چارچوب گزارش کار آزمایشگاهی

در ساختار گزارش کار آزمایشگاه وجود بخشهای زیر ضروری است :

۱ـ بیان هدف آزمایش
۲ـ شرح مختصری از تئوری آزمایش
۳ـ بیان دقیق و خلاصهٔ روش انجام آزمایش
۴ـ ذکر وسایل بکار رفته و دقت آنها
۵ـ ترسیم آرایش وسایل بکار رفته
۶ـ ثبت دقیق اندازه‌گیریهای انجام شده و درج مرتب و منظم آنها در جدول
۷ـ شرح محاسبات و تعریف دقیق روابط بکار گرفته شده
۸ـ رسم نمودارها روی کاغذ مناسب
۹ـ شناسائی عوامل خطا و برآورد سهم آنها
۱۰ـ نتیجه گیری از آزمایش

تذکر :

۱ـ روابط، فرمولها و جدولها باید دارای شماره و شرح مختصری باشند.
۲ـ واحدها و ابعاد کمیتها در جدولها و پایان محاسبات بدقت نوشته شود.
۳ـ در رسم نمودار موارد زیر باید رعایت شود :
الف : رسم محورها و مشخص کردن مبداء
ب : مشخص کردن واحدها
ج : مشخص کردن نقاط بدست آمده از آزمایش
د : نمایش خط خطا برای هر نقطه
ه : استفاده بهینه از سطح و ابعاد کاغذ
۴ـ از نوشتن مطالب غیر ضروری و منفصل خودداری شود. در گزارش کار باید تا حد ممکن از متن‌نویسی پرهیز شود و مطالب به کمک روابط، جدولها، نمودارها و نوشته‌های کوتاه و موجز بیان شود.

IranPhO.ir

روش محاسبه

طرز نوشتن اعداد خیلی بزرگ و خیلی کوچک ـ درک و تصور خواندن اعداد خیلی بزرگ که دارای دهها صفر یا اعداد کوچکی که دارای دهها ممیز هستند مشکل است. به خاطر زیادی صفرها امکان دارد در نوشتن آنها اشتباهی رخ دهد یا در محاسبه مشکلاتی به‌وجود آید، از این‌رو اعداد بزرگ و کوچک، را با قوای ۱۰ نمایش می‌دهند.

اعداد بزرگ با قوای مثبت ۱۰ و اعداد کوچکتر از واحد با قوای منفی ده نشان داده می‌شوند. مثلاً شعاع کرهٔ زمین $۶/۴ \times ۱۰^{۶}$m و شعاع اتم هیدروژن $۵/۰ \times ۱۰^{-۱۱}$m است.

اعداد با معنا و مفهوم صفر بعد از ممیز ـ فرض می‌کنیم طول اتاقی ۵ متر و ۳۲ سانتیمتر باشد. اگر این طول را با نوار متری که کوچکتر از دسیمتر را نشان نمی‌دهد اندازه بگیریم ۵ متر و ۳ دسیمتر را نشان می‌دهد و باید از ۲ سانتیمتر صرفنظر کرد. نتیجهٔ اندازه‌گیری به‌صورت ۵/۳ متر نوشته می‌شود. در صورتی‌که همین طول با نوار متری که سانتیمتر را هم نشان می‌دهد اندازه‌گیری شود نتیجهٔ اندازه‌گیری به‌صورت ۵/۳۲ متر نوشته می‌شود.

حال اگر طول اتاقی ۵ متر و ۳۰ سانتیمتر باشد در اندازه‌گیری اول ۵/۳ و در اندازه‌گیری دوم به‌صورت ۵/۳۰ نوشته می‌شود. به‌طوری که ملاحظه می‌شود در ریاضیات ۵/۳ و ۵/۳۰ هردو یکی است و با یکدیگر تفاوتی ندارند ولی در فیزیک دارای دو مفهوم مختلف‌اند. عدد ۵/۳ نشان می‌دهد که دقت اندازه‌گیری در حدود دهم متر بوده و مقدار صدم اندازه‌گیری نشده است. ممکن است کمیت مورد اندازه‌گیری به اندازهٔ چند صدم کمتر یا بیشتر اندازه‌گیری شده باشد زیرا احتمالاً مقدار طول ۵ متر و ۲۹ سانتیمتر بوده یا ۵ متر و ۳۱ سانتیمتر بوده است و با توجه به دقت وسیلهٔ اندازه‌گیری ۵ متر و ۳ دسیمتر خوانده شده است.

