بسم الله الرحمن الرحیم

راهنمای کاربری

برآیند نیرو

فیزیک دانشگاهی

صنایع آموزشی

ناشر:	شرکت صنایع آموزشی (متعلق به صندوق ذخیره فرهنگیان)
مؤلف:	امیرهوشنگ رمضانی - بنت الهدی صادقی
طراح جلد، صفحه‌آرا:	سها همایی
رسام:	سها همایی
نوبت چاپ و انتشار:	دوم ۱۳۸۹
آماده‌سازی و نظارت بر چاپ:	سها همایی
نشانی:	تهران، جاده مخصوص کرج، بعدازکیلومتر ۷، بزرگراه آزادگان (به طرف جنوب)،خیابان دهم (قبل از پمپ بنزین) شهرک استقلال، بلوار دکترعبیدی، خیابان شهید جلال
صندوق پستی:	۳۷۹-۱۳۴۴۵
تلفن واحد فروش:	۷- ۴۴۵۴۵۲۹۵ (۰۲۱)
دورنگار:	۴۴۵۴۵۲۹۴ (۰۲۱)
صدای مشتری:	۴۴۵۴۵۴۳۹ (۰۲۱)
روابط عمومی:	۴۴۵۴۵۴۸۵ (۰۲۱)
سایت اینترنتی:	www@eei-co.com
پست الکترونیکی:	info@eei-co.com

«کلیه حقوق تألیف و انتشار برای شرکت صنایع آموزشی محفوظ است»

فهرست مطالب

مقدمه	۵
۱ـ برآیند نیرو	۶
۲ـ جمع نیروها	۶
۳ـ تفریق دوکمیت برداری	۹
۴ـ مولفه یک بردار	۹
۵ـ وسایل آزمایش	۱۱
۶ ـ آزمایش(۱) ـ تعیین برآیند دونیروی عمود بر هم	۱۴
۷ ـ آزمایش (۲)ـ تعیین برآیند دونیروی متقاطع	۱۶

صنایع آموزشی

مقدمه

انجام کار عملی و آزمایشگاهی و نقش آن در تفهیم مفاهیم آموزشی بر کسی پوشیده نیست. تجربه نشان داده است که چه بسا دانشجویان بسیاری هستند که آزمون‌های مختلفی را در دوران تحصیل خویش پشت سر می‌گذارند ولی در هنگام مواجهه با موضوعات روزمره در محیط کار و زندگی از مطالب فرا گرفته شده نمی‌توانندااستفاده کنند. به عبارت دیگر مفهوم های علمی در ذهن آنها به خوبی شکل نگرفته است.

یکی از علت‌های مهم پیشرفت کشورهای توسعه یافته نوع نگرش این کشورها به نقش آزمایشگاه و کار تجربی می‌باشد و این موضوع در استفاده گسترده وسایل آموزشی در مقاطع مختلف تحصیلی این کشورها کاملاًمشهود است.

گروه فیزیک شرکت صنایع آموزشی با توجه به اهمیت نقش و جایگاه آموزش علمی (مفاهیم علمی) در توسعه کشور و در راستای اهداف آموزش عمیق مفاهیم فیزیک، بر انگیختن حس جستجوگری در دانشجویان و ترویج فرهنگ کار گروهی در بین آنها، اقدام به طراحی و تولید تجهیزات آزمایشگاهی در سطح دانشگاه نموده است.

در راستای نیل به این هدف و نیاز مراکز آموزش عالی این شرکت توانسته است با استفاده از تیم‌های تخصصی و کارشناسی و تجربه اساتید دانشگاه و مؤلفین کتب دانشگاهی مجموعه کاملی را در ساخت و تجهیز آزمایشگاه‌های فیزیک پایه (مکانیک، حرارت، الکتریسیته و مغناطیس) ارایه نموده است. این مجموعه‌ها بر اساس مطالب درسی کتاب‌های جامع آموزش فیزیک دانشگاهی طراحی و تولید شده است، که منطبق با سرفصل‌های آموزشی وزارت علوم، تحقیقات و فن آوری می‌باشد.

از اساتید وکاربران گرامی خواهشمندیم تجارب خود را در رابطه با بهینه‌سازی تجهیزات و دستورکار مجموعه با شرکت صنایع آموزشی ـ دپارتمان فیزیک مکاتبه و یا به سایت شرکت مراجعه نمایند.

در پایان از همکارانی که ما را در این امر یاری کردند، کمال تشکر را داریم.

برآیند نیرو

در فیزیک کمیت ها به دو دسته کلی کمیت های نرده‌ای و کمیت های برداری تقسیم می‌شوند. کمیت های نرده‌ای یا کمیت‌های عددی، کمیت‌هایی هستند که تنها با ذکر بزرگی معرفی می‌شود مانند طول، حجم، جرم و... . با گفتن اینکه طول این کتاب ۲۵cm است و عرض آن۱۸cmاست طول وعرض کتاب معرفی شده‌است.

