Урок 10 Електричний струм в металах

Мета уроку:

Навчальна: Формувати уявлення про основні теорії провідності металів; встановити залежність опору металів від температури і розкрити практичне застосування цієї залежності; з'ясувати фізичну суть явища надпровідності, проблематику його дослідження і перспективи використання; поглибити знання учнів про природу електричного струму в металах.

Розвивальна. З метою розвитку мислення розвивати вміння: аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; розкривати загальне і конкретне; встановлювати закономірності; систематизувати, встановлювати зв'язки нового з раніше вивченим;

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: Комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

І. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

ІІ. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Ми вже знаємо, що:

Електричний струм – це напрямлений (упорядкований) рух частинок, які мають електричний заряд.

Які це частинки в металах, рідинах, газах?

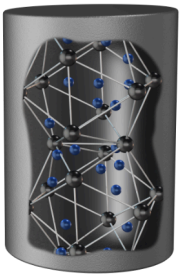
На сьогоднішньому уроці ми розглянемо, що таке електричний струм в металах.

ІІІ. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Електричний струм в металах

Проблемне питання

• Яка внутрішня будова металевого провідника?



У будь-якому металі частина електронів покидає свої місця в атомі, у результаті чого атом перетворюється на позитивний йон. Позитивні йони та нейтральні атоми в металах розміщуються у строгому порядку, утворюючи так звані кристалічні ґратки.

• Як рухаються вільні електрони за відсутності електричного поля?

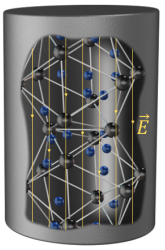
За відсутності електричного поля вільні електрони всередині металевого провідника рухаються хаотично у вигляді електронного газу.

Негативний заряд усіх вільних електронів за абсолютним значенням дорівнює позитивному заряду всіх йонів кристалічних ґраток. Тому за звичайних умов металевий провідник електрично нейтральний.

Проблемне питання

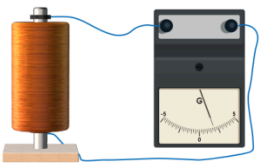
• Які електричні заряди рухаються під дією електричного поля в металевих провідниках?

У 1899 р. німецький фізик-експериментатор *Карл Рікке* (1845-1915) на трамвайній підстанції у Штутгарті вмикав у головний провід, яким подавалося живлення трамвайним лініям, послідовно три металевих циліндри, тісно притиснутих один до одного торцями: два крайніх – мідних, а середній – алюмінієвий. Через ці циліндри понад рік проходив електричний струм. У результаті точного зважування до експерименту та після експерименту виявилося, що дифузія в металах не відбулася: у мідних циліндрах не було атомів алюмінію, і навпаки.



Таким чином Рікке довів, що *під час проходження провідником електричного струму йони не переміщуються, а в різних металах переміщуються лише електрони.*

Електричний струм у металах – це напрямлений рух електронів під дією електричного поля.



В 1916 р. американський фізик *Річард Толмен* (1881–1948) і шотландський фізик *Томас Стюарт* (1890–1958) провели дослід. Вони розкручували до великої швидкості котушку з мідного тонкого дроту навколо її осі, потім різко гальмували її і при цьому реєстрували в колі короткочасний електричний струм, зумовлений інерцією носіїв заряду, якими виявилися саме електрони.

2. Середня швидкість напрямленого руху електронів

Проблемне питання

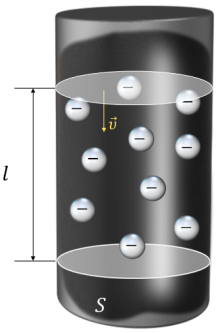
• Як швидко рухаються електрони?

Середня швидкість *хаотичного руху* вільних електронів – близько 300 км/с.

Середня швидкість *напрямленого руху* вільних електронів – кілька міліметрів за секунду.

• Чому ж, щойно ми натискаємо вмикач лампи, вона відразу спалахує?

Річ у тім, що електричне поле поширюється в провіднику зі швидкістю 300000 км/с. Завдяки дії поля вільні електрони, розташовані в будь-якій точці провідника, майже миттєво втягуються в напрямлений рух.



