

# اندازه‌گیری؛ می‌دانیم چیست؟

کمیل مزرعی  
دوره‌ی درسی فوق برنامه‌ی فیزیک، سال هفتم  
مرکز آموزشی علامه حلی اراک (سمپاد)  
mazraee@physics.iust.ac.ir

پائیز ۱۳۹۲

## ۱. بیایید اندازه‌گیری کنیم.

شاید بد نباشد در اولین قدمی که می‌خواهیم با چیزی آشنا شویم، به اسمش و اصطلاحی که در مورد آن به‌کار می‌رود فکر کنیم: اندازه‌گیری! که برابر است با: اندازه+گیری (گرفتن). اندازه گرفتن به یک مجموعه‌ای از روش‌ها و کارها گفته می‌شود که یکی از آن‌ها را در همین حالا هم ناخودآگاه آن‌را انجام می‌دهید. همین الان که این متن را می‌خوانید چشم شما در مورد بزرگی یا کوچکی فونت متن نوشته با فونت عنوان مقایسه انجام می‌دهد. در بعضی شب‌ها حس می‌کنید ماه در آسمان از شب‌های قبل بزرگ‌تر شده است.<sup>۱</sup> در زمستان حس می‌کنید که نسبت به چند ماه قبل هوا سردتر شده است. و از این قبیل قضاوت‌ها در مورد محیط پیرامون.

می‌بینید؟ ما به‌طور ناخودآگاه و وحشت‌ناکی! در طول شبانه‌روز خود بسیاری از اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهیم. بیایید فکر کنیم اگر تصمیم بگیریم هیچ‌گونه اندازه‌گیری‌ای در شبانه‌روز و هر ماه از هر سال و هر سال از عمرمان انجام ندهیم، چه می‌شود؟<sup>۲</sup> هیچ شناس‌نامه‌ای نداشته باشیم، تمام اعداد را فراموش کنیم و تمامی وسایل اندازه‌گیری را (ترازوی میوه‌فروشی‌ای که پدرمان از او میوه می‌خرد، متری که با آن برای دوختن لباس‌های مان خیاط از آن استفاده می‌کند و بنگاه‌دار ملک با آن مترآز خانه‌ای را که می‌خواهید از او بخرید، اندازه می‌گیرد. ساعتی که با آن قرارهای روزانه‌ی مان و ساعت خواب‌مان را تنظیم می‌کنیم و در نهایت: شبانه‌رومان را!) کنار بگذاریم. چند دقیقه فکر کنید: جهان به چه وضعی در می‌آید...؟



شکل ۱: یک جهان بدون اندازه‌گیری ...؟

آشوب؟ اگر به ذهن‌تان چنین چیزی نیامد، احتمالاً شما قابلیت این را دارید که یک جهان را به‌گونه‌ای دیگر و با نظم و ساختاری که خود طراحی می‌کنید، در ذهن خود بسازید. اما آیا واقعاً چنین جهانی در خارج از ذهن ما نیز می‌تواند وجود داشته باشد؟ نمی‌خواهم این‌جا یک داستان علمی-تخیلی برای شما تعریف کنم. بنابراین باید یک چیز را باور کنیم: ناچاریم که اندازه بگیریم! شاید شما به روش‌های اندازه‌گیری انتقاد داشته باشید و یا ایده‌ای جدید برای اندازه‌گیری داشته باشید، اما فکر نمی‌کنم با این اصل موافق نباشید: اندازه‌گیری!

<sup>۱</sup> چرا؟

<sup>۲</sup> ببخشید! نتوانستم از کلمه‌ی ماه و سال اجتناب کنم. این کلمات هم خود نوعی اندازه‌گیری است؟

یکی از همین اندیش‌مندان معروف هم که اسمش را بسیار شنیده‌اید؛ گالیله؛ می‌گوید:

برای شناخت علمی، به‌جای گمانه‌زنی، باید هر چیز را اندازه‌گیری و سنجش کرد. آنچه را که نمی‌توان اندازه گرفت را نیز باید کوشش کرد که قابل اندازه‌گیری کرد.

