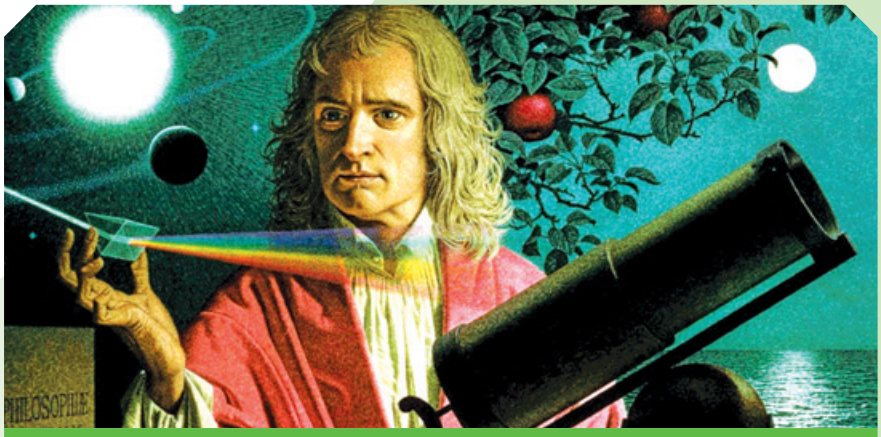

نیوتون متفکری بزرگ

محمدساعدغفوری
کارشناس ارشد تاریخ علم

چکیده

برای بسیاری از مورخان علم تفاوت دنیای قدیم و دنیای جدید هنوز ناشناخته است. چرا بسیاری از اکتشافاتی که در قرون جدید صورت گرفته در قرون قدیم انجام نمی‌گرفت؟ اینکه فرض کنیم گذشتگان ما در هزار سال قبل کم‌هوش‌تر از امروز بودند مطمئناً تصور نادرستی است، ولی چرا پیشرفت علم در سیصد سال اخیر با هزار سال قبلش قابل مقایسه نیست؟

گرچه پاسخ‌هایی به این‌گونه سؤالات داده شده ولی قانع‌کننده نیست. به‌نظر می‌رسد دنیای قدیم دنیای طبایع اجسام بود، به‌عنوان مثال مردم معتقد بودند، اگر سنگ سقوط می‌کند، به‌دلیل ماهیت آن است که از جنس زمین است و تعبیر شاعرانه‌اش هم اینکه:

هر کسی کو دور ماند از اصل خویش
باز جوید روزگار وصل خویش (مولوی)

کیمیاگران قدیم بـــه دنبال تبدیل، ماهیت مس به طلا بودند؛ چیزی که هرگز امکان‌پذیر نبود. قرن‌ها طول کشید تا انسان دریابد که، برخلاف نظر ارسطو، جسم برای ادامه حرکت یکنواخت خود روی خط راست نیاز به محرک ندارد. این درک عظیم را بزرگانی همچون گالیله و نیوتون به بشر ارزانی داشتند.

نیوتون گرچه سال‌هایی از عمرش را به کیمیاگری نیز پرداخت ولی کارهای علمی بزرگی انجام داد که هر یک به تنهایی برای اثبات نبوغ وی کافی است. او علم فیزیک را بر پایه ریاضیات بنا نهاد؛ ریاضیاتی که خود ســـازندهٔ آن بود. نیوتون بر تمام پیشرفت‌های علمی بعد از خود تأثیری اساسی داشت.

کلیدواژه‌ها: سینماتیک، دینامیک، قوانین نیوتون، حساب دیفرانسیل، جاذبه و گرانش، اینرسی و اندازه حرکت، نورشناسی.

