

ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН ТА ТЕОРІЯ ПОХИБОК

Наукове пізнання людиною навколишнього світу стало можливим лише завдяки впровадженню вимірювань у практику наукових досліджень.

Лабораторні заняття з фізики мають дві мети: по-перше, дати можливість студентам ознайомитись із приладами та оволодіти основними методами фізичних вимірювань, по-друге, ознайомитись з деякими явищами і законами природи.

1. Суть процесу вимірювання

Процес вимірювання фізичної величини полягає у знаходженні її числового значення.

Виміряти фізичну величину означає порівняти її з іншою однорідною фізичною величиною, прийнятою за одиницю вимірювання.

Наприклад, вимірювання лінійного розміру тіла зводиться до його порівняння з еталоном довжини – метром, визначення маси тіла з використанням терезів – до порівняння її з еталоном маси – кілограмом тощо.

Вимірювання можна умовно поділити на *прямі і непрямі*.

Прямыми називаються вимірювання, в процесі яких числове значення фізичної величини отримують безпосередньо шляхом порівняння цієї величини з еталоном або за відліковим пристроєм вимірального приладу.

Прикладами прямих вимірювань можуть бути вимірювання розмірів тіла лінійкою, температури – термометром, часу – секундоміром, маси – за допомогою терезів тощо. Однак безпосередньо можна виміряти лише невелику кількість фізичних величин.

Непрямими називаються вимірювання, в процесі яких числове значення фізичної величини знаходять за допомогою обчислень, користуючись відомим функціональним зв'язком між вимірюваною величиною та іншими величинами, отриманими на основі прямих вимірювань.

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок

Прикладом непрямого вимірювання є вимірювання об'єму V тіла, що має форму прямокутного паралелепіпеда з ребрами завдовжки a , b , c :
 $V = a b c$.

Непряме вимірювання завжди містить прямі вимірювання як складовий елемент.

Розрізняють істинне і дійсне значення фізичної величини.

Істинне значення фізичної величини ($N_{\text{іст}}$) є тією абсолютною істиною, яка не залежить від методів і засобів нашого пізнання, до якої ми прагнемо, удосконалюючи методику і засоби вимірювання, намагаючись знайти це значення у вигляді числа під час вимірювання.

Проте істинне значення залишається невідомим через неминучі похибки вимірювань. Кожен результат вимірювання є лише наближеною оцінкою істинного значення величини. Тому на практиці замість істинного значення використовують дійсне значення величини.

Дійсне значення фізичної величини (N_0) – це значення, отримане експериментальним шляхом, і яке настільки наближається до істинного, що може використовуватись замість нього.

2. Похибки вимірювань

Недосконалість вимірювальних приладів і методів вимірювань, неврахування усіх факторів, що супроводжують перебіг певного явища, обмежені можливості наших органів чуття приводять до похибок під час вимірювання фізичних величин. Завданням фізичного експерименту є не лише знаходження найточнішого значення вимірюваної величини, але й оцінка відхилення результатів вимірювання від істинного значення – оцінка похибки вимірювання.

Залежно від природи причин відхилення N_0 від $N_{\text{іст}}$ усі похибки можна умовно поділити на *систематичні, випадкові і промахи*.

Систематична похибка – складова похибки вимірювання, яка пов'язана з дією незмінних за своєю величиною та напрямком факторів і для цього засобу вимірювання залишається сталою під час повторних вимірювань тієї самої величини. Тобто особливістю систематичних похибок

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок є те, що їх числове значення і знак відхилення (у більший чи в менший бік) від істинного значення фізичної величини регулярно повторюється від одного вимірювання до іншого або ж змінюється за певним законом.

Ці похибки зумовлені недостатньою точністю приладу, його невідрегульованістю або несправністю, а також недосконалістю методів вимірювання.

Випадкова похибка – це складова похибки вимірювання, яка за повторного вимірювання тієї самої величини змінює своє значення і знак випадково, без будь-якої закономірності.

Вона проявляється у розкиді відліків під час повторних вимірювань, здійснених в аналогічних умовах. Випадкові похибки описує теорія випадкових явищ (теорія імовірностей).

