

Определяне специфичното съпротивление на проводник. Видове грешки

Гошо Гоев

Софийски университет Св. Климент Охридски, Физически факултет,
София 1164, бул. Джеймс Баучер 5

Абстракт. Основните видове експериментални грешки могат да се демонстрират чрез провеждане на лабораторно упражнение. При определянето на специфичното съпротивление на проводник учениците ще “допуснат грешки” и с помощта на учителя ще имат възможността да ги коригират.

УВОД

Експерименталните грешки трудно се осмислят от учениците. С подходящо избрани от учителя последователни задачи по време на лабораторно упражнение може да се направи така, че учениците, допускайки грешки, да ги осъзнаят и по възможност да ги отстранят.

Експерименталното определяне на специфичното съпротивление на метален проводник е едно от препоръчителните лабораторни упражнения за 9. клас. Използват се леснодостъпни уреди и материали и упражнението може да се обособи като фронтално. От друга страна, при некоректно използване на ометър ясно могат да се отличат различните видове грешки.

ВИДОВЕ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ГРЕШКИ

Експериментална грешка при определянето на дадена физична величина се нарича разликата между измерената (пресметнатата) и истинската ѝ стойност. Резултатът при многократни измервания е интервал от стойности, а не едно единствено число. Това налага класификация на причините за тези отклонения и изясняване на понятието експериментално определена физична величина. Най-общо експерименталните грешки биват *груби, систематични и случайни*.

Груби грешки. Дължат се най-често на незнание или небрежност на експериментатора или на някаква неизправност на измерителния прибор. При този вид грешки е възможно да се измери стойност, която е съвсем различна от действителната (предполагамата), а понякога може да се окаже, че се измерва съвсем друга величина. Този вид грешки могат да бъдат отстранени с внимателно проучване на физичните процеси, протичащи в хода на експеримента, и проверка на уредите. Подобен тип грешки просто не се отчитат в анализа на експеримента.

Систематични грешки. Дължат се на постоянно действащи фактори, които променят показанията на прибора само в една посока. Резултатът е, че се регистрира винаги по-голяма или винаги по-малка стойност от точната. Причините могат да бъдат неправилно калибриране и настройване на уреда или невъзможността да бъдат отстранени някои външни фактори, влияещи на експеримента. Необходимо е калибриране на уредите преди и след измерването, оценка на влиянието на неотстранимите фактори и да се направи съответна корекция. Този вид грешки трудно се откриват, влияят на *точността* на измерването и не могат да бъдат анализирани статистически. Поради тези причини най-трудно се измерва абсолютната стойност на дадена величина.

Определенията на основните физични величини в международната система за единиците SI са коригирани няколкократно в течение на времето именно с цел намаляване на систематичните грешки. Последното обновяване на определенията на основните мерни единици за маса (kg), температура (K) и количество вещество (mol) беше прието на 20 май 2019 г.¹

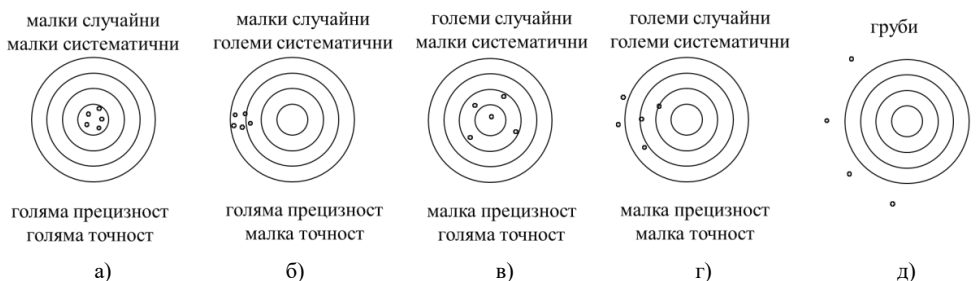
Случайни грешки. Дължат на най-вече на естествените флукутации, като отклоненията на измерената стойност от истинската стават по случаен начин в хода на измерванията. Влияят на *прецизността* на измерването. Когато се проведат повече измервания, те могат да бъдат отчетени посредством съответна статистическа обработка.

Поради невъзможността да се избегнат, систематичните и случайните грешки се приемат по-скоро като отклонение или *неопределеност* при измерването.

Още две понятия си струват да бъдат дефинирани: *точност* – измерените стойности са близки до истинската; и *прецизност* – измерените стойности се групират около някаква стойност (не е задължително да съвпада с истинската).

¹ Вж. статията [За мерките, теглилките и фундаменталните константи](#), сп. Физика: Методология на обучението 6 (2018) 139-157.

Основните видове грешки и свързаните с тях прецизност и точност могат да се онагледят, като стрелец стрелящ по мишена (Фиг. 1).



Фиг. 1. Видове експериментални грешки. В реалните експерименти не се знае къде е центърът на “мишената” и не може да се разграничи първия от втория случай (а и б). Това е и една от причините систематичните грешки да се определят трудно.