کمیت های نرده‌ای یا کمیت‌های عددی مانند اعداد ریاضی بایکدیگر جمع می شوند.

کمیت‌های دیگری مثل نیرو، جابجایی و... وجود دارند که برای معرفی آن‌ها ، تنها بیان بزرگی آن‌ها کافی نیست . فرض کنید به جسم A نیروهای F_1، F_2، F_3، F_4 وارد می‌شوند برای معرفی این نیروها فقط بیان‌بزرگی آنها کافی نیست.

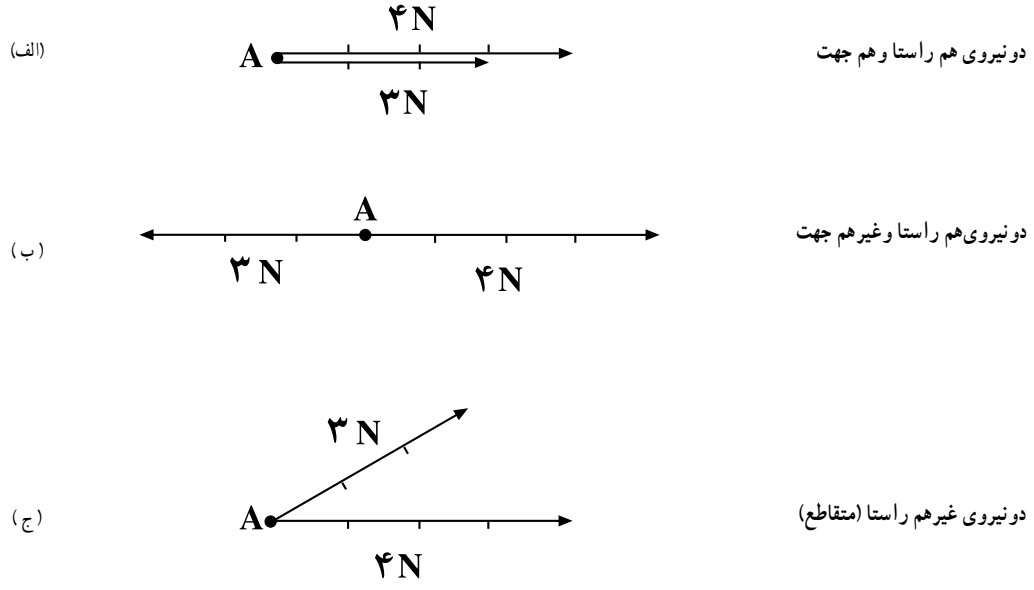
بنابراین برای معرفی کمیت‌هایی مثل نیرو، علاوه بر بزرگی نیرو بایستی راستا و سوی نیرو نیز معرفی شود.راستا وسوی نیرو را با هم، جهت نیرو می‌گویند. وقتی گفته می‌شود که نیروی F با بزرگی۲N در جهت نشان‌داده شده برA وارد می‌شود، این نیرو به طور کامل معرفی شده است.

جمع نیروها

وقتی درباره جمع کمیت‌هایی مثل نیرو صحبت می‌کنیم ابتدا باید به مفهوم جمع توجه کنیم. وقتی می‌گوییم‌جمع ۳ کیلو شکر با ۴ کیلو شکر چقدرمی‌شود، جواب این است که جمع ۳ کیلو شکر با ۴ کیلو شکر،۷ کیلو شکراست، کاری راانجام می‌دهد که ۳ کیلو و ۴ کیلو با هم انجام میدهند.

وقتی می‌گوییم جمع ۳ نیوتن نیرو با ۴ نیوتن نیروچقدراست، نمی‌توانیم جواب بدهیم که جمع این دو نیرو ۷ نیوتن است یا یک نیوتن و یا چقدر است ؟ زیرا که نیروهای ۳ نیوتن و ۴ نیوتن کامل معرفی نشده است.

اولاً باید بدانیم که این نیروها درچه جهت بر جسم A اثر می‌کند تا بتوانیم نیرویی را که به تنهایی کار این دو نیرو را انجام می‌دهد به دست آوریم. در نتیجه جمع نیروها از روش خاصی پیروی می‌کند .این روش خاص را جمع برداری می‌گویند. کمیت‌هایی مثل نیرو را، کمیت‌های برداری می‌گویند.بنابراین کمیت‌های برداری، کمیت‌هایی هستند که برای معرفی آن ها بایستی هم بزرگی آن ها وهم جهت آن ها معرفی شود و جمع آن ها از قانون ویژه‌ای که، جمع برداری نام دارد بدست می‌آید.