Ця похибка зумовлена недостатньою чутливістю вимірювальних приладів, недосконалістю наших органів чуття та дією навколишнього середовища тощо.

Груба похибка (промах) – це складова похибки вимірювання, зумовлена неправильними діями або неухважністю експериментатора. За грубих похибок (промахів) результати вимірювань значно перевищують очікувані під час проведення таких вимірювань. Ці похибки порівняно просто виявляють і відкидають при проведенні аналізу числових значень вимірюваних величин.

Мірою відхилення дійсного значення N_0 від істинного $N_{\text{іст}}$ є *абсолютна похибка вимірювання*, а мірою точності вимірювання – *відносна похибка*.

Абсолютна похибка – це величина, яка характеризує відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини, вона дорівнює за модулем різниці між результатом вимірювання та істинним значенням вимірюваної величини:

$$\Delta N_i = |N_i - N_{\text{іст}}|.$$

Оскільки істинне значення $N_{\text{іст}}$ невідоме, то замість нього користуються дійсним значенням N_0 фізичної величини і тоді

$$\Delta N_i = |N_i - N_0|.$$

Відносною похибкою називається відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta N = \frac{\Delta N_0}{N_0} 100 \%$$

Остаточно результат проведеного вимірювання (рис. 1) записують у вигляді

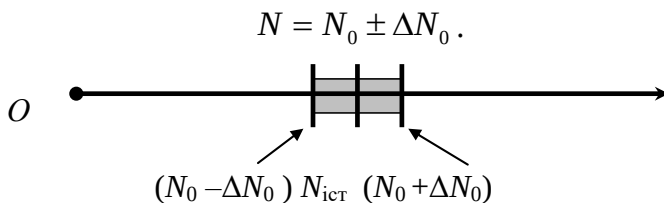


Рис. 1

Такий запис означає, що істинне значення вимірюваної величини лежить в інтервалі:

$$N_0 - \Delta N_0 \leq N_{\text{ict}} \leq N_0 + \Delta N_0.$$

Використовуючи прилади недостатньо високої точності (технічні), вимірювання проводиться тільки один раз. Повторні вимірювання не дають нових числових значень і їх проведення не має сенсу. Наприклад, вимірюючи температуру повітря в лабораторії термометром розширення, мусимо задовільнятися лише одним значенням вимірюваної величини. При цьому результат вимірювання записують у формі

$$N = N_0 \pm \Delta N,$$

а величину абсолютної похибки ΔN приймають такою, що дорівнює половині ціни найменшої *поділки вимірного приладу* (масштабної лінійки, термометра, рідинного барометра, манометра тощо).

Щодо лабораторних похибок. Якщо у розрахунковій формулі використані табличні значення фізичних величин, то абсолютну похибку таких величин вважають рівною половині одиниці останнього розряду їх значення. Наприклад, якщо густина тіла $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, то величину похибки приймають рівною 5 одиницям розряду, який слідує за останньою значущою цифрою числа. У наведеному прикладі $\Delta \rho = 0,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Або число $\pi = 3,14$, тоді $\Delta \pi = 0,005$.

3. Похибки прямих вимірювань

Під час обчислення похибок за дійсне значення фізичної величини можна прийняти середнє арифметичне з результатів окремих вимірювань даної величини. Це твердження впливає з таких властивостей випадкових похибок:

а) що більша за абсолютним значенням випадкова похибка, то вона рідше трапляється;

б) випадкові похибки протилежні за знаком, але рівні за абсолютним значенням трапляються однаково часто;

в) за необмеженого зростання кількості вимірів однієї і тієї ж самої величини середнє алгебраїчне з випадкових похибок прямує до нуля.

Нехай у результаті повторних вимірювань отримано різні числові значення деякої фізичної величини N :

$$N_1, N_2, N_3, \dots, N_i, \dots, N_n,$$

де індекс n вказує на максимальну кількість проведених вимірювань.

