فیزیک دانشگاهی

۱

ترجمه از متن

University Physics

تألیف:

F. W.SearsM.W.Zemansky

www.KetabFarsi.com

فیزیک دانشگاهی

از انتشارات دانشکده علم و صنعت ایران

۱

www.KetabFarsi.com

ترجمه ازمتن

University Physics

تألیف :

F. W. Sears M. W. Zemansky

مترجم
فضل الله فروتن

www.KetabFarsi.com

حق طبع محفوظ است

چاپ اول بتعداد ۳۰۰۰ جلد در شهریور ۱۳۴۹

چاپ دوم بتعداد ۲۰۰۰ جلـد در اسفند ۱۳۵۰

چاپ سوم بتعداد ۲۰۰۰ جلـد در آذر ماه ۱۳۵۳

در چاپخانه دانشکده علم و صنعت ایران به طبع رسیده

باید آنچنان سطح مؤسسات
آموزشی خود را بالا بریم که
بتوانند در کلیه شئون علمی و
فکری با آزموده ترین و
درخشان ترین مغز های عصر
خود برابری کنند.

از بیانات شاهنشاه آریامهر هنگام گشایش سومین کنفرانس
ارزشیابی انقلاب آموزشی ــ رامسر

www.KetabFarsi.com

www.KetabFarsi.com

پیش گفتار

گسترش علم و تعمیم فرهنگ همواره مورد علاقه خاص شاهنشاه آریامهر پادشاه دانش دوست‌مابوده وبرروی همین انگیزه مفاد انقلاب آموزشی پایه‌گذاری شده است. موقعی میتوان به پیشرفت انقلاب آموزشی امیدوار بود که اجرای آن بدست مربیان دانشمند، لایق ومومن واگذارگردد.

دانشکده علم و صنعت ایران برای تربیت کادری که بتواند این هدف بزرگ ومترقی را اجراء نماید بوجود آمده وبفرمان رهبربزرگ انقلاب توسعه بسزائی یافته است. جوانان پرشور وطن مانیز با الهام ازاین هدف بزرگ وانسانی هرروزبیشتر سوی این‌کانون فرهنگی روی آورده وبا فراگرفتن علم ودانش خود را آماده میکنند تا وظیفه بزرگی‌راکه اجتماع فردا به‌آنها واگزارمیکنند به‌بهترین وجهی انجام دهند.

همانطوریکه شاهنشاه دربیاناتشان درکنفرانس رامسرفرمودداند، «تعلیمات دیگر نمی‌تواند یك امر منجمد وغیر قابل انعطاف باشد بلکه هرروز درحال تغییر است، کتب درسی وعلمی هر دو سه سال عوض میشود». این وظیفه بر عهده ما دانشگاهیان واستادان میباشد.

میبایستی بموازات باپیشرفت صنعت مؤسسات آموزش عالی جدید ایجاد ومؤسسات آموزش عالی موجودگسترش وتوسعه یابد. وظیفه ما دانشگاهیان است که زندگی، آرزوها و ایده‌آلهای خـود را تماماً» در راه پیشرفت دانشگاهمان بگذرانیم. افرادیکه حاضر باینگونه فداکاریها میباشند میبایستی انتخاب نموده و بآنها مسئولیت داده شود. اگرچنانچه چنین افرادی را باید ازخارج بدست آورد میبایستی بدنبال آنها برویم و آنهارا بکار های دانشگاهی دعوت نمائیم. مسلماً با بکارگماردن افرادجدید دارای‌روحیه وفکرنو هستندمیتوان مؤسسه‌خودرا باتغییرات

زمان منطبق نموده وهمواره درجریان آخرین تحولات فکری وپیشرفتهای‌فرهنگی وعلمی جهان بود .

مسئله کتاب یکی‌ازمشکلات عموم دانش پژوهان کشورما میباشد. تمام کتب علمی که به زبانهای خارجی تألیف شده در اختیار دانشجویان نمی‌باشد . حداقل میبایستی کتب درسی ترجمه شده ودراختیارعموم‌قرارگیرد. دانشکده علم و صنعت ایران داردکه با تأسیس چاپخانه مجهز ونشر کتابهای علمی و فنی جدید قدمهای مفیدی در راه به ثمر رسانیدن هدفهای عالی خود بردارد.

من خوشحالم که همکار ارجمندم آقای‌فضل‌اله فروتن‌باردیگر اقدام به ترجمه یك کتاب بسیار سودمند دردوجلدنموده ودراختیار دانشجویان قرار داده‌اند ترجمه کتاب«فیزیك دانشگاهی»راکه اکنون دربسیاری از دانشگاههای داخلی و خارجی تدریس‌میشود میتوان نمونه‌ای‌ازخدمات شایسته آقای فروتن‌درراه پیشرفت‌مطالب آموزشی دانست. امید است همانطوریکه ترجمه اولین کتاب فیزیك‌ایشان باموفقیت توأم بوده فیزیك دانشگاهی نیزمفیدتر باشد .

دانشکده علم و صنعت ایران باردیگر از آقای فضل‌اله فروتن که باصرف اوقات باارزش شبانه روزی خود توانسته‌اند چنین کتاب سودمندی را دراختیاردانش پژوهان قرار دهند صمیمانه تشکر مینماید و از خدای بزرگ موفقیت بیشترایشان را در راه بشر رسانیدن منویات پدر تاجدارمان آرزو مینماید.

رئیس دانشکده علم و صنعت ایران

مرتضی میرشمسی

مقدمه مترجم

مؤلفان ، این کتاب‌را «برای دانشجویان فنی‌وعلوم که درحال گذرانیدن درس ریاضیات هستند» تألیف کرده‌اند. چون تألیف یك کتاب ـ هر گاه بمفهوم واقعی کلمه صورت گیرد ـ مستلزم صرف‌وقت زیاداست ومعلوم نیست آنچه پس‌از زحمات فراوان بدست میآید ، لااقل در ردیف کتاب های موجود درسی قرار گیرد ، لذا گروه مدرسین فیزیك دانشکده علم و صنعت ایران کتاب فیزیك دانشگاهی تألیف آقایان Sears و Zemansky را بعنوان کتاب درسی انتخاب کرده تصمیم گرفت که ترجمه فارسی آنرا در اختیار دانشجویان قرار دهد و کار ترجمه نیز باینجانب محول شد . من نیز در حد استطاعت کوشش کردم که ترجمه دردرجه اول برای یك دانشجوی‌فارسی زبان قابل فهم‌باشد. مطالب کتاب طوری تهیه وتنظیم شده است که هرخواننده علاقه‌مند بتواندآنرا بدون احتیاج (یا احتیاج فراوان) به‌معلم بفهمد و مسائل‌آن را حل کند . کتاب شامل مطالبی است که فراگرفتن آن برای دانشجویانی که بخواهند دریکی ازرشته‌های علمی یافنی، تحصیلات خودرا ادامه دهندلازم وکافی‌است. فهم مطالب‌آن محتاج به اطلاعات ریاضی زیاد نیست وسعی براین بوده‌است که مفاهیم‌فیزیکی‌را قبل ازاثبات واستدلال‌ریاضی‌آن درذهن دانشجویان‌جایگزین کنند. همه این‌محاسن باعث شده است که این کتاب دراکثر دانشگاهها‌ومدارس عالیه بعنوان کتاب درسی انتخاب شود.

در ترجمه کتاب ، سعی براین بوده است که مطالب عیناً با همان بیان مؤلفین بفارسی برگردانیده شود و چون دانشجویان ایرانی با دستگاه آحاد انگلیسی چندان آشنائی ندارند ، فقط اعداد بعضی از مسائل که در دستگاه انگلیسی بیان شده‌است باعداد معادل‌آن دردستگاه متریك تبدیل شده‌است تااز این حیث نیز اشکالی پیش نیاید .

از کلیه اساتید ودانشجویان عزیزی که این کتاب را مطالعه میفرمایند تقاضا دارم چنانچه ابهام یاخطائی درترجمه کتاب مشاهده فرمودند ازتذکر آن مضایقه نفرمایند تادربهبودآن درچاپهای بعد سهیم باشند .

درخاتمه باید مراتب سپاسگذاری خودرا ازجناب آقای دکترمیرشمسی است محترم دانشکده علم و صنعت ایران که‌مشوق من درترجمه این کتاب بوده وتسهیلات لازم را درامرچاپ وانتشارآن فراهم‌نمودند ابرازدارم .

از مسئولین وکارکنان چاپ دانشکده علم و صنعت ایران وکلیه کارکنان کلیشه سازی جواهری که درتهیه کتاب سهم بسزائی دارندکمال امتنان رادارم و توفیق همهٔ آنهارا درخدمات بهتر وارزنده‌تر آرزومندم .

مهرماه ۱۳۴۹
فضل‌الله فروتن

www.KetabFarsi.com

فهرست مندرجات

فصل اول

تجزیه و ترکیب برداری

عنوان	صفحه
۱ـ۱ ، بی‌تعریف‌های اساسی مکانیك	۱
۱ـ۲ ، آحاد و مقیاس	۱
۱ـ۳ ، علائم برای کمیات فیزیکی	۶
۱ـ۴ ، نیرو	۶
۱ـ۵ ، نمایش ترسیمی نیروها ، بردارها	۸
۱ـ۶ ، جمع برداری ـ برآیند بردارها	۹
۱ـ۷ ، برآیند نیروهای موازی و متقابل	۱۳
۱ـ۸ ، مؤلفه‌های یك بردار	۱۴
۱ـ۹ ، پیدا کردن برآیند از طریق تجزیه نیروها به مؤلفه‌های متعامد	۱۶
۱ـ۱۰ ، تفاضل برداری	۱۹
نکاتی چند درباره حل مسائل	۲۰
مسائل	۲۲

فصل دوم

تعادل نقطه مادی

۲ـ۱ ، مقدمه	۲۵
۲ـ۲ ، تعادل، اصل اول نیوتون	۲۵
۲ـ۳ ، بحث درباره اصل اول نیوتون	۲۸
۲ـ۴ ، تعادل پایدار، ناپایدار و بی‌تفاوت	۳۰
۲ـ۵ ، اصل سوم نیوتون درباره حرکت	۳۱
۲ـ۶ ، تعادل نقطه مادی	۳۳
۲ـ۷ ، اصطکاك	۴۲
مسائل	۴۹

فصل سوم

تعادل جسم صلب

۳ـ۱ ، گشتاور نیرو	۵۶
۳ـ۲ ، حاصلضرب برداری ـ گشتاور برداری	۶۰
۳ـ۳ ، شرط دوم تعادل	۶۱
۳ـ۴ ، برآیند نیروهای موازی	۶۶
۳ـ۵ ، مرکز ثقل	۶۸
۳ـ۶ ، زوج نیرو	۷۱
مسائل	۷۳