Визначимо *середню швидкість* $\bar{v}$ *напрямленого руху електронів.* За інтервал часу t через переріз площею S провідника проходить N електронів:

$$N = nV = nSl = nS\bar{v}t$$

n – концентрація вільних електронів у провіднику.

$$q = N|e| \qquad I = \frac{q}{t} \qquad I = n|e|\bar{v}S \quad => \quad \bar{v} = \frac{I}{n|e|S}$$

3. Залежність опору металів від температури

Проблемне питання

• Як опір металів залежить від температури?

Опір металевого провідника збільшується в разі підвищення температури.

Залежність питомого опору та опору провідника від температури:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) \qquad R = R_0(1 + \alpha t)$$

ρ_0, R_0 – питомий опір і опір провідника за 0 °C

ρ, R – питомий опір і опір провідника за температури t

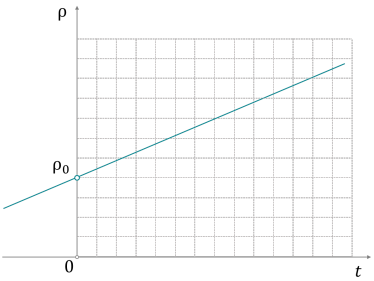
α – температурний коефіцієнт електричного опору

Температурний коефіцієнт електричного опору – це фізична величина, яка характеризує залежність питомого опору речовини від температури.

Одиниця температурного коефіцієнту в СІ – **обернений кельвін** (кельвін у мінус першому степені): $[\alpha] = К^{-1}$

Середній температурний коефіцієнт опору α речовини при температурі 293 К, × 10^{-3} $К^{-1}$

Алюміній	4,2	Платина	4,2
Вольфрам	4,6	Ртуть	0,89
Залізо	6,51	Свинець	3,66
Константан	0,01	Срібло	4,2
Латунь	1	Сталь	6
Манганін	0,03	Титан	3,5
Мідь	4,3	Фарфор	—
Нікелін	0,02	Цинк	4,2
Ніхром	0,2	Ебоніт	—
Олово	4,2	Ербій	252



Графік залежності питомого опору провідника від температури (лінійна ділянка). *Зі збільшенням температури питомий опір провідника збільшується.*

4. Надпровідність

У 1911 р. голландський фізик *Гейке Камерлінг-Оннес* (1853-1926) уперше виявив зникнення електричного опору в ртуті за її охолодження до температури, нижчої від 4,12 К. У 1913 р. цей ефект було виявлено в білого олова (за температури 3,69 К) та свинцю (7,26 К).

Надпровідність – властивість деяких провідників стрибкоподібно зменшувати питомий опір до нуля за умови охолодження нижче певної критичної температури.

Властивості надпровідності:

- В кільцевому провіднику в надпровідному стані сила струму може не змінюватись як завгодно довго без джерела живлення.
- Неможливість створення всередині речовини в надпровідному стані магнітного поля. Зовнішнє магнітне поле не проникає всередину надпровідників.
- Надпровідний стан руйнується в достатньо сильному магнітному полі.

Надпровідність неможливо пояснити з точки зору класичної теорії електропровідності металів. У 1957 р. група американських учених: Джон Бардін (1908-1991), Леон Купер (народ. 1930), Джон Шріффер (народ. 1931) – і незалежно від них радянський вчений Микола Миколайович Боголюбов (1909-1992) розробили *квантову теорію надпровідності.*

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Обчислити швидкість упорядкованого руху електронів у проводі, який має переріз 5 мм^2, при силі струму 10 А, якщо концентрація електронів провідності становить $5\cdot10^{28}$ м$^{-3}$.

Дано:

$S = 5\ \text{мм}^2 = 5\cdot10^{-6}\ \text{м}^2$

$I = 10\ \text{А}$

$n = 5\cdot10^{28}\ \text{м}^{-3}$

$e = -1,6\cdot10^{-19}\ \text{Кл}$

$\bar{v}$ – ?

Розв'язання $\bar{v} = \frac{I}{n|e|S}$ $\quad [\bar{v}] = \frac{\text{А}}{\text{м}^{-3}\cdot\text{Кл}\cdot\text{м}^2} = \frac{\text{А}}{\text{м}^{-3}\cdot\text{А}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^2} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$\bar{v} = \frac{10}{5\cdot10^{28}\cdot1,6\cdot10^{-19}\cdot5\cdot10^{-6}} = 0,25\cdot10^{-3}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Відповідь: $\bar{v} = 0,25\ \frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

2. Алюмінієвий провідник при 0°С має опір 20 Ом. Знайдіть опір цього провідника при температурі 300 °С.

