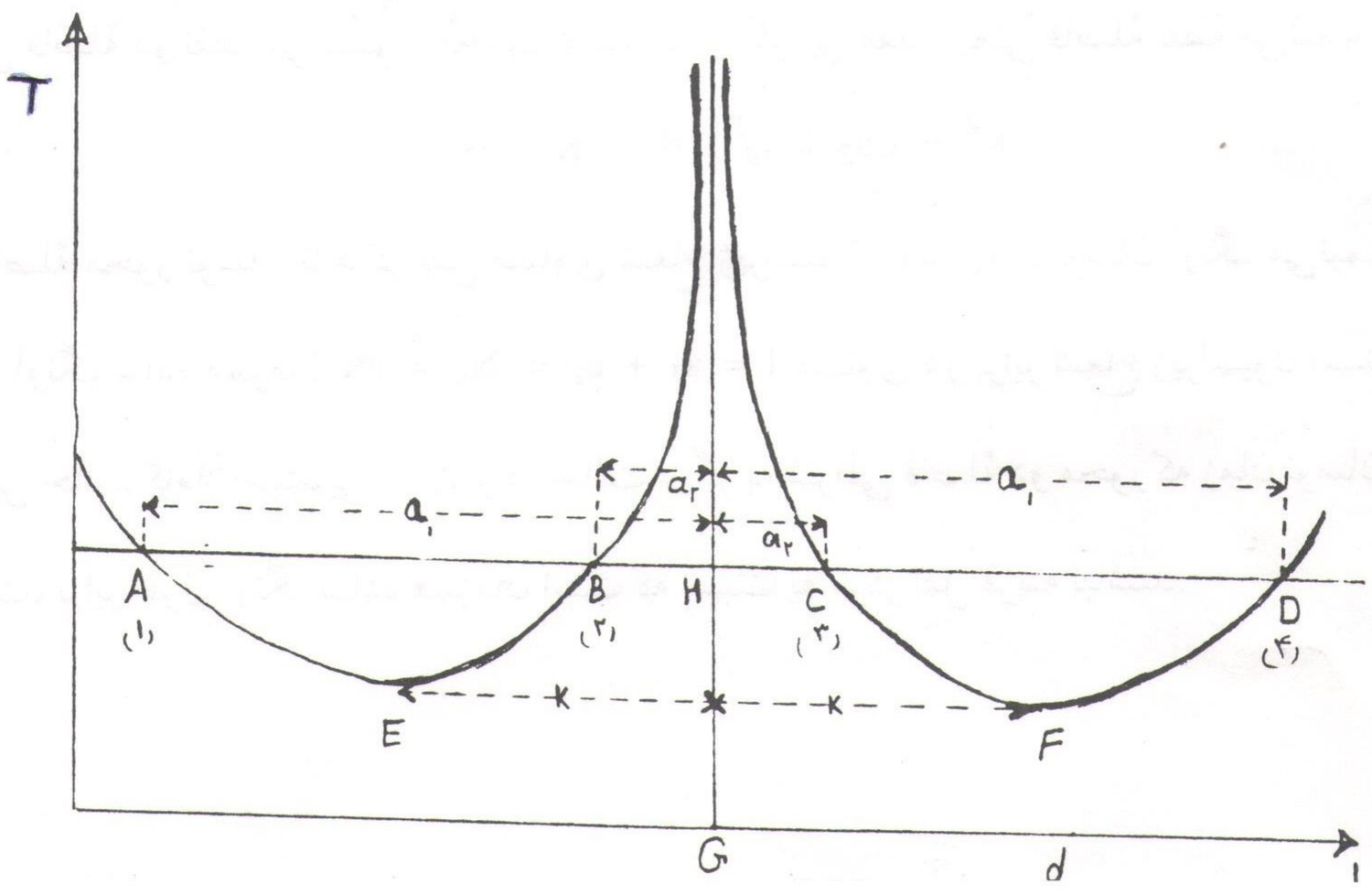
$$\theta = \theta_0 \cos \omega t$$

نوشت که در آن $\omega = \sqrt{\frac{Mga}{I}}$ است. در این صورت زمان تناوب پاندول عبارت خواهد بود از:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mga}}$$

در صورتی که پاندول مرکّب با یک آونگ ساده همزمان باشد، طول آونگ ساده $l = \frac{I}{Ma}$ خواهد بود.

I ممان اینرسی است $I = \Sigma m_i r_i^2$ که m_i و r_i جرم و فاصلهٔ هر نقطه از جسم تا محور تعلیق است. در مکانیک قضیه‌ای است که بر طبق آن ممان اینرسی یک جرم نسبت به محور Δ مساویست با مجموع ممان اینرسی جسم نسبت به محوری که از مرکز ثقل موازی محور Δ رسم شود و حاصلضرب جرم در مجذور فاصله مرکز ثقل تا محور دوران. هرگاه I_G یعنی ممان اینرسی جسم را نسبت به محوری که به موازات محور دوران از مرکز ثقل می‌گذرد به MK^2 نشان دهیم K را شعاع ژیراسیون می‌گویند بنابراین $I_\Delta = M(a^2 + k^2)$ امّا مطابق شکل مقدار a مساویست با $a = S - d$، که S فاصله مرکز ثقل تا انتهای آونگ و d فاصله محور دوران تا انتهای میله است. بنابراین : $I_\Delta = M[k^2 + (S - d)^2]$ بنابراین زمان تناوب آونگ بصورت $T = 2\pi \sqrt{\frac{k^2 + (S - d)^2}{(S - d)g}}$ می‌باشد. حال اگر منحنی تغییرات T را بر حسب d یعنی فاصله محور نوسان تا انتهای میله رسم کنیم بدین صورت در می‌آید.



Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

یعنی با ازدیاد فاصله محور تا انتهای میله، نوسان کم می‌شود به مقدار می‌نیممی می‌رسدو از این به بعد رو به افزایش می‌گذارد و وقتیکه محور نوسان به مرکز ثقل نزدیک می‌شود زمان نوسان خیلی زیاد می‌شود و از لحاظ ریاضی منحنی در نقطهٔ G مجانب قائم دارد و اگر فاصلهٔ محور را تا انتهای میله باز هم زیاد کنیم یعنی محور آنطرف مرکز ثقل نصب شود شاخهٔ دیگر منحنی بدست می‌آید که قرینهٔ منحنی اوّل نسبت به مجانب است.

یک خطّ افقی این منحنی را در چهار نقطه قطع می‌کند که اگر تیغه را در این نقاط نسب کنیم، زمان نوسان برای همه یکی است. نقاط (۱) و (۲) در یک طرف مرکز ثقل و نقاط (۳) و (۴) در طرف دیگر است.

بر طبق قضیهٔ هویگنس هرگاه زمان نوسان آونگ مرکّبی حول دو محور که نسبت به مرکز ثقل قرینه نباشند، مساوی باشند فاصله دو محور مساوی طول آونگ ساده همزمان است و اثبات آن بدین طریق است که :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a_1^2 + K^2}{a_1 g}} = 2\pi \sqrt{\frac{a_2^2 + K^2}{a_2 g}}$$

$$\frac{a_1^2 + K^2}{a_1 g} = \frac{a_2^2 + K^2}{a_2 g} \quad \Rightarrow \quad K^2 = a_1 a_2$$

با قرار دادن این مقدار در فرمول $l = \frac{I}{Ma_1} = \frac{k + a_1^2}{a_1}$ خواهیم داشت $l = a_1 + a_2$ بنابراین فواصل ۱ و ۳ و همچنین ۲ و ۴ مساوی طول آونگ ساده همزمان است که با در دست داشتن آن می‌توان g را محاسبه کرد. مثلاً اگر نوسان حول نقطهٔ ۱ انجام گیرد و فاصلهٔ نقاط ۱ و ۳ طول آونگ ساده همزمان با آن باشد نقطهٔ ۳ مرکز نوسان (آونگ) برای نقطهٔ ۱ می‌باشد. در این حال a_1 مساوی فاصلهٔ نقطهٔ ۱ تا مرکز ثقل یعنی مجانب منحنی و a_2 فاصلهٔ نقطهٔ ۳ تا خطّ مجانب است.

مطابق شکل فاصلهٔ دو نقطهٔ می‌نیمم تا مجانب مساویند و اگر این مقدار یعنی فاصلهٔ نقطهٔ می‌نیمم تا مرکز ثقل به a_0 نشان دهیم :

$$K^2 = a_1 a_2 = a_0^2 \quad \Rightarrow \quad K = a_0$$

یعنی اگر فاصلهٔ محور نوسان تا مرکز ثقل مساوی شعاع ژیراسیون باشد زمان نوسان آونگ می‌نیمم است و در این حالت طول آونگ ساده همزمان $l = a_1 + a_2 = 2a_0 = 2K$ مساوی دو برابر شعاع ژیراسیون است ولی باید توجّه داشت که این حالت کاملاً استثنایی است و در حالت دیگر به شرطی فاصلهٔ دو محور که زمان نوسان آونگ حول آنها مساوی است، برابر طول آونگ ساده همزمان است که نسبت به مرکز ثقل قرینه نباشند.