فصل چهارم

حرکت مستقیم الخط ـ نسبیت خاص

۴ـ۱ ، حرکت	۸۰
۴ـ۲ ، سرعت متوسط	۸۰
۴ـ۳ ، سرعت لحظه‌ای	۸۲
۴ـ۴ ، شتاب متوسط و لحظه‌ای	۸۵
۴ـ۵ ، محاسبه سرعت و مسافت از طریق انتگرالسیون	۸۸
۴ـ۶ ، حرکت متشابه التغییر	۹۲

عنوان	صفحه
۱ـ۷ ، سقوط آزاد	۹۵
۴ـ۸ ، حرکت مستقیم الخط با شتاب متغیر	۹۹
۴ـ۹ ، سرعت نسبی	۱۰۱
۴ـ۱۰ ، نمایش ترسیمی حوادث نسبت بدستگاههای متحرک	۱۰۶
۴ـ۱۱ ، ترانسفور ماسیون لورنس اینشتین	۱۱۰
مسائل	۱۱۶
فصل پنجم	
قانون دوم نیوتون ـ جاذبه	
۵ـ۱ ، مقدمه	۱۲۵
۵ـ۲ ، قانون دوم نیوتون ـ جرم	۱۲۵
۵ـ۳ ، دستگاه آحاد	۱۲۸
۵ـ۴ ، قانون جاذبه عمومی نیوتون	۱۳۰
۵ـ۵ ، جرم و وزن	۱۳۳
۵ـ۶ ، موارد استفاده از قانون دوم نیوتون	۱۳۶
مسائل	۱۴۹
فصل ششم	
حرکت در صفحه	
۶ـ۱ ، حرکت در صفحه	۱۵۸
۶ـ۲ ، سرعت متوسط و لحظه‌ای	۱۵۹
۶ـ۳ ، شتاب متوسط و لحظه‌ای	۱۶۰
۶ـ۴ ، مؤلفه‌های شتاب	۱۶۱
۶ـ۵ ، حرکت پرتابه	۱۶۴
۶ـ۶ ، حرکت دورانی	۱۷۱
۶ـ۷ ، نیروی جاذبه مرکزی	۱۷۵
۶ـ۸ ، دوران در صفحه قائم	۱۷۹
۶ـ۹ ، حرکت ماهواره	۱۸۴

عنوان	صفحه
۶ـ۱۰ ، اثر گردش زمین در اندازه g	۱۸۸
مسائل	۱۹۱
فصل هفتم	
کار و انرژی	
۷ـ۱ ، مقدمه	۱۹۹
۷ـ۲ ، کار	۲۰۰
۷ـ۳ ، انرژی جنبشی	۲۰۵
۷ـ۴ ، انرژی پتانسیل ثقلی	۲۰۶
۷ـ۵ ، انرژی پتانسیل الاستیکی	۲۱۶
۷ـ۶ ، نیروهای تلف کننده و ذخیره کننده انرژی	۲۱۸
۷ـ۷ ، کار داخلی	۲۱۹
۷ـ۸ ، انرژی پتانسیل داخلی	۲۲۰
۷ـ۹ ، توان	۲۲۳
۷ـ۱۰ ، توان و سرعت	۲۲۴
مسائل	۲۲۵
فصل هشتم	
اندازه حرکت و ضربه	
۸ـ۱ ، اندازه حرکت و ضربه	۲۳۴
۸ـ۲ ، اصل بقاء اندازه حرکت خطی	۲۳۹
۸ـ۳ ، برخورد الاستیک و غیر الاستیک	۲۴۱
۸ـ۴ ، برخوردهای غیر الاستیک	۲۴۲
۸ـ۵ ، برخورد الاستیک	۲۴۵
۸ـ۶ ، برگشت (Recoil)	۲۴۷
۸ـ۷ ، اساس کار راکت	۲۵۰
۸ـ۸ ، اثر تغییر جرم نسبت به سرعت	۲۵۱
۸ـ۹ ، جرم و سرعت	۲۵۶
۸ـ۱۰ ، رابطه نیرو و شتاب در نسبیت	۲۶۰

عنوان	صفحه
۸–۱۱ ، جرم طولی و عرضی	۲۶۳
مسائل	۲۶۴
فصل نهم	
دوران	
۹–۱ ، مقدمه	۲۷۴
۹–۲ ، سرعت زاویه‌ای	۲۷۴
۹–۳ ، شتاب زاویه‌ای	۲۷۶
۹–۴ ، دوران باشتاب زاویه‌ای‌متغیر	۲۷۷
۹–۵ ، دوران باشتاب زاویه‌ای ثابت	۲۷۸
۹–۶ ، رابطه بین شتاب‌وسرعت زاویه‌ای وخطی	۲۸۰
۹–۷ ، گشتاور وشتاب زاویه‌ای . ممان دینرسی	۲۸۲
۹–۸ ، محاسبه ممان دینرسی	۲۸۶
۹–۹ ، انرژی جنبشی‌کار، توان	۲۹۲
۹–۱۰ ، اندازه حرکت زاویه‌ای (ممان سینتیك)	۲۹۵
۹–۱۱ ، دوران حول محور متحرك ، فرفره و ژیروسکوپ	۳۰۱
مسائل	۳۰۶
فصل دهم	
الاستیسیته	
۱۰–۱ ، تنش Stress	۳۱۸

عنوان	صفحه
۱۰–۲ ، تغییر بعد نسبی Strain	۳۲۲
۱۰–۳ ، الاستیسیته وپلاستیسیته	۳۲۴
۱۰–۴ ، مدول‌های الاستیکی	۳۲۵
۱۰–۵ ، ضریب سختی	۳۲۰
مسائل	۳۳۱
فصل یازدهم	
حرکت نوسانی	
۱۱–۱ ، مقدمه	۳۳۴
۱۱–۲ ، نیروهای الاستیکی برگشتی	۳۳۴
۱۱–۳ ، تعاریف	۳۳۵
۱۱–۴ ، معادلات حرکت نوسانی‌ساده	۳۳۶
۱۱–۵ ، حرکت جسمی که بفنرمارپیچی آویزان است	۳۴۵
۱۱–۶ ، پاندول ساده	۳۴۸
۱۱–۷ ، تصاویر Lissajous	۳۴۹
۱۱–۸ ، حرکت نوسان زاویه‌ای	۳۵۱
۱۱–۹ ، پاندول فیزیکی	۳۵۳
۱۱–۱۰ ، مرکز نوسان	۳۵۴
مسائل	۳۵۷
خطوط مثلثاتی بین ۰و۹۰°	۳۶۴
لگاریتم اعشاری اعداد	۳۶۵
» » »	۳۶۶
جدول تناوبی عناصر	۳۶۷
مقادیر ثابت اساسی	۳۶۸

www.KetabFarsi.com

www.KetabFarsi.com

فصل اول

تجزیه و ترکیب برداری

۱ـ۱ ، بی‌تعریف های اساسی مکانیك

فیزیك را علم اندازه گیری نام‌نهاده‌اند، لرد کلوین (۱۸۲۴ـ۱۹۰۷) دراین باره میگوید : « بعقیده من وقتی شما بتوانید آنچه راکه درباره‌آن بحث میکنید اندازه بگیرید وآنرا برحسب اعداد بیان کنید درباره آن چیزی میدانید ولی اگر نتوانید آنرا برحسب اعداد بیان کنید ممکن‌است در مراحل اولیه درك موضوع باشید ولی اطلاعات شما درباره آن مبهم وناقص است ودرسطح علمی نیست ».

تعیین یك کمیت در فیزیك مستلزم دانستن قواعدی است که کمیت مذکور را بتوان برحسب کمیات دیگر تعیین ومشخص نمود . مثلا کمیت اندازه حرکت **momentum** برابر با حاصلضرب جرم در سرعت است. بنابراین اندازه حرکت را بدینطریق اندازه میگیرند که جرم وسرعت را تعیین نموده درهم ضرب میکنند. سرعت هرجسم خارج‌قسمت مسافت طی‌شده توسط جسم بر زمان طی مسافت است . اما کمیت طول وزمان را نمی‌توان برحسب کمیت های دیگر بیان‌نمود. بنابراین طول وجرم را بی‌تعریف های اساسی مکانیك مینامند قبلا نیرو (وبعبارت دیگر وزن) را بجای جرم بعنوان بی تعریف سوم انتخاب میکردند ولی ماجرم را بعنوان بی‌تعریف سوم انتخاب میکنیم.

بی‌تعریف اساسی هندسه نقطه است و هر ریاضی دانی‌که هندسه را میآموزد باید قبل ازهرچیز تصوری از نقطه را در ذهن خود بوجود آورد وتصور وی ازنقطه باید تصوری منطقی وصحیح باشد. اما درفیزیك چنین نیست وطرز اندازه گیری بی تعریف هائی را که پایه واساس این علم هستند کمیسیون بین‌المللی مرکب ازدانشمندان کشورهای مختلف معین ومشخص میکنند . طرز اندازه گیری بی‌تعریف ها جانشین تعریف‌آنها میشود .

۱ـ۲ ، آحادومقیاس

قواعد اندازه گیری کمیت های اصلی را کنفرانس عمومی اوزان ومقیاسات که همه

کشورهای بزرگ بآن هیئت‌های نمایندگی میفرستند تعیین میکند . یکی از وظائف اصلی این کنفرانس تعیین مقیاس برای هریك از بی‌تعریف ها است . ممکن است این مقیاس یك شئی مشخص باشدکه عمده ترین خاصیت آن **دوام و بقاء** آن است (**durability**) بنابراین درسال ۱۸۸۹ باین دلیل متر بین‌المللی‌را از پلاتین ایریدیوم ساختندکه **تسود** میرفت ترکیب شیمیائی‌آن ثابت است. هرگاه این میله را از شیشه میساختند با مرورزمان طول آن تغییر میکرد زیرا تبلور شیشه پس از مدتی بنحو خاصی تغییر میکند . با اینکه ترکیب شیمیائی آلیاژپلاتین ایریدیوم ثابت‌است معذالك مشکلاتی در راه‌ساختن نمونه های متعدد برای کشور های صنعتی بزرگ و مقایسه آن بانمونه اصلی و نیز مشکلات دیگری وجود داشت .

