

# راهنمای معلم برای آموزش مؤثر



## بخش دوم

# فصل ۱

## فیزیک و اندازه‌گیری

### ایجاد انگیزه

علاوه بر تصویر شروع فصل، به موضوع‌های دیگری نیز باید توجه شود تا دانش‌آموزان با علم فیزیک، گستره‌ی کاربردی آن و نقش آن در زندگی و دنیای امروز بشر آشنا شوند. از آن‌جا که در این کتاب، فیزیک به‌طور تخصصی‌تری آموزش داده می‌شود، فرصت مناسبی در اختیار داریم که دانش‌آموزان را به فیزیک و اهمیت آن در توسعه‌ی دنیای امروز علاقه‌مند کنیم.



فصل ۱

### فیزیک و اندازه‌گیری

فیزیک جسدی فیزیکدان در همه زمینه‌های تاریخی که در این کتاب فیزیکدان جسدی در این فصل، برای پاسخ دادن به چنین پرسش‌هایی نخست به تشریح موضوع علم فیزیک می‌پردازد. برای این کار با بیان بیانک‌ها، مفاهیم و تعاریف علمی که در فیزیک مطرح است می‌پردازد. سپس زمینه‌های را که فیزیک در آن‌ها کاربرد دارد و فرآیندهای مختلف علم فیزیک را بررسی می‌کند.

با توجه به اهمیت که انداز، گوری در فیزیک دارد، نخست بررسی از این فصل به انداز، گوری و تکنیک‌های مربوط به آن اختصاص دارد.

سرتیتر در قسمت پایانی کتب‌های فیزیک اصلی و فرعی را معرفی می‌کند. آن‌گاه کتب‌های زیادی و برابری و اختلاف جوری آن‌ها را با یکدیگر شرح خواهد داد.

آسان‌ترین تاریخچه پیدایش و گسترش فیزیک

وزان فیزیک و گره از وزان‌های علمی و فلسفی در تاریخ علم فیزیک

تاریخ علم فیزیک در دوران باستان تا دوران مدرن

تاریخ علم فیزیک در دوران مدرن

تاریخ علم فیزیک در دوران معاصر

تاریخ علم فیزیک در دوران آینده

### ۱-۱- تاریخچه‌ی پیدایش و گسترش فیزیک

**راهنمای تدریس:** از آن‌جا که هم در دوره‌ی راهنمایی و هم در سال اول دبیرستان دانش‌آموزان با مفاهیم مختلفی از فیزیک به‌طور کمی و کیفی آشنا شده‌اند در این‌جا فرصت خوبی است تا از آن‌ها بخواهید درک خود را از علم فیزیک، شامل مفهوم‌ها، کاربردها و تاریخچه‌ی آن، به بحث بگذارند. در حین بحث دانش‌آموزان تلاش کنید تا نظر آن‌ها را در خصوص نقش دانشمندان کشورهای اسلامی در گسترش علم فیزیک جویا شوید. پس از آن مطابق آنچه در بخش ۱-۱ کتاب درسی آمده است به توضیح و تبیین تاریخچه و گسترش علم فیزیک بپردازید. علاوه بر این از مباحث مطرح شده در دانستنی نیز می‌توان بهره‌گیری کرد.



## تاریخچه‌ی فیزیک

فیزیک هم مثل هر علم دیگری یک فعالیت اجتماعی و فکری است که طی زمان تکامل یافته است، و بنابراین تاریخی دارد. تاریخ فیزیک - به مفهوم مطالعات تاریخی گذشته‌ی فیزیک - از همان آغاز فیزیک، به شیوه‌های متفاوتی، جزء جدایی‌ناپذیر این علم بوده است. برای مدت‌های طولانی «تاریخ» یک جزء طبیعی فیزیک محسوب می‌شد، اما به مفهومی متفاوت با آنچه بعداً از این کلمه استنباط شد. مثلاً جوزف پرستلی، شیمیدان و فیزیکدان قرن هجدهم، «تاریخچه»‌هایی برای الکتریسیته و اُپتیک نوشت که در واقع بازنگری پیشرفت‌هایی بود که در آن عرصه‌ها حاصل شده بود، و منظورش از فراهم کردن این تاریخچه‌ها این بود که نیازهای علم پیشگان زمانه‌ی خودش را برآورده کند. تازه در قرن نوزدهم بود که مفهوم متفاوتی از علوم یاگرفت، مفهومی که در آن علم پدیده‌ای تاریخی و با گذشته‌ای به خودی خود جالب و آموزنده، تلقی می‌شد. ارنست ماخ، فیزیکدان و فیلسوف، رساله‌های مهمی درباره‌ی تحولات مکانیک،

تحت نظر فرهنگ یونان امپدوکله، سوپره و دیمرا، امروزه در شهر اسکندریه بر گریه‌ی بند. کارهای ارسطو در سال ۲۸۷ قبل از میلاد مسیح دربارتاریخچه‌های ایدئولوژیکی و استاتیک و غیردینامیک به‌صورت دوره مربوط می‌شود. راهبان ارسطو و علامه پیشانیان وی به روایت‌های علمی امروزه خیلی نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی از قبیل ابوریحان بیرونی، ابن‌هثیم، خواجه نصیرالدین طوسی و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم و اپتیک، علم فیزیک را گسترش دادند که بعداً بخشی از این نتایج پایه‌ای برای نظریات کلاسیک و دیگران شد.

کلاسیک نوشتن با اندازه‌گیری‌های تجربی و «تجزیه و تحلیل ریاضی» روش جدیدی را برای بررسی دستگاه‌های ساده ارائه دهد. او حرکت اجسام روی سطح شیب‌دار را بررسی کرد و مشخصه‌های اصلی حرکت‌ها را معرفی کرد. این مشخصه‌ها کمیت‌هایی قابل اندازه‌گیری مثل جرم جسم با زمان لازم برای طی یک مسافت معین بود. او سعی کرد رابطه‌ای بین این اندازه‌گیری‌ها باشد و نتیجه را به‌صورت ریاضی بیان کند. با نظریات کلاسیک رویتند که نتایج یک بررسی شامل چند اندازه‌گیری را اغلب می‌توان در یک جمله بسیار ساده خلاصه کرد. جمله‌ساده‌ای که شامل از آن گونه جمله‌ساخت که شما در فصل‌های بعد این کتاب به‌درستی آن بی خواهید بود.

«یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن که تحت تأثیر نیرویی مجبور به تغییر آن حالت شود.»

کلاسیک نشان داد که قانون‌های طبیعت از جمله‌های ریاضی معمولاً ساده‌ای برزی می‌کنند. از آن زمان تاکنون فیزیکدانان در جستجوی روابط ریاضی‌ای هستند که نتایج اندازه‌گیری‌ها را به‌صورت می‌کنند. امروزه این اندازه‌گیری‌ها با دستگاه‌های بسیار بالا و در تعداد بسیار زیاد آزمایشگاه‌ها، آشکارسازها و ... با اندازه‌گیری‌های بسیار بزرگ از زمین، سیاره‌های دیگر، کهکشان‌ها و ... انجام می‌شود.

مفهوم‌های اساسی در فیزیک به‌حسب اندازه‌گیری‌های بیان می‌شوند و هدف هر نظریه فیزیکی بیان ارتباط نتیجه‌ی چند اندازه‌گیری به یک دیگر است. هرچند هر که یک نظریه به‌صورت تئوری و مجرد بیان شده باشد، باز هم به پیشگویی‌های منحصر می‌شود که تنها توسط اندازه‌گیری قابل آزمون است.

اُپتیک، و ترمودینامیک نوشت که در واقع مرور و نقد مبانی این علوم بودند. تاریخچه‌ای که ماخ با گرایش فلسفی برای فیزیک نوشت، به نوعی است که از آن هنگام تاکنون همواره علاقه‌ی مورخان، فیلسوفان، و فیزیکدان‌ها را به خود جلب کرده است. مثلاً، اینشتین کارهای ماخ را کمال مطلوب تاریخ علم می‌دانست. تاریخ فیزیک قبل از ۱۹۲۰ انحصاراً به دست فیزیکدان‌ها نوشته شد؛ این‌ها تحولات علم خودشان را به صورت پیشرفت پیوسته‌ای به‌طرف حقیقت توصیف می‌کردند، و توجه چندانی به شرایط اجتماعی و سیاسی پیچیده‌ای که این تحولات را احاطه می‌کرد نداشتند. از این منظر، پیشرفت علم حاصل اندیشه‌ها و آزمایش‌های درخشان تعداد اندکی از دانشمندان بزرگ شمرده می‌شد.