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

طرز کار: میله‌ای (مثلث‌القاعده) کوتاه از سوراخ اوّلی عبور دهید و دو پیچ آن را طوری محکم کنید که لبهٔ تیز میله روی تکیه‌گاه قرار گیرد. و آونگ را حول آن به نوسان در آورید و دقّت نمایید که نوسان در یک صفحهٔ قائم قرار گیرد. آونگ را حدود ۵ درجه از حالت تعادل منحرف کرده و رها کنید، زمان لازم را برای ۲۰ نوسان کامل، دقیقاً اندازه بگیرید. (مبدأ اندازه‌گیری را نقطهٔ تعادل اوّلیه انتخاب کنید) این آزمایش را برای تمام سوراخها تکرار کنید.

آونگ را پیاده کرده و با خط‌کش دقیقی فاصلهٔ تمام سوراخها را از انتهای میله معلوم کنید. سپس جرم آونگ را با ترازو پیدا کنید. اعداد بدست آمده را در جدول مربوط قرار داده و منحنی را رسم کنید.

الف) هر خطّ افقی این منحنی را در چهار نقطه و محور زمان نوسان را در یک نقطه قطع می‌کند. فواصل نقاط ۱ و ۳ (همچنین ۲ و ۴) طول آونگ ساده همزمان برای نوسان T است و T عرض نقطه‌ای است که خط افقی، محور زمان را قطع کرده است. با در دست داشتن l و T می‌توانید شتاب ثقل را محاسبه نمایید. این مقدار را با مقدار واقعی مقایسه کنید و بیراهی و درصد آن را معلوم کنید.

ب) با استفاده از می‌نیمم، روی منحنی، شعاع ژیراسیون را پیدا کنید و از روی آن ممان اینرسی آونگ را برای هر محور نوسان از فرمول $I = M(a^2 + K^2)$ معلوم نمایید.

K شعاع ژیراسیون	g شتاب ثقل	M_g جرم پاندول	l_{cm} طول پاندول ساده همزمان	T_{sec} زمان لازم برای ۲۰ نوسان	x_{cm} فاصلهٔ هر سوراخ از لبه تیغه	شمارهٔ سوراخ

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

سئوال:

۱- تفاوت آونگ ساده و مرکّب چیست؟

۲- کره‌ای توخالی را از سوراخ کوچکی که دارد پر از آب می‌کنیم و به ریسمان درازی می‌آویزیم. سوراخ مزبور در ته کره قرار می‌گیرد و آب به آهستگی از آن خارج می‌شود. مشاهده می‌کنیم که دورهٔ تناوب نوسانهای این آونگ ابتداء زیاد می‌شود و سپس کاهش می‌یابد. این رفتار را توضیح دهید.

۳- یک ریسمان به طول l و جرم m که از یک انتها آویزان شده و همچنین یک آونگ ساده‌ای به طول l در نظر بگیرید. زمان تناوب کدام یک بیشتر است؟

۴- اگر سه حلقهٔ فلزّی با قطرهای متفاوت در اختیار داشته باشید، چگونه با آزمایش رابطه بین زمان تناوب و قطر را پیدا می‌کنید؟

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۹ ...

موضوع آزمایش:

حرکت دورانی

هدف:

مطالعه حرکت دورانی، تعیین سرعت و شتاب زاویه‌ای، ممان اینرسی و اندازه حرکت زاویه‌ای، آشنایی با حرکت تقدیمی و رقص محوری ژیروسکوپ.

☑ تئوری:

در حرکت انتقالی نیرو را به شتاب خطّی جسم مربوط می‌کنند. در حرکت دورانی کمیّت نیرو را نمی‌توان با شتاب زاویه‌ای مربوط کرد زیرا نیروی وارده بر یک جسم بر حسب جهت و نقطهٔ اثر خود، شتابهای زاویه‌ای مختلف را ایجاد می‌کند. در دوران، کمیّت نظیر نیرو را گشتاور می‌نامند. برای درک مطلب یک نقطهٔ مادی به جرم m_i در یک دستگاه مرجع در نظر بگیرید که تحت تأثیر نیروی F_i حول نقطهٔ o به فاصلهٔ r_i دوران می‌کند گشتاور τ_i وارد بر ذرّه نسبت به نقطهٔ o بر حسب تعریف عبارتست از $\tau_i = r_i \times F_i$ که یک کمیّت برداری است و بزرگیش توسّط $\tau_i = r_i F_i \sin\theta$ داده می‌شود که در آن θ عبارت است از زاویه بین r_i و F_i. راستای گشتاور عمود بر صفحه r_i و F_i و جهت آن توسّط قاعدهٔ دست راست برای ضرب برداری دو بردار داده می‌شود. یعنی اگر r را بطرف F با اندازه زاویهٔ کوچکتر بین آنها با انگشتان خمیدهٔ دست راست بچرخانیم، آن وقت جهت شست باز شده جهت τ را مشخّص می‌کند.

ذرّه‌ای به جرم m راکه دارای اندازه حرکت خطّی P است و بر موضع r نسبت به مبدأ o یک دستگاه مرجع اینرسی واقع شده است در نظر می‌گیریم. اندازه حرکت زاویه‌ای L این ذرّه نسبت به مبدأ o را بصورت $L = r \times P$ تعریف می‌کنیم. اندازه حرکت زاویه‌ای یک بردار است و بزرگیش از رابطهٔ $L = rP \sin\theta$ به دست می‌آید که در آن θ زاویهٔ بین r و P است این بردار عمود بر صفحه‌ای است که r و P تشکیل می‌دهند و جهت آن از قانون دست راست بدست می‌آید. رابطهٔ مهمّی که بین گشتاور و اندازهٔ حرکت زاویه‌ای می‌باشد بصورت $\tau = \frac{dL}{dt}$ می‌باشد. طبق این معادله

Sample output to test PDF Combine only

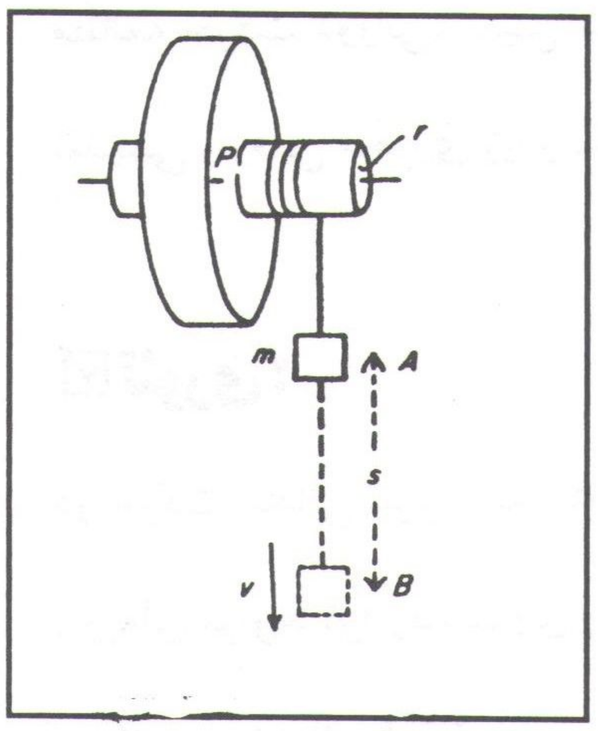
Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

میزان تغییر زمانی اندازه حرکت زاویه‌ای یک ذرّه برابر است با گشتاور وارد به آن. این معادلهٔ حرکت دورانی، شبیه معادله $F = \frac{dp}{dt}$ می‌باشد.