بنابراین در اینجا دو رقم بامعنا وجود دارد و رقم آخر یعنی ۳ مشکوک است. عدد ۵/۳۰ نشان می‌دهد که اندازه‌گیری با تقریب صدم متر یعنی سانتیمتر اندازه‌گیری شده است و این کمیت از ۳ دسیمتر بیشتر یا کمتر نبوده است، زیرا در غیر این‌صورت وسیلهٔ اندازه‌گیری آن‌را نشان می‌داد و بعد از رقم ۳ نوشته می‌شد. بنابراین عدد ۵/۳۰ دارای ۳ رقم بامعناست. در اینجا نیز امکان دارد مقدار حقیقی کمیت به اندازهٔ چند میلیمتر کمتر یا بیشتر از مقدار اندازه گرفته شده باشد. لذا رقم سوم یعنی صفر مشکوک است.

دقت اندازه‌گیری مربوط به تعداد ارقامی است که اندازه‌گیری شده‌اند و صفر بعد از ممیز دقت بیشتر اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. وسایلی که برای اندازه‌گیری به‌کار می‌روند هرچه دقیقتر باشند رقمهای بامعنا بیشتر خواهد بود.

گِردکردن اعداد ـ موقعی که بخواهیم از تعداد ارقام بامعنا عددی بکاهیم، اگر رقمی که حذف می‌شود ۴ یا کوچکتر از آن باشد، حذف می‌شود و رقم قبلی به‌همان صورت که بوده است باقی می‌ماند. اگر رقم حذف شدنی ۶ یا بیشتر از آن باشد آن‌را حذف و به رقم قبل از آن یک واحد اضافه می‌کنیم. درصورتی‌که رقم حذف شدنی ۵ یا ۵ و چند صفر در جلو آن باشد، اگر عدد قبل از ۵ زوج باشد تغییری نمی‌کند ولی در صورت فرد بودن به‌اندازهٔ یک واحد بیشتر می‌شود. اگر رقم حذف شدنی

IranPhO.ir

و چند رقم دیگر غیر از صفر دنبال آن باشد به عدد قبل از آن یک واحد اضافه می‌کنیم.

در زیر یک عدد با ارقام بامعنای مختلف به‌عنوان مثال ذکر شده است.

۵ رقم بامعنا	۴ رقم بامعنا	۳ رقم بامعنا	۲ رقم بامعنا	عدد
۳٫۲۴۱۷	۳٫۲۴۲	۳٫۲۴	۳٫۲	۳٫۲۴۱۶۸

چهارعمل اصلی اعداد بامعنا ـ در محاسبه‌های اعداد بامعنا سه موضوع زیر باید رعایت شود.

۱ـ کمیتهایی که بر هم افزوده می‌شوند یا از هم کم می‌شوند حتماً باید هم جنس و برحسب یک واحد باشند.

۲ـ میزان دقت یا تعداد ارقام بعد از ممیز کمیتها، به یک اندازه باشند. در غیر این‌صورت عددی را که دقت کمتری دارد و ارقام بعد از ممیز آن کمتر از بقیه است مبنا قرار می‌دهند و اعدادی را که ارقام بعد از ممیز آنها بیشتر است گرد می‌کنند تا تعداد ارقام آنها به‌اندازهٔ ارقام بعد از ممیز عدد مبنا برسد، سپس عمل جمع یا تفریق را انجام می‌دهند.

مثال ۱. مطلوب است مجموع سه عدد ۲۵٫۶g و ۴۳٫۳۵g و ۱۱٫۴۹۸g.