Дано:

$R_0 = 20$ Ом

$t = 300$ °С

$\alpha = 4,2\cdot10^{-3}\ \text{К}^{-1}$

R – ?

Розв'язання $R = R_0(1 + \alpha t)$

Врахуємо $\Delta t = t - t_0 = t$, де $t_0 = 0$ °С, а Δt, °С $= \Delta T$, К

$$[R] = \text{Ом}\cdot\text{К}^{-1} \bullet \text{°С} = \text{Ом}$$

$$R = 20\cdot\left(1 + 4,2\cdot10^{-3}\cdot300\right) = 45,\ 2\ (\text{Ом})$$

Відповідь: $R = 45,2$ Ом.

3. Опір платинового провідника при температурі 20°С становить 20 Ом, а при температурі 500°С – 59 Ом. Визначте температурний коефіцієнт опору платини.

Дано:

$t_1 = 20$ °С

$R_1 = 20$ Ом

$t_2 = 500$ °С

$R_2 = 59$ Ом

Розв'язання $R_1 = R_0\left(1 + \alpha t_1\right)$ $\quad R_2 = R_0\left(1 + \alpha t_2\right)$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_2} \qquad R_1 + R_1\alpha t_2 = R_2 + R_2\alpha t_1$$

$$\alpha\left(R_1t_2 - R_2t_1\right) = R_2 - R_1$$

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1t_2 - R_2t_1}$$

α – ?	$[\alpha] = \frac{\text{Ом}-\text{Ом}}{\text{Ом}\cdot°\text{C}-\text{Ом}\cdot°\text{C}} = \text{К}^{-1}$ $(\Delta t,\ °\text{C} = \Delta T,\ \text{К})$ $\alpha = \frac{59-20}{20\cdot500-59\cdot20} \approx 0,0044\ (\text{К}^{-1})$ ***Відповідь:*** $\alpha \approx 4,4\cdot10^{-3}\ \text{К}^{-1}$.

4. На скільки градусів потрібно нагріти мідний провідник, узятий при 0°С, щоб його опір збільшився в три рази?

Дано: $\alpha = 4,3\cdot10^{-3}\ \text{К}^{-1}$ $R = 3R_0$	***Розв'язання*** $R = R_0(1 + \alpha t)$ $t = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{R}{R_0} - 1\right) = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{3R_0}{R_0} - 1\right) = \frac{2}{\alpha}$ $[t] = \frac{1}{\text{К}^{-1}} = °\text{C}$ $(\Delta t,\ °\text{C} = \Delta T,\ \text{К})$ $t = \frac{2}{4,3\cdot10^{-3}} \approx 465\ (°\text{C})$
t – ?	***Відповідь:*** $t \approx 465$ °С.

5. З мідного дроту довжиною 120 м і діаметром 3 мм виготовили котушку. Знайдіть, на скільки зміниться її опір внаслідок нагрівання від 20 °С до 70 °С. (Зміною геометричних розмірів у процесі нагрівання знехтувати.)

Дано: $l = 120$ м $d = 3$ мм $= 3\cdot10^{-3}$ м $t_1 = 20$ °С $t_2 = 70$ °С $\alpha = 4,3\cdot10^{-3}\ \text{К}^{-1}$ $\rho = 1,7\cdot10^{-8}$ Ом·м	***Розв'язання*** $R = R_2 - R_1$ $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$ $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$ $\Delta R = R_0\alpha(t_2 - t_1)$ $R_0 = \rho\frac{l}{S} = \frac{\rho l}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$ $\Delta R = \frac{4\rho l\alpha}{\pi d^2}(t_2 - t_1)$ $[\Delta R] = \frac{\text{Ом}\cdot\text{м}\cdot\text{м}\cdot\text{К}^{-1}}{\text{м}^2} \bullet (°\text{C} - °\text{C}) = \text{Ом}$ $\Delta R = \frac{4\cdot1,7\cdot10^{-8}\cdot120\cdot4,3\cdot10^{-3}}{3,14\cdot(3\cdot10^{-3})^2} \bullet (70 - 20) \approx 0,062$ (Ом)
ΔR – ?	***Відповідь:*** $\Delta R \approx 0,062$ Ом.