اگر جسم صلب باشد ω برای تمام ذرّات آن یکی خواهد بود ولی شعاع r ممکن است برای ذرّات مختلف متفاوت باشد. بنابراین انرژی جنبشی کل در حال دوران (E_K) را می‌توان به صورت :

$$E_K = \frac{1}{2}(m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + ...)\,\omega^2 = \frac{1}{2}(\Sigma m_ir_i^2)\,\omega^2$$

نوشت. جملهٔ $\Sigma m_ir_i^2$ عبارت است از مجموع حاصلضربهای جرم ذرّات در مجذور فاصله‌شان از محور دوران. اگر این کمیّت را با I نشان دهیم داریم $I = \Sigma m_ir_i^2$، I اینرسی دورانی یا گشتاور اینرسی جسم نسبت به محور دوران مورد نظر نامیده می‌شود. انرژی جنبشی یک جسم صلب در حال دوران را بر حسب اینرسی دورانی آن بصورت $E_K = \frac{1}{2} I\omega^2$ می‌نویسیم. در شکل مقابل جرم m از نقطهٔ A تا B پایین می‌آید و این حرکت باعث چرخش ژیروسکوپ خواهد شد. بطوری که در نقطهٔ A جرم m دارای انرژی پتانسیل mgs می‌باشد و در نقطهٔ B می‌توانیم رابطهٔ زیر را بنویسیم :



(کار انجام شده بر علیه اصطکاک) + $\frac{1}{2} I\omega^2 + \frac{1}{2} mv^2$ = mgs اگر بعد از اینکه جرم m به نقطهٔ B برسد چرخ N دور بزند تا متوقّف شود رابطهٔ بالا بصورت زیر در می‌آید.

$$mgs = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 \frac{n}{N}$$

$$mgs = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I \frac{v^2}{r^2} + \frac{1}{2} I \frac{v^2}{r^2} \cdot \frac{n}{N}$$

$$= \frac{v^2}{2}\left[m + \frac{I}{r^2}\left(1 + \frac{n}{N}\right) \right] \qquad \text{و} \qquad V = \frac{2S}{t}$$

$$mgs = \frac{4s^2}{2t^2}\left[m \frac{I}{r^2}\left(1 + \frac{n}{N}\right) \right]$$

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2s} - 1\right)\left(\frac{N}{N+n}\right)$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

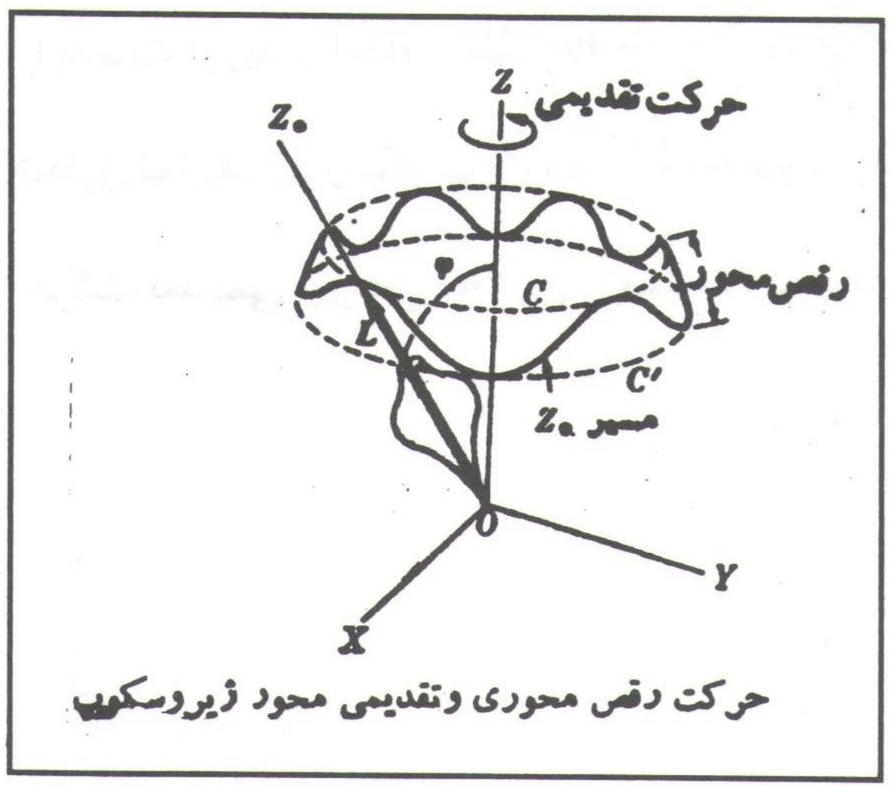
که اگر N خیلی زیاد باشد. $(\frac{N}{N+n}) \approx 1$

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2s} - 1\right)$$

رابطهٔ دیگری هم برای ممان اینرسی می‌توان بر حسب شعاع چرخش و شتاب زاویه‌ای بدست آورد.

$$I = \frac{mr\,(g - r\alpha)}{\alpha}$$

اندازه حرکت زاویه‌ای بصورت $L = mr^2\omega = I\omega$ در می‌آید و گشتاور زاویه‌ای بصورت $\tau = rT = I\alpha$ در می‌آید. r شعاع چرخش و T کشش نخ می‌باشد که گشتاور Tr را ایجاد میکند.



حرکت رقص محوری وتقدیمی محود ژیروسکوپ

شکل مقابل یک ژیروسکوپ را در حالت چرخش حول محور تقارنش نشان می‌دهد. نوک ژیروسکوپ در مبدأ o یک دستگاه مرجع اینرسی ثابت نگهداشته می‌شود. بر مبنای تجربه می‌دانیم که محور ژیروسکوپ که در چرخش سریع است حول یک محور قائم حرکت می‌کند و یک سطح مخروطی را جاروب می‌نماید.

حرکت اخیر را حرکت تقدیمی می‌نامند.

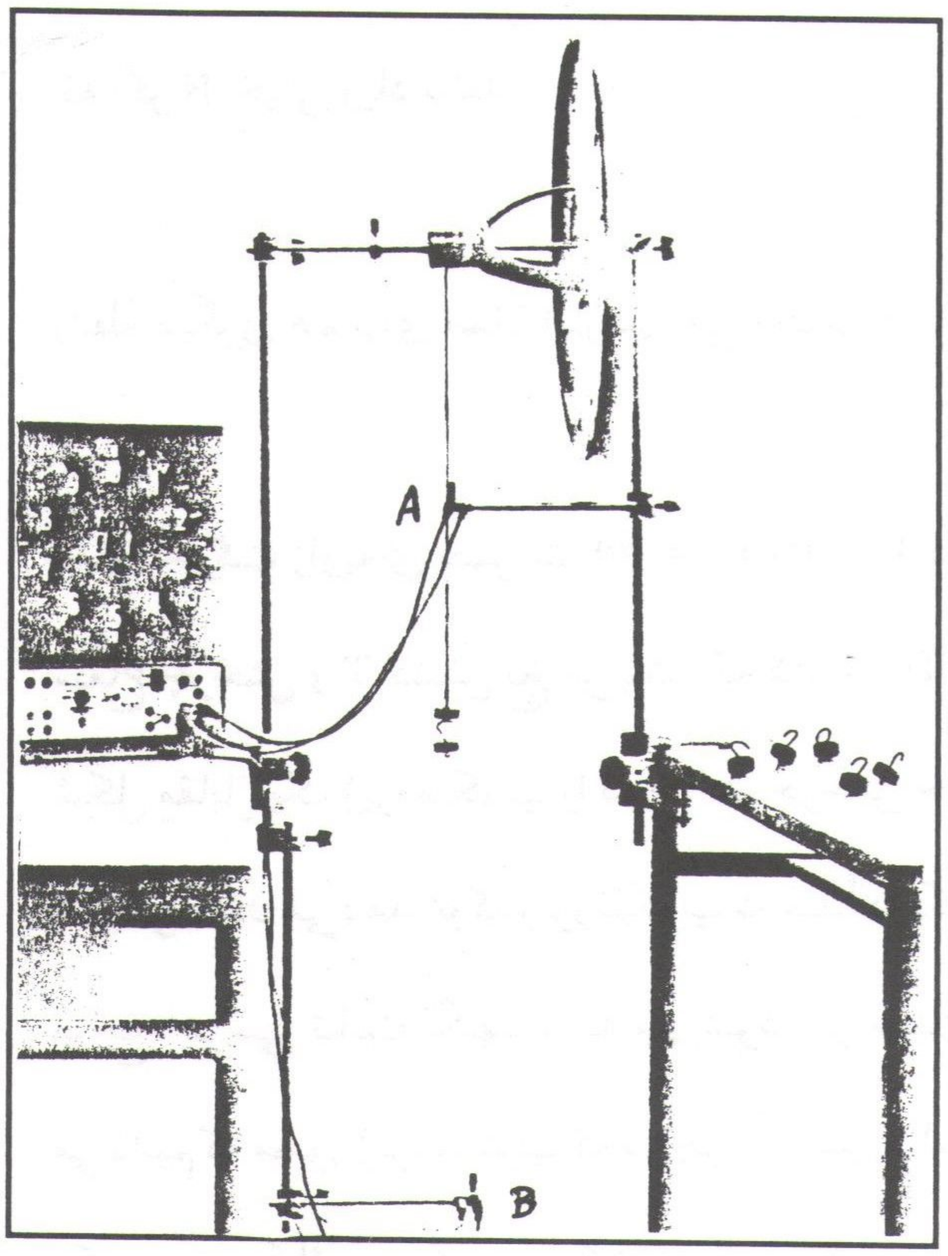
بررسی دقیقتر نشان می‌دهد که در حالت کلّی زاویهٔ φ ثابت باقی نمی‌ماند بلکه بین دو مقدار معیّن نوسان می‌کند. به گونه‌ای که انتهای L در همان زمان که دور محور Z حرکت تقدیمی دارد بین دو دایرهٔ C و C' نوسان می‌کند و مسیر مشخّص شده را می‌پیماید. این حرکت نوسانی Z_0 حرکت رقص محوری نامیده میشود. حرکت رقص محوری نیز مانند حرکت تقدیمی در اندازه حرکت زاویه‌ای کل سهیم است ولی عموماً سهم آن حتّی کمتر از حرکت تقدیمی است.