Математичну обробку отриманих результатів здійснюють у такому порядку:

а) обчислюють середнє арифметичне з отриманих окремих вимірювань:

$$N_0 \approx \langle N \rangle = \frac{1}{n} (N_1 + N_2 + \dots + N_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i;$$

б) розраховують абсолютну похибку окремого вимірювання як модуль різниці між результатом кожного окремого вимірювання N_i і середнім арифметичним $\langle N \rangle$:

$$\Delta N_1 = |N_1 - \langle N \rangle|; \Delta N_2 = |N_2 - \langle N \rangle| \dots \Delta N_n = |N_n - \langle N \rangle|;$$

в) обчислюють середнє арифметичне значення абсолютних похибок окремих вимірювань:

$$\langle \Delta N \rangle = \frac{1}{n} (\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3 + \dots + \Delta N_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta N_i;$$

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок
г) подають результат вимірювання у формі:

$$N = \langle N \rangle \pm \langle \Delta N \rangle ;$$

д) розраховують відносну похибку вимірювання:

$$\delta N = \frac{\langle \Delta N \rangle}{\langle N \rangle} 100 \text{ \%}.$$

4. Похибки непрямих вимірювань

4.1. Загальний метод визначення абсолютної похибки непрямого вимірювання

Похибки непрямих вимірювань визначаються за похибками величин, виміряних прямо. Прямо виміряні величини $a_1, a_2, \dots, a_n$ вважатимемо аргументами, а величину, що визначається непрямо, – функцією:

$$N = f(a_1, a_2, \dots, a_n).$$

Повний диференціал функції N визначається за формулою

$$dN = \frac{\partial N}{\partial a_1} da_1 + \frac{\partial N}{\partial a_2} da_2 + \dots + \frac{\partial N}{\partial a_n} da_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial N}{\partial a_i} da_i.$$

За малих значень диференціала аргумента ∂a_i приріст функції ΔN наближено дорівнює її диференціалу dN :

$$\Delta N = \frac{\partial N}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial N}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial N}{\partial a_n} \Delta a_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial N}{\partial a_i} \Delta a_i.$$

Знаки похідних вибираємо такими, щоб величина похибки була максимальною. Отже, абсолютна похибка непрямого вимірювання визначається за такою формулою:

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок

$$\Delta N = \left| \frac{\partial N}{\partial a_1} \right| \Delta a_1 + \left| \frac{\partial N}{\partial a_2} \right| \Delta a_2 + \dots + \left| \frac{\partial N}{\partial a_n} \right| \Delta a_n = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial N}{\partial a_i} \right| \Delta a_i.$$

Як приклад розрахунку похибок непрямого вимірювання розглянемо знаходження похибок вимірювання прискорення вільного падіння g за допомогою математичного маятника. Відомо, що період коливань маятника визначається за формулою:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}},$$

де L – довжина нитки; g – прискорення вільного падіння.

Оскільки $T = \frac{t}{N}$, де N – кількість коливань маятника за час t , то розрахункова формула для вимірювання g набуде вигляду

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} = \frac{4\pi^2 N^2 L}{t^2}.$$

1. Врахуємо, що $g = g(L, N, t, \pi)$, де у дужках наведено перелік змінних величин, що входять у формулу. Вони одержані прямими вимірюваннями. Величина N є точною і її похибка дорівнює нулю.

2. Запишемо вираз для диференціала dg :

$$dg = \frac{\partial g}{\partial L} dL + \frac{\partial g}{\partial t} dt + \frac{\partial g}{\partial \pi} d\pi,$$

де $\frac{\partial g}{\partial L}$, $\frac{\partial g}{\partial t}$ та $\frac{\partial g}{\partial \pi}$ – частинні похідні.

3. Знаходимо кожен із частинних похідних. При цьому користуємось правилом: усі фізичні величини, крім тих, за якими в даний момент беруться похідні, вважаються сталими. Отже:

$$\frac{\partial g}{\partial L} = \frac{\partial}{\partial L} \left(\frac{4\pi^2 N^2 L}{t^2} \right) = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} \frac{\partial}{\partial L} (L) = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2},$$

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок

$$\frac{\partial g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{4\pi^2 N^2 L}{t^2} \right) = 4\pi^2 N^2 L \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{t^2} \right) = -8\pi^2 N^2 L \frac{1}{t^3},$$

$$\frac{\partial g}{\partial \pi} = \frac{\partial}{\partial \pi} \left(\frac{4\pi^2 N^2 L}{t^2} \right) = \frac{4N^2 L}{t^2} \frac{\partial}{\partial \pi} (\pi^2) = \frac{8\pi N^2 L}{t^2}.$$