جدول ۱-۱

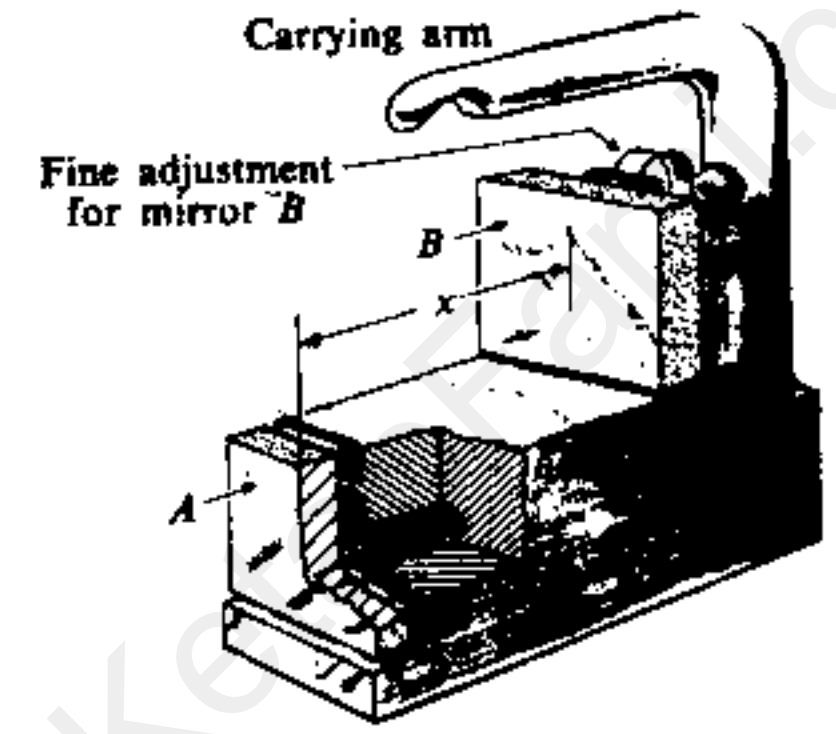
آحاد ومقیاسات مصوبهٔ ۱۹۶۳

واحد	وسیله استفاده از مقیاس در اندازه‌گیری	مقیاس	کمیت
۱،۶۵۰،۷۶۳/۷۳ = یك‌متر طول موج	اترفرومتر اپتیکی	طول موج نورنارنجی کریپتون ۸۶	طول
۹۱۹۲۶۳۱۱۷۰ = یك‌ثانیه برابر زمان ارتعاش اتم‌سزیوم	ساعت اتمی	زمان تناوب اشعه‌ای که از $Cs_{۱۳۳}$ خارج میشود .	زمان
یك‌کیلوگرم	ترازو	استوانه پلاتین‌ایریدیوم برابر یك‌کیلوگرم	جرم

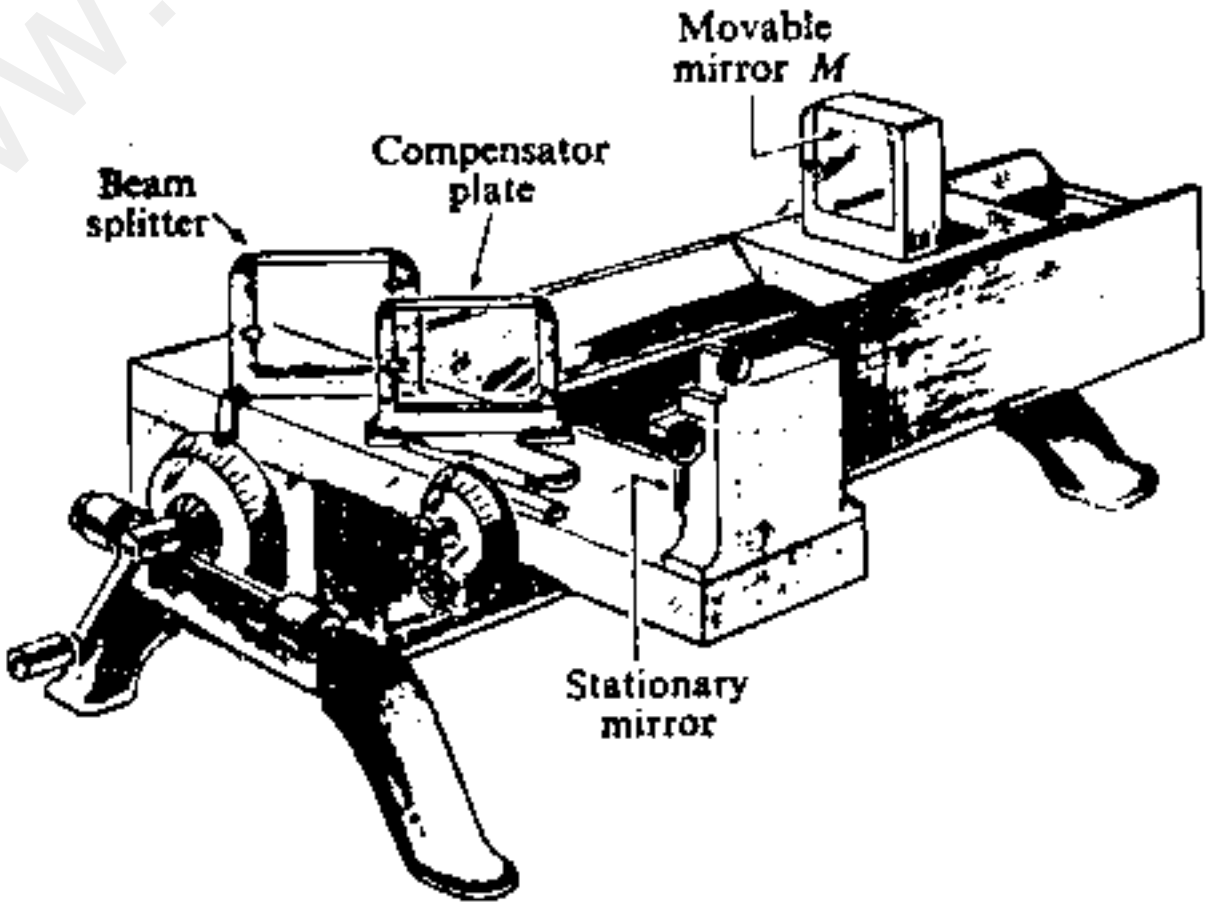
درچهاردهم‌اکتبر ۱۹۶۰ کنفرانس‌بین‌المللی اوزان ومقیاسات پایای اتمی مشخصی‌را بعنوان مقیاس طول تعیین نمود. این‌مقیاس، طول موج نورنارنجی‌حاصل ازتخلیه‌الکتریکی درون لوله‌ایست‌که ازکریپتون ۸۶ (ازگازهای نادر) با فشار کم پرشده باشد . مقیاس جرم ، جرم استوانه‌ایست‌که ازپلاتین ایریدیوم‌که برابر یك کیلوگرم جرم انتخاب شده است. این استوانه درموزه بین‌المللی‌اوزان ومقیاسات در Sèvres حفظ میشود. قبل‌ازسال ۱۹۶۰ مقیاس زمان، روز متوسط شمسی‌بود. روز متوسط شمسی میانگین روزهای یك سال شمسی، است. سپس تامدتی مقیاس زمان سال شمسی ۱۹۰۰ بود. سال شمسی مذکورعبارتست

از فاصله زمانی دوعبور متوالی خورشید ازنقطه اعتدال ربیعی از آغازتاانجام سال ۱۹۰۰ میلادی‌است. وبتصویب سیزدهمین کنفرانس‌بین‌المللی اوزان ومقیاسات منعقده درسال۱۹۶۷ زمان نوسان هسته سزیوم رادیو اکتیو ($Cs_{۱۳۳}$) را بعنوان مقیاس زمان انتخاب کردند و هرثانیه برابراست با ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ برابر زمان نوسان هسته اتم مذکور . وسیله سنجش ، ساعت‌اتمی سزیوم است‌که دقت عمل آن $۱۰^{-۱۲}$ ثانیه است یعنی خطای احتمالی در حدود یك ثانیه درسی هزار سال در اندازه‌گیری باآن وجود دارد . هرسه مقیاس در جدول ۱–۱ ثبت شده است.

پس ازانتخاب مقیاس باید نخست دستگاهی تعبیه شود تابتوان باآن و باروش خاصی این مقیاس راباکمیت نامعلومی مقایسه نمود فرض‌کنید بخواهیم x دوآینه **BوA** دستگاهی راکه درشکل(۱–a۱) نشان‌داده شده واتالون (**Etalon**) نامیده‌میشود با مقیاس، مقایسه



(a)



(b)

شکل ۱–۱ (a) اتالون (b) اینترفرومترمایکل سن برای اندازه‌گیری فاصله x برحسب طول موج نور

کنیم. برای اینکه بتوانیم تعیین کنیم چند طول‌موج نورنارنجی کریپتون ۸۶ درفاصله x جای میگیرد بدستگاهی بنام انترفرومتراپتیکی Optical intertfrometer نیازمندیم. یك نمونه از این دستگاه که توسط مایکل سن Michelson ساخته شده است در شکل ۱-b۱ نشان داده شده است. آینه متحرك M از انترفرومتررا باآینه A ازاتالون منطبق میکنیم. بتدریج M را جابجا میکنیم تاباآینه B منطبق شود. درحین جابجائیM خطوط تاریك وروشن ازمقابل رتیکول دستگاه عبور میکند (این‌خطوط را فرانژ مینامند) عبور هرفرانژ از مقابل رتیکول بدین معنی است که آینه M باندازه نیم طول موج جابجا شده است. باشمارش فرانژهادرطول‌مدتیکه M از A به B میرسد فاصله A وB را ازیکدیگر معین میکنندوبدین ترتیب معلوم میشودکـه هرمتر برابراست با ۱۶۵۰۷۶۳/۷۳ برابر طول موج نور نارنجی کریپتون ۸۶ .

سایر واحدهای طول که درفیزیك معمول هستند ازاینقرارند :

۱ Angetrom = ۱A = ۱۰$^{-۱۰}$m (مورد استفاده درسپکتروسکپی)

۱ nanometer = ۱nm = ۱۰$^{-۹}$m (مورد استفاده دراپتیك)

۱ micron = ۱μ = ۱۰$^{-۶}$m (مورد استفاده دربیولوژی)

۱ millimeter = ۱mm = ۱۰$^{-۳}$m
۱ centimeter = ۱cm = ۱۰$^{-۲}$m } (مورد استفاده‌دراغلب‌موارد)

۱ Kilometer = ۱Km = ۱۰^{۳} m واحد معمولی درسنجش‌فواصل.

درکشور های متحده آمریکا و کشور های مشترك المنافع بریتانیا واحد های طول عبارتند از :

۱ inch = ۱in = } طول موج کریپتون ۴۱۹۲۹/۳۹۹
۲/۵۴ cm

۱ foot = ۱ft = ۱۲in

۱ yard = ۱yd = ۳ft

۱ mile = ۱mi = ۵۲۸۰ft

مقیاس زمان، چنانکه گفته شد ، زمان تناوب ارتعاش هسته سزیوم رادیواکتیواست. ساعت اتمی وسیله‌ایست که تعیین میکند هرثانیه چند برابرزمان تناوب اشعه مذکورمیباشد.