در دوره‌ی بین دو جنگ جهانی، پژوهشگرانی مثل جورج سارتون و الکساندر کویره برنامه‌ی جدیدی برای تاریخ علم، به عنوان شاخه‌ای از تاریخ اندیشه که به بررسی تحول افکار علمی در شرایط زمانه‌ی خودشان اختصاص داشت، تدوین کردند. این برنامه تازه در سال‌های دهه‌ی ۱۹۵۰ تحقق پیدا کرد، یعنی وقتی که تاریخ علم علائق جدیدی برانگیخت و به تدریج به موضوع تحقیقاتی حرفه‌ای جدا از علوم و جدا از تاریخ عمومی، بدل شد. این روش بررسی که در آمریکا آغاز شده بود، در اروپا و جاهای دیگر به‌کندی و به صورت ناقص ادامه پیدا کرد. از آن زمان به این سو، تاریخ علم به عنوان رشته‌ی دانشگاهی نسبتاً مهمی که غالباً گروه آموزشی یا برنامه‌ی مخصوص به خود دارد، دایر شده

است. امروز تاریخ علم در مقیاس بین‌المللی به عنوان عرصه‌ای مستقل آموزش داده می‌شود، اگر چه در بسیاری موارد با عرصه‌های دیگری مثل جامعه‌شناسی علم، تاریخ فناوری، و مطالعات علم نیز در ارتباط است. در تمامی این عرصه‌ها، تاریخ علم در واقع نقش مهم و معمولاً غالبی داشته است. البته تاریخ علوم غیرفیزیکی (مثلاً زیست‌شناسی و زمین‌شناسی) هم محبوبیت فزاینده‌ای کسب کرده است، اما در تاریخ علم امروزی فیزیک هنوز هم صاحب جایگاه اصلی است. تاریخ فیزیک، با آن که جزئی از عرصه‌ی جامع‌تر تاریخ علم است و تاریخ علم هم اساساً جزو علوم انسانی است، با خود فیزیک و نهادهای آن نیز در ارتباط است. بسیاری از انجمن‌های ملی و بین‌المللی فیزیک بخش تاریخ فیزیک دارند، و در مواردی پژوهش‌های تاریخ فیزیک در دانشکده‌های فیزیک انجام می‌گیرد نه در دانشکده‌های تاریخ یا مطالعات میان‌رشته‌ای. به علاوه، «مرکز تاریخ فیزیک در انستیتوی فیزیک امریکا» با حمایت از برنامه‌های وسیع حفظ مکاتبات، عکس‌ها، کتاب‌ها، و مواد منتشر شده یا منتشر نشده‌ی دیگر و با ترغیب مورخان، فیزیکدانان، مدرسان، روزنامه‌نگاران، و دانشوران و گروه‌های حرفه‌ای دیگر، الگویی برای سایر رشته‌های علمی بوده است.

چرا مطالعه‌ی تاریخ فیزیک مهم تلقی می‌شود؟ برای بسیاری از متخصصان تاریخ علم، اهمیتش در این است که جزئی از فرایند تاریخی بزرگ‌تر است، فرایند تحول علم و تعامل آن با نیروهای اجتماعی، اقتصادی، و سیاسی. از این منظر، تأکید بر تاریخ فیزیک است نه بر تاریخ فیزیک. فیزیک، به عنوان علمی که به پرسش‌های علمی بنیادی می‌پردازد و اهمیت اساسی برای تصویر عالم دارد، بخشی از فرهنگ امروزی است؛ تا آن‌جا که این فرهنگ را محصولی تاریخی می‌دانیم (که این چنین هم هست)، تنها راه درک ارزش فیزیک به عنوان محمل و مظهر فرهنگ را باید بررسی تحول تاریخی آن دانست. مثلاً، عدم قطعیت کوانتومی اغلب در حوزه‌های خارج از فیزیک هم مورد بحث است و تصور بر این است که پیامدهای فلسفی بنیادی دارد. برای دستیابی به درک کامل معنای این اصل باید پیدایش و تحول آن را از لحاظ تاریخی بررسی کرد. اما فیزیک، به مناسبت نقشی که در تولید دانش فنی بالقوه با اهمیت دارد نیز مهم است، و اهمیتش از این لحاظ حتی مشهودتر است. بمب اتمی، لیزر، ترانزیستور، و ارتباطات ماهواره‌ای از جمله شواهدی هستند که اهمیت خاص فیزیک را در نیمه‌ی دوم قرن بیستم نشان می‌دهند. این وسایل چگونه اختراع شدند؟ چه ارتباطی با پیشرفت‌های دانش فیزیک داشتند؟ پیامدهای اقتصادی و سیاسی آن‌ها چه بود؟ به این پرسش‌ها هم فقط می‌شود با مطالعه‌ی تاریخی فیزیک، نه با مطالعه‌ی خود فیزیک به تنهایی، به طرز رضایت‌بخشی پاسخ داد. به عبارت دیگر، به خاطر اهمیت زیادی که فیزیک هم از لحاظ فرهنگی و هم از لحاظ اقتصادی در جامعه‌ی امروزی داشته است، تاریخ فیزیک راه‌گشای درک بهتری از وضعیت کنونی ماست.

تاریخ فیزیک موارد استفاده‌ی ملموس‌تری هم دارد. مثلاً، عنصر مهمی در سیاست‌گذاری برنامه‌های جدید علم و فناوری است که توجیه یا نقدشان معمولاً براساس تجربیات تاریخی صورت می‌گیرد. به‌طور کلی تاریخ علم نقشی مهم، هر چند اغلب غیرمستقیم، در مباحثات تأمین منابع مالی برای علوم فیزیکی پایه دارد. آیا تاریخ نشان نداده است که حتی فیزیکی که ظاهراً اهمیت عملی ندارد ممکن است به فناوری مهمی منجر شود؟ اگر فیزیکدان‌های نظری در قرن نوزدهم به مطالعات بنیادی الکتروپوینامیک نمی‌پرداختند، آیا می‌شد رادیو و تلویزیون را حتی به تصور درآورد؟ در تاریخ علمی که درست نوشته شده باشد، رابطه‌ی دقیق (ولی پیچیده‌ی) میان دانش فیزیکی و پیشرفت‌های فناوری موضوع اصلی بحث است، و استفاده‌ی فیزیکدان‌ها از مباحثات تاریخی برای رسیدن به هدف‌شان نیز همین‌طور است.

گفته شده است که علم از دانش تاریخی مستقیماً بهره می‌گیرد، و علم‌پیشگانی که دانش تاریخی‌شان بیش‌تر باشد برای رسیدن به کشف‌های جدید موقعیت بهتری دارند. اگرچه این عقیده ممکن است جای سؤال داشته باشد،

اما تردیدی نیست که تاریخ فیزیک نقش مهمی در تکامل فیزیک ایفا می‌کند. مدت‌هاست معلوم شده است که رهیافت تاریخی مزیت‌هایی در آموزش فیزیک دارد. در آموزش سنتی، فیزیک به مفهومی بسیار فنی و انتزاعی به صورت مجموعه‌ی بی‌زمانی از شناخت واقعیت‌ها و دستورالعمل‌های لازم برای حل مسائل، عرضه می‌شود. با گنجاندن چشم‌اندازی تاریخی، تصویر واقعی‌تری از فیزیک حاصل می‌شود: علمی که جاری است و وضعیت کنونی‌اش محصول تاریخی چالش‌های افراد و گروه‌هایی است که برای گشودن رازهای طبیعت در تلاش بوده‌اند. علاوه بر این بُعد انسانی، رهیافت تاریخی فرصتی هم فراهم می‌آورد تا بتوانیم به نحوی صحیح‌تر و هیجان‌انگیزتر بسیاری از نتایج کلاسیک فیزیک را مرور کنیم و نظریه‌های نادرست و آزمایش‌های ناموفق را هم در برنامه‌ی درسی بگنجانیم. این رهیافت به خصوص برای دانشجویان رشته‌های غیرعلمی، و به عنوان وسیله‌ای برای نشان دادن ارتباط پیش‌تر و جالب توجه‌تر فیزیک با زنان و گروه‌های دیگری که به لحاظ سنتی کم‌تر در معرض آموزش این علم بوده‌اند، توصیه شده است. پژوهش فیزیکی، اگر به صورت فعالیتی انسانی به تصویر کشیده شود، برای این گروه‌ها جاذبه‌ی بیش‌تری خواهد داشت.

تاریخ فیزیک هم‌چنین در فهم کلی فیزیکدان‌ها از علم‌شان، از جمله از پایه‌های فلسفی‌اش، نقشی ایفا می‌کند. رهیافت «منطقی» سنتی نسبت به فلسفه‌ی علم، با رهیافت «تاریخی» تری که مستقیماً مبتنی بر تاریخ علم است تلفیق شده است. برای بیش‌تر پژوهشگرانی که امروزه در زمینه‌ی فلسفه‌ی علم کار می‌کنند، تاریخ علم یک منبع ضروری است. به‌خاطر ماهیت بنیادی دانش فیزیکی، تاریخ فیزیک را در این زمینه باید به‌ویژه بسیار بااهمیت دانست.