□ روش آزمایش:

وسایل آزمایش را همانند شکل سوار کنید. فاصله دو صفحه اتّصال را A و B، ۶۰cm انتخاب کنید و وزنهٔ m را روی صفحهٔ اتّصال A و مماس بر آن قرار دهید و ساعت دیجیتالی را صفر کنید. لحظه‌ای که جرم m را رها کنید صفحهٔ اتّصال A را قطع خواهد کرد و ژیروسکوپ شروع به چرخش و ساعت دیجیتالی زمان را اندازه‌گیری می‌نماید تا جرم

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)



m به صفحهٔ اتّصال B برسد و آن را قطع نماید.

زمانی که جرم m فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متری را طی کرده ساعت نشان خواهد داد زمان عبور فاصله‌های بعدی را طبق جدول اندازه‌گیری نمایید و جدول را تکمیل کنید. با رسم S را بر حسب t^2 شتاب خطّی را بدست آورید. سرعت و شتاب زاویه‌ای، ممان اینرسی، اندازه حرکت زاویه‌ای و گشتاور (τ) را بدست آورید و آنگاه رابطهٔ $mgs = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$ را تحقیق نمایید. ژیروسکوپ را روی پایهٔ مخصوص قرار دهید، حرکت تقدیمی و رقص محوری را مشاهده نمایید.

S_{cm}	t	t^2	a	α	ω	V	I	mgs	$\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}I\omega^2$	L	τ
۶۰											
۸۰											
۱۰۰											
۱۲۰											
۱۴۰											

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۱۰ ...

موضوع آزمایش:

ممان اینرسی

هدف :

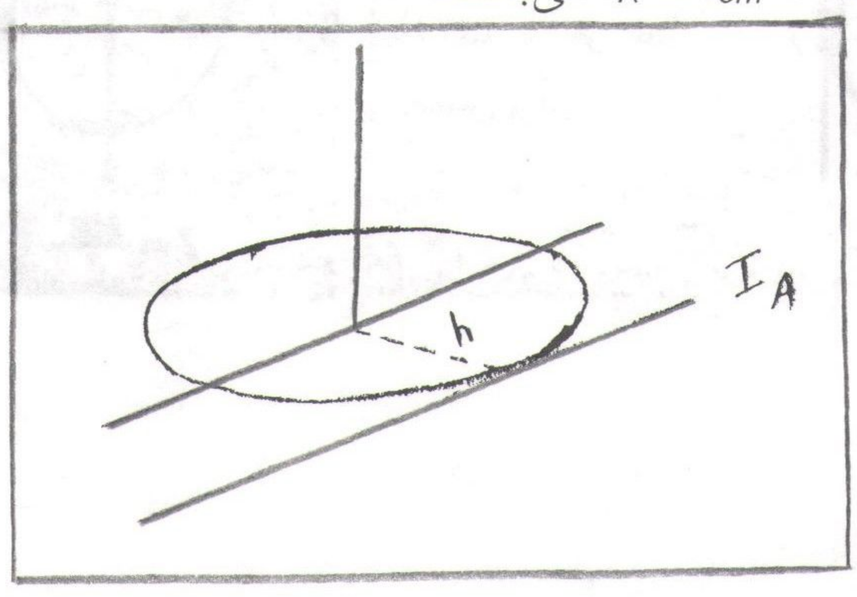
مطالعه گشتاور ماند و اندازه‌گیری ممان اینرسی دیسک، کره، استوانه، و تحقیق قضیهٔ محور موازی.

☑ تئوری:

ممان اینرسی یک جسم نسبت به یک محور عبارتست از مجموع حاصلضرب‌های جرم هر نقطه مادی از آن جسم در مجذور فاصلهٔ آن محور یعنی ممان اینرسی یک جسم چنین است : $I = \Sigma m_i r_i^2$ (m و r به ترتیب جرم و فاصلهٔ نقطه از محور و I ممان اینرسی جسم را نشان می‌دهد) برای یک جسم این مجموعه بصورت انتگرال در می‌آید : $I=\int r^2 dm$.

بدیهی است ممان اینرسی یک جسم نسبت به محورهای مختلف متفاوت است. تعریف ممان اینرسی نسبت به یک نقطه و یا یک صفحه هم به قرار بالا است. در دینامیک فقط ممان اینرسی نسبت به یک محور بکار می‌رود برای اجسامی که دارای اشکال هندسی ساده‌ئیستند محاسبهٔ انتگرال‌های مزبور ممکن است دشوار باشد. برای اجسامی که دارای اشکال هندسی ساده هستند محاسبهٔ این انتگرال‌ها نسبتاً ساده است، در صورتی که محور تقارن به عنوان محور دوران انتخاب شود.

رابطهٔ ساده و بسیار مفیدی بین اینرسی دورانی I یک جسم حول یک محور و اینرسی دورانی آن نسبت به محوری که از مرکز جرم می‌گذرد و موازی محور اوّلی است (I_{cm}) وجود دارد. اگر m جرم کلّ جسم و h فاصلهٔ بین دو محور مزبور باشد، این رابطه بصورت $I_A = I_{cm} + Mh^2$ می‌باشد.