بنابراین ثانیه برابر ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ زمان نوسان اتم سزیوم میباشد .

جدول ۱ـ۲

پیشوندهای توانهای ده

توان ۱۰	۱۰-۱۲	۱۰-۹	۱۰-۶	۱۰-۳	۱۰-۲	۱۰۳	۱۰۶	۱۰۹	۱۰۱۲
پیشوند	pico	nano	micro	milli	centi	kilo	mega	giga	tera
علامت اختصاری	p	n	μ	m	C	K	M	G	T

واحدهای معمولی زمان عبارتند از :

۱ nanosecond = ۱ nsec = $۱۰^{-۹}$ sec

۱ microsecond = ۱ μsec = $۱۰^{-۶}$ sec

۱ millisecond = ۱ msec = $۱۰^{-۳}$ sec

۱ minute (دقیقه) = ۱ min = ۶۰ sec

۱ hour (ساعت) = ۱ hr = ۳۶۰۰ sec

۱ day (روز یاشبانروز) = ۸۶۴۰۰ sec

اسبابی که با آن واحدجرم یعنی کیلوگرم را باجزاءآن تقسیم میکنند ترازوست که در فصل پنجم درباره آن بحث خواهد شد واحدهای متداول جرم عبارتند از:

۱ microgram = ۱ μgm = $۱۰^{-۹}$ kgm

۱ milligram = ۱ mgm = $۱۰^{-۶}$ kgm

۱ gram = ۱ gm = $۱۰^{-۳}$ kgm

۱ pound mass = ۱ lbm = ۰/۴۵۳۵۹۲۳۷ kgm

درجدول ۲ـ۱ پیشوند های اضعاف و اجزاء اعشاری آحاد ثبت شده است (giga را بخوانید جیگا)

۱ـ۳ ، علائم برای کمیات فیزیکی

کمیات فیزیکی را با علائم خاصی مشخص میکنند. این علائم نظیر F و P و v بجای اندازه وهم واحد کمیت قرارمیگیرند. مثلا F نیروی ۱۰lb و P فشار $۱۵lb/ft^۲$ و v سرعت ۱۵ft/sec را مشخص میکند .

وقتی مینویسیم :

$$x = v_۰t + \frac{۱}{۲}at^۲$$

چنانکه x برحسب فوت باشد باید $v_۰t$ و $\frac{۱}{۲}at^۲$ نیز برحسب فوت باشند هرگاه واحد زمان ثانیه باشد $v_۰$ باید برحسب ft/sec و a برحسب $ft/sec^۲$ باشد دراینصورت معادله بالا بصورت زیر درمیآید :

$$x = ۱۰ft/sec \times ۱۰sec + \frac{۱}{۲} \times ۴ft/sec^۲ \times ۱۰۰sec^۲$$

پس ازحذف ثانیه درجزء سمت چپ و $sec^۲$ درجزء سمت راست مقدار x چنین بدست میآید:

$$x = ۱۰۰ft + ۲۰۰ft = ۳۰۰ft$$

بهتر است کلیه دانشجویان مبتدی در محاسبات خود همراه با اعداد ، واحدها را نیز نوشته محاسبات را برروی آنها نیز انجام دهند در حل مثالهای عددی در این کتاب این دستور رعایت شده است .

۱ـ۴ ، نیرو

مکانیك رشته‌ای ازعلوم است که درباره حرکت اجسام مادی و نیروهائی که بوجود آورنده این حرکات هستند بحث میکند . ازآنجاکه شروع بحث در باره حرکت محتاج باطلاعات مقدماتی ریاضی است که ممکن است دانشجویان هنوز بطور کامل آنرافرانگرفته باشند ما نیز بحث خود را بانیرو شروع کرده و بحث دربساره حرکت را به فصل چهارم موکول مینمائیم .

وقتی جسمی را بطرف خود **میکشیم** یا آنرا **میرانیم** برآن نیروئی وارد میآوریم . ممکن است نیرو توسط اجسام بیجان برجسمی وارد شوند . فنری که کشیده یا متراکم شده است براجسام دیگر نیرو وارد میکند.هوای متراکم، برجدار ظرف خود نیرووارده‌میآورد.

مهمترین نیروئی که همه ماازوجودآن آگاه هستیم نیروی جاذبه است که ازطرف زمین بر هرجسم که دراطراف آن قراردارددواردمیشود. این نیرورا وزن جسم مینامند. اثر نیروهای جاذبه نیوتونی ، جاذبه مغناطیسی و جاذبه الکتریکی ازخلاء نیزعبورکرده باجسام وارد میشود وبنابراین لازم نیست تماس بین دوجسم برقرار باشد تانیروهای مذکور مؤثر واقع شوند ونیروهای مذکوربانیروهای وارده ازفنر وانسان وحیوان وغیره براجسام، ازاینجهت بخصوص متفاوت‌اند.

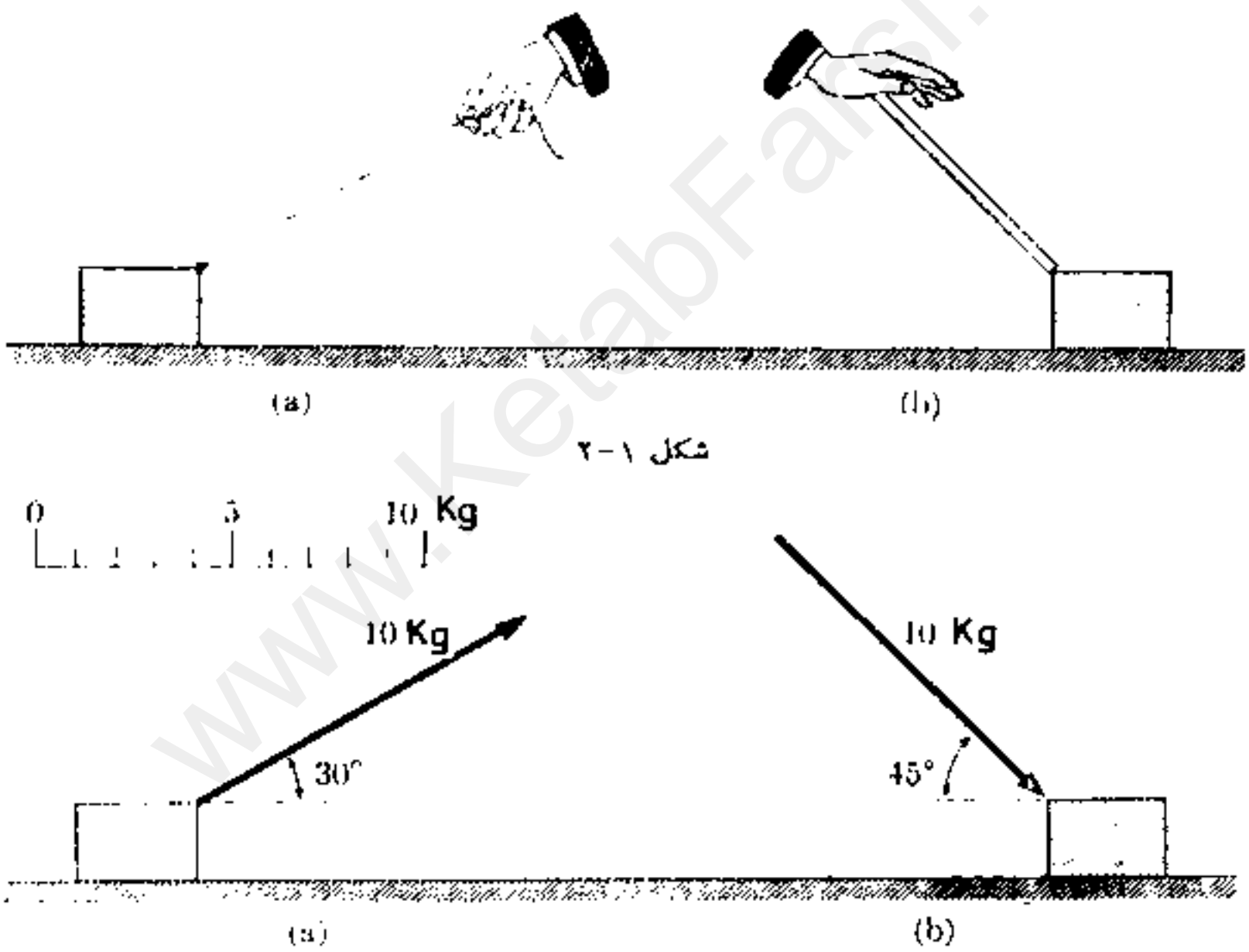
ما هنوز دروضعی نیستیم که واحد نیرو را برحسب واحد های جرم و شتاب تعریف کنیم. درفصل پنجم دراین باره بتفصیل صحبت خواهیم کرد . فعلا نیروئی راکه زمین در محل معینی بریك پوند جرم (یایك کیلوگرم جرم) وارد میکند یك پوند نیرو (یا یك کیلوگرم نیرو)مینامیم . چون اثر جاذبه زمین درنقاط مختلف بر یك جسم معین متفاوت است ازاین جهت لازم است کیلوگرم‌نیرورا اثرجاذبه زمین برجرم یك کیلوگرم درنقطه مشخصی فرض نمود. اما هرگاه دقت زیاد مورد نظر نباشد میتوان نیروی جاذبه مؤثر بر یك‌کیلوگرم جرم را درهرنقطه دلخواه اززمین در عرض جغرافیائی ۴۵° کیلوگرم نیرو نامید. هرپوند نیرو تقریباً ۰/۴۵۴ کیلوگرم نیرو است.

برای مقایسه یك نیروی مجهول باواحد نیرو (پوند نیرو یاکیلوگرم نیرو) باید ازیکی ازاثرات نیرو براجسام استفاده شود . یکی ازاین اثرات تغییر ابعاد یاتغییرشکلی است که نیرو دراجسام قابل ارتجاع ایجاد میکند. اثر دیگر تغییری است که نیروددرسرعت اجسام متحرك ایجاد میکند. ازهردو اثرمذکور دراندازه‌گیری نیرو استفاده میشود . فعلا ما فقط ازاثر اول استفاده کرده، نحوه استفاده از اثر دوم را به‌فصل پنجم‌موکول مینمائیم .