مورخان فیزیک عموماً برای مخاطبانی هم‌تراز با خودشان می‌نویسند، اگر چه فیزیکدان‌ها و مردم عادی هم آثارشان را می‌خوانند. بعضی آثار تحقیقی موفق شده‌اند مخاطبان بسیار زیادی پیدا کنند، و در نتیجه تأثیری خیلی بیش‌تر از حد معمول داشته‌اند. زندگی‌نامه‌ها از این لحاظ مهم‌اند، زیرا خوانندگان‌شان بسیار بیش‌تر از اعضای محافل محدود دانشگاهی است. موفقیت کتابی که آبراهام پاپس درباره‌ی زندگی و آثار آلبرت اینشتین، با عنوان *Subtle is the Lord* (زیرک است خداوند) در سال ۱۹۸۲ نوشته است، نشان می‌دهد که تاریخ تحقیقی و جدی فیزیک برای خودش مخاطبانی دارد. کتاب بسیار پرخواننده‌ی توماس کوهن، با عنوان *The Structure of Scientific Revolutions* (ساختار انقلاب‌های علمی)، هم در سال ۱۹۶۲ به نحو دیگری مؤید همین نکته است. مورخان فیزیک هم‌چنین به ویراستاری مجموعه مقالات گردآوری شده‌ی آیزاک نیوتون، جوزف هنری، آلبرت اینشتین، نیلس بور و فیزیکدانان برجسته‌ی دیگر پرداخته‌اند و به این ترتیب، زمینه را برای شمار زیادی از تحقیقات و تألیفات تاریخ فیزیک در آینده فراهم آورده‌اند.

تاریخ‌نگاری جدید فیزیک منجر به آثار و کتاب‌های زیادی شده است که هر جنبه‌ی قابل‌تصور از تحولات فیزیک را شامل می‌شود. با این همه، بعضی عرصه‌های فیزیک هستند که از بقیه محبوب‌ترند. انقلاب علمی قرن هفدهم، با غول‌هایی مانند بوهانس کیپلر، کریستیان هویگنس، و نیوتون، از قدیم جزو موضوعات اصلی تحقیقات تاریخ علم بوده و هنوز هم بسیار مورد توجه مردم است. یکی دیگر از موضوعات مهم تاریخ فیزیک، موفقیت‌های بزرگی است که در قرن نوزدهم به‌همّت کسانی چون مایکل فاراده، نیکولاس کارنو، لرد کلونین، جیمز کلرک ماکسول، و هرمان فون هلمهولتز حاصل شده است. تا حدود سال ۱۹۷۰، تاریخ فیزیک قرن بیستم عرصه‌ی چندان پیشرفته‌ای نبود، اما

امروز این وضعیت به کلی تغییر کرده است و ما شناخت نسبتاً مشروحی از چگونگی ظهور و تحولات نظریه‌های نسبیت و مکانیک کوانتومی، هم به لحاظ نظری و هم کاربردی، پیدا کرده‌ایم. همزمان با گرایش کلی نسبت به فیزیک جدید، چشم‌اندازهای فیزیک وسیع‌تر شده و جنبه‌های اجتماعی و نهادی آن روز به روز بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است. مدت‌هاست معلوم شده است که این جنبه‌ها در انقلاب علمی فوق‌العاده حایز اهمیت بوده‌اند. اهمیت این جنبه‌ها در زمان‌های اخیر، که بعضی حوزه‌های فیزیک - چشم‌گیرتر از همه، فیزیک انرژی‌های زیاد و علوم فضا - به صورت «علم بزرگ» درآمده‌اند، باز هم بیش‌تر شده است. در پاسخ به این تحولات، علاقه‌مندی‌های شدیدی برای بررسی تأثیر متقابل میان فیزیک، سیاست، اقتصاد، مسائل نظامی و وجود آمده است. حوزه‌هایی از فیزیک که مورخان فیزیک به‌طور معمول به آن‌ها پرداخته‌اند، نظریه‌های بزرگی مثل مکانیک، ترمودینامیک، الکتروپدینامیک، و نسبیت بوده است. در سال‌های اخیرتر، فیزیک تجربی و فیزیک آزمایشگاهی مورد توجه روزافزون قرار گرفته‌اند. درباره‌ی علوم فیزیکی در مفهوم وسیع‌تر، از جمله حوزه‌های میان‌رشته‌ای از قبیل شیمی فیزیک، اختر فیزیک، ژئوفیزیک، و فیزیک پزشکی، تحقیقات تاریخی بسیار کم‌تری صورت گرفته است و این‌ها نیازمند پژوهش‌های بیش‌تری در آینده‌اند.

چه کسانی «حق» دارند که تاریخ فیزیک را بنویسند؟ مورخان حرفه‌ای فیزیک یا فیزیکدان‌های علاقه‌مند به تاریخ علم؟ این دو گروه ممکن است تصورات مختلفی از چگونگی نوشته شدن تاریخ فیزیک و مخاطبان آن داشته باشند، و با هم به توافق نرسند. بعضی مورخان علم معتقدند که برداشت فیزیکدان‌ها از تاریخ خودشان بسیار درون‌نگر است، و چشم‌انداز تاریخی گسترده‌ای ندارد. هر چند نمونه‌هایی از این نوع تاریخ‌نگاری را می‌شود پیدا کرد، اما چنین انتقادی به‌طور کلی معتبر نیست. در واقع، بخش بزرگی از بهترین نوشته‌های تاریخ فیزیک را فیزیکدان‌هایی نگاشته‌اند که اصلاً یا چندان آموزشی در تاریخ‌نگاری نداشته‌اند، و یا تألیف مورخانی است که در اصل فیزیکدان حرفه‌ای بوده‌اند. تاریخ‌نگاری فیزیک الزاماً نیازمند تعلیم و تربیت در رشته‌ی تاریخ نیست، و ضرورتی هم ندارد که نویسنده حتماً درجه‌ی تحصیلی بالایی در فیزیک جدید داشته باشد. آثار موجود نشان می‌دهد که تاریخ فیزیک خوب را می‌شود از دیدگاه‌های بسیار متفاوتی نوشت، و در نتیجه این مقوله «تعلق» خاصی به مورخان یا به فیزیکدان‌ها ندارد. همکاری میان این دو گروه، هم در گذشته برایشان مفید بوده است و هم در آینده به آن‌ها کمک خواهد کرد.



## ارشمیدس (Archimedes) / ۲۱۲ ق.م — ۲۷۸ ق.م)



ارشمیدس یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان ریاضی و مکانیک در عصر خود بود. پدرش فیدياس که منجم بود، او را برای آموزش، از سیراکوز به مدرسه‌ی ریاضیات اسکندریه فرستاد. شهر اسکندریه را، اسکندر مقدونی در سال ۳۲۳ ق.م، در زمان حمله و حرکت به سوی شرق، برکنانه‌ی مدیترانه، در خاک مصر، ساخت. این شهر پس از رکود آتن — پایتخت یونان — مرکز علم و تجارت شد و بزرگانی چون اقلیدس، بطلمیوس و ارشمیدس را تربیت کرد. این شهر حتی موقعی که به‌دست مسلمانان فتح شد، از مراکز مهم علوم یونانی بود و در انتقال علم و اندیشه‌ی یونانی به تمدن و فرهنگ اسلامی، نقش مهمی داشت. درباره‌ی خصوصیات زندگی ارشمیدس، اطلاعات زیادی در دست نیست. اما علاقه‌اش به ریاضیات و مسائل علمی مکانیک سبب شده است که کارهای با ارزشی از او باقی بماند. گفته می‌شود که وقتی به مسئله‌ای علاقه‌مند می‌شد از خوردن و خفتن غافل می‌شد و چنان خود را سرگرم کار و حل مشکل می‌کرد که هر مسئله‌ی دیگری او را از کار باز نمی‌داشت. وقتی

که ارشمیدس روی شن‌های ساحل دریا اشکال هندسی خود را رسم کرده بود سربازی بدون توجه، با راه رفتن روی شن‌ها اشکال او را لگد کرد، ارشمیدس چنان اعتراض کرد که موجب خشم سرباز شد و با شمشیرش به ارشمیدس حمله کرد و او را کشت. از آثار علمی او می‌توان به کشف قانون مایع‌ها و گازها (معروف به قانون ارشمیدس در شماره‌ها)، تعیین جرم حجمی طلا و نقره و بعضی فلزات دیگر و اختراع پیچ مخصوص حلزونی شکل به نام پیچ ارشمیدس برای بالا بردن آب اشاره کرد.