حل: ارقام مشکوک این سه عدد به‌ترتیب در مرتبهٔ دهم و صدم و هزارم هستند. عدد ۲۵٫۶ را که رقم مشکوک آن در مرتبهٔ دهم و ارقام بعد از ممیز آن کمتر از بقیه است عدد مبنا قرار می‌دهیم و دو عدد دیگر را با یک رقم اعشاری می‌نویسیم و عمل را انجام می‌دهیم، لذا

$$۲۵٫۶g + ۴۳٫۴g + ۱۱٫۵g = ۸۰٫۵g$$

مثال ۲. اعداد $۶٫۷۵ \times ۱۰^{۲}cm$ و $۴٫۵۲ \times ۱۰^{۲}cm$ را باهم جمع کنید.

حل: مبنای ده در هردو باید یکسان باشد پس $۴٫۵۲ \times ۱۰^{-۲}cm = ۰٫۴۵۲ \times ۱۰^{-۲}cm$.

برای اینکه ارقام بعد از ممیز هردو یکی شود عدد دوم را گرد می‌کنیم و با اولی جمع می‌کنیم

$$۶٫۷۵ \times ۱۰^{۲}cm + ۰٫۴۵ \times ۱۰^{۲}cm = ۷٫۲۰ \times ۱۰^{۲}cm$$

مثال ۳. عدد ۳۶٫۸km را از ۹۷km کم کنید.

حل: عدد اول را گرد و از دومی کم می‌کنیم

$$۹۷ - ۳۷ = ۶۰$$

دقت کنید که بعد از ۶۰ ممیز قرار گرفته است. این ممیز نشان می‌دهد که حاصل دارای دو رقم بامعناست.

مثال ۴. عدد $۶٫۴۳ \times ۱۰^{-۲}m$ را از $۱٫۳۸ \times ۱۰^{۲}m$ کم کنید.

حل: برای اینکه نمای ده در هردو یکسان شود باید نوشت

$$۶٫۴۳ \times ۱۰^{-۲}m = ۰٫۰۰۰۶۴۳ \times ۱۰^{۲}m$$

عدد $۱٫۳۸ \times ۱۰^{۲}m$ قابل چشمپوشی است، در نتیجه

$$۱٫۳۸ \times ۱۰^{۲}m - ۰٫۰۰۰۶۴۳ \times ۱۰^{۲}m = ۱٫۳۸ \times ۱۰^{۲}m$$

IranPhO.ir

3

نواهد بود.

۳ـ در ضرب و تقسیم اعداد بامعنا، معمولاً تعداد ارقام با معنای حاصل‌ضرب یا خارج قسمت
ید برابر ارقام بامعنای یکی از عوامل ضرب یا مقسوم و مقسوم علیه باشد و بیشتر از آن نشود. البته
ن موضوع استثناهایی دارد. مثالهای زیر به فهم موضوع کمک می‌کند.

مثال ۱. حاصل‌ضرب ۱۰٫۷m را در ۹٫۵m پیدا کنید.

حل:

$$۱۰٫۷m \times ۹٫۵m = ۱۰۱٫۶۵m^۲$$

چون ارقام ۱۶۵ مشکوک هستند با گردکردن آنها، حاصل‌ضرب به‌صورت $۱۰۲m^۲$ درمی‌آید. به‌طوری‌که
ملاحظه می‌شود این یک حالت استثنایی از ضرب است.

مثال ۲. عدد $۲٫۷۵ \times ۱۰^۶$ را در $۴٫۸ \times ۱۰^{-۲}$ ضرب کنید.

حل: $۱۳٫۲۰۰ = ۴٫۸ \times ۲٫۷۵$ که در آن ۳۲۰۰ ارقام مشکوک هستند در نتیجه با گردکردن
حاصل‌ضرب خواهیم داشت ۱۳. همچنین $۱۰^۴ = ۱۰^{-۲} \times ۱۰^۶$، در نتیجه حاصل‌ضرب به‌صورت
زیر درمی‌آید

$$۱۳ \times ۱۰^۴ = ۱٫۳ \times ۱۰^۵$$

مثال ۳. $۷۳٫۰۰ \times ۶۸$ را بر ۲۲٫۹ تقسیم کنید.

حل: $۳٫۰۰۱ = ۲۲٫۹ : ۶۸٫۷۳$. چون باید ۳ رقم بامعنا داشته باشیم، خارج قسمت به‌صورت
۳٫۰۰ نوشته می‌شود.

مثال ۴. $۸٫۹۲ \times ۱۰^۴$ را بر $۱٫۳۵ \times ۱۰^{-۳}$ تقسیم کنید.