نیرو سنج فنری رایج ترین اسباب اندازه‌گیری نیرو است . این نیرو سنج تشکیل شده است ازیك فنر مارپیچی که درون جعبه‌ای قراردارد. ویك طرف این‌فنرثابت وبانتهای دیگر آن قلابی وصل است که میتوان بآن باری آویزان نمود یانیروئی وارد آورد. بهمین انتهای متحرك عقربه‌ای وصل است که با حرکت در مقابل درجات، وزن‌جسمی را که آویزان است یانیروئی راکه برقلاب اثر کرده است مشخص‌میکند. فرض کنیم درعرض ۴۵° بچنین نیرو سنجی یك وزنه یك پوندی آویزان کنیم هرجا عقربه ایستاد عدد یك پوند را روی نیروسنج یاد داشت میکنیم . این عمل را برای وزنه های دو و سه و ... پوند تکرار میکنیم بدین ترتیب نیرو سنج مدرج میشود. دراین نحوه مدرج کردن، ازخواص ارتجاعی فنر هیچ بحثی بمیان نیامده است و تنها فرض براین‌است که فنرتحت تأثیر نیروهایی مساوی تغییر طول مساوی پیدا میکند. نیروسنجی که بدین ترتیب مدرج شده است میتواند در اندازه‌گیری نیروهای مجهول مورد استفاده قرار گیرد .

۱ـ۵ ، نمایش ترسیمی نیروها ـ بردارها

فرض‌کنیم بخواهیم بکمك یك طناب صندوقی را روی زمین بکشیم یا بکمك یك میله آنرا روی زمین برانیم. (شکل ۱ـ۲) دراین دوصورت برای جابجا کردن صندوق برآن نیرو واردکرده‌ایم . منظور ازبیان این مثال این است آنچه باعث جابجائی صندوق میشود دست شخص نیست بلکه نیروئی است‌که ازطرف دست شخص برصندوق وارد میشود . واضح است‌که برای مشخص‌کردن نیرو تنها کافی نیست بگوئیم نیروی ۱۰kgf برآن اثر کرده است . هرگاه بگوئیم نیروی ۱۰kgf تحت زاویه ۴۵° بالای افق و بطرف راست برجسم اثر میکند نیرو مشخص شده است. اما همه این تعاریف را بآسانی میتوان در نشان دادن نیرو بایك سهم (خط جهت‌دار) خلاصه نمود. طول خط متناسب باانداره نیرو امتدادآن منطبق برامتداد اثر نیرو وجهتی‌که روی خط نشان داده میشود منطبق برجهت تأثیرنیرو اختیار می‌شود .



شکل ۱ـ۲

شکل ۱ـ۳

شکل ۱ـ۳ نمایش ترسیمی نیروهای وارد برصندوقی است‌که درشکل ۱ـ۲ نشانداده شده است. نیروتنهاکمیت فیزیکی دارای امتدادوجهت ومقدار نیست. سرعت یك جسم‌متحرك مثلا یك هواپیما نیز دارای امتداد مشخص، جهت معین واندازه معلوم است. وقتی میگوئیم هواپیمائی با سرعت ۳۰۰ میل برساعت درحرکت است‌لازم است امتداد وجهت حرکت نیز معلوم باشد . اماحجم یك جسم فقط بایك عدد مشخص میشود ودارای امتداد وجهت نیست.

کمیاتی نظیر حجم را که فقط بایک‌عدد مشخص میشوند کمیت عددی یاScalarمینامند آندسته ازکمیات راکه برای مشخص کردن آنها بیان سه مشخصه امتداد ، جهت ومقدارلازم است کمیت برداری یا Vector quantity مینامند .

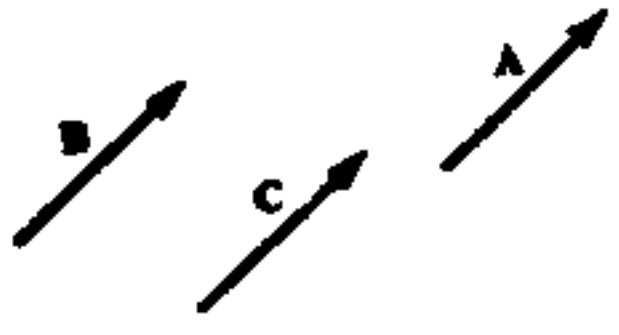
بعضی ازکمیت های برداری که نیرونیزیکی ازآنهاست تنها بابیان سه مشخصه‌مذکور مشخص نمیشوند بلکه‌باید مشخصه چهارمی که درمورد نیرو **نقطه اثر** نامیده میشود نیز بیان گردد . ممکن است بجای نقطه اثرنیرو **خط‌اثر** آن معین گردد . (خط اثریك نیرو خط نامحدودی است که امتداد نیروجزئی از آن میباشد). مثلا وقتی نیروی معینی بریك درب وارد میشود اثرآن (دربازکردن یا بستن درب) تابع فاصله نقطه اثر نیرو از لـولاست . هرگاه جسمی که تحت تأثیر نیرو قرار دارد قابلیت تغییرشکل داشته‌باشد ـ چنانکه تمام اجسام کم یا بیش این خاصیت را دارا هستند ـ نقطه اثر نیرو در نحوه تغییر شکل مؤثـر است . اما چون تغییرشکل اغلب اجسام دراثرنیروهای نسبتاًزیاد چندان قابل ملاحظه‌نیست درحال حاضر فرض میکنیم که کلیه اجسام مورد بحث ما صلب کامل هستند . دراین‌حال میتوان‌نقطه اثر نیروراامتداد خط اثر بدلخواه جابجاکرد بدون اینکه درنحوه اثرنیرو تغییری حاصل شود . پس نیروی مؤثر بریك جسم صلب را میتوان مؤثر بر هرنقطه واقع برخط اثر نیرو دانست .

هرگاه کمیت برداری را باحرف سیاه نشان دهیم معرف این است که‌باید به‌برداری بودن آن توجه شود ولی اگرهمین کمیت را باحرف معمولی نشان دهند منظور فقط بیان اندازه آن است مثلا **F** معرف بردار نیرو و F معرف اندازه نیرواست .

۱ـ۶ ، جمع برداری ـ برآیند بردارها

علم حساب وجبر فقط درباره اعدادصحبت میکند . درمبحث محاسبات برداری که یك رشته ازریاضات‌است درباره برداریاپاره خطهای جهت‌داربحث میشود ، بدون‌اینکه درباره اهمیت فیزیکی بردار بحثی بمیان آیـد . همانطور که بـا قوانین جبر وحساب میتـوان محاسباتی‌درمورد بعضی ازپدیده‌های فیزیکی بعمل‌آورد درمورد بعضی‌دیگر (نه‌همه پدیده‌ها) نیزباید ازروش محاسبات برداری استفاده نمود .

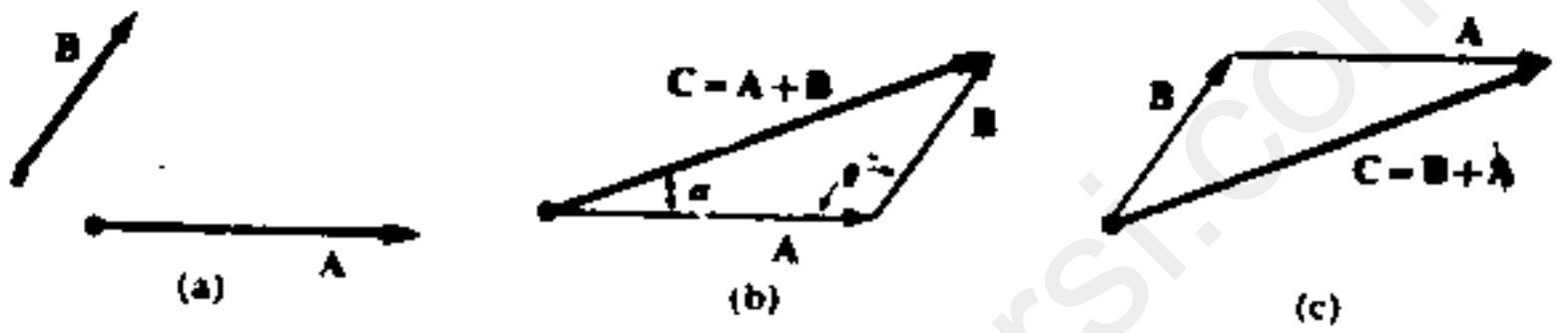
مثلا وقتی دوبردار ازنظر ریاضی‌مساوی هستندکه اندازه ، امتداد وجهت آنها یکی باشد. بنابراین درشکل ۱ـ۴ بردارهای **A** و **C** و **B** مساوی هستند . نتیجه میگیریم که در ریاضیات یك بردار معین میتواندبدلخواه ازمحلی به محل دیگر منتقل شود بشرط آنکه امتداد وجهت آن تغییر نکند . هرگاه بردارهائی کـه در شکل ۱ـ۴ نشانداده شده‌اند نیروهائی را مشخص کندکه برجسمی اثر میکنند این نیروها معادل یکدیگر نیستند زیرا



شکل ۱-۴ بردارهای A و C و B ازنظر ریاضی مساوی هستند

نقطه اثر آنها یکی نیست .

جمع دوبردار (ازنظر ریاضی) چنین بیان میشود : فرض کنیم میخواهیم جمع دو بردار **A** و **B** راکه درشکل ۱-a۵ نشانداده شده است معین کنیم . دراینصورت ازهر نقطه دلخواه



شکل ۱-۵ بردار C مجموع هندسی بردارهای A و B است C=A+B=B+A

ابتدا بردار **A** وسپس بردار **B** رارسم میکنیم بطوریکه انتهای بردار **A** برمبدأ بردار **B** واقع باشد . حال اگر ازمبدأ **A** به انتهای **B** وصل کنیم بردار **C** بدست می‌آید که بنابر تعریف مجموع بردارهای **A** و **B** است . علامت جمع درجمع برداری و جبری یکی است بنابراین میتوان نوشت:

$$\mathbf{C}=\mathbf{A}+\mathbf{B}$$

میتوان مطابق شکل ۱-۵ c ابتدا بردار **B** وسپس بردار **A** را رسم نمود بطوریکه انتهای **B** برمبدأ **A** منطبق باشد بردار **C** که بدینطریق بدست میاید دارای همان اندازه وجهت وامتدادی است که درقسمت b شکل بدست آمد. بنابراین حاصل جمع برداری کموتاتیو است یعنی :

$$\mathbf{A}+\mathbf{B}=\mathbf{B}+\mathbf{A}$$

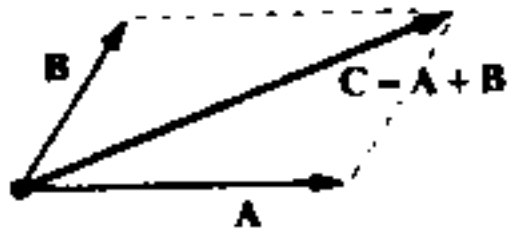
اندازه وجهت بردار برآیند را میتوان از طریق محاسبه نیز بدست آورد هرگاه θ زاویه بین **A** و **B** و α زاویه بین **C** و **A** باشد بنابر قواعد مثلثاتی داریم:

$$C^2=A^2+B^2-2AB\cos\theta$$

ونیز :

$$\frac{\sin\alpha}{B}=\frac{\sin\theta}{C}$$

روش دیگری که میتوان با آن برآیند دو بردار را رسم نمود روش متوازی‌الاضلاع است . هرگاه از نقطه‌ای دلخواه دو بردار **A** و **B** را رسم نموده با رسم خطوط موازی **A** و **B** شکل متوازی‌الاضلاع (شکل ۱ـ۶) را کامل کنیم سپس از مبدأ مشترك دوبردار قطر متوازی‌الاضلاع را رسم نمائیم **C=A+B** بدست میآید .