هم‌چنین تألیف کتاب‌هایی از جمله اصول مکانیک، درباره‌ی اجسام شناور، درباره‌ی کره و استوانه، اندازه‌گیری دایره و پیچ‌ها از دیگر کارهای برجسته‌ی این دانشمند دوران باستان است.

## گالیله (Galilei, Galileo) / ۱۶۴۲ — ۱۵۶۴)



فیزیکدان و منجم بزرگ ایتالیایی را، پدر علوم تجربی می‌نامند. او با استفاده از ابزارهای خیلی ساده و روش علمی مناسب، برخی از قانون‌های طبیعت را با استفاده از آزمایش به‌دست آورد و نشان داد که برخی از نظریه‌های قدیمی و از جمله نظریه‌های ارسطو درباره‌ی حرکت، درست نیستند. گالیله در ۱۹ سالگی به دانشگاه پیزا رفت و در رشته‌ی علوم پزشکی تحصیل کرد، اما پس از مدتی به ریاضیات و فیزیک روی آورد. توجه به پدیده‌های طبیعت و یافتن رابطه‌ای بین آن‌ها از دغدغه‌های ذهنی او بود. گفته می‌شود روزی که به کلیسا رفته بود متوجه نوسان‌های منظم چراغ‌های کلیسا شد. از این مشاهده‌ی اتفاقی آزمایش‌های زیادی درباره‌ی حرکت یک

آونگ انجام داد و قانون همزمانی نوسان‌های کم‌دامنه‌ی آونگ را به‌دست آورد. گالیله با مطالعه روی سقوط اجسام، به این نتیجه رسید که «در جایی که هوا نباشد همه‌ی اجسام با شتاب یکسان سقوط می‌کنند.» او علاوه بر سقوط آزاد، حرکت پرتابه‌ها را نیز مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که مسیر پرتابه‌ها سهمی است. در سال ۱۶۰۹/۹۸۸ یک دوربین نجومی ساخت و با آن برای اولین بار قمرهای مشتری را مشاهده کرد. آخرین فعالیت علمی گالیله، تألیف کتابی است به نام «گفتگو درباره‌ی دو علم جدید» که فعالیت‌های علمی خود را در رشته‌ی فیزیک در آن نوشته است.

## ۱-۲- ارکان علم فیزیک

راهنمای تدریس: در صورتی که به اندازه‌ی کافی در خصوص بخش ۱-۱ دانش‌آموزان بحث کرده باشند در این بخش باید به موضوع‌های زیر توجه شود.

● هدف علم فیزیک یافتن ماهیت و طبیعت بنیادی

اشیاست.

● روش علم فیزیک، روش گالیله است که بعداً توسط

نیوتون کامل شد.

● در فیزیک هر موضوعی چه بسیار ساده و ابتدایی باشد

یا بسیار پیچیده و ژرف، توسط تجربه (آزمایش) و تجزیه و تحلیل ریاضی بررسی می‌شود.

● فیزیک فرایندی است که انجام یا سرانجام آن آزمایش

است. به عبارت دیگر برخی مواقع فیزیکدانان از نظریه شروع می‌کنند و سپس آن را آزمایش می‌کنند و در برخی مواقع از آزمایش شروع می‌کنند و سپس در پی یافتن نظریه‌ای برای آن هستند.

● نتیجه‌ی مشاهده‌ها و اندازه‌گیری‌های انجام شده، مبنای

برای تجزیه و تحلیل ریاضی دستگاه مورد بررسی است.

● فیزیکدانان تجربی، با طراحی و انجام آزمایش‌های

مختلف و جمع‌آوری اطلاعات از طریق اندازه‌گیری به تحقیق و پژوهش می‌پردازند.

● فیزیکدانان نظری، با تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی که

از طریق آزمایش و مشاهده به دست آمده است، نظریه می‌سازند.

● هر نظریه‌ی فیزیکی باید:

– با همه‌ی یافته‌های تجربی و نظریه‌های معتبر قبلی سازگار

باشد.

– پیش‌بینی‌های آن با نتایج آزمایش‌ها سازگار باشد.

### ۱-۲-۱-۱- ارکان علم فیزیک

اینک پس از این مرور کوتاه تاریخی، می‌توانیم ارکان علم فیزیک را معرفی و توصیف کنیم. هدفی که فیزیک دنبال می‌کند، همانند دوران یونان باستان، یافتن ماهیت و طبیعت بنیادی دنیای پیرامون است.

روش فیزیک، روش گالیله است که بعداً توسط نیوتون تکمیل شد. بحث موضوع مورد نظر توسط تجربه انجام آزمایش و تجزیه و تحلیل ریاضی بررسی می‌شود.

موضوع با دستگاه مورد بررسی در فیزیک می‌تواند بسیار ساده و ابتدایی و یا بسیار پیچیده و ژرف باشد. گالیله جسی را روی سطح شیوارز رها می‌کند. زوئی یک جرم روانه‌دار را در آب می‌چرخاند. و ادرفورد عناصر یونانی کیمیا را مورد آزمایش قرار می‌دهد و...

در فیزیک وقتی صحبت از تجربه می‌شود، منظور جمع‌آوری اطلاعات از رویداد یا موضوع مورد بررسی است. برای این کار معمولاً یک رشته اندازه‌گیری انجام می‌دهند. با این اندازه‌گیری‌ها، ویژگی‌های مختلف دستگاه مورد نظر مشخص می‌شود. مجموعه‌ای از فعالیت‌های تجربی را معمولاً مشاهده می‌نامیم. مثلاً وقتی می‌گوییم که مشاهده می‌شود جسم یک جسم با افزایش دما زیاد می‌شود، منظور ما آن است که اندازه‌گیری‌های متعدد در دماهای مختلف برای جسم‌های مختلف انجام شده و در هر یک از آن‌ها حجم جسم مورد آزمایش و دمای آن اندازه‌گیری شده و این نتیجه به دست آمده است. بدلیل اهمیتی که مهارت مشاهده و اندازه‌گیری در فیزیک دارد، در بخش جداگانه‌ای به جزئیات آن می‌پردازیم.

نتیجه مشاهده‌ها و اندازه‌گیری‌ها، بناشود تا در مرحله تجزیه و تحلیل ریاضی را فراگیر می‌سازد. فیزیکدانانی که پیش‌تر در زمینه طرح‌ریزی و انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات از طریق اندازه‌گیری پژوهش می‌کنند، فیزیکدانان تجربی نامیده می‌شوند.

اینک بایده بینیم یک فیزیکدان در مرحله تجزیه و تحلیل چه می‌کند؟ آن‌ها با بررسی دقیق یافته‌های تجربی (آ مشاهده‌ها) که از اندازه‌گیری‌ها به دست آمده‌اند، سعی می‌کنند رابطه بین آن‌ها را بیابند. برای این کار، آن‌ها نه تنها نیاز دارند که رابطه‌های موجود را که در مورد‌های مشابه به دست آمده‌اند به خوبی بدانند بلکه باید خلاقیت و توان تصور خوبی هم داشته باشند. زیرا رابطه‌ای که یک فیزیکدان بیان می‌کند، معمولاً بر اساس مدلی است که در ذهن خود از واقعیت ساخته است. اگر این مدل به خوبی بر واقعیت منطبق باشد، بحثها به رابطه صحیح بین نتیجه‌های تجربی منجر می‌شود بلکه فیزیکدان می‌تواند بر اساس آن، رابطه‌های دیگری را نیز پیش‌بینی کند.

## ۱-۳- کاربردهای فیزیک

**راهنمای تدریس:** در این بخش دانش‌آموزان با شاخه‌ها و کاربردهای مختلف فیزیک در صنعت، فناوری و زندگی بشر آشنا می‌شوند. در کتاب درسی برخی از شاخه‌های فیزیک به اختصار آمده است. در این بخش فرصت مناسبی است که از دانش‌آموزان بخواهید تا ترجیحاً به‌طور گروهی در مورد هر شاخه اطلاعات بیشتری استخراج نمایند و آن اطلاعات را به شکل‌های مختلفی از قبیل ارائه مقاله و یا پوستر در کلاس درس مطرح نمایند.

در ادامه‌ی این بخش تعدادی دانستنی آمده است تا با مطالعه‌ی آن‌ها، موارد جالب توجهی را که صلاح می‌دانید در کلاس درس با دانش‌آموزان در میان گذارید.

مجموعه‌ای از مدل‌ها و رابطه‌هایی که از طریق تجربه‌ها بدست می‌آیند، یک نظریه (یا تئوری) را می‌سازد. فزیکدانان را که با تجربه و تحلیل داده‌های تجربی (مشاهدات)، نظریه می‌سازند، فزیکدانان نظری یا نظریه‌پرداز می‌نامند.

