به نام خدا

دانش‌آموز عزیز!
برای انجام آزمایش‌های فیزیک به نکته‌های زیر توجه کنید و به دقت آنها را به کار ببرید.

فهرست

اهمیت تخمین خطاها
روش‌های برآورد خطا در آزمایش‌ها
خطای وسایل اندازه‌گیری
خطای تصادفی
خطای ترکیبی
رسم نمودارهای آزمایشگاهی
رسم بهترین خط
خطای شیب و خطای عرض‌ازمبداء
گزارش کار

اهمیت تخمین خطاها

وقتی یک کمیت فیزیکی را اندازه می‌گیریم، انتظار نداریم که مقدار به دست آمده دقیقاً با مقدار حقیقی برابر باشد. اما به «دقت» یا اعتبار این اندازه‌گیری‌ها باید اشاره‌ای بکنیم. برای این کار همراه با هر نتیجه، خطای تخمینی آن را نیز می‌آوریم. مثلاً ممکن است طول یک میز را اندازه بگیریم و نتیجه‌ی نهایی را به صورت زیر بنویسیم:

$$d = ۱۵۱ \pm ۰/۵\,\mathrm{cm}$$

این رابطه نشان می‌دهد که طول میز، مقداری بین ۱۵۰/۵ تا ۱۵۱/۵ سانتیمتر است.
تخمین خطاها وظیفه‌ای مهم است، زیرا بدون آن نمی‌توانیم نتایج مهمی از داده‌های آزمایش به‌دست آوریم. کسی که می‌خواهد از نتایج یک آزمایش استفاده کند، باید بداند که این نتایج تا چه اندازه اطمینان‌بخش هستند. برای پاسخ به این پرسش باید خطای نتیجه را تخمین زد و این از وظایف آزمایشگر است.

روش‌های برآورد خطا در آزمایش‌ها

خطای وسایل اندازه‌گیری

بسیاری از وسایل اندازه‌گیری دارای خطای حدی هستند که معمولاً روی خودِ وسیله ذکر شده است. مثلاً بالون‌های حجم‌سنجی خطای حدی مشخصی را روی بدنه‌ی خود همراه دارند که می‌توان اندازه‌گیری‌ها را در همین محدوده معتبر دانست.
در دستگاه‌های دیجیتال معمولاً خطاهای حدی ذکر می‌شوند که ابتدا باید به آنها توجه کرد (چون به نحوه‌ی ساخت وسیله برمی‌گردند)، اما وقتی که این خطاها بیان نشوند خطا را برابر $1\,\mathrm{LSD}$ در نظر می‌گیریم.[۱]
در دستگاه‌هایی که باید از روش انطباق چشمیِ یک خط بر یک نشانه‌ی دستگاه استفاده کرد، بحث تخمین خطا به نحوه‌ی تشخیص آزمایشگر برمی‌گردد. مثلاً اگر در یک خط‌کش فاصله‌ی دو نشانه آن‌قدر زیاد باشد که بتوان وسط دو نشانه را با دقت خوبی تشخیص داد، می توان اعداد را با دقت نصف واحد معرفی کرد (مثلاً $\pm ۰/۵\,\mathrm{mm}$). در غیر این صورت خطا را یک واحدِ دستگاه در نظر می‌گیریم.

۱- Least Significant Digit یعنی مثبت و منفی کم‌ارزش‌ترین رقم صفحه نمایش

خطای تصادفی

گاهی اوقات وسیله‌ی اندازه‌گیری دقت بالایی دارد، ولی تکرار اندازه‌گیری نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. در این موارد بحث خطای تصادفی اهمیت می‌یابد و باید تحلیل آماری روی اندازه‌گیری‌ها انجام داد.