ایزاک نیوتون[1] در سال ۱۶۴۲ م در نزدیکی لینکن شایر[2] در ۱۶۰ کیلومتری لندن، در روز کریسمس، چشم به دنیا گشود. پدرش سه ماه پیش از تولد او از دنیا رفته بود و به همین دلیل مادر نام پدر، ایزاک، را برای او انتخاب کرد. ویلیام استاکلی[3]، نخستین زندگی‌نامه‌نویس این نابغهٔ دوران، می‌نویسد: نیوتون در دوران نوجوانی و در مدرسه مدل‌های کارآمدی از آسیاب‌های بادی را می‌ساخت که با پازدن، پره‌های آن به‌کار می‌افتاد؛ و ارابه‌هایی می‌ساخت که با چرخاندن هندل[4] به حرکت در می‌آمد. از علاقه‌مندی‌های دیگر او رفتن به مغازهٔ داروفروشی محل و خرید مواد شیمیایی بود که در روی آوردن نیوتون به کیمیاگری در برهه‌های بعدی عمرش بی‌تأثیر نبود. نیوتون در سال ۱۶۶۱م به ترینیتی کالج[5] کمبریج وارد شد. او دانشجویی بود که کمک‌هزینه تحصیلی دریافت می‌کرد و در ازای کار در دانشگاه نیز، به رایگان آموزش می‌دید. به این دانشجویان سابسایزر[6] می‌گفتند. شاید به همین دلیل و یا روحیهٔ انزواطلبی خودش بود که از دانشجویان و استادان و حتی برنامهٔ درسی کمبریج، که بیشتر بر عقاید ارسطو پایه‌گذاری شده بود، دوری می‌جست. پس از حدود یک سال در کمبریج نیوتون وارد مطالعه در حوزهٔ ریاضی شد و آن‌قدر در جهان آنالیز ریاضی قرن هفدهم سیر کرد تا به آغاز اکتشافات خود رسید.

در آغاز سال ۱۶۶۵ م در کمبریج و بسیاری از بخش‌های دیگر انگلستان بیماری هولناک طاعون شایع شد. زندگی مردم در هم پاشید و در حدود دو سال کالج‌ها بسته شد. نیوتون هم به زادگاهش بازگشت. مورخان علم نوشته‌اند که نیوتون قسمت عمدهٔ کارهایش را در همان هجده ماه دوری از کمبریج طاعون‌زده و در زادگاهش لینکن شایر، در سال‌های ۱۶۶۵ تا ۱۶۶۶ م، انجام داده است. خودش نیز گفته است:

«در آغاز سال ۱۶۶۵ دستوری را برای تبدیل هر نوع دوجمله‌ای به یک سری[7] را به‌دست آوردم و در ماه نوامبر همان سال روش مشتق‌گیری- به تعبیر خود نیوتون فلوکسیون- را پیدا کردم، سال بعد در ماه ژانویه نظریهٔ رنگ‌ها را به‌دست آوردم و در ماه مه بعد وارد طریقهٔ عکس مشتق‌گیری یعنی انتگرال‌گیری شدم. در همان سال به فکر تعمیم مفهوم جاذبه به مدار ماه افتادم و نیرویی را که موجب بقای گردش ماه بر مدار زمین می‌شود با نیروی جاذبه در سطح کرهٔ زمین مقایسه کردم ...».

حجم عظیمی از این کارها را که غیرقابل باور به نظر می‌رسد، نیوتون به‌تنهایی در مدت هجده ماه انجام داد. بقیهٔ زندگی او نیز به بسط و تکمیل همین پژوهش‌ها گذشت.

نیوتون از نظر اخلاقی و رفتاری خیلی خوش‌سلوک نبود. به دیگران بسیار بدگمان بود و بیشتر سال‌های عمرش را با دانشمندان هم‌دوره‌اش درگیر بود، به‌عنوان مثال، با رابرت هوک[8] در مورد نظریهٔ رنگ‌ها و نیز اینکه کدام یک از آن دو در کشف قانون جاذبهٔ عمومی حق تقدم دارند در مجادله بود.