از زمان گالیله تاکنون که این سواد علمی رایج بوده است، نظریه‌های فراوان مطرح شده‌اند ولی همه این نظریه‌ها مورد قبول واقع نشده‌اند.

لذا فکر می‌کنید یک نظریه فزیک باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد تا مورد تأیید همگان باشد؟ احتمالاً پاسخ می‌دهد که باید با همه یافته‌های تجربی و نظریه‌های معتبر فزیک سازگار باشد. این‌ها همه درست است ولی آزمون دیگری هم هست که در طول زمان هر نظریه علمی را محک می‌زند. این آزمون به شرح زیر است:

دانشمندان به کمک مدل‌های ریاضی، که در نظریه مطرح شده است، پیش‌بینی‌هایی می‌کنند. سپس براساس این پیش‌بینی‌ها، طرح آزمایش‌های جدیدی را می‌زنند و سعی می‌کنند شرایط مناسب برای انجام آن آزمایش‌ها را فراهم کنند. اگر نتایج این آزمایش‌ها با پیش‌بینی‌های نظریه مورد نظر سازگار نبود، نظریه رد می‌شود! در غیر این‌صورت نظریه تأیید و احتمالاً تکمیل می‌شود. دانشمندان اغلب هنگامی یک نظریه جدید را به‌جای نظریه قدیمی‌تر می‌زنند که با پیش‌بینی‌هایی که براساس آن صورت می‌گیرد، از نظر کمی سازگاری بهتری با تجربه داشته باشد و یا تعداد بیشتری از پدیده‌ها را توجیه کند.

### فعالیت ۱-۱

دربارۀ نقش فزیک در پیشرفت فناوری تحقیق کنید و نتیجه کار خود را در کلاس مورد بحث قرار دهید.

### ۱-۳-۱ کاربردهای فیزیک

گسترش دانش فزیک تأثیر زیادی بر زندگی ما داشته است. مطالعه هر بخش از جهان برآمده ما، چه کوچک چه بزرگ، چه جاندار چه بی‌جان، بدون دانش فزیک بی‌سر نیست. لذا با فراگیری فزیک می‌آموزید که چگونه مشاهده کنید، بررسی کنید، آزمایش انجام دهید و نتایج آزمایش‌ها را به‌صورت مناسب ثبت کنید. علاوه بر این، آماده می‌شوید که این نتایج را برای دیگران توضیح دهید و درباره نظریه و طبقه‌بندی خود بحث کنید. فراگیری دانش فزیک توانایی شما را در

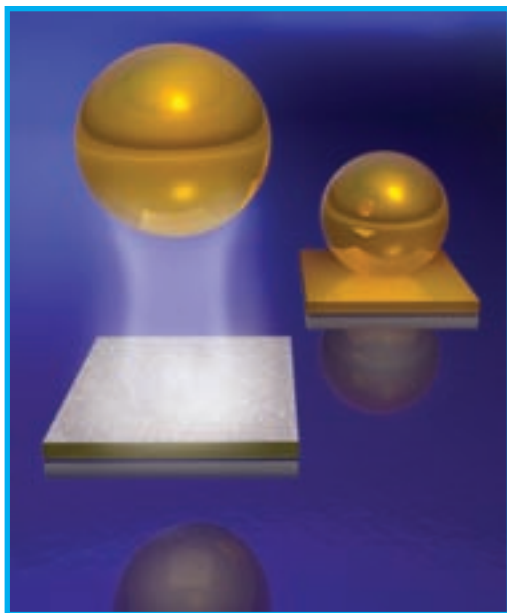
## دانستنی



### فیزیک نظری

گسترده‌ی شناخت و فعالیت‌های علمی، و طولانی شدن آموزش لازم برای ملحق شدن به جامعه‌ی علمی حرفه‌ای، باعث شده است که مشارکت کامل در همه‌ی زمینه‌ها و روش‌های پژوهش علمی برای بیش‌تر دانش‌پیشگان تقریباً ناممکن شود. برجسته‌ترین ویژگی علم نوین، گرایش سریع آن به تخصصی شدن است.

**تخصصی شدن علم:** مطالعه‌ی علم از این‌جا آغاز شد که انسان‌ها شروع به مشاهده، گردآوری داده‌ها، و طبقه‌بندی داده‌های جهان طبیعی کردند و به کشف الگوهایی در این داده‌ها دست یافتند. در جهان امروز، روش کسب شناخت علمی به شکل فرایند چرخه‌ای فرمول‌بندی فرضیه و تأیید تجربی درآمده است که آن را



روش علمی می‌گویند. هدف روش علمی، ساختن نظریه‌هایی علمی است که پیش‌بینی داشته باشند و با تجربه بشود آن‌ها را آزمود. روش علمی، ابزار قدرت‌مندی برای پیشرفت سریع علمی است. شناخت علمی، با پیشرفت بدنه‌اش به شاخه‌های زیادی از جمله اخترشناسی، زیست‌شناسی، شیمی، زمین‌شناسی، علوم پزشکی، و فیزیک تقسیم شده است.

خود فیزیک زمینه‌ی چنان گسترده‌ای است که بیش‌تر فیزیک‌پیشه‌های حرفه‌ای در زمینه‌ی ویژه‌ای (مثلاً فیزیک جو یا فیزیک مولکولی) متخصص می‌شوند. بعضی فیزیک‌پیشه‌ها در مرز فیزیک و یک شاخه‌ی دیگر علم کار می‌کنند (مثل اختر فیزیک، زیست فیزیک و شیمی فیزیک). این تخصصی شدن، به روشنی در شکل ظاهر فیزیکال ریویو (*Physical Review*)، که یکی از برجسته‌ترین مجله‌هایی است که کشف‌های جدید فیزیک را گزارش می‌دهد، دیده می‌شود. این مجله را «انجمن فیزیک امریکا» منتشر می‌کند. هر ماه پنج نسخه‌ی مختلف فیزیکال ریویو منتشر می‌شود: فیزیکال ریویو A (فیزیک اتمی، مولکولی، و اپتیک)، فیزیکال ریویو B (فیزیک ماده‌ی چگال)، فیزیکال ریویو C (فیزیک هسته‌ای)، فیزیکال ریویو D (فیزیک ذرات، گرانش و کیهان‌شناسی)، و فیزیکال ریویو E (فیزیک آماری، فیزیک پلاسما، و شماره‌ها).

فیزیک‌پیشه‌ها از یک نظر دیگر هم متخصص شده‌اند. ابزارهای تجربی فوق‌العاده دقیق و ظریف شده‌اند. گاه ساختن و مدرج کردن یک دستگاه چندین سال طول می‌کشد. نظریه‌های فیزیکی نوین هم بیش‌تر و بیش‌تر ریاضیاتی و مجرد می‌شوند. بعضی فیزیک‌پیشه‌ها ترجیح می‌دهند آزمایش طرح کنند، ابزارهای آزمایشگاهی را فراهم کنند، و برنامه‌های رایانه‌ای برای پردازش مقادیر عظیم داده‌ها بنویسند. به این‌ها فیزیک‌پیشه‌ی تجربی می‌گویند. فیزیک‌پیشه‌های دیگر بیش‌تر به فرمول‌بندی، تحقیق، و آزمودن نظریه‌ها علاقه‌مندند. به این‌ها فیزیک‌پیشه‌ی نظری می‌گویند.

## دانستنی



### فیزیک تجربی

فیزیک، علم دقیقی است که در آن نیروها یا برهم‌کنش‌های حاکم بین ماده و پیامدهایشان مورد بررسی قرار می‌گیرد. فیزیک امروز را به دو گروه گسترده‌ی فیزیک تجربی و فیزیک نظری تقسیم می‌کنند. در فیزیک تجربی، نیروهای طبیعت و رفتار ماده بر اثر این نیروها را با روش یا رهیافت تجربی مشخص می‌کنند؛ در حالی که در فیزیک نظری، مشاهدات را به زبان ریاضی توصیف می‌کنند تا با درک نیروهای زیربنایی طبیعت، قوانین حاکم بر آن را به دست آورند. این نظریه‌هایی که برای نمایش رفتار مشاهده شده ساخته می‌شوند، پیش‌بینی‌هایی دارند که آزمودن‌شان از طریق آزمایش‌های دیگر منجر به ارزیابی این نکته می‌شود که این قوانین تا چه حدی کامل و بنیادی‌اند. کار اصلی فیزیک تجربی، اندازه‌گیری کمیت‌هایی است که در نهایت با نیروها و برهم‌کنش‌ها در ارتباط‌اند، و این اندازه‌گیری هم در فضا و زمان آزمایشگاهی انجام می‌شود. آزمایشگاه فیزیک را در عمل می‌توان چنین در نظر گرفت: اتاقی با



میز کار، نیمکت‌ها، دستگاه‌های علمی و تجهیزاتی مثل آب و برق و گاز شهری و پمپ‌های خلاً؛ زمینی بسیار وسیع با ساختمان‌ها و تأسیساتی مثل آزمایشگاه بزرگ انرژی زیاد با کیلومترها تونل زیرزمینی و حلقه‌های بزرگی که ذرات زیر اتمی در آن‌ها تولید می‌شوند و با سرعت‌های بسیار زیاد به حرکت درمی‌آیند؛ آسمانی که «چشمان» فیزیک پیشه‌ای که روی زمین یا ماهواره استقرار دارد آن را زیر نظر گرفته است؛ تپه‌ای از شن و ماسه که بر اثر بهمنی کوچک در حال فروریختن است؛ و سرانجام، ظرف‌شویی آشپزخانه برای مشاهده‌ی جریان هیدرودینامیکی آب.