مثلاً فرض کنید با یک زمان‌سنج (با دقت ۰/۰۱ ثانیه) می‌خواهیم زمان ۲۰ نوسان یک آونگ را اندازه بگیریم و داده‌های زیر به دست آمده‌اند:

$$۱۸/۷۱\,\mathrm{s}, ۱۸/۵۴\,\mathrm{s}, ۱۸/۵۶\,\mathrm{s}, ۱۸/۷۹\,\mathrm{s}$$

در این صورت زمان ۲۰ نوسان را میانگینِ اعدادِ بالا در نظر می‌گیریم.

برای تخمین خطای این اندازه‌گیری، روش‌های ریاضیِ خاصی وجود دارد، ولی یک روش ساده برای تخمین خطا استفاده از رابطه‌ی زیر است:

$$\text{خطای تصادفی} = \frac{\text{اختلاف بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار}}{\text{تعداد اندازه‌گیری‌ها}} = \frac{۱۸/۷۹ - ۱۸/۵۴}{۴} = ۰/۰۶\,\mathrm{s}$$

پس به طور خلاصه عدد نهایی را به صورت x = میانگین $\pm$ خطا گزارش می‌کنیم.

- ✓ نکته‌ی مهم: اگر خطای تصادفی از خطای وسیله‌ی اندازه‌گیری بیشتر شد، نمایش به شکل بالا درست است، وگرنه باید همان خطای وسیله را کنار میانگین قرار داد.
- ✓ قرارداد: برای آن که وضعیت یکسانی در نمایش خطا و مقدار اندازه‌گیری ایجاد شود، لازم است خطا با یک یا دو رقم معنی‌دار نوشته شود. در ضمن، نتیجه‌ی اندازه‌گیری نیز باید تا همان ارقام اعشاری که خطا نوشته شده، بیان گردد. مثلاً $t = (۳/۷۸۶ \pm ۰/۱)\,\mathrm{s}$ قابل قبول نیست، زیرا وقتی خطا ۰/۱ باشد، عدد اصلی را نیز باید تا یک رقم اعشار گرد کرد: $t = (۳/۸ \pm ۰/۱)\,\mathrm{s}$.

خطای ترکیبی

فرض کنید بین سه کمیت فیزیکی رابطه‌ی ساده‌ی مقابل برقرار است، $A = B + C$ و ما می‌خواهیم با اندازه‌گیری B و C مقدار کمیت A را تعیین کنیم. در این صورت رابطه‌ی میان خطاهای این کمیت‌ها به این صورت است:

$$\Delta A = \sqrt{(\Delta B)^۲ + (\Delta C)^۲}$$

اگر شکل رابطه‌ی اولیه پیچیده‌تر باشد، رابطه‌ی خطا نیز پیچیده‌تر می‌شود. برای به دست آوردن این روابط، روش‌های ریاضی وجود دارد که در اینجا مجال بحث درباره‌ی آنها نیست. ولی معمولاً این روابط در صورت آزمایش ذکر می‌شوند.

رسم نمودارهای آزمایشگاهی

فرض کنید x و y دو کمیت فیزیکی هستند و با یکدیگر رابطه‌ای به شکل $y=mx+d$ دارند. وما می‌خواهیم m و d را با آزمایش پیدا کنیم. یک روش خوب برای این کار این است که مقدارهای مختلف x و y را اندازه بگیریم و آنها را روی یک نمودار رسم کنیم.

در رسم هر نمودار نکات زیر را رعایت کنید:

- مشخص کردن محورها (با رسم آنها و رسم فلش مربوط)
- مشخص کردن کمیتِ مورد نمایش روی هر محور به همراه واحد اندازه‌گیری آن
- مشخص کردن درجه‌بندی محورها
- رسم خطوط خطا برای هر نقطه (در صورت قابل نمایش بودن)
- نوشتن شرح و شماره برای هر نمودار جهت رجوع به آن

سعی کنید همواره درجه‌بندی محورها طوری باشد که از همه‌ی سطح نمودار استفاده شود، زیرا هر چه اندازه‌ها - از نظر هندسی – بزرگ شوند، دقت بالاتر می‌رود. به این نکته توجه کنید که یک محور لزوماً از صفر شروع نمی‌شود.