6. Вугільний і мідний стрижні однакової довжини з'єднані послідовно. При якому відношенні їх поперечних перерізів загальний опір цих стрижнів не буде залежати від температури?

Дано: $l_1 = l_2 = l$ $\rho_{1в} = 821 \bullet 10^{-8}$ Ом·м $\rho_{2м} = 1,7 \bullet 10^{-8}$ Ом·м	***Розв'язання*** $R_1 = \frac{\rho_1 l_1}{S_1}(1 + \alpha t)$ $R_2 = \frac{\rho_2 l_2}{S_2}(1 + \alpha t)$ $R_1 = R_2$ $\frac{\rho_1 l_1}{S_1}(1 + \alpha t) = \frac{\rho_2 l_2}{S_2}(1 + \alpha t)$ $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\rho_1 l_1}{\rho_2 l_2} = \frac{\rho_1 l}{\rho_2 l} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ $\left[\frac{S_1}{S_2}\right] = \frac{\text{Ом}\cdot\text{м}}{\text{Ом}\cdot\text{м}} = 1$ $\frac{S_1}{S_2} = \frac{821\bullet10^{-8}}{1,7\bullet10^{-8}} \approx 483$
$\frac{S_1}{S_2}$ – ?	

Відповідь: $\frac{S_1}{S_2} \approx 483$; площа поперечного перерізу вугільного стрижня повинна бути в 483 рази більшою за мідний.

7. Через два мідних провідники, з'єднаних послідовно, проходить струм. Порівняти швидкості упорядкованого руху електронів, якщо діаметр другого провідника у 2 рази менший, ніж першого.

Дано:
$d_1 = 2d_2$

$\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2}$ – ?

Розв'язання

$$\bar{v} = \frac{I}{n|e|S} \qquad S = \frac{\pi d^2}{4} \qquad => \qquad \bar{v} = \frac{4I}{n|e|\pi d^2}$$

$$\bar{v}_1 = \frac{4I}{n|e|\pi d_1^2} \qquad \bar{v}_2 = \frac{4I}{n|e|\pi d_2^2}$$

$$\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2} = \frac{\frac{4I}{n|e|\pi d_1^2}}{\frac{4I}{n|e|\pi d_2^2}} = \frac{d_2^2}{d_1^2} = \frac{d_2^2}{4d_2^2} = \frac{1}{4}$$

Відповідь: $\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2} = \frac{1}{4}$.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Що являє собою електричний струм у металах?

2. Опишіть суть досліду Стюарта-Толмена щодо виявлення природи електричного струму в металах.

3. Як рухаються електрони в металевому провіднику з точки зору класичної фізики, якщо в провіднику створено електричне поле?

4. У чому причина опору металів?

5. Чи залежить опір металів від температури? Якщо залежить, то як?

6. У чому полягає явище надпровідності?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 5, Вправа № 5 (2-4)

Додаткові задачі

1. При проходженні електричного струму по провіднику його опір збільшився в два рази внаслідок нагрівання від 0°С до 250 °С. Визначте температурний коефіцієнт опору речовини, з якої виготовили провідник.

Дано:

$t = 250$ °С

$R = 2R_0$

α – ?

Розв'язання

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

$$\alpha = \frac{1}{t}\left(\frac{R}{R_0} - 1\right) = \frac{1}{t}\left(\frac{2R_0}{R_0} - 1\right) = \frac{1}{t}$$

$$[\alpha] = \frac{1}{°С} = К^{-1} \qquad (\Delta t,\ °С = \Delta T,\ К)$$

$$\alpha = \frac{1}{250} = 0,004\ (К^{-1})$$

Відповідь: $\alpha = 0,004\ К^{-1}$.

2. Константановий дріт має масу 89 г і площу поперечного перерізу 0,1 мм^2. На скільки змінився опір дроту внаслідок його нагрівання від 0°С до 100 °С. (Зміною геометричних розмірів при нагріванні знехтувати.)

Дано:

$m = 89$ г $= 0,089$ кг

$S = 0,1$ мм^2

$= 1 \bullet 10^{-7}$ м^2

$t_0 = 0$ °С

$t = 100$ °С

$\alpha = 2 \cdot 10^{-5}\ К^{-1}$

$\rho' = 5 \bullet 10^{-7}$ Ом·м

$\rho = 8900\ \frac{кг}{м^3}$

ΔR – ?