حل: $۶٫۶۱ = ۱٫۳۵ : ۸٫۹۲$. خارج قسمت گرد شده تا ۳ رقم بامعنا دارد. $۱۰^۷ = ۱۰^{-۳} : ۱۰^۴$.
بنابراین خارج قسمت به‌صورت $۶٫۶۱ \times ۱۰^۷$ درمی‌آید.

IranPhO.ir

به نام خدا

دانش‌پژوهان عزیز!

جهت انجام آزمایشهای فیزیک اعم از امتحانات و آزمایشهای دوره‌ای به نکات زیر توجه کرده و به دقت آنها را به کار برید:

۱) قواعد گزارش کارنویسی:

هر آزمایش فیزیکی از جهت نظم و ترتیب و ماندگاری نتایج به دست آمده نیاز به یک گزارش مکتوب دارد که باید برنظم و قاعده خاصی استوار باشد در زیر به موارد لازم در هر گزارش آزمایشگاهی اشاره می‌کنیم.

*(الف) مشخص کردن عنوان و هدف از انجام هر بخش آزمایش.

*(ب) رسم شکل آزمایش که نحوه انجام آن را نشان می‌دهد.(شکل‌های شماتیک یا شکل‌هایی که طرز چیدن وسایل را نشان می‌دهند)

*(ج) ارائه توضیح مختصر اما کافی در مورد نحوه انجام آزمایش و نکات اندازه‌گیری

*(د) ارائه جدول اندازه‌گیری

(ه) به دست‌آوردن کلیه روابط ریاضی لازم برای انجام محاسبات.(در صورتی که روابط واضح نباشند)

(و) رسم نمودارهای لازم برای تحقیق روابط یا به دست آوردن مجهولات

(ز) محاسبات عددی لازم برای محاسبه مجهولات

*(ح) محاسبه خطای کمیت‌های موجود که اندازه‌گیری یا محاسبه شده‌اند و نوشتن فرمول محاسبه خطا در صورت لزوم

*(ط) ذکر عوامل خطای آزمایش به صورت مجزا و ارائه پیشنهادهای عملی برای رفع آنها(در صورت ذکر شدن در صورت سؤال باید در عمل نیز این خطاها برطرف و تصحیح گردند)

نکته ۱: مواردی که با علامت «*» مشخص شده‌اند در تمام گزارش‌ها لازم می‌باشند.

نکته ۲: در موارد «ب» و «د» و «ه» و «و» حتماً باید شماره و شرح مختصری برای آنها ذکر شود تا در صورت نیاز بتوان به آنها رجوع کرد.

نکته ۳: در مورد جدول اندازه‌گیری بهتر است خطای کمیت‌ها هم در جدول ارائه شوند. ضمناً تعیین تعداد نقاط لازم برای اندازه‌گیری و نیز تعداد اندازه‌گیری هر نقطه بر عهده آزمایشگر بوده و از هنرهای آزمایش محسوب می‌شود.

۲) تخمین خطای وسایل اندازه‌گیری:

در ابتدا توجه کنید که تخمین خطا نیز یکی از هنرهای آزمایشگر بوده و در بسیاری موارد قاعده ریاضی دقیقی برای آن وجود ندارد یا اگر وجود داشته باشد، وقت زیادی را صرف خواهد کرد. بنابراین به جای ارائه روش سعی می‌کنیم در یک مجموعه مثالها ونکاتی در این مورد را یادآور شویم:

قبل از هر چیز دقت کنید که بسیاری از وسایل دارای خطای حدی (limiting Error) می‌باشند که در کاتالوگ یا روی خود وسیله ذکر شده است و معمولاً معتبرترین مرجع ما برای خطا می‌باشند و بحث تخمین خطا را برطرف می‌کنند. مثالها:

۱) مقاومتهایی که در بازار موجودند و می‌خواهیم«بدون اندازه‌گیری» دقیق از روی مقدار نامی (nominal) آنها را به کار ببریم دارای 5%2% و ... می‌باشند که روی مقاومت با روشهای استاندارد نوشته شده است.