## ۲ دست به‌کار شویم!

خب، حالا فرض کنید که نیاز داریم چیزی را اندازه بگیریم:

۱. دقیقا چه چیز را می‌خواهیم اندازه بگیریم؟ فاصله‌ی خودمان از خانه؟ مدت زمان باقی مانده تا تمام شدن کلاسی که در آن حضور داریم؟ وزن چاق‌ترین فرد فامیل؟ یا ...؟

۲. از چه چیزی برای اندازه‌گیری آن استفاده کنیم؟

۳. چه‌طور نتیجه‌ی اندازه‌گیری‌مان را به دیگران بفهمانیم!؟

۴. آیا تنها ما هستیم که آن چیز را اندازه می‌گیریم؟ اگر اختلافی در اندازه‌گیری ما با اندازه‌گیری‌های دیگران بود، دلیل این اختلاف چه می‌تواند باشد؟

۵. از کجا بدانیم که مردم مناطق دیگر هم مثل ما اندازه می‌گیرند یا اندازه‌گیری‌های ما را درک می‌کنند؟

خیلی خوب است به این مطلب فکر کنیم که انسان‌هایی که برای اولین بار چیزهایی را در محیط پیرامون‌شان اندازه گرفتند، چگونه به این سؤال‌ها پاسخ دادند. اصلا چگونه برای اولین بار نیاز به اندازه‌گیری پیدا کردند؟<sup>۳</sup> اما چیزی که معلوم است، آن است که ما انسان‌های اولیه نیستیم. دانش‌آموزانی هستیم که می‌خواهیم درباره‌ی اندازه‌گیری عمیق فکر کنیم و به پرسش‌های مان پاسخ دهیم.

وقتی مسئله‌ای برای اندازه‌گیری نیاز شد، یعنی ضروری است که آن مسئله را حل کنیم. یعنی: اندازه بگیریم. نیازهای ضروری ما برای اندازه‌گیری کدامند؟ من فکر می‌کنم بتوانیم موارد زیر را به‌عنوان نیازهای ضروری‌مان بر شماریم:

۱. زمان:<sup>۴</sup> می‌توانیم بدون اندازه‌گیری زمان زندگی کنیم؟ شبانه‌روز، تقویم، سن خودمان، توالی روی داده‌ها،<sup>۵</sup> و حتی سیستم‌های مکان‌یابی ماهواره‌ای<sup>۶</sup> نیاز به اندازه‌گیری زمان دارند.

۲. طول:<sup>۷</sup> از نیازهای صنعتی پیش‌رفته بگیرد تا همین قد خودمان! هم‌آهنگ شدن با بعضی از معیارهای سلامتی نیازمند دانستن و مقایسه‌ی اعدادی از جنس طول هستند. دانستن اندازه‌ی لباس‌های مان، مترآژ فضایی که می‌خواهیم در آن زندگی کنیم و مسافتی را که می‌خواهیم طی کنیم تا به مقصد مورد نظرمان برسیم، اجتناب ناپذیر است.

۳. جرم:<sup>۸</sup> از اندازه‌ی جرم خودمان که بگذریم، این‌که باید بدانیم چه‌قدر به معیارهای سلامتی نزدیکیم، چه‌قدر نیاز به تهیه‌ی مواد غذایی داریم و حتی چه‌قدر تحمل حمل بار روزانه را به مدرسه داریم، واقعا ضروری است. شاید گاهی دقت کرده باشید که نمی‌توانید بعضی از اجسام را بلند کرده و آن‌ها را حمل کنید. بنابراین برای درک به‌تر جهان و رفتار فیزیکی‌مان نیاز به سر و کله زدن با چنین مفهومی داریم.

شاید از خودتان پرسیده باشید که:

### زمان چیست؟ جرم چیست و طول چیست؟

و احتمالا شاید یک حس بدی به شما دست بدهد. به‌خاطر این‌که جواب سؤالاتی به این واضحی را نمی‌دانید! باید بگویم که شاید این سؤالات واضح باشند، اما جواب دادن به آن‌ها اصلا کار ساده‌ای نیست. از ریاضیات مورد نیاز به این سؤالات که صرف‌نظر کنیم (که بسیار پیش‌رفته و پیچیده هستند) باید این را بدانیم که محدوده‌ای که فیزیک در آن به پرسش‌های انسان پاسخ می‌دهد، محدوده‌ی جرابی پدیده‌هاست نه چیستی آن‌ها. اگر بدانید که چه‌قدر کتاب‌های سخت‌فهم و غیر عامیانه در این مورد نوشته شده‌اند که بتوانند چیستی این زمان را توضیح دهند و فهم زمان چه‌قدر مشکل است ... احتمالا سر به بیابان می‌گذارید! البته پیش‌نهاد می‌کنم در موردشان فکر کنید. اما در این مورد در فیزیک زیاد به پاسخی نمی‌رسید. حداقل در این دوره‌ی درسی!

<sup>۳</sup> اگر علاقه‌مند به چنین مباحثی هستید، می‌توانید به کتاب‌های تاریخ علم مراجعه کنید.

<sup>۴</sup> Time

<sup>۵</sup> این‌که چه اتفاقی قبل یا بعد از اتفاق دیگر رخ داده است.