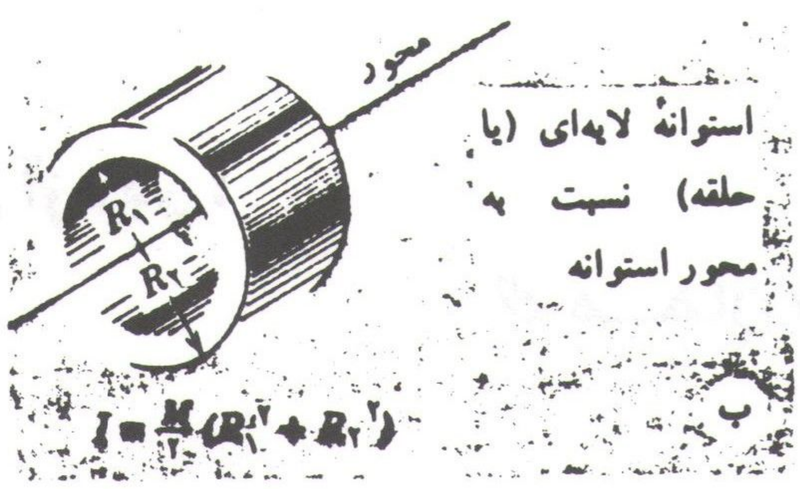


Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

حلقهٔ استوانه‌ای، نسبت به محور استوانه

الف

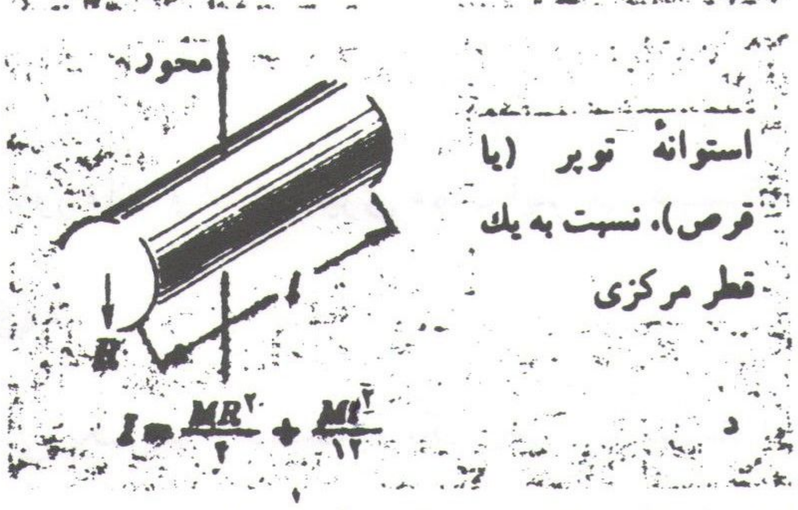


استوانهٔ لایه‌ای (یا حلقه) نسبت به محور استوانه

ب

استوانهٔ توپر، نسبت به محور استوانه

ج

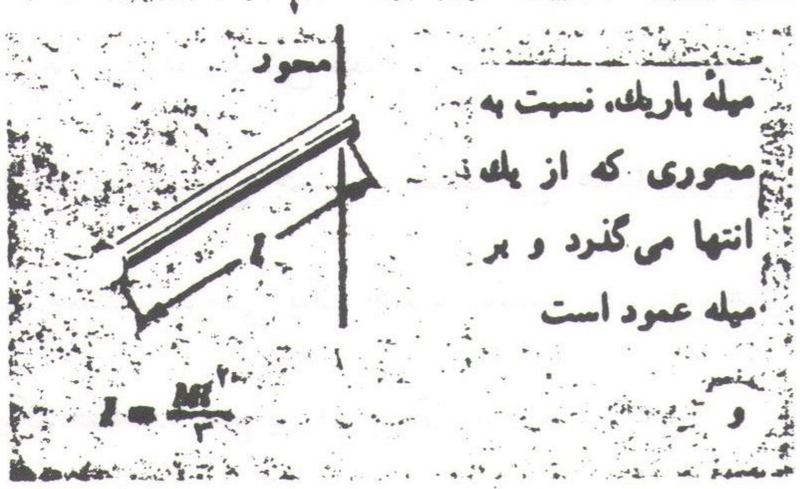


استوانهٔ توپر (یا قرص)، نسبت به یك قطر مرکزی

د

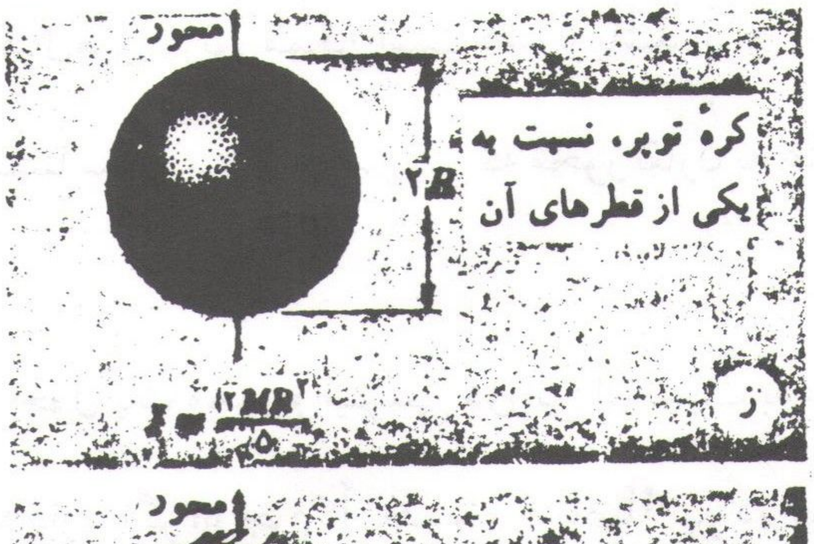
میلهٔ باریك، نسبت به محوری که از مرکز می‌گذرد و بر میله عمود است

هـ



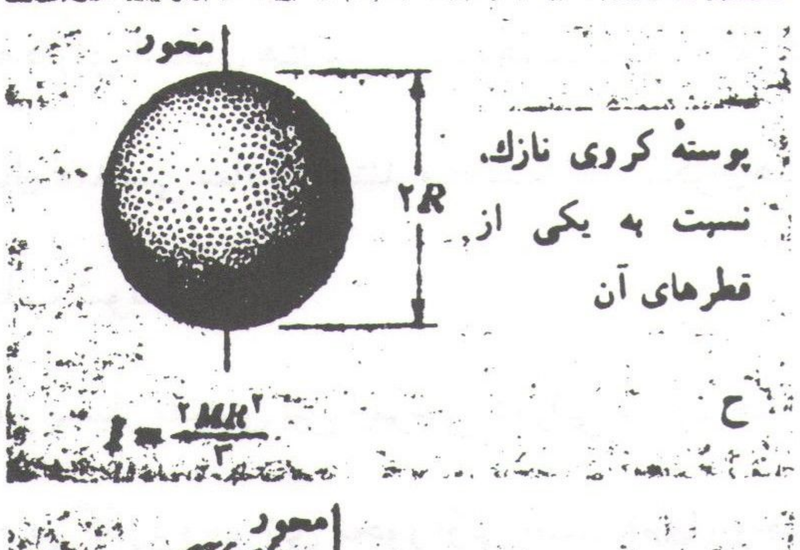
میلهٔ باریك، نسبت به محوری که از یك انتها می‌گذرد و بر میله عمود است

و



کرهٔ توپر، نسبت به یکی از قطرهای آن

ز

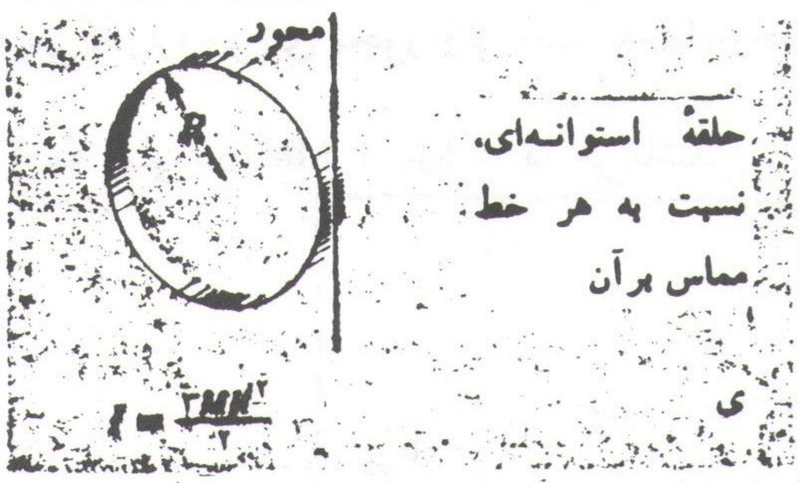


پوستهٔ کروی نازك، نسبت به یکی از قطرهای آن

ح

حلقهٔ استوانه‌ای، نسبت به یکی از قطرهای آن

ط



حلقهٔ استوانه‌ای، نسبت به هر خط مماس برآن

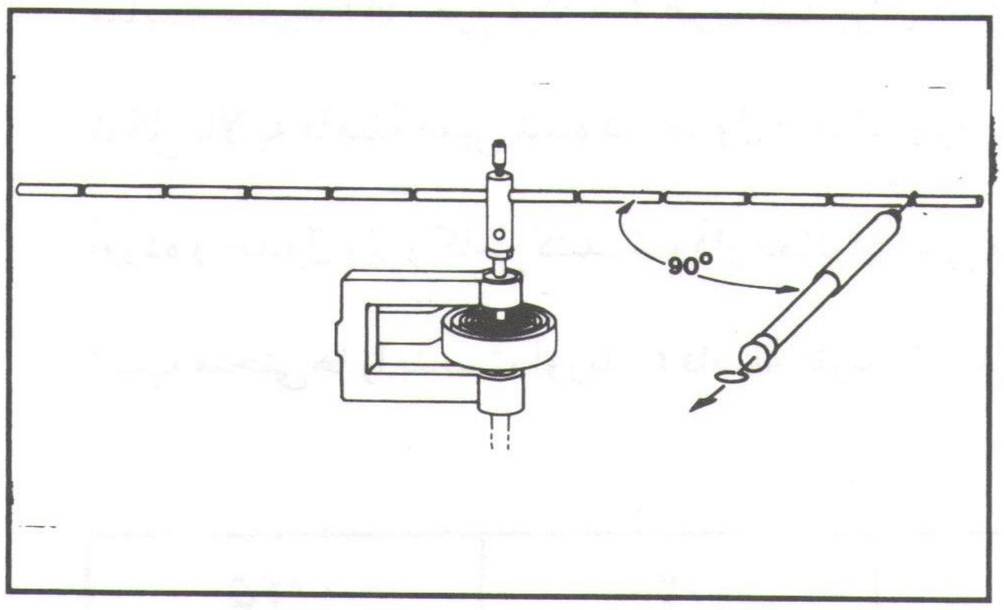
ی

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

آزمایش (۱) :

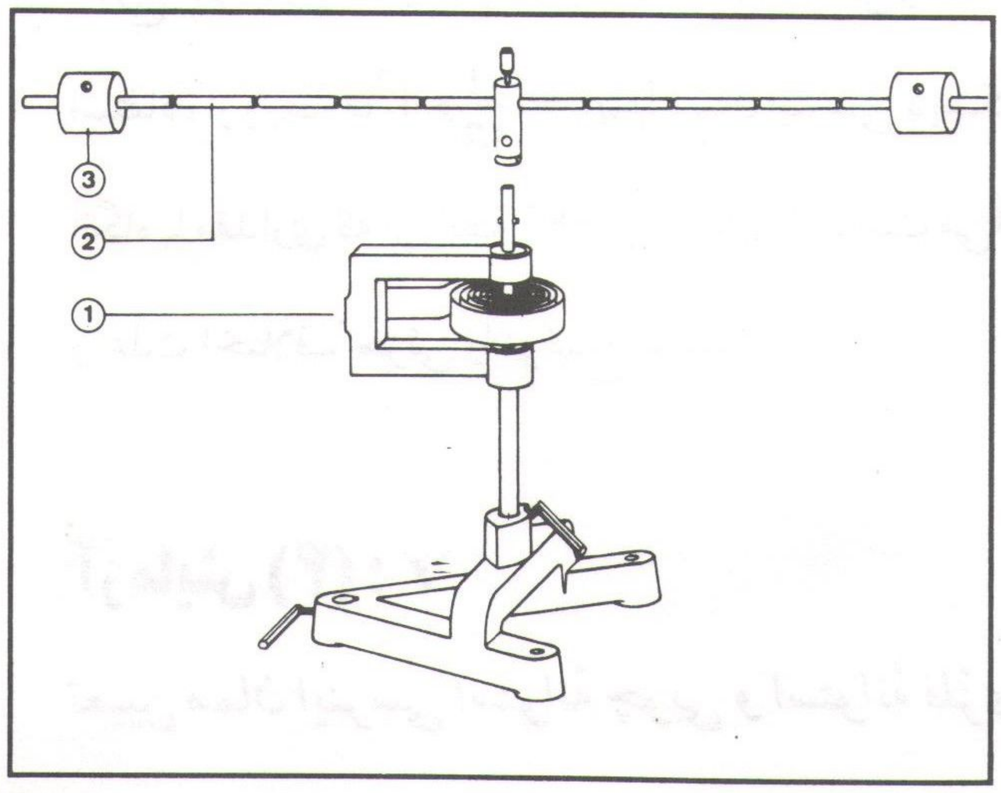
تعیین گشتاور بازگردانده *(D)*: میلهٔ ۶۰ سانتیمتری را مطابق شکل مقابل روی فنری که گشتاور بازگردانده آنرا مشخّص خواهیم کرد قرار می‌دهیم. میله را از حالت تعادل توسّط نیروسنج یک نیوتنی به اندازهٔ ۱۸۰ درجه می‌چرخانیم. در این حالت نیروسنج همواره باید عمود بر میله باشد. نیروی F را نیروسنج بر محور وارد می‌کند و این نیرو ایجاد گشتاور $M = r \times F$ را خواهد کرد. r فاصلهٔ مرکز جرم میله تا نقطه‌اثر نیرو می‌باشد. بنابراین گشتاور بازگردانده برابر است با $D = \frac{M}{\alpha}$ که α زاویهٔ چرخش میله بر حسب رادیان می‌باشد (α=3.14) با تغییرات r و اندازه‌گیری F جدول زیر را کامل کنید.