۲) بعضی از دستگاههای اندازه‌گیری دقیق حجم که فقط یک حجم خاص را به دقت اندازه می‌گیرند خطای حدی مشخصی را روی بدنه خود همراه دارند که می‌توان اندازه‌گیری‌ها را در همین محدوده معتبر دانست.

در دستگاه‌هایی که باید از روش انطباق چشمی یک خط بر یک نشانه دستگاه استفاده کرد بحث تخمین خطا اهمیت جدی پیدا می‌کند. و در اصل به نحوه تشخیص آزمایشگر برمی‌گردد.

IranPhO.ir

مثال: فرض کنید در یک خط‌کش فاصله دو نشانه آنقدر زیاد است که بتوان وسط دو نشانه را با دقت خوبی تشخیص داد در این صورت می‌توان اعداد را با دقت مثبت و منفی نصف واحد معرفی کرد.($\pm \frac{1}{2}$ unit) اگر بتوان تقسیم‌های بیشتری انجام داد، دقت افزایش می‌یابد. درغیر اینصورت همان ($\pm$ 1 unit) را درنظر می‌گیریم.

در دستگاههای دیجیتال در اکثر موارد خطاهای حدی ذکر می‌شوند که ابتدا باید به آنها توجه کرد چون به نحوه ساخت وسیله برمی‌گردند اما وقتی این خطاها بیان نشوند، خطا را برابر 1 LSD (یعنی مثبت و منفی کم ارزش‌ترین رقم صفحه نمایش) درنظر می‌گیریم. (LSD= Least Significant Digit)

۳) خطاهای تصادفی:

در بعضی اندازه‌گیری‌ها وسیله اندازه‌گیری از خطای کوچکی برخوردار است اما تکرار اندازه‌گیری نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد در این موارد بحث خطای تصادفی اهمیت می‌یابد و باید تحلیل آماری روی اندازه‌گیری انجام داد. طبق یک قضیه آماری هرگاه به تعداد نامحدود آزمایشی را تکرارکنیم، بیشترین احتمال برای اندازه‌گیری‌ها، در محل مقدار متوسط اندازه‌گیری‌ها رخ می‌دهد. پس این مقدار برای معرفی کمیت مورد اندازه‌گیری مناسب است.

تخمین مقدار متوسط: مقدار متوسط ناشی از بینهایت اندازه‌گیری به طور دقیق قابل حصول نیست اما با تعداد کمتر هم می‌توان مقدار متوسط را تعریف کرد:

x_i : هر کدام از اندازه گیری ها $(i = 1,2,3,\ldots, n)$

n : تعداد اندازه گیری ها

$$\bar{x} = \langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

تخمین خطا: مفهوم انحراف استاندارد (S.D.) به این شکل تعریف می‌شود:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

و انحراف استاندارد مقدار متوسط برابر $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ می‌باشد که معرف خطای تصادفی است.

بنابراین معرفی نتیجه اندازه‌گیری به صورت : $\bar{x} \pm \sigma_m$ می‌باشد.

نکته مهم: اگر خطای تصادفی (σ_m) از خطای وسیله اندازه‌گیری بیشتر شد که نمایش به شکل بالا صحیح است وگرنه باید همان خطای وسیله را کنار $\bar{x}$ قرار داد.

*تخمین σ_m : یک روش بسیار ساده برای تخمین، فرمول زیر است که برای $2 \le n \le 12$ دقت خوبی دارد و در بقیه موارد (n های بالا) هم با تقریب قابل استفاده است:

$$\sigma_m \approx \frac{x_{max} - x_{min}}{n}$$

نکته: (قرارداد) برای آنکه یک وضعیت واحد در نمایش خطا و مقدار اندازه‌گیری ایجاد شود توجه کنید که در مواردی که محاسبه خطا از طریق فرمولها انجام می‌شود (خطای تصادفی یا خطای ترکیبی) لازم است با یک یا دو رقم معنی‌دار نوشته شود. ضمناً نتیجه اندازه‌گیری باید تا همان تعداد ارقام اعشاری که خطا نوشته شده، بیان گردد.