<sup>۶</sup> GPS

<sup>۷</sup> Length

<sup>۸</sup> Mass

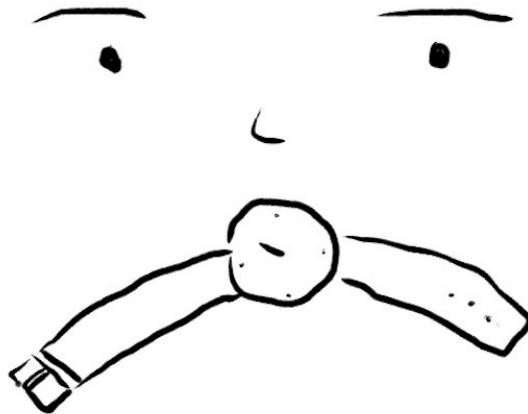
### ۳ کمیت‌های اصلی، کمیت‌های فرعی

کمیت یعنی مقدار. یعنی اندازه. تا این‌جا در مورد سه چیز که می‌شود آن‌ها را اندازه گرفت صحبت کردیم: جرم، طول و زمان! این سه را کمیت‌های اصلی اندازه‌گیری در فیزیک می‌نامیم. چرا به آن‌ها اصلی می‌گوییم؟ به‌خاطر این‌که تا آن‌جا که معلوم شده بنیادی‌تر و پایه‌ای‌تر از این سه کمیت وجود ندارد. البته فقط این سه کمیت نیستند که اصلی‌اند. اما با بقیه‌ی کمیت‌های اصلی در این دوره‌ی درسی روبه‌رو نمی‌شویم.

دلیل دیگر هم این است: کمیت‌هایی در فیزیک وجود دارند که آن‌قدر اساسی و پایه‌ای نیستند؛ یعنی از روی کمیت‌های اصلی ساخته می‌شوند. به این نوع از کمیت‌ها، کمیت‌های فرعی می‌گوییم. به‌طور مثال: سرعت! سرعت را در فیزیک بر اساس زمان و فاصله تعریف می‌کنیم. خوب؛ چون بر اساس دو کمیت دیگر تعریف می‌شود، پس خودش یک کمیت اصلی نیست. اما زمان را دیگر از روی چیزی تعریف نمی‌کنیم: کمیت‌های اصلی، خود معرف ماهیت خود هستند! اما کمیت‌های فرعی نیاز به تعریف از روی کمیت‌های اصلی دارند!

### ۴ گزارش یک اندازه‌گیری

فرض کنید ساعتی که به مچ‌تان بسته‌اید، تنها درجه‌بندی ساعت دارد، نه درجه‌بندی برای دقیقه. در زمانی که عقربه‌ی ساعت‌شمار، دقیقاً مقابل عدد ۳ قرار گرفته، از خانه خارج می‌شوید. اما مدت زمانی بعد،<sup>۹</sup> کسی در خیابان از شما می‌پرسد: ببخشید آقا، ساعت چند است؟ خوب؛ جواب شما به او چه خواهد بود؟ آیا می‌توانید بگویید: ساعت ۳ و بیست دقیقه است؟ یا احتمالاً می‌گویید: می‌دانم که از ساعت ۳ گذشته و مطمئن‌م که هنوز ساعت ۴ نشده است. سؤال: شما چه قدر دقیق به سؤال کننده جواب داده‌اید؟ بین ساعت ۳ و ۴، ۶۰ دقیقه فاصله است، اما به دلیل این‌که ساعت شما تنها درجه‌بندی ساعت دارد، در اندازه‌گیری و گزارش دقیق‌تر زمان - دقیقه و ثانیه و ... ناتوان هستید. بنابراین دقت اندازه‌گیری یک وسیله‌ی اندازه‌گیری، یعنی حداقل مقیاسی که آن وسیله‌ی اندازه‌گیری به‌طور مشخص<sup>۱۰</sup> در اختیار شما قرار می‌دهد.



شکل ۲: چطور اندازه‌گیری زمان را گزارش کنیم ...؟

یادتان باشد:

یک گزارش از انجام یک اندازه‌گیری که شامل دقت اندازه‌گیری وسیله‌ی اندازه‌گیری شما نباشد، هیچ ارزش و اعتبار علمی ندارد!

### ۵ عددهای خیلی بزرگ!

اندازه‌ی قد شما چه قدر است؟ ارتفاع یک درخت چه قدر است؟ ارتفاع بلندترین قله‌ی دنیا؟ شعاع کره‌ی زمین؟ فاصله‌ی بین زمین و ماه؟ فاصله‌ی بین خورشید و زمین؟ شعاع کهکشان راه شیری...؟

<sup>۹</sup> قبل از این‌که عقربه به‌صورت کامل روی عدد ۴ قرار بگیرد.  
<sup>۱۰</sup> و نه از روی حدس و گمان و به‌صورت چشمی!