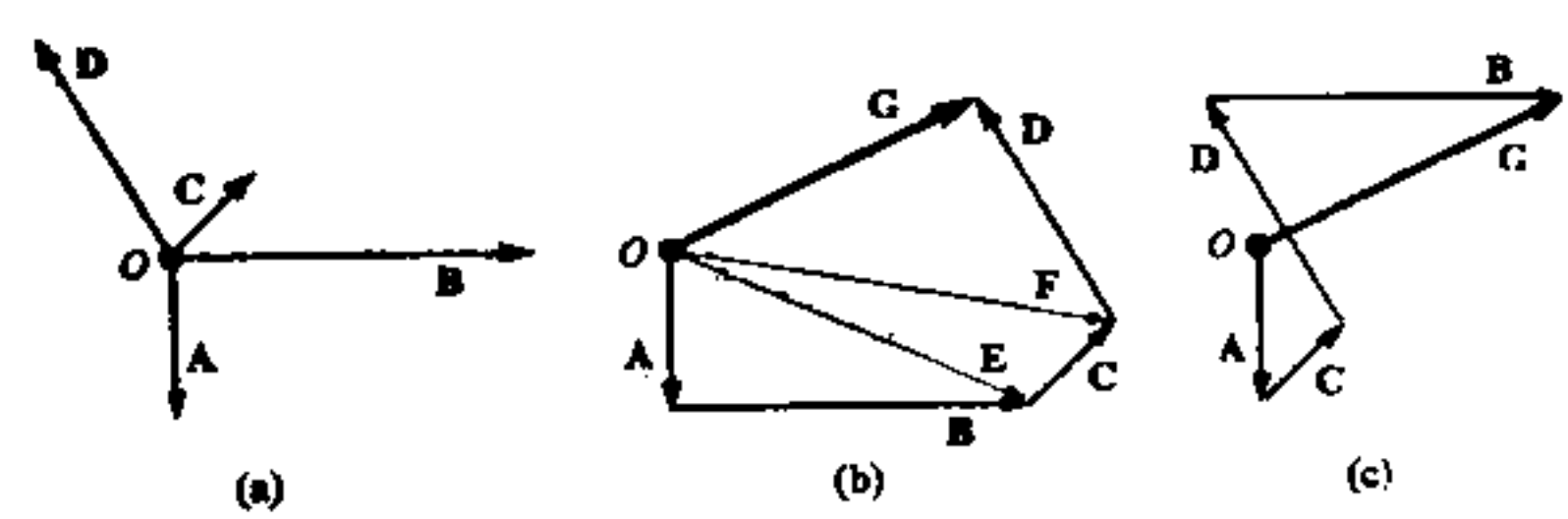


شکل ۱ـ۶ روش متوازی‌الاضلاع درپیداکردن برآیند دو بردار

در شکل ۱ـ۷ رسم برآیند را در حالت خاصی که در آن بردار ها موازی (a) و یا متقابل (b) هستند نشان میدهد . هرگاه دوبردار موازی وهم‌جهت باشند اندازه **C** بردار برآیند برابر مجموع اندازه های دو بردار **A** و **B** میباشد . هرگاه دو بردار موازی و مختلف‌الجهت باشند اندازه بردار برآیند برابر تفاضل اندازه های **A** و **B** خواهد بود . (درشکل ۱ـ۷ بردارهای **A** و **B** کمی از خط اثر واقعیشان بالاتر یا پائین‌تر رسم شده‌اند تا آنهارا بتوان بخوبی ازیکدیگر تمیزداد . اما درواقع هرسه بردار بر یك خط مستقیم واقع‌اند .

شکل ۱ـ۷ جمع برداری (a) دوبردار موازی وهم‌جهت (b) دوبردار موازی و غیر همجهت

هرگاه بخواهیم برآیند چند بردار را رسم‌کنیم ابتدا برآیند دوبردار را پیداکرده این برآیند را با بردار سوم جمع میکنیم و عمل را آنقدر تکرار میکنیم تا برآیند کل بدست آید : درشکل ۱ـ۸ درقسمت (a) چند بردار دیده میشود . در شکل ۱ـ۸ b جمع



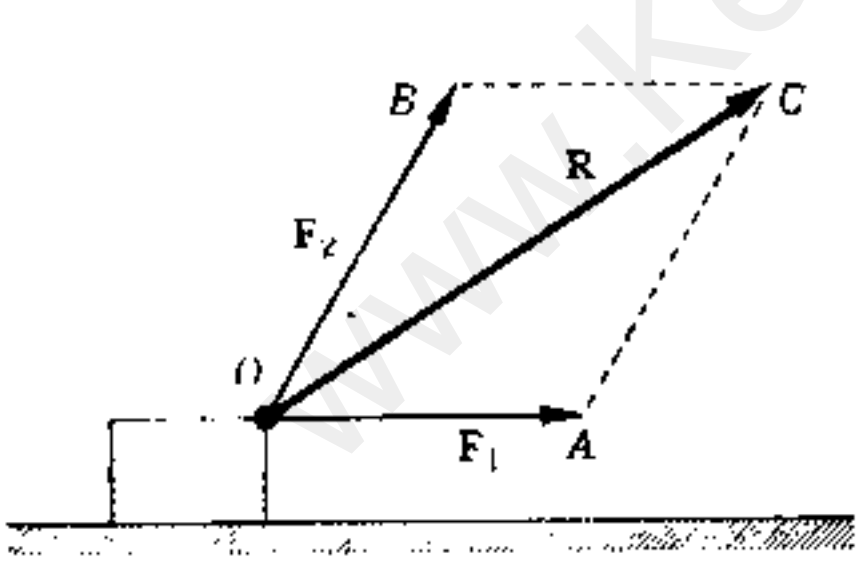
شکل ۱ـ۸ روش کثیرالاضلاع دربدست آوردن برآیند چند نیرو

دوبردار **A** و **B** با روش مثلث بدست آمده است. این برآیند با **E** نمایش داده شده است جمع دوبردار **E** و **C** بردار **F** خواهد بود وبالاخره برآیند کل عبارت از جمع **F** و **D** میباشد یعنی :

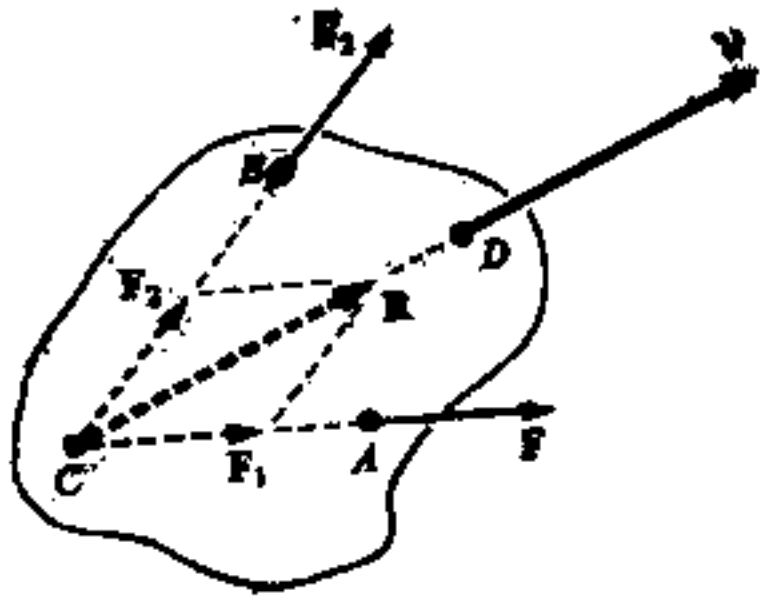
$$G=A+B+C+D$$

بآسانی معلوم میشود که احتیاجی به رسم بردارهای **E** و **F** نیست .کافی است بردارها را طوری رسم کنیم که مبدأ هریك برانتهای دیگری واقع باشد سپس از مبدأ اولین بردار بانتهای آخرین بردار وصل میکنیم **G** برآیند بدست میآید . ترتیب بردارها در اندازه برآیند اثری ندارد (شکل۱ـ۸ c) .

اکنون بمسئله فیزیکی زیرتوجه کنید.دونیروکه درشکل ۱ـ۹ با F_1 و F_2 نشانداده شده‌اند برنقطه **A** ازجسمی اثر میکنند . آیا ممکن است یك نیروی منفرد را بتوان چنان پیداکرد که بتنهائی اثراین دو نیرو را داشته باشد ، و اگر ممکن است چگونـه میتوان اندازه وجهت این نیروی، منفردرا پیدا نمود ؟ باین سئوال تنها از طریق تجربه میتوان پاسخ داد وتجربه نشان میدهد که هرگاه ازطریق ریاضی برآیند دوبردار F_1 و F_2 را پیداکرده آنرا **R** بنامیم ؛ **R** نیروئی است که بتنهائی اثر دونیروی F_1 و F_2 را خواهد داشت این نیروی منفرد را برآیند دو نیروی F_1 و F_2 مینامیم بدین ترتیب معلوم میشود که مفهوم ریاضی جمع برداری دوبردار نیرو برمفهوم فیزیکی برآیند دونیرو که بریك نقطه اثرمیکنند تطبیق مینماید .



شکل ۱ـ۹ نیروئی که با **R** نشانداده‌شده بتنهائی اثر F_1 و F_2 را دارد وبرآیند آنها نامیده میشود



شکل ۱ـ۱۰ روش پیدا کردن **R** برآیند دونیروی واقع دریك صفحه‌که نقاط اثر آنها یکی نیست .