مثال: خطای تصادفی برابر ۱۷۶۸۶۵٪ از ماشین حساب محاسبه شده و مقدار x برابر ۱/۹۵۱۷۶۱ بوده است. خطا و مقدار

IranPhO.ir

اندازه‌گیری به این شکل نوشته می‌شوند:

۱/۹۵ + ۰/۱۸

۴) (رسم نمودارهای آزمایشگاهی):

در رسم هر نمودار نکات زیر را رعایت کنید:

۱) مشخص کردن محورهای x و y (با رسم آنها و رسم فلش مربوطه)

۲) مشخص کردن واحد اندازه‌گیری روی هر محور

۳) مشخص کردن کمیت مورد نمایش روی هر محور

۴) مشخص کردن درجه‌بندی محورها

۵) مشخص کردن خطوط خطا در صورت قابل نمایش بودن آنها

۶) نوشتن شرح و شماره برای هر نمودار جهت رجوع به هر منحنی

نکته ۱): سعی کنید همواره درجه بندی منحنی طوری باشد که استفاده بهینه از کاغذ نمودار بشود چون هرچه از نظر هندسی اندازه‌ها بزرگ شوند، دقت بالاتر می‌رود. در این راستا توجه کنید که نقطه شروع محورها لزوماً از صفر نمی‌باشد (در درجه‌بندی خطی)

نکته ۲): در درجه‌بندی غیرخطی (لگاریتم) نقطه شروع محور یکی از توانهای عدد ۱۰ است.

* رسم بهترین خط: در رسم بهترین خط از قانون کمترین مربعات استفاده می‌شود که در آن مقادیر m و c ضریب‌زاویه و عرض از مبدأ خط به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

$$c = \bar{y} - m\bar{x}$$

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})y_i}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

رابطه دوم یک ایده اساسی برای رسم می‌دهد و آن عبور خط از مرکز ثقل نقاط است.

بنابراین دو روش زیر را برای رسم پیشنهاد می‌کنیم.

۱)روش استفاده از ماشین حساب‌های علمی که m و c را از همین فرمولها به سرعت محاسبه می‌کنند.

۲) در صورتی که بخواهیم وقت صرف واردکردن اعداد در ماشین حساب نکنیم، می‌توان خط را طوری رسم کرد که نقاط به تساوی در طرفین خط قرارگیرند. ضمناً برای داشتن دقت بالا در صورت پراکندگی نقاط می‌توان $\bar{x}$ و $\bar{y}$ را روی نمودار مشخص کرد و خط را از آن هم عبور داد.

۵) محاسبه خطای پارامترهای نمودار:

برای محاسبه خطا قبلاً دیدیم که یک خطا ناشی از وسیله اندازه‌گیری بود و یک خطا ناشی از تصادفی بودن اندازه‌گیری‌ها مشابه این واقعیت در نمودار هم ملاحظه می‌شود. هر نقطه یک خطا در هر یک از راستاهای x و y دارد که با خط خطا نمایش داده می‌شود و مجموعه نقاط هم در اثر پراکندگی ناشی از تصادفی بودن و خطای وسیله خطای دیگری را موجب می‌شوند:

۱ـ هرگاه خطای نقاط آنقدر زیاد باشد که خطوط خطا قابل نمایش باشند و یا در مقابل پراکندگی نقاط آنقدر زیاد نباشد، کافیست دو خط با شیب‌های ماکزیمم و مینیمم که تقریباً از همه محدوده‌های خطا (مستطیلی که به طور فرضی روی هر نقطه بنا می‌شود) عبور کنند، رسم نماییم و اگر m_{max} و m_{min} مقدار شیب آنها باشد: $m_{بهترین} \pm \Delta m$ به عنوان اندازه‌گیری شیب خط بیان می‌شود.