با ریاضی‌دان آلمانی گوتفرید لایب نیتز[9] نیز در مورد اینکه کدام یک حساب دیفرانسیل و انتگرال را زودتر کشف کرده‌اند سر دعوا داشت و سرانجام با کریستیان هویگنس هلندی[10] نیز در مورد تئوری نور در مجادله بود.

نیوتون عموم اکتشافات خود را پنهان نگاه می‌داشت. او در سنین ۲۳ تا ۲۵ سالگی، همان‌گونه که بیان شد، به قسمت عمده ابداعات نبوغ‌آمیزش دست یافته بود ولی تا سال‌ها آن‌ها را منتشر نکرد. به‌عنوان مثال مجموعهٔ سه‌گانه اصول خود را با عنوان «اصول ریاضی فلسفهٔ طبیعی[11]» در ۴۴ سالگی و کارهای مربوط به نورشناسی‌اش را در ۶۵ سالگی منتشر کرد. در هر صورت حجم کارهای نیوتون بسیار حیرت‌انگیز است، به جرئت می‌توان گفت تنها یکی از کارهایی که او انجام داده برای یک نفر کافی است تا به‌عنوان پژوهشگر و دانشمندی برجسته شناخته شود. در ادامه به مهم‌ترین و تأثیرگذارترین کارهای علمی این دانشمند خواهیم پرداخت.

نیوتن عموم اکتشافات خود را پنهان نگاه می‌داشت. او در سنین ۲۳ تا ۲۵ سالگی، همان‌گونه که بیان شد، به قسمت عمده ابداعات نبوغ‌آمیزش دست یافته بود ولی تا سال‌ها آن‌ها را منتشر نکرد

مشتق و انتگرال

نیوتون در گسترش فیزیک جدید، پس از قرون وسطی، بسیار مؤثر بود. به‌طور کلی سدهٔ هجدهم میلادی را عصر چیرگی یک نظام علمی بر پایهٔ مفاهیم نیوتون می‌دانند، او در بیان مفاهیم فیزیک از ریاضیات پیشرفته‌ای بهره می‌گرفت که خودش ابداع کرده بود. از جمله ابداع مفاهیم حساب دیفرانسیل و انتگرال بود که به او و دیگر دانشمندان اجازه داد تا قوانین متعدد مکانیک را فرمول‌بندی و مفاهیم مکانیکی جدیدی تعریف کنند. این مفاهیم تا امروز در تمامی رشته‌های مهندسی و علوم پایه کاربرد دارد. گرچه همان‌طور که اشاره شد دانشمند دیگری نیز به نام لایب نیتز، هم‌زمان با نیوتون ولی به‌طور مستقل، به کشف حساب دیفرانسیل و انتگرال رسیده بود و حتی روش او ساده‌تر از روش نیوتون بود ولی در جدال با نیوتون، به‌دلیل نفوذ نیوتون، هیئت تعیین‌شده به نفع نیوتون رأی داد.

انتگرال و انتگرال‌گیری درست به همان اندازه در فیزیک اهمیت دارد که معادلات دیفرانسیل. نظریه‌پردازان نخست با استفاده از معادلات دیفرانسیل، نظریه خود را بنا می‌کنند اما چون این معادلات برای کار اساسی‌تر، یعنی مقایسهٔ پیشگویی نظریه با آزمایش‌ها و مشاهدات، کافی به‌نظر نمی‌رسند، به انتگرال‌گیری که اغلب یک ضرورت است روی می‌آورند. سختی کار این است که انتگرال‌گیری در بعضی از معادلات دیفرانسیل فوق‌العاده مشکل است. یکی از این موارد که نیوتون سال‌ها با آن درگیر بود، انتگرال‌گیری از معادلات مربوط به حرکت سیستمی شامل زمین، ماه و خورشید، بود. معادله‌ای که بدون تقریب‌هایی قابل حل نبود. همچنین نیوتون با استفاده از حساب دیفرانسیل و انتگرال بود که توانست رابطهٔ بین مسافت، سرعت و شتاب یک متحرک را به‌دست آورد.