r_m	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰
F_N			
$M = Fr$			
$D = \frac{M}{\alpha}$			
$D_{\text{متوسط}}$			

آزمایش (۲) :

تعیین ممان اینرسی میله و ممان اینرسی میله و دو گلوله : برای پیدا کردن ممان اینرسی میله لازم است میله را از حالت تعادل خارج کنیم و سپس رها کنید تا حرکت رفتی و برگشتی داشته باشد و آنگاه زمان یک رفت و برگشت کامل را بدست آورده (T) و با



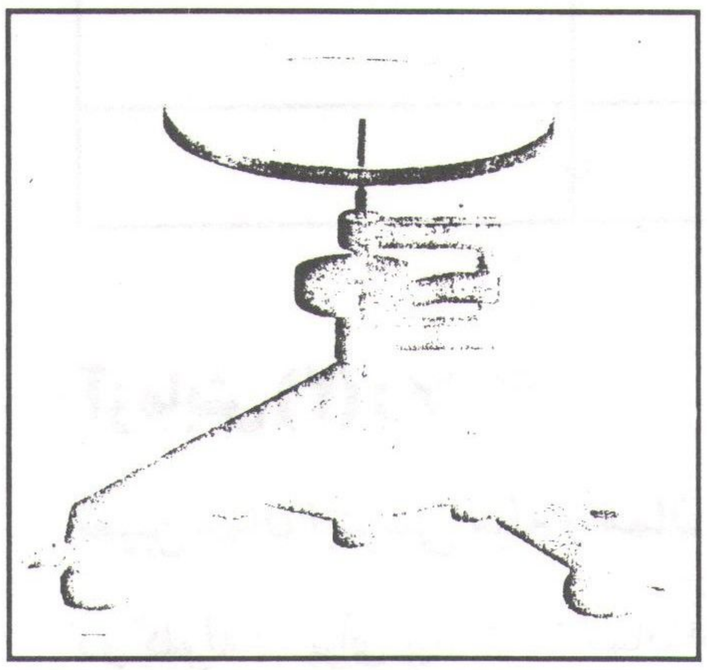
Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

استفاده از فرمول $I_{rod} = \frac{1}{4\pi^2} T^2 . D$ ممان اینرسی میله را بیابید و آن را با مقادیر بدست آمده از رابطهٔ $I=\frac{1}{12} ml^2$ مقایسه نمایید (m جرم میله و l طول آن). برای پیدا کردن ممان اینرسی میله و دو گلوله لازم است گلوله را مطابق شکل بالا به فاصلهٔ معیّن شده در جدول از مرکز جرم به میله قرار دهید و آنگاه زمان تناوب (T) میله و گلوله را بدست آورده و جدول زیر را کامل کنید. نمودار ممان اینرسی میله و ممان اینرسی میله و گلوله‌ها را بر حسب r^2 رسم نمایید و شیب منحنی‌ها را بدست آورید. r فاصلهٔ گلوله‌ها از مرکز جرم میله می‌باشد.

r_m	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵
T_{sec}				
$I_{(rod + mass)}$				
$I_{(masses)}$				
r^2				
$\frac{I}{r^2}$ از منحنی				

آزمایش (۳) :



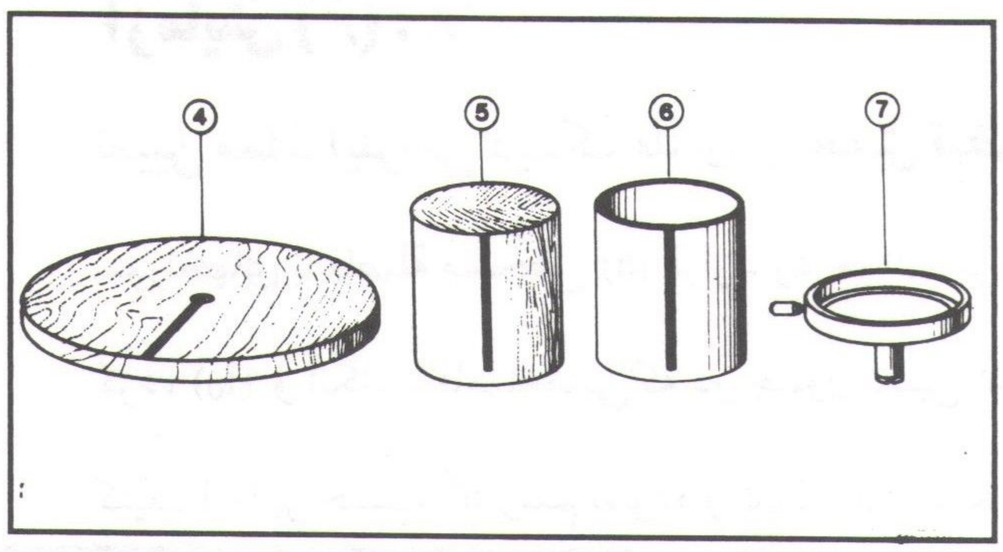
تعیین ممان اینرسی دیسک چوبی (Wooden disk-wd) : دیسک چوبی را مطابق شکل مقابل روی دستگاه سوار کنید از حالت تعادل خارج نموده و زمان یک رفت و برگشت (T) کامل را اندازه‌گیری نمایید. با استفاده از رابطهٔ $I_{(WD)} = \frac{1}{4\pi^2} T^2 D$ ممان اینرسی دیسک چوبی را یافته و آنگاه با مقداری که از رابطهٔ $I_{(WD)} = \frac{1}{2} mR^2$ بدست می‌آید مقایسه نموده و علّت اختلاف جزئی را توضیح دهید.

آزمایش (۴) :

تعیین ممان اینرسی استوانهٔ چوبی و استوانهٔ فلزّی توخالی : در شکل صفحهٔ بعد :

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)



(۴) دیسک چوبی، (۵) استوانهٔ چوبی، (۶) استوانهٔ فلزّی توخالی و (۷) صفحهٔ نگهدارنده می‌باشد. صفحهٔ نگهدارنده را روی دستگاه قرار می‌دهیم و از حالت تعادل خارج نموده و زمان تناوب (T) آن را پیدا کرده و سپس از رابطهٔ $T_{(P)} = \frac{1}{4\pi^2} T^2D$ ممان اینرسی صفحهٔ نگهدارنده را پیدا می‌کنیم. استوانهٔ چوبی را روی صفحهٔ نگهدارنده قرار دهید و از حالت تعادل خارج نموده و زمان تناوب T آن را پیدا کنید. سپس از رابطهٔ $T_{(P + Sc)} = \frac{1}{4\pi^2} T^2D$ ممان اینرسی صفحه و استوانهٔ چوبی را محاسبه کرده و آنگاه از رابطهٔ $I_{(SC)} = I_{(P + Sc)} - I_P$ ممان اینرسی استوانهٔ چوبی را یافته و با مقداری که از رابطهٔ $I_{(Th)} = \frac{1}{2} mR^2$ مقایسه نموده و علّت اختلاف جزئی آن را توضیح دهید.