شکل -۱

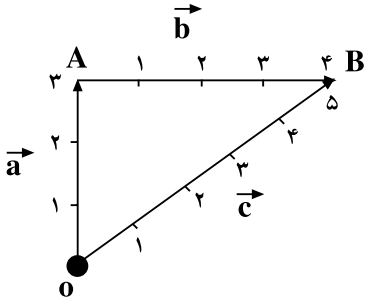
اگردو بردارهم‌راستا وهم جهت باشند برآیندآن دو بردار جمع آنها است و اگر دو بردارهم‌راستا وغیرهم جهت باشندبرآیندآن دو بردار تفاضل آنها است و برای دو بردارمتقاطع می توان بر آیند را به صورت زیر محاسبه کنید.

$$C=\sqrt{a^{۲}+b^{۲}-۲abCos\theta}$$

فرض کنید شخصی در نقطه O قرار دارد (شکل ـ۲) این شخص می‌خواهد ازنقطه O به نقطه B برود. شخص‌برای این کار ابتدا از O به A می‌رود، این جابجایی۳متر درراستای قائم و به سوی شمال است. شخص پس از رسیدن به A در راستای افق به اندازه ۴ متر به سوی مشرق میرود تا به نقطه B برسد. در نتیجه شخص برای رفتن به B دو جابجایی$\overrightarrow{OA}$ و $\overrightarrow{AB}$ را انجام داده است. شخص به جای انتخاب مسیر فوق می توانست مستقیماً از O به Bبرود و$\overrightarrow{OB}$ جابجایی‌را طی کند به عبارت دیگر جابجایی$\overrightarrow{OB}$ با جمع دو جابجایی $\overrightarrow{OA}$و$\overrightarrow{AB}$ برابر است.

$$\overrightarrow{OB}=\overrightarrow{OA}+\overrightarrow{AB}$$

$$\vec{c}=\vec{a}+\vec{b}$$

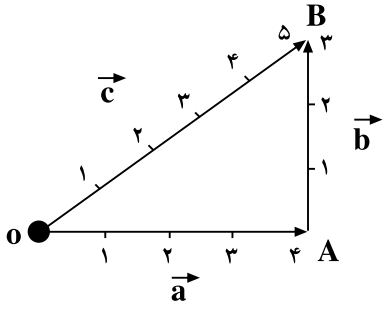


شکل -۲

در اینجا مشخص می‌شود که جمع جابجایی‌ها نیز از جمع عددی بزرگی آن‌ها پیروی نمی‌کند. به این ترتیب جابجایی نیز از جمع ویژه‌ای پیروی می‌کند. این نوع جمع، از همان نوع جمع نیروهاست، که جمع‌برداری نام دارد.

در جمع فوق اگر ترتیب جمع تغییر کنید، یعنی اگر شخص ابتدا در راستای افق چهار متر به سوی شرق برود و سپس در راستای قائم، به سوی بالا جابجا شود باز هم به نقطه B می رسد. در نتیجه میتوان ادعا کردکه در جمع‌برداری، ترتیب جمع کردن تاثیری بر حاصل جمع ندارد. درنتیجه رابطه زیر را می‌توان نوشت :

$$\vec{a}+\vec{b}=\vec{b}+\vec{a}=\vec{c}$$



شکل -۳

به شکل ـ۳توجه کنید بزرگی‌حاصل جمع دو بردارجابجاییa وb را می‌توان ازقانون فیثاغورس به دست‌آورد :

$$c^{۲}=a^{۲}+b^{۲}$$

$$c=\sqrt{a^{۲}+b^{۲}} \Rightarrow c=\sqrt{۳^{۲}+۴^{۲}} \Rightarrow c=۵$$

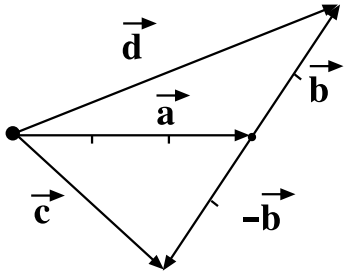
بردار حاصل جمع، یعنی بردار$\vec{c}$ را برآیند دو بردار جابجایی $\vec{a}$ و$\vec{b}$ می‌گویند. برای تعیین برآیند چند کمیت برداری، ابتدا برداری موازی، هم سو و هم اندازه بردار اول رسم می‌کنیم، از انتهای بردار‌اول، برداری موازی هم سو و هم اندازه بردار دوم را می‌کشیم این عمل را برای سایر بردارها ادامه می‌دهیم. برآیند همه بردارها برداری است که ازابتدای بردار اول به انتهای بردار آخر وصل می‌شود.