## دانستنی



### فیزیک پایه، کاربردی، و صنعتی

فیزیک – مانند زیست‌شناسی، شیمی، و سایر رشته‌های علم – برحسب موضوع‌ها، فعالیت‌ها، و یافته‌های پژوهشی‌اش به آسانی توصیف‌پذیر است. موضوع‌های پژوهشی فیزیک حول اصول و قوانین بنیادی حاکم بر رفتار انرژی و ماده در طبیعت متمرکز شده‌اند. فعالیت‌های فیزیکدان‌ها اغلب در سه شاخه‌ی پژوهشی فیزیک، یعنی فیزیک پایه، فیزیک کاربردی و فیزیک صنعتی سازماندهی می‌شوند. با آن‌که هر کدام از شاخه‌های فیزیک شامل مجموعه‌ای از موضوع‌ها،



فعالیت‌ها، و یافته‌های خود می‌شود، هر سه شاخه از طریق یافته‌های بنیادی فیزیک با هم در ارتباط‌اند؛ یافته‌هایی بنیادی نظیر این که رفتار انرژی و ماده در شرایط فیزیکی مشابه در آزمایشگاه‌های روی زمین همانند این رفتار در منظومه‌ی خورشیدی یا هر جای دیگر عالم است.

**فیزیک پایه:** خلاصه‌ی مباحث فیزیک پایه را می‌توان با نگاه کردن به فهرست مطالب هر کتاب مقدماتی فیزیک دبیرستان یا سال اول دانشگاه دریافت. این نوع کتاب‌های درسی موضوع‌های مربوط به فیزیک کلاسیک نظیر انرژی، ماده، حرکت، نیروها، گرانش، الکتریسیته، مغناطیس، و نور؛ و همچنین موضوع‌های مربوط به فیزیک جدید مانند نسبیت، فیزیک اتمی، و مکانیک کوانتومی را مورد بررسی قرار می‌دهند. فیزیکدان‌هایی که فعالیت‌شان تلاش برای درک عمیق‌تر این نمونه از مباحث مرتبط با انرژی و ماده است، مشغول پژوهش در فیزیک پایه‌اند. فیزیک‌پیشه‌هایی که پژوهش‌هایشان را در فیزیک پایه متمرکز می‌کنند، تمایل دارند که کارشان را در زمینه‌های مشخصی از فیزیک انجام دهند که آن‌ها را شاخه‌های فیزیک می‌گویند.

نمونه‌هایی از شاخه‌های فیزیک که در آن‌ها فعالیت‌های پژوهشی فیزیک پایه انجام می‌شود، عبارت‌اند از اخترفیزیک، فیزیک اتمی، فیزیک محاسباتی، فیزیک ماده‌ی چگال، دینامیک شماره‌ها، فیزیک بسپارهای سنگین، فیزیک مواد، فیزیک مولکولی، فیزیک نورشناسی، فیزیک هسته‌ای، فیزیک ذرات، فیزیک پلاسما، و تعداد بسیار زیادی از عنوان‌های دیگر. در سال‌های بالای دانشگاه، برای هر یک از شاخه‌های فیزیک پایه با کتاب‌های بسیار متعدد و با مجلات علمی معتبر روبه‌رو می‌شویم.

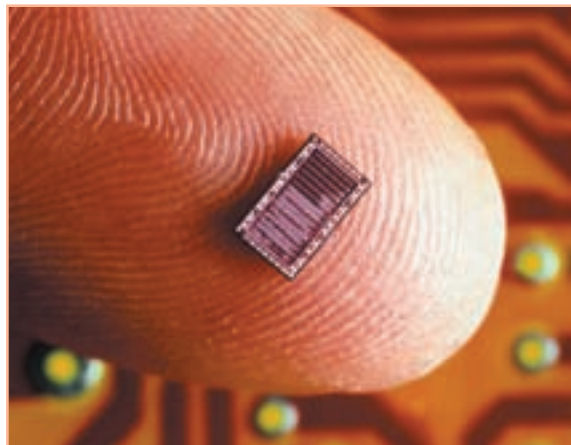
**فیزیک کاربردی:** مباحث فیزیک کاربردی از این نظر با مباحث فیزیک پایه تفاوت دارند که در پژوهش کاربردی، تأکید روی گسترش کاربردهایی است که بتوانند منجر به حل مسائلی شوند که اثرات قابل‌لمسی در زندگی روزانه‌ی انسان‌ها دارند. در موارد متعددی، پژوهش‌های فیزیک کاربردی مباحث مورد علاقه‌ی مشترکی با سایر رشته‌های علوم، مانند فیزیک زیست و شیمی فیزیک، دارد. به نظر می‌رسد که فیزیک کاربردی در رهیافت پژوهشی‌اش بیش‌تر رهیافتی بین‌رشته‌ای است تا شاخه‌ای منفرد در حوزه‌ی پژوهشی فیزیک پایه. به عنوان مثال، زیست‌فیزیکدان‌ها برای توضیح مکانیک فرایندهای زیست‌شناسی از اصول فیزیکی متداول در فیزیک استفاده می‌کنند.

**فیزیک صنعتی:** مباحث مورد توجه در فیزیک صنعتی را، به جای درک پدیده‌های فیزیکی جدید، در جهت تولید محصول با استفاده از فناوری جدید یا بهبود بخشیدن به فناوری موجود تعریف می‌کنند. با توجه به اعمال نیروهایی که مشتریان از طریق تقاضای بازار وارد می‌آورند، فعالیت‌های فیزیک صنعتی ماهیتاً چند رشته‌ای‌تر از فعالیت‌های فیزیک کاربردی (با تأکید بر بین‌رشته‌ای بودن آن) یا فعالیت‌های فیزیک پایه (با تأکید بر تک‌رشته‌ای بودن آن) است. فیزیک‌پیشه‌های صنعتی را می‌توان در تمام آزمایشگاه‌های اصلی پژوهشی و توسعه‌ای اصلی صنایع و در تمام بخش‌های بازار، نظیر حمل‌ونقل (ترابری)، مخابرات، الکترونیک، رایانه، و مانند آن مشاهده کرد.





## فیزیکدان‌ها در صنعت



فرصت شغلی در صنعت برای دانش‌پیشگان، در مسیر انتخاب کارشان، به صورت فرصتی بسیار با اهمیت درآمده است. آمار و ارقام جدید حاکی از آن است که تقریباً ۴۰ درصد فیزیک‌پیشگان دارای درجه‌ی دکتری در صنعت استخدام می‌شوند، که این نرخ نسبت به ۳۰ درصد حدود سی سال پیش (تقریباً سال ۱۹۸۰) از افزایش بسیار سریعی برخوردار بوده است. جهان صنعتی که فیزیک‌آموختگان به آن وارد می‌شوند نیز تغییر کرده است: رقابت فراگیر جهانی، فاصله‌ی چرخه‌ی تحقیق تا محصول را کوتاه کرد؛ آزمایشگاه‌های صنعتی در بسیاری از موارد با کمبود منابع برای انجام این امور روبه‌رو هستند، و فیزیک‌پیشگان هنگام حل مشکل در چنین محیط‌هایی باید خیلی چالاک عمل کنند و آماده‌ی کار گروهی باشند. در گذشته‌ای نه چندان دور، در حدود ۳۰ سال پیش، هر فیزیک‌پیشه‌ای می‌توانست امیدوار به یافتن شغل بلندمدت پژوهشی در زمینه‌ی مسائل علمی بنیادی در آزمایشگاهی صنعتی باشد. دانش‌پیشگان جوان در مؤسسات مشهوری مانند آزمایشگاه بل یا مرکز تحقیقات آی‌بی‌ام جذب می‌شدند تا در پژوهش‌هایی مشارکت داشته باشند که دانشمندان برنده‌ی جایزه‌ی نوبل و پژوهشگران بخش خصوصی در آن همکاری می‌کنند.