استوانهٔ چوبی را بر می‌داریم و استوانهٔ فلزّی توخالی را جای آن قرار می‌دهیم. از حالت تعادل خارج نموده و زمان تناوب T استوانهٔ فلزّی توخالی و صفحهٔ نگهدارنده را پیدا کرده و آنگاه از رابطهٔ زیر ممان اینرسی را پیدا می‌کنیم:

$$I_{(P + Hc)} = \frac{1}{4\pi^2} T^2D$$

و از رابطهٔ $I_{(Hc)} = I_{(P + Hc)} - I_{(P)}$ ممان اینرسی استوانهٔ فلزّی توخالی را پیدا کرده و با مقداری که از رابطهٔ $I_{(th)} = \frac{1}{2} m(R_0^2 + R_1^2)$ بدست می‌آید مقایسه کرده و علّت اختلاف جزئی آن را توضیح دهید.

	دیسک چوبی	استوانهٔ چوبی	استوانهٔ فلزّی توخالی
$I_{(عملی)}$			
$I_{(تئوری)}$			

آزمایش (۵):

تعیین ممان اینرسی کره: کرهٔ چوبی را روی دستگاه قرار دهید و از حالت تعادل خارج نموده و زمان تناوب T آنرا پیدا کرده $I_{(Sphere)} = \frac{1}{4\pi^2} T^2D$ و آنرا با مقداری که از رابطهٔ $I_{(Th)} = \frac{2}{5} mR^2$ بدست می‌آید مقایسه نمایید و این دو مقدار را با ممان اینرسی دیسک چوبی مقایسه کنید.

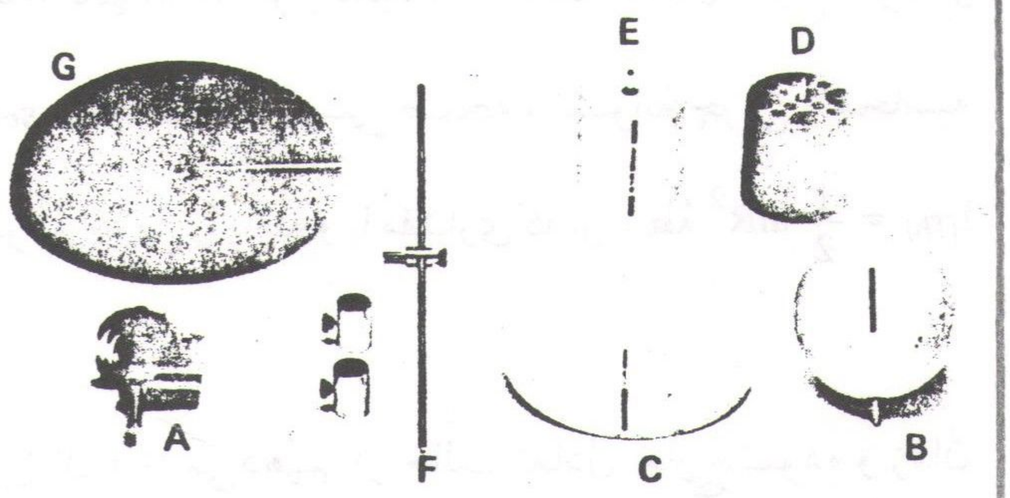
Sample output to test PDF Combine only

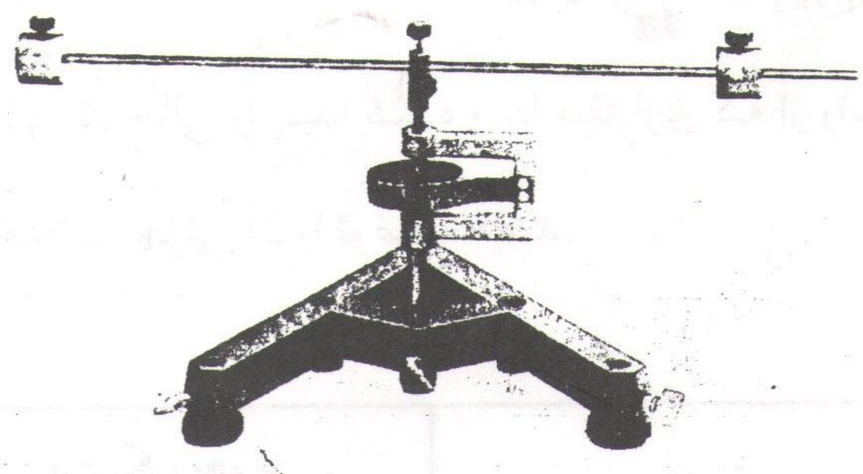
Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

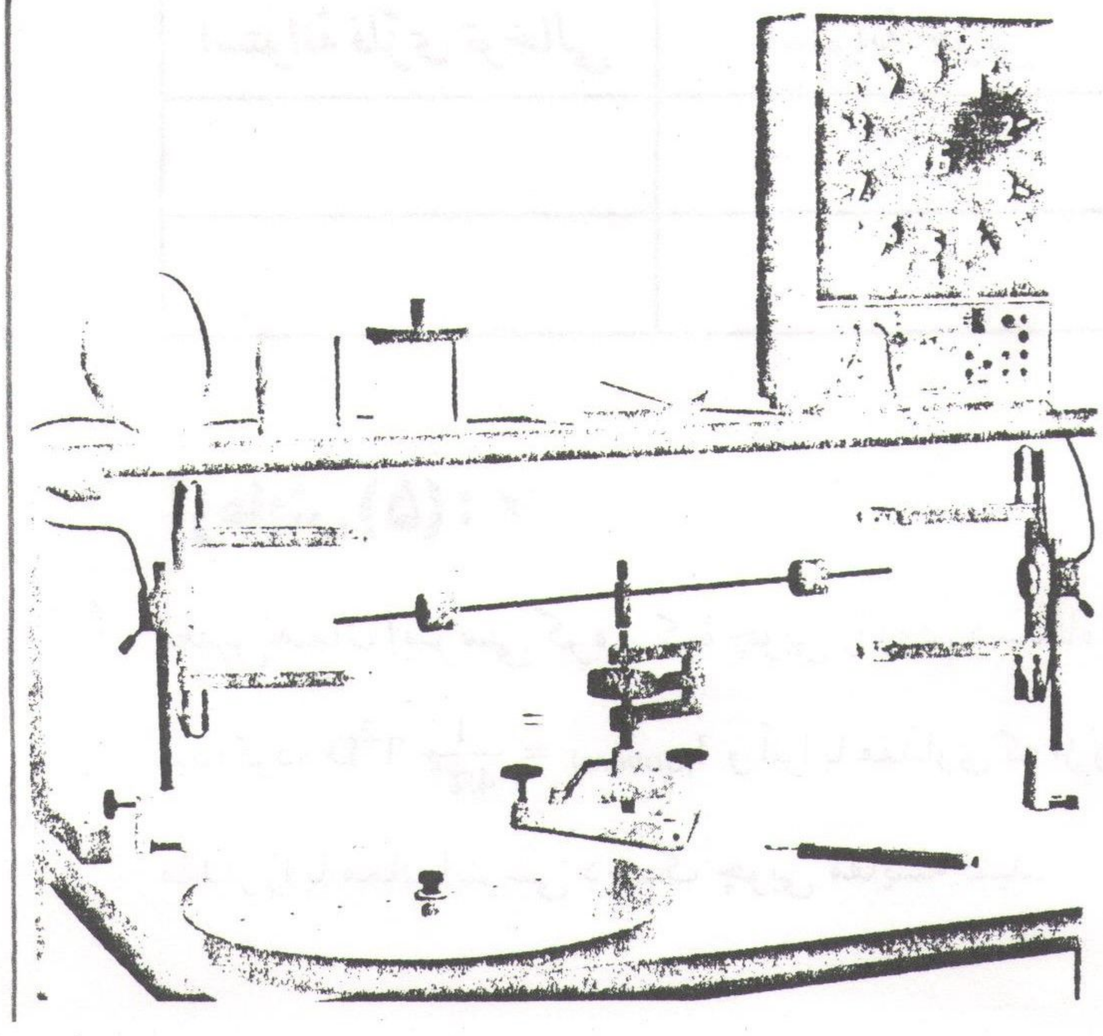
آزمایش (۶): ✓

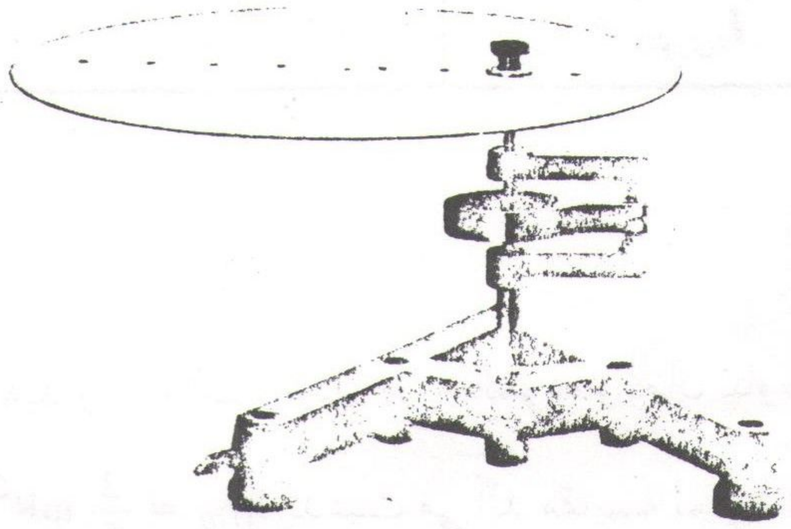
تعیین ممان اینرسی دیسک فلزّی و تحقیق قضیهٔ محور موازی ممان اینرسی : روی دیسک فلزّی سوراخهای با فاصلهٔ مشخّص (a) قرار دارد. ممان اینرسی دیسک را نسبت به محوری که از مرکز جرم آن می‌گذرد پیدا کرده (I_0) و آنگاه با فاصله‌هایی که در جدول تعیین شده ممان اینرسی آن را بیابید؛ و رابطهٔ $I = I_0 + ma^2$ را تحقیق کنید. I را بر حسب a^2 رسم نموده و شیب آنرا بیابید.

a_m	a^2	T	T^2	I	$\frac{I}{a^2}$ از منحنی
۰					
۰/۰۲					
۰/۰۴					
۰/۰۶					
۰/۰۸					
۰/۱۰					
۰/۱۲					
۰/۱۴					
۰/۱۶					









Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

... آزمایش شمارهٔ ۱۱ ...