تفریق دو کمیت برداری

تفریق دو کمیت برداری نیز با تفریق اندازه بزرگی آن دو متفاوت است . تفریق دوکمیت برداری با روش زیر به دست می‌آید. فرض کنید می‌خواهیم، دو کمیت برداری $\vec{a}$ و$\vec{b}$ را از یکدیگر کم کنیم و حاصل تفریق آنها $\vec{c}$ را بدست آوریم.

$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$$

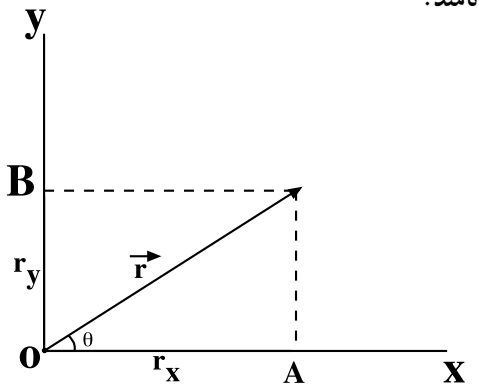
عمل تفریق دو کمیت برداری $\vec{a}$ و$\vec{b}$ ، مانند عمل جمع دو کمیت $\vec{a}$ و$\vec{b}$ است.بردار $-\vec{b}$ برداری هم اندازه $\vec{b}$ و در سوی مخالف با آن است. اگر دو کمیت برداری$\vec{a}$و$\vec{b}$ داده شده باشند، حاصل جمع وتفریق دو کمیت $\vec{a}$و$\vec{b}$ به صورتی خواهد بود که در شکل ـ۴ نشان داده شده است. $\vec{c}$ حاصل تفریق و$\vec{d}$ حاصل جمع دو کمیت $\vec{a}$ و$\vec{b}$است.



شکل -۴

مؤلفه یک بردار

برای جمع کردن چند کمیت برداری روش دیگری هم وجود دارد. این روش، روش جمع با استفاده از مؤلفه‌های هریک از بردارها است. برای تعیین مؤلفه های هر بردار، ازابتدای بردار دو خط افقی و قائم را به عنوان دستگاه مختصات رسم می‌کنیم.فرض کنید می‌خواهیم مؤلفه های بردار $\vec{r}$ را بدست آوریم (شکل ـ۵). از نقطه O محورxها وyها را رسم می‌کنیم. تصویر بردار $\vec{r}$ را بر روی این دو محور بدست می‌آوریم. $OA = r_x$ و $OB = r_y$ را مؤلفه های بردار $\vec{r}$ می‌نامند.

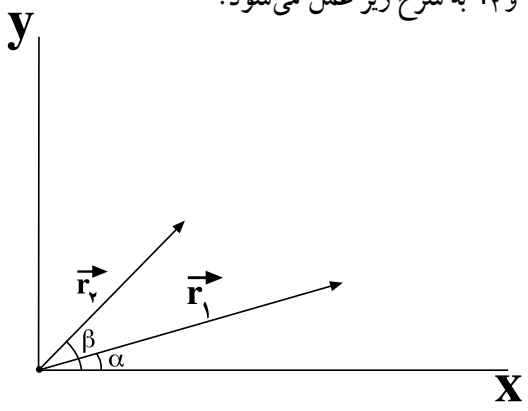


شکل -۵

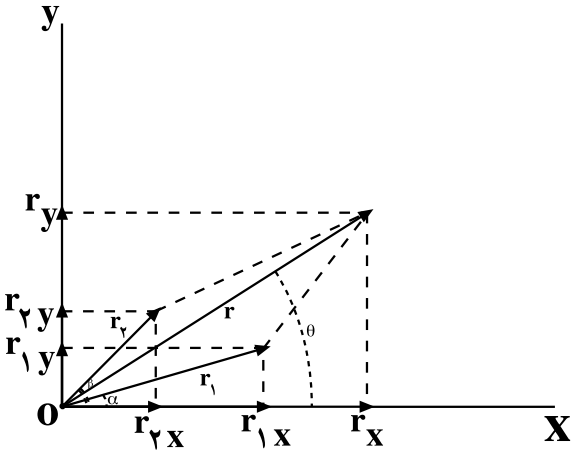
بزرگی بردار OA با r_x و بزرگی بردار OB با r_y برابر است که از رابطه های زیر بدست می‌آید.

$$r_x = r\,Cos\theta \qquad r_y = r\,Sin\theta$$

برای تعیین حاصل جمع دو بردار $\vec{r}_1$ و $\vec{r}_2$ به شرح زیر عمل می‌شود.



