

Гордієнко Т.П., Лагунов І.М.
Таврійський національний університет
імені В.І.Вернадського
Сиротюк В.Д.
Національний педагогічний університет
імені М.П.Драгоманова

ТЕРМОМЕТРІЯ. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

Знання розділу "Термометрія" у лабораторному практикумі з молекулярної фізики застосовуються студентами практично у всіх роботах, які пов'язані з вимірюванням температури. На лекційних і практичних заняттях приділяється недостатня кількість часу для вивчення термометрії, вивчення обмежується оглядом різноманітних емпіричних і практичних температурних шкал, а також складанням систем рівнянь, розв'язання яких дає аналітичну залежність переходу від одних температурних шкал до інших. Для усвідомленого виконання лабораторних робіт, на наш погляд, можна рекомендувати вивчення даного розділу з акцентом на практичне застосування понять "термометрична величина" і "термометричне тіло", наприклад, на базі розгляду різноманітних датчиків температури і принципів їх роботи. Такий спосіб вивчення понять термометрії має тісний зв'язок з історичним розвитком даного розділу.

Теоретична частина

Термометрія – розділ фізики, в якому розглядаються методи і засоби вимірювання температури [1], одночасно **термометрія** – розділ метрології, завданням якого є забезпечення єдності температурних вимірювань: встановлення температурних шкал, створення еталонів, розробка методик градування і перевірки приладів для вимірювання температури [2].

Температура вимірюється за зміною фізичних властивостей тіл: об'єму, тиску, електричного опору, ЕРС, інтенсивності випромінювання та ін., які однозначно з нею пов'язані. Для різноманітних діапазонів вимірювання температури застосовуються термометри, що працюють на температурнозалеж-

них ефектах. **Термометри** (від грецьк. *therme* – тепло і *metreo* – вимірюю) – прилади для вимірювання температури за допомогою контакту з досліджуваним середовищем [1]. Ще в I ст. Герону Олександрійському була відома властивість повітря розширюватися при нагріванні, і на цій основі в 1597 році Галілей запропонував термоскоп [3] для порівняльних температурних досліджень. Він складався з скляної посудини, заповненої повітрям і сполученою тонкою трубкою із посудиною, в якій знаходилася підфарбована рідина (вода або спирт). Зміна температури повітря в посудині супроводжувалося зміною рівня рідини в трубці. Недолік – чутливість до зміни атмосферного тиску. Метрологічну основу термометрії заклав лікар Санкторіо із Падуї. Використовуючи термоскоп Галілея, він ввів дві абсолютні точки і регламентував систему перевірки, згідно якої всі флорентійські термометри градуювалися по зразковому санкторіансько-галілеєвському приладі. Значення фіксованих точок не збереглися [3] (із літописів: точка танення льоду відповідала 13,5 градусам флорентійської шкали [3]).

Методи вимірювання температури можна розділити на дві основні групи [1]: **контактні** (термометри газові, рідинні, опору, термопари і т.д., для яких характерне те, що прилад, який вимірює температуру середовища, повинен знаходитися з ним у тепловій рівновазі) і **безконтактні** (термометри випромінювання – пірометри).

Будь-який метод вимірювання температури пов'язаний з визначенням температурної шкали. **Температурна шкала** – безперервна сукупність штрихів або точок, пов'язаних із числовими значеннями якоїсь зручної і достатньо точної вимірюваної фізичної властивості, що являє собою однозначну і монотонну функцію температури [3]. Розглянемо принцип побудови лінійної температурної шкали, який полягає в тому, що вибирають які-небудь дві основні (опорні, реперні) точки, що являють собою легко відтворювані температури, незмінність яких може бути обґрунтована загальними фізичними розуміннями, наприклад температура фазового переходу чистих речовин. Цим температурам приписують довільні числові значення t_1 і t_2 . Температурний діапазон $t_2 - t_1$ називають основним діапазоном температурної шкали. Його ділять на деяке число N рівних частин і $1/N$ частину приймають за

одиночку вимірювання температури або за масштаб шкали, яка екстраполюється в одну або обидві сторони від основного діапазону. Далі вибирають термометричну властивість E (наприклад, об'єм). Цю властивість умовно приймають лінійно пов'язаною з температурою, тобто вважають справедливою рівність $dt = k dE$, де k – коефіцієнт пропорційності. Взятши інтеграл з даної рівності, одержимо $t = kE + C$. Для визначення сталих k і C використовують дві обрані вище температури t_1 і t_2 , для яких експериментально знаходять відповідні значення E_1 і E_2 . Одержимо систему рівнянь для двох значень температури

$$\begin{cases} t_1 = kE_1 + C \\ t_2 = kE_2 + C \end{cases}$$

розв'язавши яку одержимо $k = \frac{t_2 - t_1}{E_2 - E_1}$ і $C = t_1 - \frac{t_2 - t_1}{E_2 - E_1} E_1$, звідки випли-