اکنون فرض کنیم مطابق شکل ۱ـ۱۰ دونیرو بردو نقطه مختلف ازجسمی اثر کند نقاط اثر F_1 و F_2 عبارتند از **A** و**B** فعلا فرض میکنیم که دونیرو دریك صفحه واقع‌اند. چون نیروی مؤثر برجسم صلب را میتوان درامتداد خط اثرآن جابجا نمود دو نیرو را به نقطه **C** یعنی محل برخورد خطوط اثر آندو منتقل میکنیم . (ممکن است نقطه بر خورد

خطوط اثر ، خارج از جسم واقع باشد بشکل ۲ـ۹ توجه کنید) برآیند **R** نظیرآنچه در شکل ۱ـ۹ عمل‌کردیم بدست میآید این بردار میتواند برهرنقطه دلخواه واقع برخط اثر خود مثلا نقطه **D** اثر کند و اثر آن دراین حال معادل اثر توأم نیروهـای F_1 و F_2 می‌باشد .

ممکن است نظیرآنچه درشکل ۱ـ۵ عمل‌کردیم دوبردار را بدنبال یکدیگر رسم و برآیند آندو را بدست آوریم دراین حال‌اندازه‌ای که برای برآیند بدست میآید ونیزجهت وامتدادآن، بااندازه، امتدادوجهت برآیند تطبیق میکند ولی این طریقه خط اثربرآیند را مشخص نمی‌کند . این مجدداً نشان میدهد که در حالیکه بردار ریاضی میتواند هرانتقال دلخواه پیدا کند (مشروط برثابت‌ماندن امتداد وجهت) نیروی مؤثربریك جسم صلب فقط میتوانددرامتدادخط اثرخودجابجا شود .

برآیند چند نیروی واقع‌دریك صفحه که برجسم‌صلبی اثرمیکنندازطریق تکراردستور برآیند دو نیرو بدست میآید . چون جمع برداری کموتاتیواست ترتیب انتخاب بردارها دراندازه برآیند تأثیری ندارد .

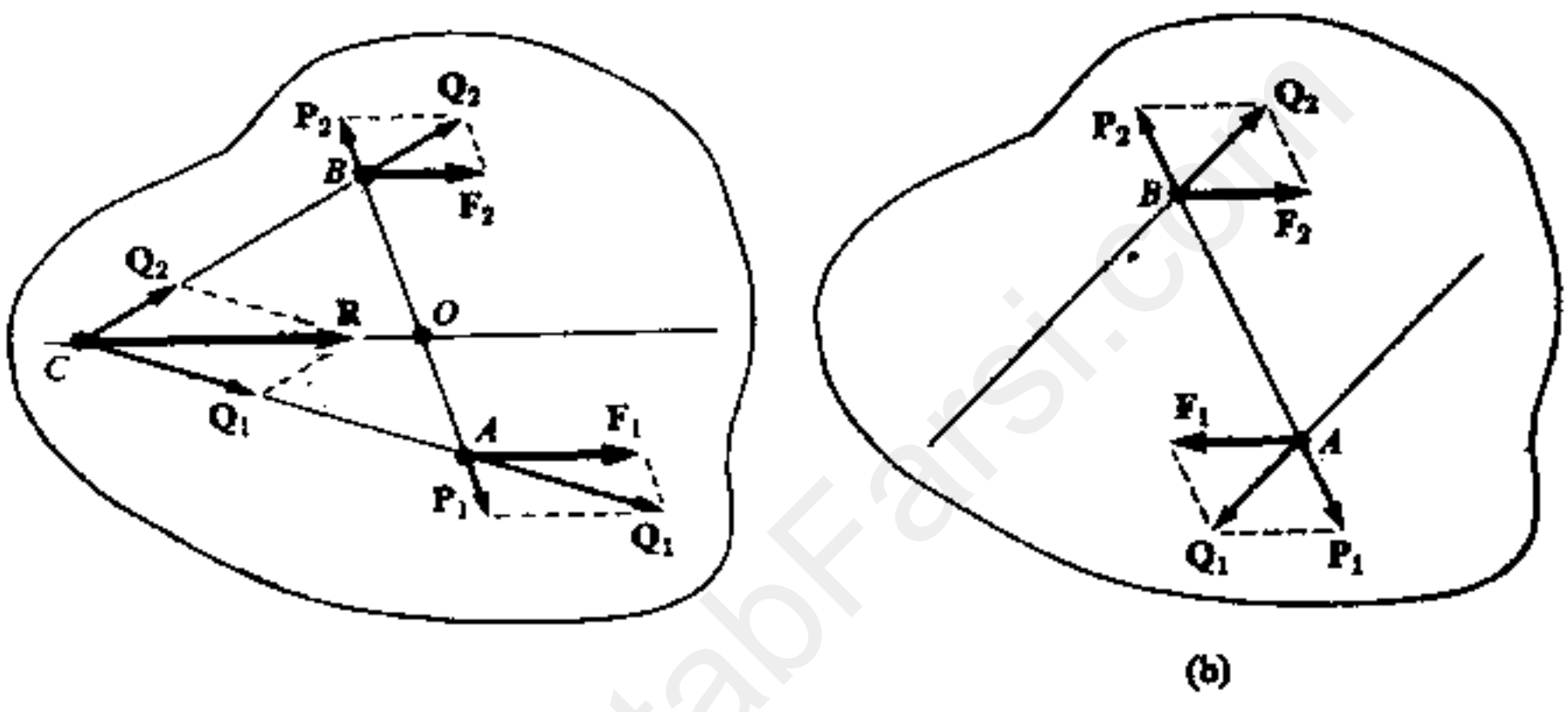
۱ـ۷، برآیند نیروهای موازی ومتقابل

وقتی دونیروی موازی وهم‌جهت ویا مـوازی و غیر هـم‌جهت که بریك امتداد واقع نباشند، برجسمی اثرکنند دستوری که در شکل ۱ـ۱۰ نشانداده شده درپیداکردن برآیند دونیرو نمیتواند مورد استفاده قرارگیرد زیرا خطوط اثر دونیرو یکدیگر را قطع نمی‌کند (یا دربینهایت یکدیگر را قطع میکنند) . میتوان امتداد ،جهت واندازه برآیند را بطریقه ساختگی زیربدست آورد .

درشکل ۱ـ۱۱ دونیروی موازی F_1 و F_2 راکه برنقاط **A** و **B** جسم اثر میکنند نشان داده شده است . فرض‌کنیم دونیروی مساوی ، مختلف الجهت و واقع بر یـك‌امتداد P_1 و P_2 برنقاط **A** و **B** اثرکنند. برآینداین دونیروصفراست وهیچگونه اثریدرایجاد حرکت‌درجسم ندارندحال‌میتوان F_1را با P_1 ونیز F_2را با P_2ترکیب کرده بترتیب Q_1 و Q_2 را بدست آورد . خطوط اثر Q_1 و Q_2 درنقطه **C** یکدیگر را قطع میکنند. Q_1 و Q_2 را باین نقطه منتقل‌کرده **R** برآیند نهائی آنهارا پیدامیکنیم . بکمك‌تشابه مثلث‌ها میتوان نشان‌دادکه **R** موازی F_1 و F_2 است واندازه‌آن‌برابراست‌با‌مجموع اندازه‌های F_1 و F_2 وخط اثر **R** برآیند بردارها فاصله **BA** را بدوقسمت **OA** و **OB** تقسیم‌میکند بطوریکه

$$\frac{OA}{OB}=\frac{F_2}{F_1}$$

ازاین روش میتوان در پیداکردن خطاثر برآیند دونیروی موازی و غیر مساوی و غیر هم‌جهت نیزاستفاده نمود . هرگاه از این روش درپیداکردن‌برآیند دونیروی موازی، مساوی ومختلف‌الجهت استفاده کنیم‌ملاحظه میشود که‌دونیروی $\mathbf{Q}_1$ و $\mathbf{Q}_2$ نیز مجدداًموازی مساوی ومختلف‌الجهت‌هستند. نتیجه میگیریم که دونیروی موازی ، مساوی ومختلف‌الجهت را نمیتوان بیك نیروی منفرد تبدیل نمود . چنین دونیروئی را زوج نیـرو مینامند . در بخش ۳ـ۶ پس ازآنکه درباره گشت‌آور صحبت کردیم درباره خواص زوج بتفصیل بیشتری صحبت خواهیم‌نمود .



(b)

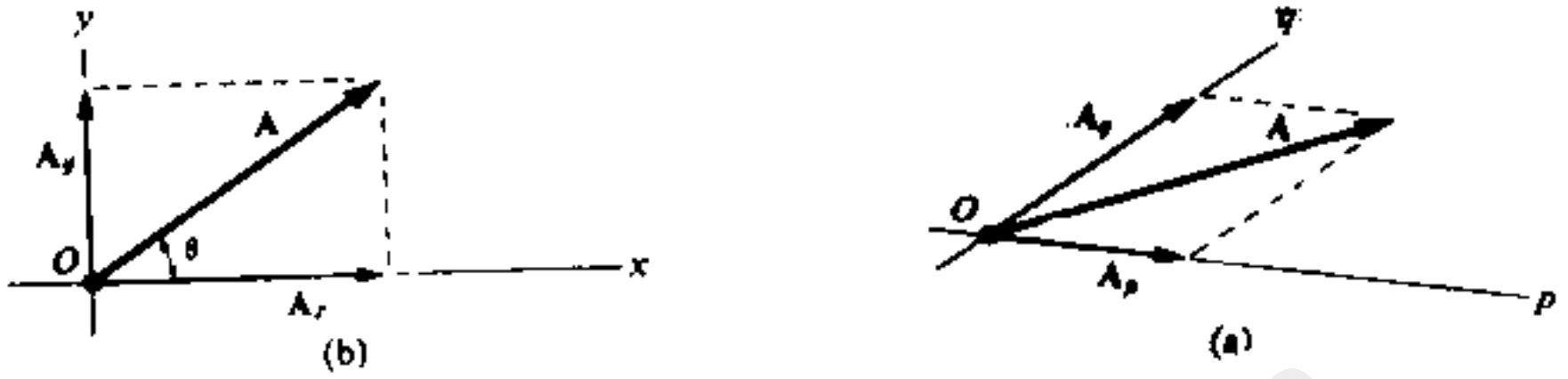
شکل ۱ـ۱۱ a) طرزپیداکردن برآیند نیروهای موازی F_1 و F_2 (b) روش مذکور در قسمت (a) وقتی دونیروی موازی و مختلف‌الجهت باشند

۱ـ۸ ، مؤلفه‌های یك بردار

هردوبردار راکه جمع برداری‌آنها برابر بردار معینی‌گردد مؤلفه‌های برداراخیر مینامند . درشکل ۱ـ۶ میتوان بردارهای **A** و **B** را مؤلفه های بردار **C** نامید . واضح است که برای هربردار میتوان بینهایت جفت مؤلفه پیداکرد . چنانچه امتداد دو مؤلفه مشخص باشد پیداکردن مؤلفه‌ها و یا بزبان دیگر تجزیه بردار بدو مؤلفه فقط دارای یك جواب مشخص است . فرض‌کنیم مطابق شکل ۱ـ۱۲ a بردار **A** معلوم باشد و بخواهیم مؤلفه های‌آنرا برامتدادهای مشخص Op و Oq بدست آوریم . از انتهای بردار **A** دوخط موازی‌امتدادهای Op و Oq رسم میکنیم بدین‌ترتیب متوازی‌الاضلاعی بدست‌می‌آید که **A** قطرآن‌است. بردارهای $\mathbf{A}_p$ و $\mathbf{A}_q$ که ازنقطه O محل برخورددوامتداد Op و Oq و بردار **A** رسم شده‌اند مؤلفه‌های مطلوب هستند زیرا اولا درهمان امتدادهائی قراردارند که مورد نظر مابود ثانیاً برآیندآنها همان بردار **A** است .