شکل -۶



شکل -۷

$$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$$

$$\vec{r}_1 = r_{1x}\hat{i} + r_{1y}\hat{j}$$

$$\vec{r}_2 = r_{2x}\hat{i} + r_{2y}\hat{j}$$

$$\vec{r} = \left(\vec{r}_1 + \vec{r}_2\right) = \left(r_{1x} + r_{1y}\right)\hat{i} + \left(r_{2x} + r_{2y}\right)\hat{j}$$

$$r_x = r_{1x} + r_{2x} = r_1 Cos\alpha + r_2 Cos\beta$$

$$r_y = r_{1y} + r_{2y} = r_1 Sin\alpha + r_2 Sin\beta$$

$$|\vec{r}| = \sqrt{r_{1x} + r_{2x}} = \sqrt{\left(r_1 Cos\alpha + r_2 Cos\beta\right)^2 + \left(r_1 Sin\alpha + r_2 Sin\beta\right)^2}$$

$$\theta = Arc\tan\frac{r_1 Sin\alpha + r_2 Sin\beta}{r_1 Cos\alpha + r_2 Cos\beta}$$

برای بررسی برآیند نیروها ازوسیله‌ای بنام میز نیرو استفاده می شود. میز نیرو این امکان رافراهم می‌کند که درآن واحد دو یا چند نیرو را که زاویه‌های متفاوت می‌سازند برجسمی وارد کنیم و بزرگی برآیند آنها و زاویه را به دست آوریم.

وسایل آزمایش:

۱ـ میز نیرو (قرص مدرج)

۲ـ ستون میز نیرو

۳ـ پایه ستاره‌ای (با سه پیچ تنظیم)

۴ـ قرقره بلبرینگ دار با نگه‌دارنده، (۵ عدد)

۵ـ حلقه

۶ـ نگه‌دارنده وزنه

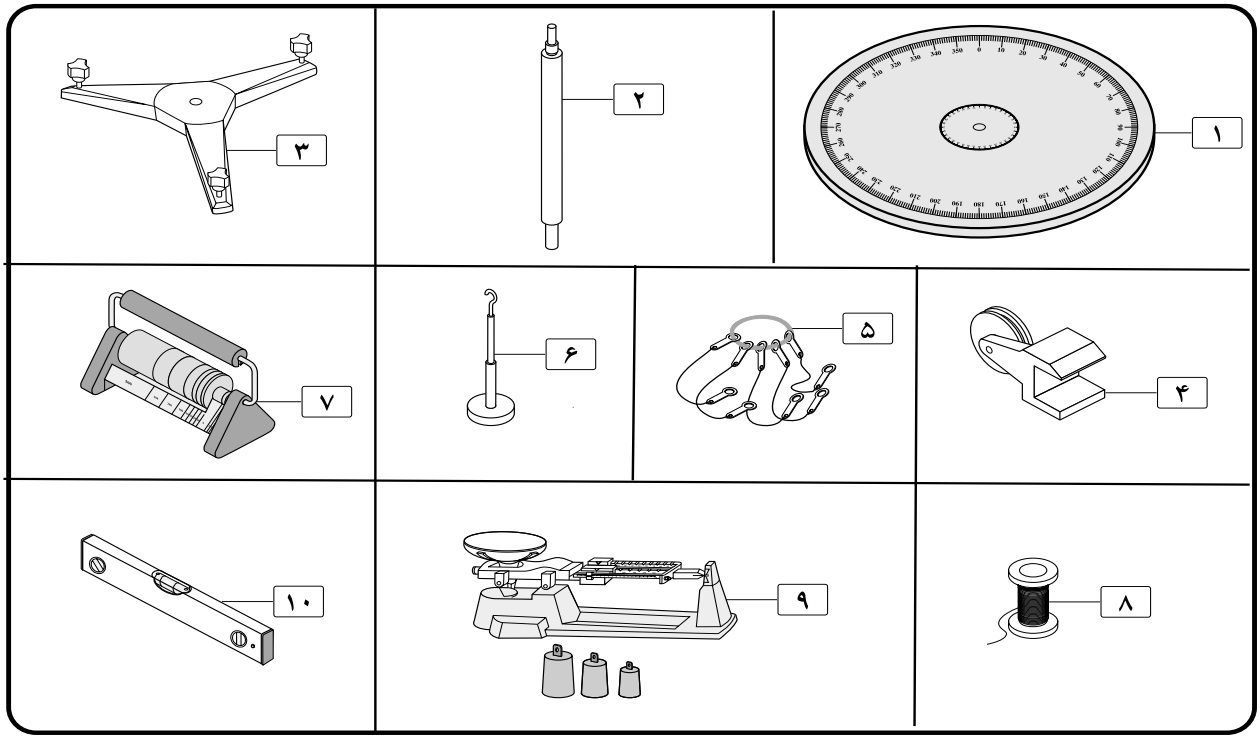
* ۷ـ سه جعبه وزنه با وزنه‌های شیاردار ۵۰۰ ،۲۰۰ ،۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۰، ۲۰، ۱۰ ، ۵ گرمی