СТАТИСТИЧЕСКА ОБРАБОТКА НА ДАННИ. ОЦЕНКА НА СЛУЧАЙНИТЕ ГРЕШКИ

При многократно измерване на дадена величина се получават n на брой стойности (x_1, x_2, \dots, x_n) . Най-добра оценка за ни дава средната стойност \bar{x} на измерените стойности.

$$\mathbf{x} \approx \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}.$$

Истинската стойност на \mathbf{x} е в някакъв интервал около \bar{x} . За определянето на този интервал е необходимо да се обърне внимание на отклонението от средната стойност, $\bar{x} - x_i$ при всяко измерване. Сумата на всички отклонения е равна на нула:

$$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i) = 0.$$

Това свойство не ни дава информация за грешката, но може да се използва за контрол на грешки при пресмятането на средната стойност. Затова се взема сумата от квадратите на отклоненията и се осреднява (дисперсия):

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

Появяването на коефициента $1/(n - 1)$ вместо $1/n$ се дължи на факта, че между n -те случайни величини $(\bar{x} - x_i)$ съществува връзка. Или по

друг начин казано, при пресмятането на $\bar{x} - x_k$, за k -то измерване се получават с едно по-малко събираеми ($n - 1$ събираеми).

$$\begin{aligned}\bar{x} - x_k &= \frac{\sum x_i}{n} - x_k = \frac{\sum x_i - nx_k}{n} \\ &= \frac{(x_1 - x_k) + (x_2 - x_k) + \dots + (x_k - x_k) + \dots + (x_n - x_k)}{n}.\end{aligned}$$

Едно от събираемите $(x_k - x_k) = 0$, а останалите събираеми в числителя – така наречените степени на свобода, са $(n - 1)$ на брой.

Величината средно-квадратично отклонение за едно измерване, σ което се определя като:

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

е най-удобната мярка за характеризиране на неопределеността (грешката) на едно измерване.

Средно-квадратично отклонение на средната стойност на измерванията,

$$\Delta x_{\text{КВ}} = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}},$$

представлява средната квадратичната грешка, $\Delta x_{\text{КВ}}$, наречена още абсолютна грешка. За голям брой измервания средната квадратичната грешка определя интервала от стойности около \bar{x} , в който вероятността да се намира истинската стойност на величината е 68%.

По добра представа за точността на измерванията ни дава така наречената относителна грешка, r

$$r\% = \frac{\Delta x}{\bar{x}} 100\%.$$

Тя определя каква част от измерваната величина е абсолютната грешка.

В процеса на изпълнението на описаното по долу упражнение може нагледно да се покажат основните видове грешки. Да се обясни причините за тяхното възникване и съответно възможностите за отстраняването им. Физиката е *точна* наука, защото може да се определи с каква *точност* измерваме или определяме дадена величина.

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ

Експериментално определяне на специфично съпротивление на проводник

Теоретична част

Електрическото съпротивление R на един проводник е пропорционално на неговата дължина L и обратно пропорционално на сечението, S на проводника

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad (1)$$

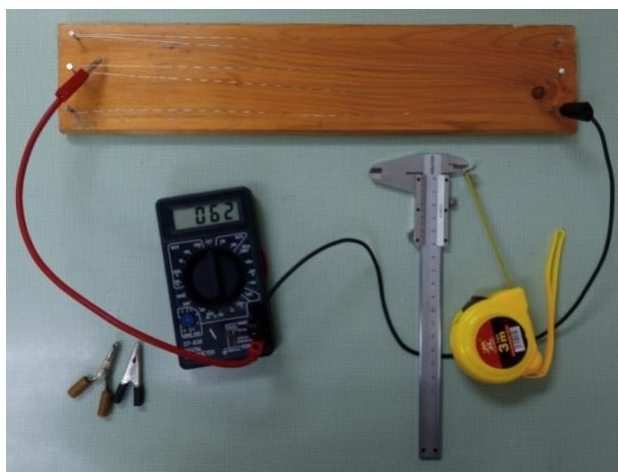
където ρ е коефициент на пропорционалност, наречен специфично съпротивление, зависещо от материала, от който е направен проводника. Специфичното съпротивление се изразява от горното уравнение:

$$\rho = S \frac{R}{L}. \quad (2)$$

Чрез измерване на сечението и неколkokратно измерване на съпротивлението за различни дължини се пресмята специфичното съпротивление на проводника.

Необходими уреди и материали

Проводник с голямо специфично електросъпротивление (реотан), шублер, рулетка и омметър (мултиметр). На Фиг. 2 е показана опитната постановка.



Фиг. 2.

Задача 1. Да се измери съпротивлението за различни дължини на проводника с омметър. (Без помощта на щипки тип крокодил. Щипките да не са в ползрението на учениците!)

Поради лошия контакт на изводите на уреда и неопитността на учениците показанията на уреда се променят и измерването е много трудно и почти невъзможно. Учениците веднага забелязват това и започват да задават въпроси. Обясняват се причините за невъзможността на измерването и се разяснява какво представляват *груби грешки*, как се откриват и как биха могли да се избегнат. За изпълнението на задачата им се предоставят щипките и съответните указания ако е необходимо. Учениците извършват измерванията и попълват Табл. 1.

Табл. 1.