4. Підставивши отримані значення похідних у формулу для повного диференціала, одержимо:

$$dg = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} dL - \frac{8\pi^2 N^2 L}{t^3} dt + \frac{8\pi N^2 L}{t^2} d\pi.$$

5. Повертаємось до фізичної сторони задачі. Для цього замінимо символи диференціалів d на символи абсолютних похибок Δ , беручи коефіцієнти при останніх (з міркувань врахування найнесприятливіших умов реалізації знаків похибок) за абсолютною величиною:

$$\Delta g = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} \Delta L + \frac{8\pi^2 N^2 L}{t^3} \Delta t + \frac{8\pi N^2 L}{t^2} \Delta \pi.$$

Отже, ми отримали формулу для обчислення абсолютної похибки непрямого вимірювання (прискорення вільного падіння).

6. Підставимо в отриману формулу середні значення виміряних величин L , t , а також N і π та їх похибок і проведемо обчислення.

7. Результат вимірювання g запишемо у такій формі:

$$g = \langle g \rangle \pm \Delta g.$$

8. Обчислимо відносну похибку δg вимірювання прискорення, попередньо обчисливши $\langle g \rangle$:

$$\delta g = \frac{\Delta g}{\langle g \rangle} 100\%.$$

4.2. Метод логарифмування

Якщо розрахункова формула містить переважно дії вищого порядку (множення, ділення, піднесення до степеня), то зручніше спочатку знайти вираз для обчислення відносної похибки непрямого вимірювання, скориставшись методом логарифмування розрахункової формули. Визначення цієї похибки зручно проводити за допомогою таких кроків:

- 1) взяти натуральний логарифм від обох частин розрахункової формули;
- 2) отриманий логарифмічний вираз продиференціювати;
- 3) згрупувати усі члени, що містять однаковий диференціал, а вирази в дужках, що стоять перед диференціалом, взяти по модулю;
- 4) замінити усі знаки диференціала d знаком абсолютних похибок вимірювань Δ і всі мінуси перед диференціалом – плюсами.

Як приклад, наведемо розрахунок похибок обчислення прискорення вільного падіння, яке знайдено за допомогою коливання математичного маятника. Для цього:

1) запишемо розрахункову формулу $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} = \frac{4\pi^2 N^2 L}{t^2}$;

- 2) знаходимо натуральний логарифм виразу:

$$\ln g = \ln 4 + 2 \ln \pi + 2 \ln N + \ln L - 2 \ln t ;$$

- 3) продиференціюємо отриманий результат:

$$d(\ln g) = d(\ln 4) + 2d(\ln \pi) + 2d(\ln N) + d(\ln L) - 2d(\ln t) .$$

Звідси одержимо:

$$\frac{dg}{g} = 2 \frac{d\pi}{\pi} + \frac{dL}{L} - 2 \frac{dt}{t} ;$$

- 4) замінимо в останньому виразі символи диференціалів символами абсолютних похибок, беручи коефіцієнти при них (з міркувань

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок
врахування найнесприятливішої комбінації знаків похибок) за абсолютною величиною:

$$\frac{\Delta g}{g} = 2 \frac{\Delta \pi}{\pi} + \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta t}{t};$$

5) підставляючи в отриманий вираз дійсні значення результатів прямих вимірювань та їхні середні абсолютні похибки, обчислюємо відносну похибку $\delta g = \frac{\Delta g}{g}$, а через неї – абсолютну похибку

$$\Delta g = g \delta g;$$

6) подаємо результати вимірювань:

$$g = \langle g \rangle \pm \langle \Delta g \rangle \text{ при } \delta g = \frac{\langle \Delta g \rangle}{\langle g \rangle} 100 \%.$$

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок
ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

1. Вимірювання лінійних величин

Для вимірювань, які не вимагають високої точності, застосовують масштабні лінійки, складні метри, рулетки.