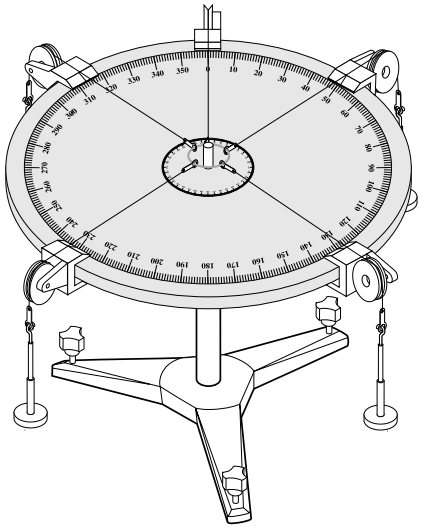
۸ ـ نخ

* ۹ ـ ترازو

* ۱۰ـ تراز

توجه : اقلام ستاره‌دار جزء مجموعه وسایل این آزمایش در هنگام خرید نمی باشند.

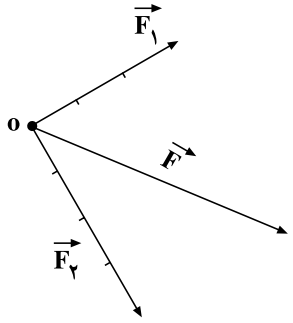




با توجه به مطالب نظری، در آزمایش بررسی برآیند نیروها، آن چه اهمیت دارد این است که، اولاً باید بدانیم‌که جمع نیروها با جمع عددی آنها برابر نیست و ثانیاً مشخص کنیم که بزرگی برآیند نیروها به زاویه بین نیروها وابسته است.

میز نیرو از یک صفحه دایره‌ای تخت درست شده که محیط آن بر حسب درجه مدرج گردیده است، با استفاده از این درجه بندی زاویه بین نیروها مشخص می‌شود. صفحه بر پایه قائمی سوار می‌شود، با استفاده ازپیچ های موجود بر روی پایه، صفحه مدرج را می‌توان ترازکرد تا کاملاً درسطح افق قرار گیرد.

نیروهای مورد بحث را وزن وزنه‌ها و وزن نگه‌دارنده‌ی وزنه‌ها تشکیل می‌دهند. وزنه‌ها بر نخی آویزان می‌شوند و راستای نخ‌ها، راستای نیروها را مشخص می‌کنند. به این ترتیب در یک صفحه تخت نیروهایی به نخ هایی وارد می‌شوند که جهت و بزرگی آنها مشخص است.



شکل -۸

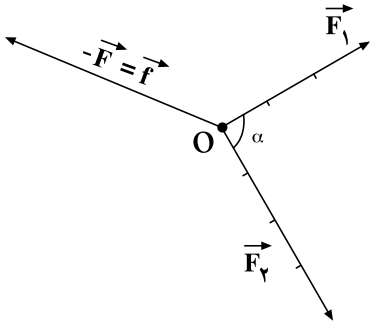
فرض کنید(شکل ـ ۸) دو نیرو $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ بر جسمی وارد می‌شوند و آن را می‌کشند و برآیند آن ها نیرویی مانند $\vec{F}$ است که از طریق ترسیم بدست می‌آید، در حقیقت می‌توان تصور کرد که نیروی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ وجود ندارد و تنها نیروی $\vec{F}$ بر جسم (نقطه O) اثر می‌کند.

حال اگر بتوانیم نیرویی را بر جسم واردکنیم که این نیرو، اثر نیروی $\vec{F}$ را خنثی کند، بزرگی نیروی مورد نظر با بزرگی نیروی $\vec{F}$ مساوی وجهت آن در خلاف جهت نیروی $\vec{F}$ می‌باشد (برآیند آنها صفر است). به عبارت دیگر می‌توان گفت نیرویی که می‌تواند نقطه O را در حال تعادل نگه دارد نیرویی است که با برآیند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ مساوی است و درسوی مخالف با آن باشد.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}$$

$\vec{f} = -\vec{F}$ جهت دو نیروی $\vec{F}$ و $\vec{f}$ مخالف یکدیگر است.

$f = F$ بزرگی دو نیروی $\vec{F}$ و $\vec{f}$ باهم برابر است.