https://www.roshdmag. ir/u/206

ساختار مکانیک

قبل از نیوتون، کپرنیک[۱۲] و کپلر[۱۳] توانسته بودند چگونگی حرکت سیارات در آسمان، و گالیله چگونگی حرکت و سقوط اجسام بر روی زمین را توصیف کنند. ولی هیچ یک از آنان دلیل حرکت سیارات و حرکت و سکون اجسام را بیان نکرده بود. ولی نیوتون اولین کسی بود که به‌طور کامل این موضوع را حل کرد، به‌گونه‌ای که تنها سه قرن بعد، در مقابله با نظریه نسبیت آلبرت اینشتن، نیاز به اصلاح در آن دیده شد.

«اصول ریاضی فلسفهٔ طبیعی» نیوتون شامل یک مقدمه و سه کتاب است. این مقدمه شامل تعاریف و مواردی است که نیوتون برای قوانین اساسی حرکت در نظر گرفته بود. براساس این مبانی، در کتاب اول مفاهیم ریاضی گسترده و پیچیده‌ای بیان می‌شود که در فیزیک برای اجسام متحرک بدون مقاومت، مثلاً در محیط خلأ، به‌کار می‌رود. کتاب دوم به حرکت اجسام در محیط مقاوم، مثلاً در یک مایع یا هوا، مربوط می‌شود، و در کتاب سوم نیوتون به بررسی حرکت سیارات می‌پردازد و گرانش یا قانون جاذبهٔ عمومی خود را بیان می‌کند[۱۴]. در این کتاب با استفاده از نیروی گرانش دلیل حرکت سیارات به‌خوبی بیان شده است.

چاپ این کتاب‌ها در اثر کمک‌ها و پافشاری‌های ادموند هالی[۱۵] که ستاره‌شناسی ماهر و دوست نیوتون بود صورت گرفت.

نیوتون در ابتدا در پاسخ به سؤال‌های ادموند هالی در مورد مسیر حرکت سیارات بود که قوانین سه‌گانهٔ کپلر را اثبات کرد و سپس، باز در اثر اصرار هالی در مورد پاسخ کامل‌تر شروع به نوشتن سه جلد کتاب اصول خود کرد. از سوی دیگر نیوتون به دلیل درگیری با هوک[۱۶] می‌خواست از چاپ کتاب سوم منصرف شود.

اگر به تعاریف ارائه شده در این کتاب و سپس به مفاهیمی که براساس این تعاریف بیان شده است نظری بیندازیم خواهیم دید که حتی امروز تا چه اندازه برای توصیف بسیاری از پدیده‌های طبیعی به این قوانین استناد می‌کنیم و چگونه هنوز هم این مفاهیم زنده و پویا هستند. به دو تعریف زیر توجه کنید:

تعریف ۱: مقدار ماده (جرم) همان مقداری است که از چگالی و حجم به‌دست می‌آید.

تعریف ۲: کمیت اندازه حرکت، اندازه‌ای از حرکت است که از سرعت و مقدار ماده به‌طور توأم ایجاد می‌شود[۱۷].

به دنبال این دو تعریف است که سه قانون مشهور نیوتون معنا پیدا می‌کند:

قانون اول: هر جسم همواره در حالت سکون یا در حالت حرکت یکنواخت در امتداد خط مستقیم باقی می‌ماند، مگر بر اثر نیروهای وارد بر آن مجبور به تغییر حالت شود.