Масштабна лінійка

Масштабні лінійки бувають одношкальні та двошкальні, жорсткі чи пружні з межами вимірювань 150–1000 мм. Шкала лінійок має ціну поділки 0,5 чи 1 мм, що дає похибку під час вимірювань 0,25 та 0,5 мм відповідно.

Для лінійних вимірювань з вищою точністю застосовують штангенциркулі, мікрометри тощо.

Штангенциркуль

Штангенциркуль складається зі сталеві масштабної лінійки 1, яка поділена на сантиметри і міліметри (рис.1). На початку лінійки закріплені нерухомі губки 2. По лінійці переміщується рамка 4, яка становить одне ціле з губками 3. Ці губки паралельні до губок 2 та можуть підходити до них впритул. Рамку можна закріпити у потрібному положенні гвинтом 6.

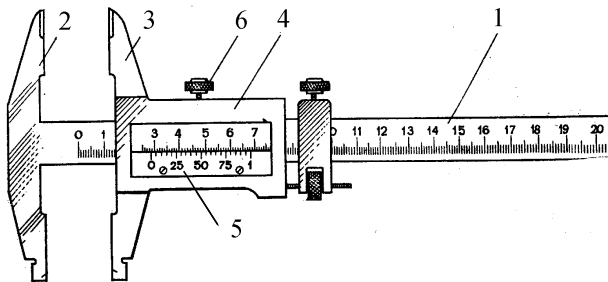


Рис. 1

У рамці є вікно 5, нижній край якого розташований навпроти поділок масштабної лінійки. На цьому краї нанесені поділки дещо іншого

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок масштабу, ніж поділки основної шкали. Ця додаткова лінійка називається *лінійний ноніус*. Шкала найпростішого ноніуса будується так, щоб m поділок ноніуса відповідали $m - 1$ поділці основної шкали. Нехай ціна поділки основної шкали x_0 , а шкали ноніуса – x . Тоді довжина відрізка до збігу поділок буде:

$$m x = (m - 1) x_0,$$

звідки $x = x_0 - \frac{x_0}{m}$.

Різниця між ціною поділки основної шкали і ціною поділки ноніуса називається *точністю ноніуса*:

$$\Delta x = x_0 - x = \frac{x_0}{m}.$$

Як бачимо, точність ноніуса дорівнює ціні поділки шкали масштабної лінійки, поділеної на кількість поділок ноніуса.

Виберемо $m = 10$, а $x_0 = 1$ мм. Якщо сумістити нульову поділку шкали такого ноніуса з нульовою поділкою основної шкали, то 10-та поділка ноніуса виявиться суміщеною з 9-ю поділкою масштабної лінійки (рис. 2, а). При цьому 1-ша поділка ноніуса не дійде до 1-ї поділки лінійки на 0,1 мм, 2-га поділка ноніуса не дійде до 2-ї поділки шкали лінійки на 0,2 мм і т.д. (рис. 2, а).

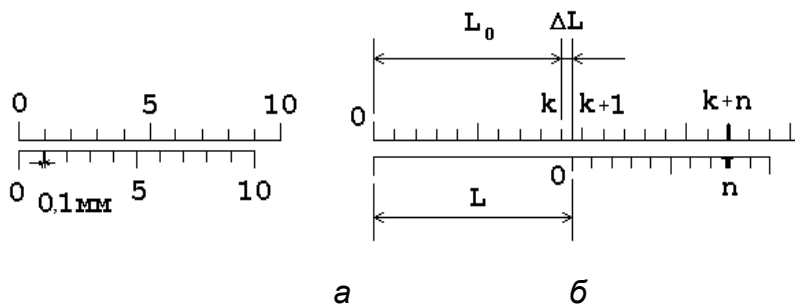


Рис. 2

Шкали штангенциркуля наносяться так, що за зсунутих губок нуль

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок
шкали ноніуса і нуля основної шкали збігаються. Під час вимірювання довжини штангенциркулем предмет поміщають між губками, губки зсувають до стикання з предметом і закріплюють їх у такому положенні гвинтом 6, потім проводять відлік за допомогою ноніуса.