ває **рівняння шкали** – виразу для знаходження значення температури для довільного значення термометричної властивості

$$t = \frac{t_2 - t_1}{E_2 - E_1} (E - E_1) + t_1.$$

Така апроксимація температури поліномом першого ступеня (лінійною залежністю) $t = kE + C$ є ідеалізацією і справедлива тільки на невеликому діапазоні температур і для грубих вимірювань. У дійсності, в природі не існує фізичних властивостей лінійно пов'язаних з температурою і коефіцієнт k сам є функцією температури. У наукових дослідженнях рівняння температурної шкали являє собою поліном більш високого ступеня, наприклад для напівпровідникових термометрів опору і термопар температурну залежність термометричної властивості апроксимують поліномом третього ступеня $t = a_1 E^3 + a_2 E^2 + a_3 E + a_4$, де a_i – коефіцієнти полінома, які знаходяться під час розв'язування системи рівнянь з відомими значеннями t_i і E_i .

На мал. 1 орієнтовно вказані температурні діапазони застосування сучасних термометрів найбільш поширених типів [7]. Межі цих діапазонів у різних фірм-виготовлювачів неоднакові. Штриховими лініями показані діапазони температур, в яких термометри можуть бути використані тільки короткочасно (у них погіршуються властивості чутливого елемента).

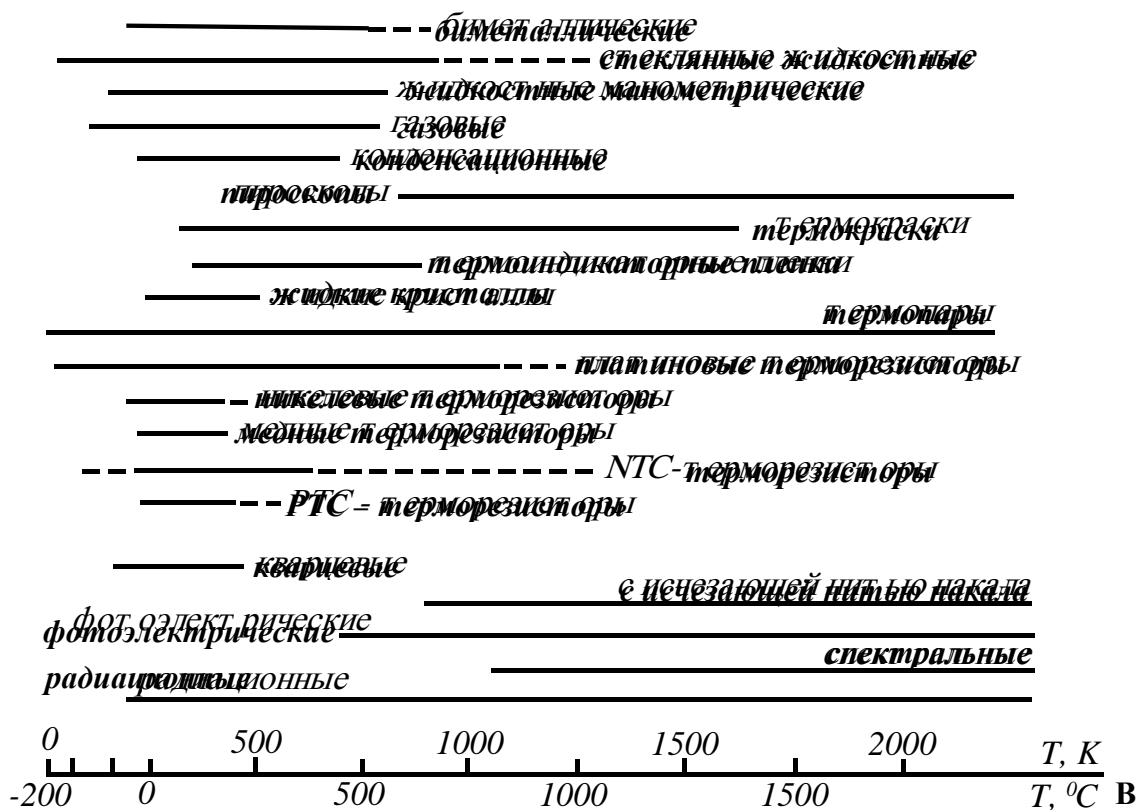


Рис. 1

В англomовних країнах часто використовуються температурні шкали Ранкіна [$^{\circ}Ra$] і Фаренгейта [$^{\circ}F$]. Чисельні значення температур по цих шкалах розраховуються за такими формулами [7]:

$$T[^{\circ}C] = \frac{5}{9} (T[^{\circ}F] - 32), T[^{\circ}F] = \frac{9}{5} T[^{\circ}C] + 32;$$

$$T[K] = \frac{5}{9} T[^{\circ}Ra], T[^{\circ}Ra] = \frac{9}{5} T[K].$$

Для стислого вивчення видів термометрів достатня література [10]. Для вивчення метрологічних питань термометрії необхідно познайомитися з [2, 3, 11]. У [3] добре викладена історія розвитку термометрії та емпіричних температурних шкал. Для реального виготовлення твердотільних термометрів необхідно познайомитися з літературою [3, 4, 6 – 9]. Довідкові дані розміщені в [5].