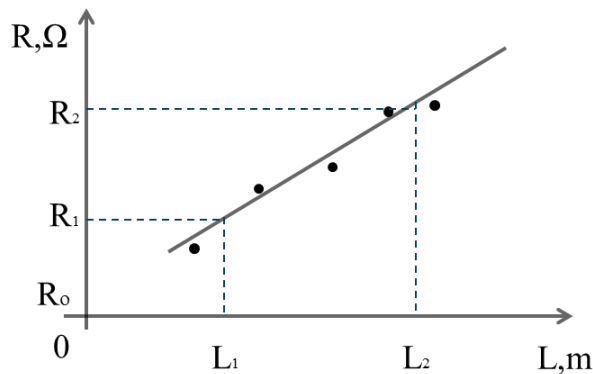
L, m							
R, Ω							

Задача 2. Да се построи графика, как зависи съпротивлението R от дължината L , т.е. $R = R(L)$.

Получава се графика подобна на Фиг. 3.

От графиката се вижда, че точките не лежат на една права. Обяснява се нагледно за *статистически грешки* и се разяснява как се чертае графика.

От графиката може да се определи при дадена дължина, какво съпротивление има проводника и обратно. При нулева дължина на проводни-



Фиг. 3.

ка съпротивлението трябва да е нула ($L = 0 \rightarrow R = 0$). От продължението на графиката обаче се вижда, че при $L = 0$, $R = R_0 > 0$. Тук е мястото за разясняване на *систематична грешка*. В случая това се дължи на съпротивлението на кабелите на уреда. Когато се допрат двата извода на омметъра, показанията са много близко до R_0 . Показанията са близки, но не точно. Систематична грешка има и при измерването на дължината на проводника.

Задача 3. За измерените L и R , като се отчете систематичната грешка да се пресметне специфичното съпротивление ρ от уравнение 2.

Сечението S на проводника се пресмята, след като се измери диаметърът d на проводника с шублер ($S = \pi d^2/4$). Диаметърът се измерва в различни части на проводника и се работи със средната стойност на всички измервания. Причината е, че диаметърът е различен в различните части на проводника. Определя се средната стойност на специфичното съпротивление $\rho_{\text{ср}}$. Също така се показва как от графиката може да се пресметне специфично съпротивление $\rho_{\text{ср}}$ по аналогия на уравнение 2.

$$\rho_{\text{ср}} = S \frac{R_2 - R_1}{L_2 - L_1} . \quad (3)$$

Задача 4. Пресмятане на средна квадратична грешка $\Delta\rho_{\text{кв}}$.

Попълва се Табл. 2, като при пресмятане на специфичното съпротивление се използва вече коригираното измерено съпротивление. Пресмята се средната стойност на специфичното съпротивление, $\rho_{\text{ср}}$.

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\sum \rho_i}{n} . \quad (4)$$

Табл. 2.

N	L , m	R , Ω	ρ , $\Omega \cdot \text{m}$	$\Delta\rho$, $\Omega \cdot \text{m}$	$(\Delta\rho)^2$, $(\Omega \cdot \text{m})^2$
1	L_1	R_1	ρ_1	$\rho_{\text{ср}} - \rho_1$	$(\rho_{\text{ср}} - \rho_1)^2$
2	L_2	R_2	ρ_2	$\rho_{\text{ср}} - \rho_2$	$(\rho_{\text{ср}} - \rho_2)^2$
3	L_3	R_3	ρ_3	$\rho_{\text{ср}} - \rho_3$	$(\rho_{\text{ср}} - \rho_3)^2$
...
n	L_n	R_n	ρ_n	$\rho_{\text{ср}} - \rho_n$	$(\rho_{\text{ср}} - \rho_n)^2$

Определя се абсолютната грешка по формулата:

$$\Delta\rho_{\text{КВ}} = \sqrt{\frac{\sum(\Delta\rho_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (5)$$

Резултатът от пресмятането на средно квадратичната грешка се закръгля до първата значеща цифра.

Пресмята се относителната грешка:

$$r\% = \frac{\Delta\rho_{\text{КВ}}}{\bar{\rho}} 100\%.$$

Окончателният резултат се записва във вида:

$$\begin{aligned} \rho &= (\bar{\rho} \pm \Delta\rho_{\text{КВ}}) \text{ } \Omega\text{m}, \\ \rho &= \bar{\rho} \text{ } \Omega\text{m} \pm r\%. \end{aligned}$$

Като средната стойност $\bar{\rho}$ се закръгля до знака, на която е закръглена абсолютната грешка $\Delta\rho_{\text{КВ}}$.

Сравняват се пресметнатите средната и графичната стойност на специфичното съпротивление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уредите и материалите за определяне специфичното съпротивление на проводник са евтини и достъпни. Това дава възможност да се направят няколко експериментални установки с цел провеждане на фронтално упражнение. Със съответната помощ и провокации от страна на учителя учащите се могат да придобият:

- знания и умения за измерване с омметър,
- нагледна представа за основните видове експериментални грешки,
- умения за пресмятане и оценка на експерименталната грешка, както и припомняне на стари знания и умения – измерване с шублер и рулетка.