Довжина предмета L дорівнює віддалі від нуля основної шкали до нуля зміщеного ноніуса і складається з цілого числа k поділок основної шкали $L_0 = kx_0$ та деякої частини наступної поділки основної шкали – відрізка ΔL (рис. 2, б):

$$L = L_0 + \Delta L.$$

Знаходимо поділку ноніуса (наприклад, n), що збігається з поділкою основної шкали $(k + n)$, тоді:

$$\Delta L = nx_0 - nx = n\Delta x.$$

Отже:

$$L = kx_0 + n\Delta x.$$

Якщо під час вимірювання не виявиться жодної поділки ноніуса, яка збігалась би точно з поділкою основної шкали, то відлік береться по тій поділці, яка розміщена найближче до одної з поділок основної шкали масштабної лінійки. Величина незбігу не перевищує половини точності ноніуса Δx . Отже, похибка відліку по ноніусу дорівнює половині його точності.

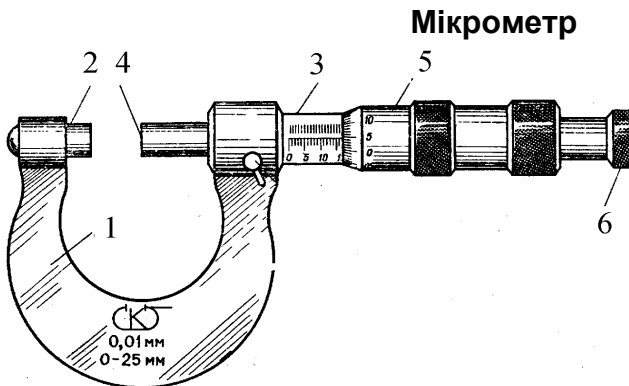


Рис. 3

На кінцях масивної сталеві скоби 1 (рис. 3) розміщені один навпроти одного нерухома опорна п'ята 2 і наконечник мікрометричного гвинта 4. Гвинт обертається у втулці 3, вздовж якої зовні нанесена

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок

шкала з поділками через 0,5 мм. На гвинт насаджено барабан 5, край якого під час обертання гвинта переміщається відносно шкали, нанесеної на втулці.

По краю барабана нанесена шкала, яка ділить обвід барабана на 50 рівних поділок; крок гвинта – 0,5 мм, отже, ціна 1 поділки барабана 0,01 мм, тобто поворот барабана на 1 поділку відповідає зміщенню гвинта на 0,01 мм.

На кінці гвинта є пристрій 6 для обертання барабана, який називається тріскачкою. Обертання передається від тріскачки до гвинта завдяки тертю, внаслідок чого при досягненні певної сили натиску наконечника гвинта на опорну п'яту чи на вимірюваний предмет подальше його обертання припиняється.

Якщо наконечник гвинта й опорну п'яту звести разом, край барабана знаходитиметься навпроти нульової поділки шкали, нанесеної на втулку, а нульова поділка шкали барабана збігатиметься із поздовжньою лінією, нанесеною на втулку.

Під час роботи з мікрометром вимірюваний предмет затискається за допомогою тріскачки між опорною п'ятою та наконечником гвинта, після чого по шкалі втулки відраховується ціле чи півціле число міліметрів і до цього відліку додається число сотих часток міліметра, яке відраховується по шкалі барабана.

Наприклад:

- на рис. 4. відлік становить 9,36 мм, оскільки на шкалі втулки вкладається ціле число 9 мм, а на шкалі барабана – 36 сотих мм;

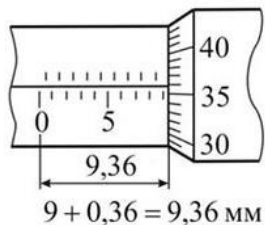


Рис. 4

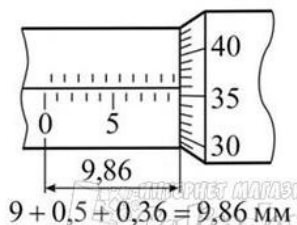


Рис. 5

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок

- на рис. 5 відлік становить не лише 9 цілих мм, але ще й одну поділку за верхньою шкалою півцілих мм, тому показ шкали втулки – 9,5 мм. Якщо додати 36 сотих мм, які відраховує шкала барабана, то повний відлік становитиме 9,86 мм.