Практична частина

Практичним завданням може бути виконання лабораторної роботи, в якій необхідно побудувати графічні залежності й одержати аналітичні рівняння для термометрів (термопара і термодатчик опору); за отриманими виразами визначити температуру спрацьовування термозапобіжника.

План виконання лабораторної роботи.

1. Проградувати мідь-константанову термопару за двома опорними температурами, тобто побудувати градуйований графік термопари $T = f(E)$, де T – температура [$^{\circ}C$], E – ЕРС термопари [мВ], і апроксимувати його лінійною залежністю.

Для цього:

- під'єднати термопару до мультиметра, який знаходиться в положенні вимірювання постійної напруги;
- помістити вимірювальний спай термопари послідовно в киплячу воду і розплавлений метал (при температурі твердіння);
- підтримувати еталонний («холодний») спай при кімнатній температурі, яка визначається за допомогою термометра, що знаходиться в лабораторії;
- визначити ЕРС термопари E_1 й E_2 у двох даних температурних точках t_1 і t_2 .

2. Проградувати напівпровідниковий термометр опору в діапазоні від кімнатної температури до температури кипіння води, вважаючи мідь-константанову термопару еталоном у даному діапазоні. Для цього:

- розбити діапазон зміни ЕРС термопари від кімнатної температури до температури кипіння води на 10 рівних частин, визначивши значення ЕРС у цих точках;
- підготувати таблицю, у якій будуть фіксуватися значення опору датчика при вибраних значеннях ЕРС термопари (таблиця з трьох колонок: ЕРС термопари, температура, опір досліджуваного датчика);
- підключити температурний датчик до мультиметра, що знаходиться в положенні вимірювання опорів (десятки кОм), а термопару до іншого мультиметра.

тиметра, що знаходиться в положенні вимірювання постійної напруги (одиниці мВ);

- помістити досліджуваний температурний датчик і вимірювальний спай термопари в посудину з водою;
- нагрівати воду до кипіння, фіксуючи значення опору датчика при вибраних значеннях ЕРС термопари (якщо температурна точка випадково пропущена, то можна взяти найближчу за нею температурну точку, зафіксувавши для неї значення опору датчика і ЕРС термопари);
- знайти значення температури для отриманих значень опорів датчика;
- побудувати графічну залежність $T = f(R)$, де T – температура [$^{\circ}\text{C}$], R – опір досліджуваного датчика [Om];
- знайти аналітичну залежність $T = f(R)$, апроксимуючи дані поліномом третього ступеня;
- пояснити отриману нелінійну залежність.

3. Знайти температуру спрацьовування термозапобіжника (fire sensor фірми Dallas Semiconductor DYE DFxx – пожежний датчик, датчик перегріву), використовуючи як термометр термопару або термометр опору; обчислити похибку визначення температури спрацьовування термозапобіжника.

Досвід роботи показує, що поглиблене вивчення даної теми дозволяє студентам усвідомлено виконувати інші лабораторні роботи, в яких проводиться вимірювання температури.

Література

1. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М.Прохоров. Ред. кол. Д.М.Алексеев, А.М.Бонч-Бруевич, А.С.Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.

2. Руководство по метрологическим приборам и методам наблюдений. ВМО. – Швейцария, Женева: Секретариат всемирной метрологической организации, 1983. – № 8. – 650 с.

3. Температурные измерения: Справочник / Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К. и др.; Отв. ред. Геращенко О.А.: АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения. – Киев: Наук. думка, 1989. – 704 с.

4. Виглеб Г. Датчики. Перев. с нем. – М. : Мир, 1989. – 196 с.

5. Физические величины: Справочник / А.П.Бабичев, Н.А.Бабушкина, А.М.Братковский и др.; Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
6. Бридли К. Измерительные преобразователи: Справочное пособие: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
7. Измерения в промышленности: Справ. изд. в 3-х кн. – Кн. 2. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под. ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Metallurgiya, 1990. – 384 с.
8. Приборы и методы физического металловедения. Выпуск 1. Пер с англ. / Под ред. Вейнберга Ф. – М.: Мир, 1973. – 428 с.
9. Панев Б.И. Электрические измерения: Справочник (в вопросах и ответах). – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
10. Бурсиан Э. В. Физические приборы: Учебн. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1984. – 271 с.
11. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин: Методы измерений: Учебн. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 320 с.
12. Omega Engineering. Temperature measurement handbook and encyclopedia. Stamford, 1986.

*Сидорчук Л.А.
Національний педагогічний університет
імені М.П. Драгоманова*

ПРОБЛЕМИ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКЛАДАННЯ ОСНОВ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В ШКОЛІ

Ніхто не стане заперечувати, що нагальною проблемою сьогодення є проблема безпеки життя і діяльності людини. З розвитком цивілізації і науково-технічного прогресу різко загострилися відносини між природою і суспільством. На початку третього тисячоліття людство реально усвідомило можливість власного знищення, отже, безпека життєдіяльності стала глобальною, життєво важливою проблемою.