گاهی اوقات اعداد آن قدر بزرگ هستند که نمی‌توانیم حتی از روی کاغذ هم بخوانیم‌شان. بعضی اعداد کوچک هم همین‌طور. نکته‌ی مهم این است که ما روزانه در محاسبات علمی و اقتصادی‌مان با اعداد کلان سر و کار داریم. مثلا از بخشی از فیزیک با عنوان نانوفیزیک یاد می‌شود. در این بخش از فیزیک تنها با اندازه‌هایی در حد  $0.000000001$  متر کار می‌شود.<sup>۱۱</sup> خب: راه حل چیست؟  
یک راه حل این است که بیایم برای هر کدام از اعداد بزرگ اسم بگذاریم. مثلا اسم عددی را که ده صفر در جلوی‌ش است، آیدین بگذاریم:)

$$9000000000 = 9 \times Aidin \quad (1)$$

خب آیا این مشکل را حل می‌کند؟ آیا باعث نمی‌شود که مجبور شویم بسیاری از اسامی و اعداد مربوط به آن‌ها را حفظ کنیم؟ آیا باعث نمی‌شود که بسیاری از اعداد و اسامی‌شان را اشتباه کنیم؟

آیا ایده‌ی دیگری دارید؟ مثلا به جای این‌که برای هر عدد بزرگ یک اسم بگذاریم؛ برای اعدادی در مرتبه‌های خاص و با فاصله‌های مشخص، پیشوند انتخاب کنیم؟ آن وقت دیگر به عددی در مرتبه‌ی یک میلیارد متر بگوییم: یک — متر؛ که جای — یک کلمه‌ی مناسب بگذاریم! کلمه‌ای که بیان‌گر همان ۸ عدد صفر و یک عدد بین یک تا نه بعد از آن صفرها باشد که البته همه‌ی این اعداد پشت یک ممیز باشند!

احتمالا اگر ایده‌ی‌مان درست باشد؛ مثل اسم خودمان که سال‌ها پیش توسط کسانی غیر از خودمان تعیین شده است، این اسامی و پیشوندها هم توسط پیشینیان و فیزیک‌دانان قرن‌های قبل انتخاب شده‌اند! احتمالا باز هم این یونانی‌ها و این اسامی و حروف و الف‌بایی که هیچ‌کدام‌مان معنی‌شان را نمی‌دانیم ...

درست است! <sup>۱۲</sup> مثلا برای همین عددی که آن بالا در هنگام شمردن صفرهایش چشم‌های‌تان اذیت می‌شود، یک پیشوند انتخاب کرده‌اند: **نانو**. نانو را پیش از یکای کمی می‌گذارند که در حد میلیاردم باشد: 9-10. البته می‌توانیم از پیشوندهای دیگری هم استفاده کنیم، اما علاقه به این داریم که یک کمیت اندازه‌گیری شده، به ساده‌ترین و کوتاه‌ترین شکل ممکن بیان شود. البته این‌طور نوشتار باعث می‌شود محاسبات‌مان، هم شفاف‌تر و هم سریع‌تر صورت بگیرد. حالا خیلی راحت می‌توانیم تمامی فواصل اندازه‌گیری شده را بخوانیم و در محاسبات‌مان به راحتی وارد کنیم.

اما یک سؤال: چرا نانو؟ اصلا بشر از کی تصمیم گرفت که این‌کار را (پیشوندگذاری) انجام دهد؟ این اسامی و پیشوندها از کی به‌وجود آمدند؟

شاید بهترین راه همین باشد. شما ایده‌ی دیگری <sup>۱۳</sup> دارید؟ مثلا فکر کنید بخواهید مقدار حافظه‌ی هارد کامپیوترتان را بر اساس تعداد بیت‌های آن بیان کنید! سخت است؛ بنابراین زیاد شنیده‌ایم که حافظه‌ی کامپیوترها را بر اساس گیگابایت <sup>۱۴</sup> و اخیرا بر اساس ترابایت بیان می‌کنند.

<sup>۱۱</sup> چشم‌های من در هنگام نوشتن و تنظیم تعداد این صفرها و خواندن‌شان که دو دو می‌زند! شما چطور؟

<sup>۱۲</sup> شاید متأسفانه. اما آیا شما ایده‌ی بهتری دارید؟ اسم‌ها و پیشوندهای بهتری سراغ دارید؟

<sup>۱۳</sup> و البته کارآمد و بهتر!

<sup>۱۴</sup> 10<sup>9</sup> Byte