که در آن Δm برابر است با:

$$\Delta m = \frac{m_{max} - m_{min}}{2}$$

$$m_{بهترین} = \frac{m_{max} + m_{min}}{2}$$

IranPhO.ir

عرض از مبدأ max،min هم از روی منحنی به دست می‌آیند و داریم:

$$C = C_{\text{بهترین خط}} \pm \left(\frac{C_{\max} \mp C_{\min}}{2} \right)$$

۲ـ خطوط خطا هم همواره قابل نمایش در منحنی نیستند و در این موارد فقط پراکندگی است که مهم می‌شود و تشخیص آنکه کدام خطا اهمیت بیشتری دارد برعهده آزمایشگر است. در این زمینه ۳ روش برای محاسبه خطا ارائه می‌دهیم:

۱) استفاده از ماشین حساب و محاسبه نسبتاً دقیق خطا:

$$d_i = y_i - mx_i - c$$

$$D = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$(\Delta m)^2 \cong \frac{1}{D} \frac{\sum d_i^2}{n-2}$$

$$(\Delta c)^2 \cong \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{D} \right) \frac{\sum d_i^2}{n-2}$$

ضمناً اگر از ماشین حساب استفاده می‌شود فرمول بهتری برای Δm وجود دارد که برحسب r (رگرسیون) داده‌ها بیان می‌شود:

$$\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 = \frac{1}{n-2}\left(\frac{1}{r^2} - 1\right)$$

۲) روش نقاط زوجی:

این روش خصوصاً برای وقتی مناسب می‌باشد که هدف محاسبه m و خطای آن باشد و برای c روش خوبی نیست ضمناً تعداد نقاط هم نباید کم باشد. برای محاسبه، تعدادی زوج نقطه درنظر می‌گیریم به طوری که اگر n نقطه داشته باشیم، فاصله زوج نقطه از هم حدوداً $\frac{n}{2}$ باشد مثلاً در ۸ نقطه، باید (۱ و ۵) و (۲ و ۶) و (۳ و ۷) و (۴ و ۸) زوج نقاط مورد نظر باشند. حال ضرایب زاویه را برای این نقاط حساب می‌کنیم، متوسط آنها بهترین شیب را می‌دهد و انحراف از معیار متوسط (σ_m) مقدار خطا را می‌دهد.

۳) روش رسم خطوط max و min:

یک روش سریع و عملی اما تقریبی آنست که مستطیلی درنظر بگیریم با حداقل مساحت که همه نقاط را در بربگیرد و اضلاع بزرگ آن موازی با بهترین خط باشند. ضمناً نقاطی که خیلی دور از خط هستند باید حذف شوند.

در این روش، رسم قطرهای این مستطیل خطوط max و min را خواهند داد که قبلاً در مورد آن صحبت کردیم.

۶) خطاهای ترکیبی:

اگر خطای متغییر x، برابر Δx باشد خطای تابع به شرط آنکه $\Delta x \ll x$ باشد برابر است با:

$$\Delta f = f' \cdot \Delta x$$

حالا اگر تابع f از چند متغییر باشد به صورت $y = f(x_1, \ldots, x_n)$ خطای ناشی از هر کدام از x_i ها برابر است با:

$$\Delta y_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i$$

IranPhO.ir

در این مرحله اگر Δy_i ها به صورت قدر مطلق با هم جمع شوند حداکثر مقدار خطا را می‌دهد اما معمولاً در آزمایشگاه از خطای محتمل استفاده می‌کنیم که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$(\Delta y)^2 = \sum_{i=1}^{n} (\frac{\partial f}{\partial x_i})^2 (\Delta x_i)^2$$

مثال: اگر دومقاومت R_2 و R_1 را داشته باشیم و خطای مقاومت سری را بخواهیم داریم:

$$R = R_1 + R_2$$

$$(\Delta R)^2 = (\Delta R_1)^2 + (\Delta R_2)^2$$

مثال: اگر مقاومت مداری را بخواهیم داریم:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{\partial R}{\partial R_1} = \frac{R_2(R_1 + R_2) - R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)^2$$

$$\frac{\partial R}{\partial R_2} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)^2 \Rightarrow (\Delta R)^2 = (\frac{R_2}{R_1 + R_2})^4 (\Delta R_1)^2 + (\frac{R_1}{R_1 + R_2})^4 (\Delta R_2)^2$$

مثال: اگر: $y = \frac{AB}{C(D+E)}$ آنگاه داریم:

$$(\frac{\Delta y}{y})^2 = (\frac{\Delta A}{A})^2 + (\frac{\Delta B}{B})^2 + (\frac{\Delta C}{C})^2 + \frac{(\Delta D)^2 + (\Delta E)^2}{(D+E)^2}$$

موفق باشید

آزمایشگاه فیزیک

IranPhO.ir