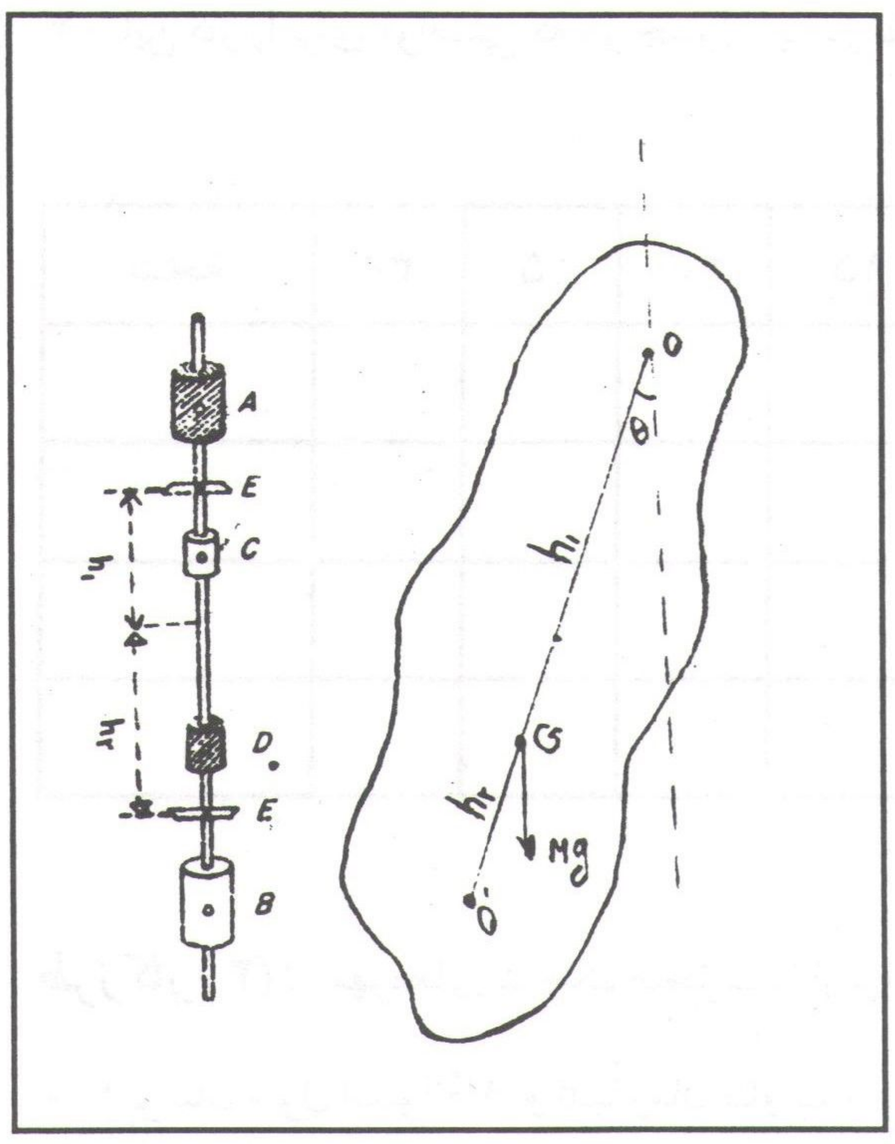
موضوع آزمایش:

آونگ کاتر (Kater pendulum)

هدف : تبدیل کردن آونگ مرکّب به آونگ کاتر، و تعیین شتاب ثقل زمین با استفاده از آونگ کاتر.

☑ تئوری:

کاتر در سال ۱۸۱۸ برای نخستین بار بر مبنای نظریهٔ هویگنس آونگ مرکّبی ساخت که می‌توانست حول دو نقطه o و o′ نوسان کند (شکل مقابل) شکل هندسی و مشخّصات آونگ طوری است که از تغییر توزیع جرم آن می‌توان محل مرکز جرم سیستم را چنان انتخاب نمود که یکی از دو محور o و o′ نقطهٔ تعلیق و دیگری مرکز نوسان شود و همچنین پریود حول هر دو محور یکی شود، در این حالت خاص، آونگ مرکّب تبدیل به آونگ کاتر شده است. در صورتیکه $T_1 = T_2$ باشد آنگاه اندازه‌گیری فاصلهٔ بین دو تیغه آونگ $l = h_1 + h_2$ طول آونگ ساده همزمان بدست می‌آید که با استفاده از رابطهٔ $g = \frac{l}{T^2} 4\pi^2$ می‌توان شتاب ثقل زمین را پیدا کرد. اگر زمان تناوب حول دو محور یکی نباشد و h_1 فاصلهٔ یک تیغه تا مرکز جرم و h_2 فاصلهٔ تیغهٔ دیگر تا مرکز جرم باشد، می‌توان روابط زیر را نوشت :



$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{h_1^2 + K^2}{gh_1}} \quad \text{و} \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{h_2^2 + K^2}{gh_2^2}}$$

$$\frac{gh_1T_1^2}{4\pi^2} = h_1^2 + K^2 \quad \text{و} \quad \frac{gh_2T_2^2}{4\pi^2} = h_2^2 + K^2$$

$$\frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2h_1 - T_2^2h_2}{h_1^2 - h_2^2} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2(h_1 + h_2)} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(h_1 - h_2)}$$

Sample output to test PDF Combine only

Converted by PDF Combine Pro - (no stamps are applied by registered version)

اگر مرکز جرم نزدیک‌تر به یک لبهٔ تیغه باشد تا لبهٔ تیغه دیگر آنگاه مقدار $h_2 - h_1$ کوچک نمی‌باشد.

طرز کار (۱): برای تبدیل آونگ موجود به آونگ کاتر باید فاصلهٔ مهره‌های متحرّک (X_n) دو طرف A و B آونگ را از تیغه‌های مربوطه معیّن کرد. برای اینکار باید مراحل زیر انجام شود:

۱- مهره‌های کوچک متحرّک را به ترتیب در فاصلهٔ ۲/۵ سانتی از تیغه‌ها قرار دهید.

۲- آونگ را از طرف A به جایگاهش طوری قرار دهید که تیغه‌ها روی تکیه‌گاه مربوط درست قرار گیرد.

۳- آونگ را با دقّت کامل (زاویه $\theta \leq 6^\circ$) تغییر وضعیّت داده و رها نمایید. حال زمان تناوب ۵۰ نوسان کامل را برای طرف A و همچنین زمان تناوب ۵۰ نوسان کامل را برای طرف B آونگ حساب نمایید.

۴- این کار را برای فواصلی که در جدول زیر در نظر گرفته شده است انجام داده و جدول را پر کنید.

x_{cm} فاصلهٔ مهره‌ها از تیغه‌ها	۲/۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	نتیجه
t_A زمان ۵۰ نوسان حول تیغهٔ A								
t_A زمان تناوب حول تیغهٔ A								
t_B زمان ۵۰ نوسان حول تیغهٔ B								
t_B زمان تناوب حول تیغهٔ B								

طرز کار (۲): مهره‌های کوچک متحرّک را از تیغه‌ها به فاصلهٔ X_n (مثلاً ۲/۵ سانتی‌متر) قرار داده، اوّلاً زمان تناوب ۱۰۰ نوسان حول استوانهٔ A و ثانیاً زمان تناوب ۱۰۰ نوسان حول استوانهٔ B را بدست آورده و از این دو معدل بگیرید؛ سپس جدول زیر را پر کنید.

شماره	t_{100} حول A	t_A	t_{100} حول B	t_B	T_{Ave}	T^2_{Ave}	$g=4\pi^2\frac{l}{T_A^2}$
۱							
۲							

Sample output to test PDF Combine only