رسم بهترین خط

برای رسم بهترین خط و پیدا کردن شیب و عرض‌ازمبدإ نمودار روش‌های گوناگونی وجود دارد. برخی از ماشین‌حساب‌های علمی با روش‌های ریاضی شیب و عرض‌ازمبدإ خط را به‌دقت محاسبه می‌کنند.
در صورتی که نمی‌خواهیم وقتمان را صرف وارد کردن اعداد در ماشین‌حساب کنیم، می‌توانیم خط را طوری رسم کنیم که نقاط به تساوی در دو طرف آن قرار گیرند. ضمناً برای داشتن دقت بالا در صورت پراکندگی نقاط می‌توان میانگین x و y را نیز روی نمودار مشخص کرد و خط را از آن هم عبور داد.

برای پیدا کردن شیب با این روش از رابطه‌ی $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ استفاده می‌کنیم. ولی به یاد داشته باشیم که مقادیر y و x در این رابطه از روی درجه‌بندی محورها خوانده می‌شوند و نه از درجه‌بندی کاغذ میلیمتری.

خطای شیب و خطای عرض‌ازمبداء

مانند همه‌ی اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، شیب و عرض‌ازمبدإ نیز خطا دارند. این خطاها از دو عامل ناشی می شوند؛ نخست اینکه هر نقطه روی نمودار خطایی دارد که با خطوط خطا نشان داده می‌شود. دومین عامل خطا پراکندگی نقاط است، یعنی نقطه‌ها ممکن است کاملاً روی یک خط قرار نداشته باشند.

گزارش کار

نوشتن گزارش کار یک آزمایش به اندازه‌ی انجام دادن آن آزمایش اهمیت دارد. گزارش کار تنها سندی است که پس از انجام یک آزمایش، از آن باقی می‌ماند. بنابراین باید شامل شرح دقیقی از شیوه‌ی انجام آزمایش باشد. در زیر به برخی از موارد لازم در نوشتن یک گزارش کار اشاره می‌کنیم.

- عنوان و هدف از انجام هر بخش از آزمایش
- شکل‌هایی که شیوه‌ی انجام آزمایش را نشان می‌دهند (شکل‌های شماتیک یا شکل‌هایی که نحوه‌ی چیدن وسایل را نشان می‌دهند)
- توضیح مختصر اما کافی درباره‌ی شیوه‌ی انجام آزمایش و نکات اندازه‌گیری
- جدول اندازه‌گیری‌ها
- روابط ریاضی لازم برای تحقیق یا به‌دست آوردن مجهولات (اگر روابط واضح نباشند)
- نمودارهای لازم برای تحقیق یا به‌دست آوردن مجهولات
- محاسبات عددی لازم برای به‌دست آوردن مجهولات و نیز دقت اندازه‌گیری آنها
- عوامل خطای آزمایش و پیشنهادهای عملی برای رفع آنها

✓ سعی کنید برای جدول‌ها، روابط ریاضی، شکل‌ها و نمودارها شماره و شرح مختصری ذکر کنید تا در صورت نیاز بتوان به آنها رجوع کرد.

✓ نکته: بهتر است خطای کمیت‌ها هم در جدول اندازه‌گیری ارائه شوند. ضمناً تعیینِ تعداد نقاط لازم برای اندازه‌گیری و تعداد اندازه‌گیری‌ها برای هر نقطه به عهده‌ی آزمایشگر بوده و از هنرهای آزمایش محسوب می‌شود.

موفق باشید
آزمایشگاه فیزیک

مراجع:

- فیزیک عملی، رابرت اسکوایرز، مرکزنشردانشگاهی
- راهنمای آزمایشگاه فیزیک، باشگاه دانش‌پژوهان جوان، تابستان ۱۳۸۱