در کتاب‌های درسی این قانون را این‌گونه بیان می‌کنند که «هرگاه بر جسمی نیرویی وارد نشود و یا برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، جسم یا ساکن است و یا با سرعت ثابت روی خط راست در حال حرکت است.» این قانون که به قانون اینرسی هم شهرت دارد، براساس آزمایش‌های گالیله[۱۸] و کارهای رنه دکارت[۱۹] پایه‌گذاری شده است. اگر شما در آسانسوری قرار داشته باشید، با هیچ آزمایش فیزیکی نمی‌توانید تشخیص دهید که آسانسور ساکن است و یا با سرعت ثابت در حال حرکت است؛ و این با نظریه ارسطو که برای هر متحرکی محرکی لازم است در تضاد است. نیوتون به‌خوبی از این قانون برای تبیین حرکت سیارات استفاده کرده و بیان داشت که اگر نیروی جاذبهٔ زمین را حذف کنیم، ماه با سرعت ثابت به حرکت یکنواخت خود ادامه خواهد داد.

قانون دوم: تغییر اندازه حرکت یک متحرک متناسب با نیروی محرکهٔ مؤثری است که بر جسم متحرک وارد می‌شود و دقیقاً با نیرو هم‌جهت است[۲۰].

البته در کتاب‌های درسی قانون دوم را به این صورت تعریف می‌کنند:

«حاصل ضرب جرم هر جسم در شتابش برابر برآیند نیروهای وارد بر جسم و یا نیروی خالص وارد بر جسم است» ولی در حل مسائل با جرم متغیر بیان اندازه حرکتی قانون دوم نیوتون مزیت دارد[۲۱].

قانون سوم: هر کنشی همواره واکنشی برابر و مخالف آن کنش در پی دارد. به نظر نگارنده قانون سوم اهمیتش از دو قانون دیگر بیشتر است. در طول سالیان تدریس مکانیک به تجربه بر من ثابت شده است که تا دانشجو یا دانش‌آموز قانون سوم نیوتون را به‌خوبی درک نکرده باشد[۲۲] نمی‌تواند قانون دوم را در حل مسائل به‌کار برد. اینکه نیروهای عمل و عکس‌العمل هر دو از یک جنس هستند و بر دو جسم وارد می‌شوند از نکات بسیار مهمی است که در بطن این قانون پنهان شده است. در فیلم زیر نیروهای عمل و عکس‌العمل را در نمایشی زیبا می‌توانید مشاهده کنید.

https://www.roshdmag. ir/u/207

اینکه این تعاریف و قوانین هنوز زنده‌اند شاهد مهمی بر این است که علم مکانیک بر پایه‌های این قوانین استوار شده است.

نیوتون در ابتدا در پاسخ به سؤال‌های ادموند هالی در مورد مسیر حرکت سیارات بود که قوانین سه‌گانهٔ کپلر را اثبات کرد و سپس، باز در اثر اصرار هالی در مورد پاسخ کامل‌تر شروع به نوشتن سه جلد کتاب اصول خود کرد. از سوی دیگر نیوتون به دلیل درگیری با هوک می‌خواست از چاپ کتاب سوم منصرف شود

سیب و ماه

نیوتون در جلد سوم کتاب اصول خود دست به کار بزرگی زد و آن آشتی دادن زمین با آسمان بود. او که سقوط سیب از درخت را دقیقاً مانند سقوط ماه به طرف زمین می‌داند، میزان سقوط سیب در هر ثانیه را به‌خوبی محاسبه می‌کند. در حقیقت کارهای نیوتون ادامهٔ کارهای کپرنیک و کپلر در آسمان و کارهای گالیله در زمین است.