هرگاه دوامتداد مطابق قسمت (b) شکل برهم عمود باشند مؤلفه هـا دارای اهمیت

خاصی میباشد . درشکل ۱-۱۲ b دوامتداد ox و oy برهم عمودانند متوازی‌الاضلاعی که بردوی بردار ساخته میشود به مستطیل تبدیل‌میشود ومؤلفه‌های A_x و A_y مؤلفه‌های‌قائم یا متعامد بردار **A** نامیده میشوند .



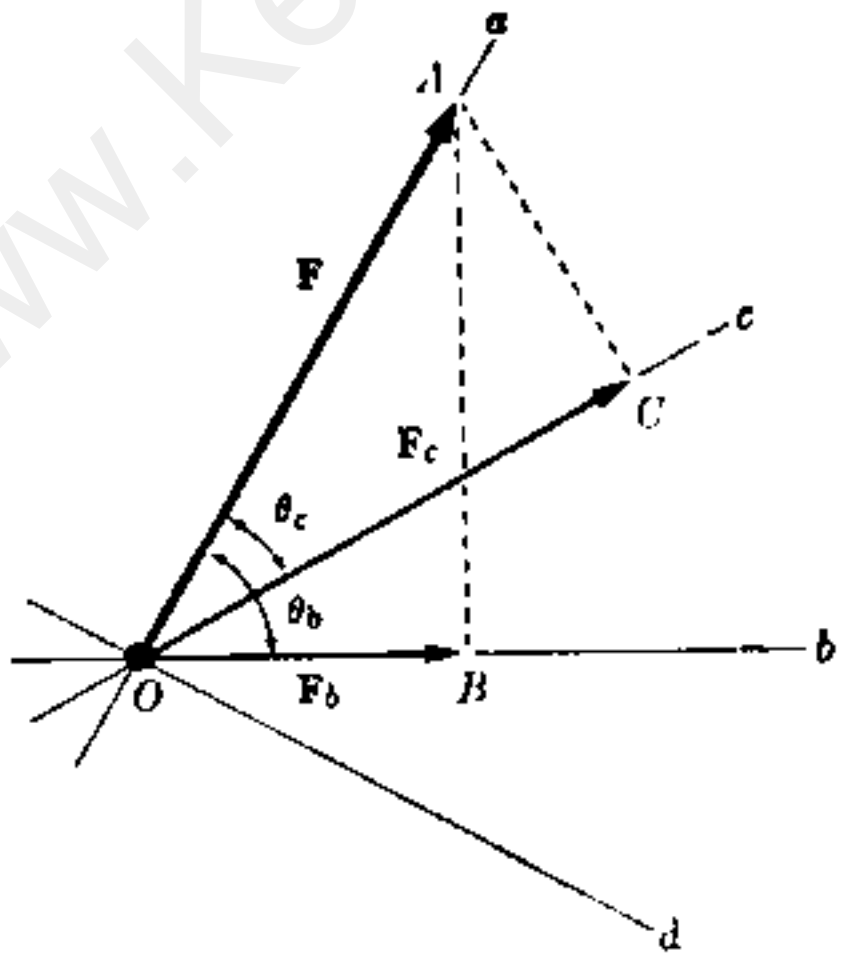
شکل ۱-۱۲ (a) بردارهای Ap و Aq مؤلفه‌های بردار A درامتدادهای Op و Oq هستند
(b) بردارهای Ax و Ay مولفه‌های بردار A درامتدادهای متعامد x و y هستند .

هرگاه زاویه بردار **A** با محور **x** ها θ باشد اندازه مؤلفه هـا از فرمولهای زیر بدست میآیند .

$$A_x = A\cos\theta \qquad A_y = A\sin\theta$$

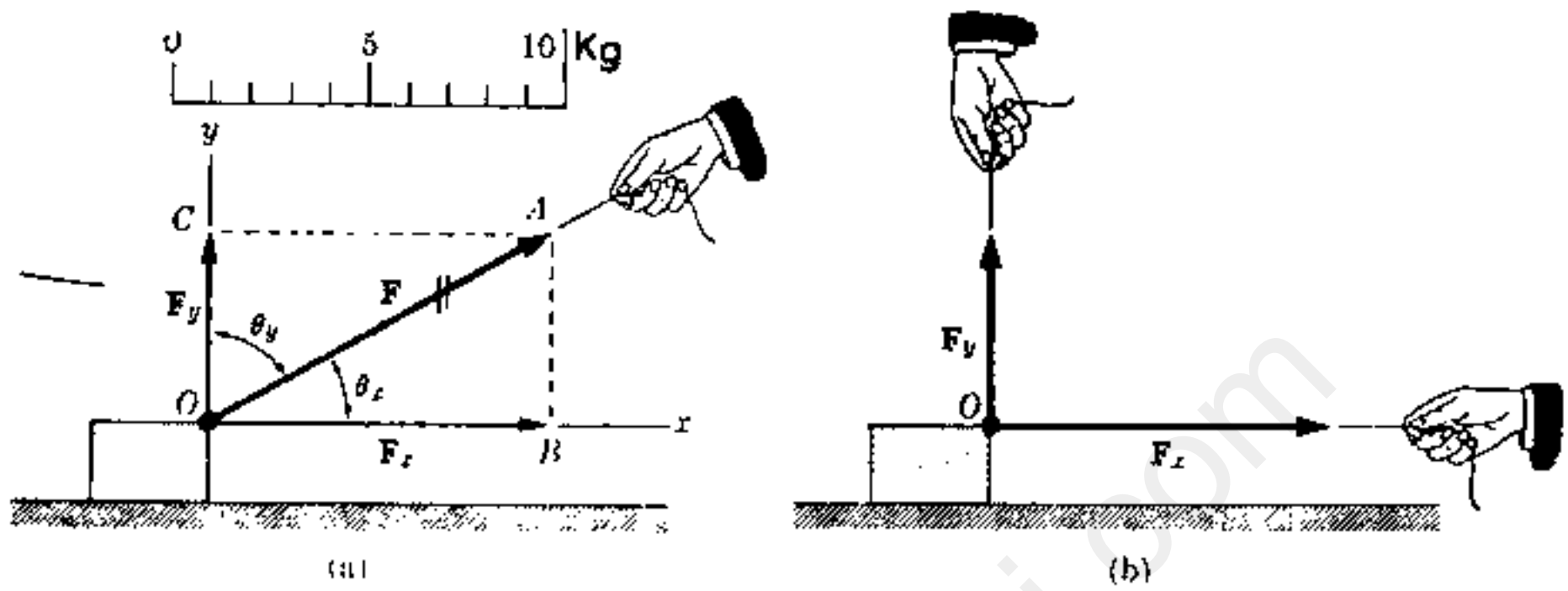
A و A_x و A_y اندازه‌های بردارها میباشند .

معمول براین است که مؤلفه بردار **F** را برامتدادیکه باآن زاویهθمیسازد با $F\cos\theta$ نمایش میدهند بنابراین درشکل۱-۱۳ مؤلفه‌هـای F درامتدادهای Oc و Ob عبارتنداز



شکل۱-۱۰ بردارهای Fb و Fc مؤلفه‌های F درامتدادهای Ob و Oc هستند مؤلفه‌بردار درامتداد Od که عمود بر A است صفر میباشد ومؤلفه بردار درامتداد Oa که واقع برF است‌برابر Fa میباشد وبطورکلی اندازه مولفه. برابر $A\cos\theta$ است .

F_b و F_c هرگاه چنانکه در مورد Od صادق است θ برابر ۹۰° باشد $cos\theta = 0$ و اندازه مؤلفه برابرصفر است. اگر زاویه امتداد مورد نظر با بردارصفر باشد (امتداد Oa) $cos\theta = 1$ و اندازه مؤلفه با اندازه بردار برابراست.



درشکل ۱–۱۴ نیروی مورب F را میتوان با مؤلفه‌های متعامد آن یعنی F_x و F_y جانشین نمودداریم $F_x = F cos\theta_x$ و $F_y = F sin\theta_x$

مورد استفاده این دستور درحل مسائل فیزیك درشکل ۱–۱۴ b نشانداده شده‌است نیروی F برنقطه O اثرمیکند مؤلفه هـای قائم F درامتداد های O_x و O_y عبارتند از F_x و F_y ودیده میشود که اثرتوأم F_x و F_y (نظیر آنچه درشکل ۱–۱۴ b نشانداده شده) ازمرحیث معادل با اثر نیروی اصلی است . **یعنی بجای‌هر نیرو میتوان مؤلفه های آنرا قرار داد** بعنوان مثال میتوان گفت:

$$F = ۱۰ kg \quad و \quad \theta = ۳۰°$$

$$Fx = F cos\theta = ۱۰ kg \times ۰/۸۶۶ = ۸/۶۶ kg$$

$$F_x = F sin\theta = ۱۰ kg \times ۰/۵۰۰ = ۵/۰۰ kg$$

اثر نیروی ۱۰kg فوق معادل بااثر توأم مؤلفه‌افقی‌آن با اندازه ۸/۶۶kg ومؤلفه قائم آن با اندازه 5kg میباشد .

۱–۹ ، پیداکردن برآیند ازطریق تجزیه نیروها بمؤلفه های متعامد

باوجوداینکه روش کثیرالاضلاع طریق ترسیمی‌ساده‌ای در پیداکردن برآیند نیرو-هاست درمحاسبه برآیندنمیتوان بآسانی ازآن‌استفاده نمود زیرابرای پیداکردن هربرآیند باید چند مثلث غیرمشخص را حل نمود درحالیکه اگردر پیداکردن بـرآیند چندنیـرو ،