شکل -۹

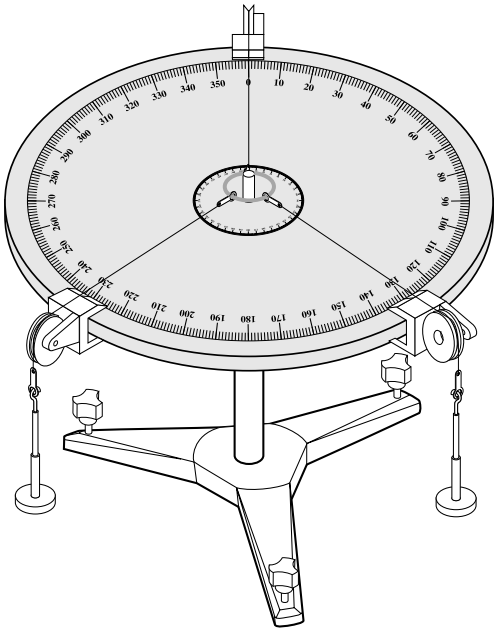
آزمایش ـ(۱)
تعیین برآیند دو نیروی عمود بر هم

شرح آزمایش:

ـ دستگاه رامطابق شکل آماده کنید.

ـ با استفاده ازتراز، پیچ های پایه ستاره‌ای را آنقدر جابجا کنیدتا سطح قرص کاملاً افقی شود.

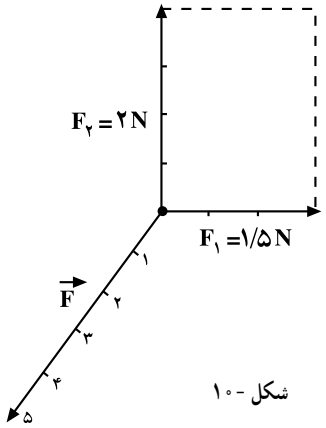
ـ جرم نگه‌دارنده وزنه‌ها راتعیین کنید.



ـ نگه‌دارنده وزنه‌ها را به حلقه‌های متصل به نخ‌ها آویزان کنید.

ـدو قرقره را درکنار میز آنقدر جابجا کنید تاراستای نخ دو قرقره، درراستای دو قطر عمود بر هم قرارگیرد. بر روی یکی از نگه‌دارنده‌ها آن قدر وزنه بگذارید تاوزن وزنه‌ها و نگه‌دارنده‌هایی که در برروی‌یکی از قرقره‌ها قرار دارد ۱/۵N و دیگری ۲N شود.

ـدرحالتی که دونیروی ۱/۵N و ۲N دردو راستای عمود برهم بر حلقه (جسم) وارد می‌شود، بر روی‌نگه‌دارنده سوم آن قدر وزنه قراردهید تابزرگی نیروی وزن ۲/۵N شود.



شکل - ۱۰

ـقرقره سوم را آن قدر جابجا کنید تا مرکز حلقه (جسم) در امتداد محور قرص مدرج قرار گیرد. دراین حالت دستگاه (یعنی حلقه میانی) در حال تعادل است به عبارت دیگر دراین حالت برآیندنیروهای وارد بر حلقه صفر است، با بیانی دیگر نیروی وزن در امتداد قرقره سوم در راستای برآیند دو نیروی $F_1 = 1/5N$ و $F_2 = 2N$ قرار دارد و در سوی مخالف با آن است.

ـ درحالت تعادل، می‌توان گفت $\left|\vec{F}_1 + \vec{F}_2\right| = \left|-\vec{F}\right|$ و $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = -\vec{F}$

ـ درهمین حالت F_1 و F_2 را نصف کنید تا نیروی وزن آن ۰/۷۵ و ۱ نیوتن شود.

از روی نگه‌دارنده سوم آن قدر وزنه بردارید تا بار دیگر تعادل برقرار شود. توجه کنید، وقتی تعادل برقرارمی‌شود که $F = 1/25N$ باشد. درحالت بعدی F_1 و F_2 را دو برابر کنید $F_1 = 3N$ و $F_2 = 4N$ در این حالت آن قدر بر روی نگه دارنده سوم وزنه بگذارید تا باردیگر تعادل برقرار شود . توجه کنید در این حالت حالت $F = 5N$ است.

ضمن انجام آزمایش جدول زیر را برای دو نیروی عمود بر هم کامل کنید.

جدول ـ ۱

$F_1(N)$						
$F_2(N)$						
$F(N)$ نیروی برآیند به روش تجربی						
$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}$ نیروی برآیند به روش تئوری						

ـ در حالی که راستای دو نخ بر هم عمود است، به جای F_1 و F_2 نیروهای دلخواه قرار دهید.

ـ بر روی نگه‌دارنده سوم آن قدر وزنه بگذارید تاتعادل برقرار شود. بزرگی این نیرو را در جدول یادداشت کنید.

با استفاده از جدول بزرگی F حاصل از آزمایش را با بزرگی $\sqrt{F_1^2+F_2^2}$ مقایسه کنید.