ولی اکنون که قرن بیست‌ویکم آغاز شده، نقش

فیزیکدانان در صنعت در حال تغییر است. مرزبندی دقیق بین تحقیق پایه (این که چیزها چگونه کار می‌کنند) و تحقیق کاربردی (این که چیزها را چگونه می‌توان به کار برد) مبهم و مخدوش شده است. اکنون فیزیکدان‌ها برای موفقیت باید حوزه‌ی گسترده‌تری از علایق و مهارت‌ها را به نمایش بگذارند. آن‌ها باید آمادگی داشته باشند که نقش‌های غیرمتعارفی نظیر تجزیه و تحلیل امور مهندسی و محصولات، امور تولید، و حتی برقراری ارتباط با مشتری را به عهده بگیرند. علاوه بر آن، فیزیکدان شاغل در صنعت شاهد ارتباط بسیار نزدیک‌تری بین آزمایشگاه‌های صنعتی و دانشگاهی خواهد بود. این امر، فرصت‌های شغلی هیجان‌انگیزی برای کار با پژوهشگران دانشگاهی و غیردانشگاهی را در زمینه‌ی موضوع‌های مختلف فراهم خواهد کرد. در نتیجه، هر چند دیدگاه سنتی در پژوهش‌های بخش خصوصی در حال تغییر است، فرصت‌های شغلی صنعتی هنوز هم کارهای فنی هیجان‌انگیز و پرتحرکی را عرضه می‌کنند.



## فیزیک ماده‌ی چگال

شاخه‌ای از فیزیک، به نام فیزیک ماده‌ی چگال، بزرگ‌ترین و فعال‌ترین شاخه‌ی فیزیک است، هر چند که تعریف واضحی برای آن وجود ندارد و مرزهای آن به خوبی مشخص نیست. هر چه دامنه‌ی دانش بشری گسترده‌تر می‌شود، این شاخه هم موضوعات بیش‌تری را دربرمی‌گیرد. فیزیک ماده‌ی چگال از پیشرفت فیزیک حالت جامد به وجود آمده است. تعریف کلاسیک فیزیک حالت جامد، مطالعه‌ی خواص اجسام جامد یا اجسامی است که شکل‌شان با حذف نیروهای تغییر شکل دهنده ضعیف به صورت کشسان به حالت اولیه باز می‌گردد. با گذشت زمان این تعریف محدود فیزیک حالت جامد نامناسب شد، زیرا کسانی که در این شاخه کار می‌کردند به زمینه‌هایی از پژوهش پرداختند که با چیزهایی فراسوی شکل سنتی فاز جامد سروکار داشت. این زمینه‌های فرعی پژوهشی، سرانجام منجر به تغییر نام شد. به این ترتیب، امروزه فیزیک ماده‌ی چگال تعدادی موضوع را در برمی‌گیرد که در حوزه‌ی سنتی فیزیک حالت جامد نمی‌گنجد؛ از این جمله است: بررسی مایعات کوانتومی مانند هلیوم مایع که پدیده‌های گروهی خاص ابررساناها را از خود بروز می‌دهد؛ بلورهای مایع که تا حدی در ارتباط با فاز بلوری در آن‌ها با پدیده‌های نظم‌یابی روبه‌رو می‌شویم؛ اجسامی که تغییر شکل پلاستیک می‌دهند و به شکل اولیه‌ی خود بازمی‌گردند؛ مواد متخلخل و بی‌نظم که ممکن است شکل کپه‌ای خوش تعریف نداشته باشند؛ و اجسام ژله‌ای تحت گذار فاز حجم‌شان به میزان زیادی افزایش می‌یابد.





## فیزیک ذرات

فیزیک ذرات به ما می‌آموزد که جهان از چه ساخته شده است و در بنیادی‌ترین سطوح چگونه رفتار می‌کند. پژوهشگران این حوزه از علوم هم در پی کشف آن سنگ بناهای اصلی عالم‌اند تا هر آنچه را که در عالم وجود دارد بتوان از آن‌ها ساخت، و نیز در پی کشف قوانینی هستند که نحوه‌ی جفت و جور شدن این اجزا و برهم‌کنش‌هاشان را توصیف کنند تا همه‌ی آن نقش و نگارها و تنوعی که در طبیعت مشاهده می‌کنیم به‌دست آید. فیزیک ذرات، ریشه در تفکر یونان باستان دارد. یونانی‌ها مفهوم اتم‌ها را به عنوان قطعات تقسیم‌ناپذیر معرفی کردند که تمام آن‌چه در طبیعت وجود دارد از آن‌ها ساخته شده است. این میراث در طول زمان (با کشف قوانین مکانیک، حرکت سیاره‌ای، الکتریسیته، و مغناطیس) منجر به پدید آمدن روش علمی و در قرن بیستم هم منجر به پیدایش نظریه‌های انقلابی نسبیت و مکانیک کوانتومی شد.

بر شالوده‌ی این بنیان‌های تاریخی و کشفیات روشنگری که تا دهه‌ی ۱۹۷۰ صورت گرفت، امروزه فیزیک ذرات روی فلاتی از شناخت تاریخی، به نام مدل استاندارد، قرار گرفته است. این مدل پاسخ‌های مشخصی برای این پرسش‌ها دارد که جهان از چه ساخته شده است و چگونه عمل می‌کند. البته، دقت این پاسخ‌ها حداقل به این حد است که تا به امروز در آزمایش‌های متعددی آزموده شده‌اند. می‌دانیم که تمام صورت‌های متفاوت مشاهده شده‌ی ماده را می‌توان از ذرات زیراتمی متعلق به یکی از دو خانواده‌ی موسوم به کوارک‌ها و لپتون‌ها ساخت. معلوم شده است که برهم‌کنش کوارک‌ها و لپتون‌ها از طریق چند نیروی مشخص، با نتایجی که از فرمول‌های نظری قابل محاسبه‌اند، انجام می‌شود. حوزه‌ی کاربرد این مفاهیم از کوچک‌ترین چیزی که می‌توانیم اندازه بگیریم (تقریباً به بزرگی  $10^{-16}$  سانتی‌متر) تا ستاره‌ها و کهکشان‌ها گسترش دارد. تا امروز با هیچ اندازه‌گیری کلاً پذیرفته شده‌ای که ناقض مدل استاندارد باشد، روبه‌رو نشده‌ایم. با این همه، موفقیت‌های این مدل سبب طرح پرسش‌های بنیادی‌تری شده



است: مسائلی مانند منشأ جرم، ویژگی بخش اعظم ماده‌ی موجود در عالم، غلبه‌ی ماده بر پادماده در جهان، آیا ممکن کوارک‌ها و لپتون‌ها از اجسام باز هم کوچک‌تری ساخته شده باشند، و این که سرنوشت نهایی عالم چه خواهد شد؟ بررسی محدوده‌ی اعتبار مدل استاندارد و جست‌وجو برای فیزیک جدید «فراسوی» مدل استاندارد، مشغله‌ی اصلی متخصصان فیزیک ذرات امروزی است.



## فیزیک پلاسما

فیزیک پلاسما، بررسی ویژگی‌های فیزیکی ماده در حالت پلاسما است. با افزایش دما، ماده از جامد به مایع و از مایع به گاز تبدیل می‌شود. به همین ترتیب، افزایش بیش‌تر دما ماده را به حالت پلاسما می‌برد. در حالت پلاسما، بخش قابل ملاحظه‌ای از مولکول‌ها و اتم‌ها یونیده‌اند، یعنی به صورت یون و الکترون تفکیک شده درآمده‌اند. به همین علت، ویژگی‌های پلاسما تفاوت‌های مهمی با ویژگی‌های گازهای نایونیده دارند. پلاسما نوعاً تابش الکترومغناطیسی (مثل نور، تابش ترمزی، یا حتی پرتو X) گسیل می‌کند؛ و رسانای بسیار خوبی برای الکتروسیسته و گرما هر دو است. میدان مغناطیسی بر پلاسما (به عنوان محیطی رسانا) به شدت اثر می‌گذارد. مثلاً با میدان مغناطیسی می‌شود پلاسما را محصور کرد یا به آن شتاب داد. این پدیده‌ها، مثلاً به شکل عمر زیاد کمرندهای وان آلن در اطراف زمین، و حرکت قوس‌ها در خرمن خورشید ظاهر می‌شوند. در میدان مغناطیسی، ویژگی‌های پلاسما ممکن است به شدت ناهمسانگرد باشند. پاسخ پلاسما در برابر یک اثر به شدت به سمت گیری آن اثر نسبت به میدان مغناطیسی بستگی دارد. به علاوه، پلاسما در برابر تابش با بسامدهای میانی ممکن است ویژگی‌های دی‌الکتریکی و شکستی غیرعادی از خود بروز دهد و به سادگی به رفتارهایی ناموضعی بینجامد؛ در این صورت پاسخ آن به محرک جای گزیده، در زمانی بعد و غالباً در مکانی متفاوت ظاهر می‌شود. در وضعیت‌های خاص، پلاسما ممکن است پدیده‌های حافظه‌ای هم نشان دهد. این‌ها و تفاوت‌های دیگر پلاسما با گازهای معمولی است که فیزیک پلاسما را شاخه‌ای جذاب و فوق‌العاده غنی کرده است. بسته به این که چه پدیده‌ای مورد نظر است، بخش‌های گوناگونی از فیزیک وارد می‌شوند، از جمله مکانیک کلاسیک و نظریه‌ی آشوب، مکانیک آماری، الکتروسیسته و مغناطیس، نظریه‌ی جنبشی گازها، و هیدرودینامیک، همراه با ریاضیات کاربردی و محاسباتی. از ترکیب این بخش‌ها، غالباً زمینه‌های جدیدی از علم و شناخت به وجود می‌آید.