نیوتون راه‌کاری ارائه می‌دهد و قواعدی ریاضی را بنا می‌نهد که به‌خوبی برای محاسبات تمامی پرتابه‌ها، خواه ماهواره و خواه سیاره کاملاً صادق است. او در نهایت قانون جهانی گرانش را معرفی می‌کند که دلیل حرکت تمام این موارد است. قانون گرانش عمومی که به قانون عکس مجذوری نیز شهرت دارد بیان می‌دارد که هر دو جسم که در فاصلهٔ معینی از یکدیگر قرار دارند، نیروی جاذبه‌ای به یکدیگر وارد می‌کنند که با حاصل ضرب دو جرم نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ مراکزشان از یکدیگر نسبت عکس دارد. در ادامه کتاب او شکل زمین را محاسبه[۲۳] و نظریه‌ای در مورد جذر و مد بیان می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه با استفاده از داده‌های حاصل از یک آونگ، تغییرات ناشی از نیروی جاذبه را در نقاط مختلف زمین می‌توان اندازه‌گیری کرد. نیوتون می‌کوشد تا پیچیدگی‌های مدار ماه را نیز حل کند. با اینکه مسئله حرکت ماه، خورشید و زمین یک مسئله سه جسمی است ولی او با ایجاد یک روش تقریبی محاسبه، ابتدا مسئلهٔ ماه‌ـ زمین را به دقت حل می‌کند و سپس با به حساب آوردن اثر خورشید به‌عنوان اختلال، آن حرکت را اصلاح می‌نماید.

https://www.roshdmag. ir/u/208

صفحات کتاب اصول نیوتون پر است از اطلاعاتی در همهٔ شعبه‌های دینامیک جامدات و مایعات. در اینجا شما را به یک نمونه از کارهای نیوتون، که دکتر دیوید ال. گودستاین در دانشگاه کالیفرنیا در مورد سرعت صوت بیان کرده است، توجه می‌دهیم.

https://www.roshdmag. ir/u/209

نورشناخت

نیوتون در سال ۱۷۰۴ میلادی کتاب دیگر خود نورشناخت[۲۴] را در ۶۵ سالگی منتشر کرد. او در آغاز این کتاب آزمایش ساده‌ای را شرح می‌دهد و با آن اثبات می‌کند که نور اولاً با ورود به محیط تازه می‌شکند و ثانیاً نورهای با رنگ‌های متفاوت قابلیت‌های شکست متفاوت دارند. به‌عبارت دیگر هر رنگ ضریب شکست خاص خود را دارد. با استفاده از همین مطلب نیوتون چگونگی ایجاد رنگین‌کمان را توضیح می‌دهد. آزمایش دیگر نیوتون، در نورشناخت، تاباندن نور خورشید بر یک منشور و تجزیهٔ نور بود. این آزمایش او را به این نتیجه رساند که عدسی‌های به‌کار رفته در دوربین‌های انکساری، مانند دوربین گالیله، نمی‌توانند تصاویری بدون اشکال به ما بدهند، در نتیجه نیوتون تلسکوپ انعکاسی خود را ساخت که هم‌اکنون نیز قابل استفاده است.

باید توجه داشته باشیم که این آزمایش‌ها را نیوتون در زمانی انجام می‌داد که اعتقاد بر این بود که نورهای رنگی که از پنجره‌های کلیساها عبور می‌کنند چیزی شبیه رنگ کردن پارچه‌های سفید در محلول‌های رنگی است.

یکی دیگر از کشفیات جالب نیوتون ایجاد «حلقه‌های نیوتون» است که از قرار دادن یک عدسی محدب روی یک شیشه تخت به‌دست می‌آید.

امروزه در آزمایشگاه‌های اپتیک با این کار طول موج نور را به‌دست می‌آورند و حلقه‌های تداخلی آن بسیار زیباست، نکته جالب این است که نیوتون با تئوری موجی نور به‌شدت مخالف بود. شاید دلیل این مخالفت بیشتر از آن جهت بود که نمی‌توانست حرکت مستقیم‌الخط نور را توجیه کند. از این رو برای توجیه حلقه‌های نیوتون دست به ایجاد یک تئوری بسیار پیچیده زد.