Перед вимірюваннями мікрометром потрібно переконатися у тому, що при доведенні тріскачкою наконечника гвинта до опорної п'яти отримують на обох шкалах нульовий відлік.

2. Вимірювання часу

Під час вимірювання невеликих проміжків часу користуються секундомірами: механічним, електричним та електронним.

Електронний секундомір відображає вимірювані проміжки часу на електронному табло до сотих часток секунди.

Точність для секундомірів з ручним вмиканням дорівнює 0,2 секунди. Це зумовлено тим, що людина не може роздільно сприймати проміжки часу, менші за 0,1 с. Тому під час вимірювань експериментатор допускати помилки незалежно від точності секундоміра: у момент увімкнення $\pm 0,1$ с, у момент вимкнення також $\pm 0,1$ с. Отже, максимальна похибка становитиме $\pm 0,2$ с.

3. Вимірювання температури

Для вимірювання температури використовують такі фізичні властивості речовин, які однозначно змінюються за зміни температури і легко можуть бути виміряні. Це лінійне й об'ємне розширення, зміна тиску, виникнення термоелектрорушійної сили, зміна електричного опору, деякі магнітні та оптичні властивості.

Відлік температур здійснюють за температурними шкалами: термометричної (наприклад, шкала Цельсія) і термодинамічної (шкала Кельвіна).

Для побудови термометричної шкали вибирають дві сталі температури (реперні точки). Наприклад, за 0° приймають температуру

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок
плавлення льоду і за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температуру кипіння води за нормального тиску. Якщо у цьому температурному інтервалі вимірювати величину об'ємного розширення ртуті, яка міститься у балоні, з'єднаному з капіляром, то, поділивши видовження ртутного стовпа у капілярі на 100 рівних частин, отримаємо шкалу Цельсія ($^{\circ}\text{C}$).

Побудова термодинамічної температурної шкали ґрунтується на другому законі термодинаміки. Одиницею вимірювання у ній є кельвін (K). Градус за шкалою Кельвіна встановлюють так, щоб відбувалась узгодженість зі шкалою Цельсія і для практичних вимірювань використовують співвідношення

$$T\text{ (K)} = t\text{ (}^{\circ}\text{C)} + 273,15\text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Вимірювання температури до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ називається термометрією, а понад $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ – пірометрією.

Прилади для вимірювання температури поділяють на такі групи:

Термометри розширення (до 750°C) побудовані на властивостях тіл, які за зміни температури змінюють свій об'єм, а отже, і лінійні розміри.

Манометричні (газові) термометри (до 500°C) заповнені розрідженим газом (воднем, гелієм чи азотом). За зміною тиску термометричного газу у термометрі за постійного об'єму можна виміряти його температуру.

Електричні термометри опору (до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) визначають температуру за зміною опору давача: мідного або платинового опору.

Термоелектричні (термопарні) термометри (до 1600°C) використовують властивості контактів різних металів та сплавів. Термопарою називається замкнене електричне коло, яке має два спаї різних металевих провідників (наприклад, мідь-константан, хромель-копель. (рис. 6). Якщо температура спаїв різна ($T_1 > T_2$), то у колі протікає електричний струм, зумовлений термоелектрорушійною силою.

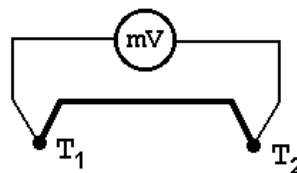


Рис. 6.

Виміряна мілівольтметром величина електрорушійної сили $\mathcal{E}$

Вимірювання фізичних величин та теорія похибок
пропорційна різниці температур:

$$\mathcal{E} = \alpha (T_1 - T_2) = \alpha (t_1^{\circ}\text{C} - t_2^{\circ}\text{C}),$$

де α – стала величина, різна для різних термопар.

Один спай термопари щільно притискають до тіла з невідомою температурою, а температуру другого спаю підтримують постійною (наприклад, $t_2 = 20^{\circ}\text{C}$). Визначення температури тіла $t_1^{\circ}\text{C}$ за величиною виміряної $\mathcal{E}$ здійснюють із використанням градувальних таблиць.