## فیزیک جو

فیزیک جو، کاربرد قوانین فیزیک برای فرایندهای درون جو است. با توجه به مقیاس‌های فضایی جو (که از میکرومتر تا هزاران کیلومتر است)، در بخش عمده‌ای از مطالعات مربوط به جو، از فیزیک کلاسیک استفاده می‌شود. حرکت‌های جوی از مکانیک نیوتونی پیروی می‌کنند، و فرایندهای تشکیل ابر پیرو قوانین ترمودینامیک اند. ولی برهم‌کنش تابش الکترومغناطیسی با ذرات جو و رسانندگی الکتریکی جو، از معادله‌های ماکسول تبعیت می‌کنند. تنها بخش فیزیک جو که نیاز به بررسی غیرکلاسیک دارد، انتشار تابش الکترومغناطیسی در جو است. مطالعه‌ی این فرایندها بستگی به شناخت این نکته دارد که مولکول‌ها چگونه کوانتوم‌های انرژی را گسیل و چگونه جذب می‌کنند، و از این رو باید آن را متکی بر پایه‌ی فیزیک کوانتومی دانست.

هواشناسی عمدتاً با شناخت پدیده‌های مربوط به وضع هوا و پیش‌بینی آن‌ها سروکار دارد. دینامیک حرکت‌های جوی قلمرو سنتی هواشناسی است؛ از نظر تاریخی، این موضوع از تمرکز اولیه‌ی هواشناسی روی شناسایی و پیش‌بینی سیستم‌های توفانی در عرض‌های میانی ناشی شده است. این توفان‌ها در اصل دینامیکی اند و قویاً تحت تأثیر فرایندهای فیزیکی دیگر، مانند گرمایش تابشی یا گرمایش نهانی، قرار نمی‌گیرند. به همین دلیل است که هواشناسی



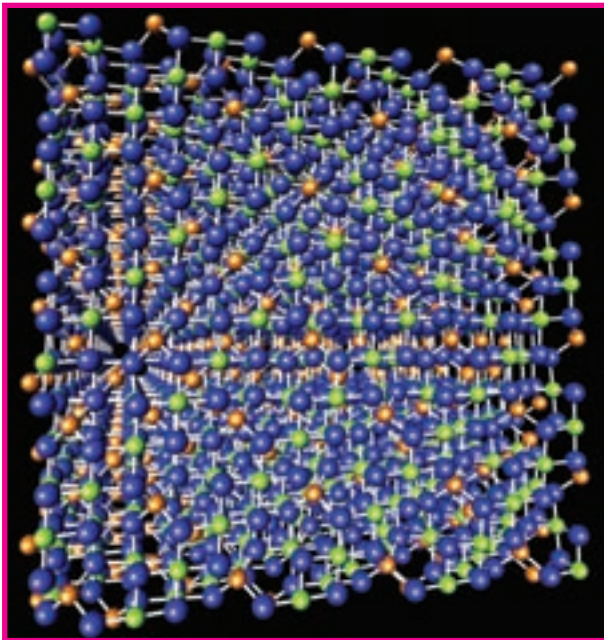
دینامیکی با حرکت جو پیوند خورده است، و بیش‌تر به فرایندهای بی‌دررو می‌پردازد. همه‌ی فرایندهای نا-بی‌دررو (که فرایندهای بادررو نیز نامیده می‌شوند)، مانند انتقال تابشی و فرایندهای [تشکیل] ابر، در حوزه‌ی فیزیک جو بررسی می‌شوند. با این همه، از آن‌جا که سیستم جو حرکت‌های جوی را هم در برمی‌گیرد، شایسته است که دینامیک جو در حوزه‌ی فیزیک جو بررسی شود.



## فیزیک مولکولی

تعریف دقیق فیزیک مولکولی کاملاً سرراست نیست. اما احتمالاً این تعریف بد نیست که فیزیک مولکولی شامل پدیده‌های فیزیکی متعددی است که نقش مولکول‌ها برای درک‌شان اساسی است. به این ترتیب، مهم‌ترین کار فیزیک مولکولی تلاش برای توضیح ویژگی‌های مجموعه‌های خاصی از اتم‌ها است که آن‌ها را مولکول می‌گویند. در این بحث، بخش مهمی از رشته‌های تقریباً پیوسته‌ای که به آن‌ها انبوهه‌ی نرم یا خوشه می‌گویند کنار گذاشته شده است، هر چند که این‌ها اغلب بعضی از ویژگی‌های مولکول‌های معمولی‌تر را هم از خود نشان می‌دهند. تعریفی که به طور تقریباً تاریخی برای مولکول پذیرفته شده این است: انبوهه‌ای از اتم‌ها که انرژی بستگی‌شان با همدیگر به طور چشم‌گیری از انرژی‌هایی که این انبوهه‌ها می‌توانند با محیط مبادله کنند، بیش‌تر است. این تبادل انرژی، معمولاً بسیار سریع انجام می‌شود. به بیان دیگر، مولکول را براساس تعریف کلاسیک می‌توان انبوهه‌ی پایداری از اتم‌ها (نسبت به محیط موضعی) دانست که بیش‌تر رفتار فیزیکی اجسام بزرگ مقیاس را تعیین می‌کند؛ اجسام بزرگ مقیاسی که این انبوهه‌ها سازه‌های بنیادی آن شمرده می‌شوند.

بد نیست یادآوری کنیم هدف فیزیک مولکولی، درک پدیده‌های بزرگ مقیاسی است که در آن‌ها این سازه‌های بنیادی نقش مهمی دارند، و ویژگی‌های ساختاری تک‌تک این سازه‌ها هم حایز اهمیت است. رفتار ماده‌ی چگال (مثلاً مایعات مولکولی، جامدات مولکولی، و هر انبوهه‌ی دیگر بینابینی) را غالباً می‌شود به خوبی با مشخصه‌هایی توصیف کرد که فقط به این مربوط می‌شوند که این ماده مجموعه‌ای از تعداد زیادی ذره است، و چندان ارتباطی هم به جزئیات ساختاری این ذره‌ها ندارد. کار اصلی فیزیک مولکولی، مطالعه‌ی آن ویژگی‌های بسیار متعدد ماده است که به صراحت به مشخصه‌های مولکول‌های سازنده‌ی ماده بستگی دارند.





## فیزیک اتمی

فیزیک اتمی علم ساختار اتم‌ها و برهم‌کنش آن‌ها با میدان‌های الکترومغناطیسی، با اتم‌ها و مولکول‌های دیگر، و به‌طور کلی با ماده است. این علم به ذرات دیگری که ممکن است در خارج از هسته یافت شوند نیز می‌پردازد که نمونه‌های آن الکترون‌ها، پوزیترون‌ها، فوتون‌ها، موئون‌ها و ترکیب‌هایی از آن ذرات مانند پوزیترونیوم و سایر اتم‌های غیرمتعارف است. فیزیک اتمی به ما کمک می‌کند تا قوانین بنیادی طبیعت را بفهمیم و این که این علم چگونه پایه‌های شناخت را برای شاخه‌های دیگر فیزیک، همانند ماده‌ی چگال، و حوزه‌های دیگر علوم مهندسی، شیمی، زیست‌شناسی، و پزشکی فراهم می‌آورد.

بسیاری از پیشرفت‌های فناوری نوین و ابزارهای جدید، مثل لیزر، تصویربرداری تشدید مغناطیسی، پلاسماهای گداخت، ساعت‌های بسیار دقیق، و حتی رایانه‌ها، تا حدودی ریشه در فیزیک اتمی دارند. حتی یکی از اولین کشفیات فیزیک اتمی، یعنی پرتوهای x، هنوز هم به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در تشخیص پزشکی نوین کاربرد دارد.