نیوتن در جلد سوم کتاب اصول خود دست به کار بزرگی زد و آن آشتی دادن زمین با آسمان بود. او سقوط سیب از درخت را دقیقاً مانند سقوط ماه به طرف زمین می‌داند

کســی که با نظرات نیوتــون دربارهٔ جنــس و ماهیت نور مخالفــت می‌کرد، هویگنس، فیزیکدان هلندی، بود. البته در اینجا حق با هویگنس بود و نیوتون اشتباه می‌کرد. نیوتون در اواخر عمر خود بیشتر به دنبال کارهایی رفت که دیگر جنبهٔ علمی نداشت، بلکه بیشتر کارهای اجرایی بود؛ به‌عنوان مثال مدیریت ضرابخانه و ریاســت پلیس لندن و حتی نمایندگی مجلس. نیوتون، این نابغهٔ بزرگ، سرانجام در سال ۱۶۹۶ م در لندن و در ۸۵ سالگی چشم از جهان فروبست.

آلبرت اینشتین[۲۵] در پیش‌گفتار چاپی از کتاب «نورشناخت» نیوتون از نیوتون با این عبارت قدردانی کرده است:

«نیوتــون، آزمایش، نظریه‌پــردازی و مکانیک را به‌تنهایی در شــخصیت خود ترکیب کرده و همچون یک هنرمند آن‌ها را به زیبایی به نمایش می‌گذارد.»

پی‌نوشت‌ها

1. Issac Newton
2. Lincolnshire
3. William Stukely
4. Handle
5. Trinity College
6. Subsizer

۷. منظور نیوتون بسط دوجمله‌ای $(a+b)^n$ معروف به بینم نیوتون است. یعنی

$$(a+b)^n = a^n + nba^{n-1} + \dots$$

کشف این دو جمله را به حکیم عمرخیام نیز نسبت داده‌اند.

8. Robert Hooke
9. Gottfried Leibniz
10. Christiaan Huygens
11. Philosophiae naturalis principia mathematica

این مجموعه که خود از سه کتاب تشکیل شده است به اختصار Principia (اصول) نامیده می‌شود.

12. Nicolaus Copernicus
13. Johannes Kepler

۱۴. این رابطه به‌صورت زیر فرمول‌بندی شده است.

$$F \quad G\frac{m_1 m_2}{}$$

15. Edmond Halley

۱۶. هوک معتقد بود قانون عکس مجذوری را او کشف کرده است.

۱۷. منظور از اندازه حرکت همان تکانه است که از حاصل ضرب جرم جسم در سرعت جسم به‌دست می‌آید و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$p = mV$$

18. Galileo Galilei
19. René Descartes

20.

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mV)}{\Delta t} = m\frac{\Delta V}{\Delta t} + V\frac{\Delta m}{\Delta t}$$

۲۱. توجه کنید که جملهٔ آخر این تساوی شامل تغییر جرم متحرکی مانند موشک یا یک شهاب‌سنگ در حال سوختن در اثر برخورد با اتمسفر زمین است.

۲۲. استاد مکانیک ما در دانشگاه تهران به شوخی می‌گفت خود نیوتن هم به اهمیت قانون عمل و عکس‌العمل پی نبرده است!

۲۳. قطر زمین در استوا اندکی بیشتر از قطر زمین در قطب‌هاست.

24. OPTICKS
25. Albert Einstein

منابع

۱. فیزیک‌دانان بزرگ، ویلیام ه. کوپر، ترجمه احمد خواجه نصیر طوسی، انتشارات فاطمی

۲. سرگذشت فیزیک، جورج گاموف، ترجمه رضا اقصی، سازمان انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی.

۳. سرگذشت فیزیک نوین. میشل بیزونسکی، ترجمهٔ لطیف کاشیگر، انتشارات فرهنگ معاصر.

۴. فیزیک و واقعیت، آلبرت اینشتین، ترجمهٔ محمدرضا خواجه‌پور، انتشارات خوارزمی.

۵. تکامل فیزیک، آلبرت اینشتین و لئوپولد اینفلد، ترجمه احمد آرام، انتشارات خوارزمی.

۶. در آن سوی کوانت، پائوماریف، انتشارات میر (روسیه)

۷. فیزیک برای همه، ل. لاندائو و آکیتایگاروسکی، انتشارات میر (روسیه)