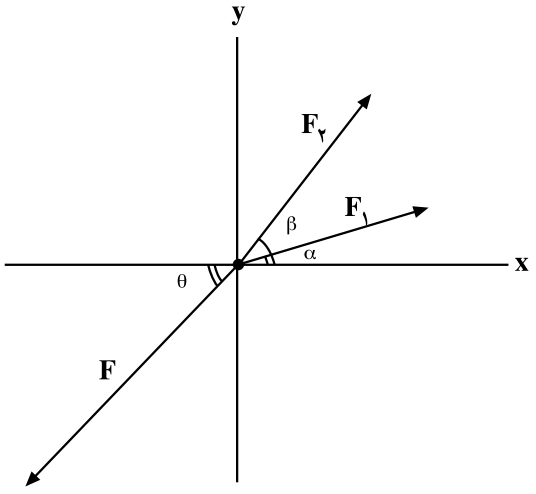
آزمایش ـ(۲)
تعیین برآیند دو نیروی متقاطع

دو قطرعمود بر هم قرص مدرج را به عنوان محور X ها و Yها در نظر بگیرید. به دو عدد از نگه‌دارنده‌های وزنه ، وزنه‌هایی آویزان کنید. نیروی وزن وزنه‌ها و نگه‌دارنده‌ها را F_1 و F_2 بنامید و آنها را یادداشت کنید. برروی نگه دارنده سوم آن قدر وزنه بگذارید تا تعادل برقرار شود (مرکز حلقه در امتداد محور قرص قرار گیرد).

بزرگی های نیروهای F_1 و F_2 و F وهم چنین زاویه بین این نیروها با محور X را در جدول ـ ۲ یادداشت کنید.

جدول ـ۲

F_1					
α					
$F_1 \cos\alpha$					
F_2					
β					
$F_2 \cos\beta$					
F					
θ					
$F \cos\theta$					
$F_1 \cos\alpha + F_2 \cos\beta$					
$\sqrt{(F_1 \cos\alpha)^2 + (F_2 \cos\beta)^2}$					



شکل -۱۱

$F\cos\theta$، یعنی بزرگی مولفه F را با مجموع بزرگی مؤلفه‌های F_1 و F_2 یعنی $F_1\cos\alpha + F_2\cos\beta$ مقایسه کنید.

- بزرگی F را با $\sqrt{(F_1\cos\alpha)^2 + (F_2\cos\beta)^2}$ مقایسه کنید.

- دراین مرحله بزرگی نیروهای F_1 و F_2 و زاویه آن بامحور Xها را مطابق جدول ـ ۳ انتخاب کنید و بزرگی F را از طریق آزمایش و با استفاده از رابطه نظری به دست آورید و آنها را باهم مقایسه کنید، حاصل آزمایش‌ها را درجدول ثبت کنید.

جدول ـ۳

شماره آزمایش	F_1 (g)	درجه α	F_2 (g)	درجه β	عملی F	عملی θ	نظری F	نظری θ
۱	۱۲۰	۰	۷۰	۴۵				
۲	۱۵۰	۸۰	۵۰	۲۰۰				
۳	۵۰	۵۰	۷۵	۲۲۰				
۴	۱۵۰	۱۲۰	۱۲۵	۳۵۰				
۵	۱۷۰	۳۰	۱۰۰	۳۰۰				

تعیین برآیند دو نیرو با زاویه‌های مشخص

آزمایش برای تعیین برآیند سه نیرو تکرار کنید و حاصل را در جدول ـ(۴) ثبت کنید.

جدول ـ۴

شماره آزمایش	F_1 (g)	α	F_2 (g)	β	F_3 (g)	γ	عملی F	عملی θ	نظری F	نظری θ
۱	۱۵۰	۰	۷۵	۸۰	۱۰۰	۲۰۰				
۲	۱۲۰	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۷۰	۲۵۰				
۳	۱۸۰	۵۰	۱۰۰	۱۷۰	۲۵۰	۲۹۰				
۴	۱۰۰	۷۰	۷۵	۱۷۰	۸۰	۳۰۰				
۵	۵۰	۰	۷۰	۷۰	۱۰۰	۳۰۰				
۶	۱۰۰	۳۰	۵۰	۱۲۰	۱۵۰	۲۷۰				
۷	۱۲۵	۴۵	۸۰	۱۸۰	۱۵۰	۳۳۰				

تعیین برآیند سه نیرو با زاویه‌های مشخص

آزمایش برای تعیین برآیند چهار نیرو، بانیروهاو زاویه‌های دلخواه تکرار کنید و حاصل را در جدول ـ(۵) ثبت کنید.

جدول ـ۵

شماره آزمایش	F_1 (g)	α	F_3 (g)	β	F_3 (g)	γ	F_4	φ	عملی F	عملی θ	نظری F	نظری θ
۱												
۲												
۳												
۴												

تعیین برآیند چهارنیرو با زاویه‌های دلخواه