Розв'язання

$$\Delta R = R - R_0$$

$$R = R_0(1 + \alpha t) \qquad R_0 = \rho'\frac{l}{S}$$

$$m = \rho V = \rho S l \qquad l = \frac{m}{\rho S} \qquad R_0 = \rho'\frac{\frac{m}{\rho S}}{S} = \frac{\rho' m}{\rho S^2}$$

$$\Delta R = \frac{\rho' m}{\rho S^2}(1 + \alpha t) - \frac{\rho' m}{\rho S^2} = \frac{\rho' m \alpha t}{\rho S^2}$$

$$[\Delta R] = \frac{Ом \cdot м \cdot кг \cdot К^{-1} \bullet °С}{\frac{кг}{м^3} \bullet м^4} = Ом$$

$$\Delta R = \frac{5 \bullet 10^{-7} \cdot 0,089 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot 100}{8900 \cdot (1 \bullet 10^{-7})^2} = 1\ (Ом)$$

Відповідь: $\Delta R = 1$ Ом.

3. Вугільний і мідний стрижні однакового перерізу з'єднані послідовно. При якому співвідношенні їхніх довжин загальний опір цих стрижнів не буде залежати від температури?

Дано:

$S_1 = S_2 = S$

$\rho_{1в} = 821 \bullet 10^{-8}$ Ом·м

$\rho_{2м} = 1,7 \bullet 10^{-8}$ Ом·м

$\frac{l_1}{l_2}$ – ?

Розв'язання

$$R_1 = \frac{\rho_1 l_1}{S_1}(1 + \alpha t) \qquad R_2 = \frac{\rho_2 l_2}{S_2}(1 + \alpha t)$$

$$R_1 = R_2 \qquad \frac{\rho_1 l_1}{S_1}(1 + \alpha t) = \frac{\rho_2 l_2}{S_2}(1 + \alpha t)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\rho_2 S_1}{S_2 \rho_1} = \frac{\rho_2 S}{\rho_1 S} = \frac{\rho_2}{\rho_2} \qquad \left[\frac{l_1}{l_2}\right] = \frac{Ом \cdot м}{Ом \cdot м} = 1$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{1{,}7\bullet 10^{-8}}{821\bullet 10^{-8}} \approx \frac{1}{483} \qquad l_2 = 483 l_1$$

Відповідь: $l_2 = 483 l_1$; довжина мідного стрижня повинна бути у 483 більшою за вугільний.

4. Сила струму в лампочці кишенькового ліхтарика 0,32 А. Скільки електронів проходить через поперечний переріз нитки розжарювання за 0,1 с?

Дано:

$I = 0,32$ А

$t = 0,1$ с

$e = -1,6\cdot 10^{-19}$ Кл

N – ?

Розв'язання

$$q = N|e| \quad => \quad N = \frac{q}{|e|} = \frac{It}{|e|}$$

$$[N] = \frac{\text{А·с}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} = 1 \qquad N = \frac{0{,}32\cdot 0{,}1}{1{,}6\cdot 10^{-19}} = 2\cdot 10^{17}$$

Відповідь: $N = 2\cdot 10^{17}$.

5. Визначити швидкість упорядкованого руху електронів у стальному провіднику, концентрація електронів провідності в якому 10^{28} м$^{-3}$, при напруженості поля 96 мВ/м.

Дано:

$n = 10^{28}$ м$^{-3}$

$E = 96\frac{\text{мВ}}{\text{м}}$

$= 9,6\cdot 10^{-2}\ \frac{\text{В}}{\text{м}}$

$e = -1,6\cdot 10^{-19}$ Кл

$\rho = 1,2\cdot 10^{-7}$ Ом·м

$\bar{v}$ – ?

Розв'язання

$$\bar{v} = \frac{I}{n|e|S} \qquad I = \frac{U}{R} \qquad U = El \qquad R = \rho\frac{l}{S}$$

$$\bar{v} = \frac{El}{\rho\frac{l}{S}n|e|S} = \frac{E}{\rho n|e|}$$

$$[\bar{v}] = \frac{\frac{\text{В}}{\text{м}}}{\text{Ом·м·м}^{-3}\text{·Кл}} = \frac{\text{В·м}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}\text{·А·с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\bar{v} = \frac{9{,}6\cdot 10^{-2}}{1{,}2\cdot 10^{-7}\bullet 10^{28}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}} = 5\cdot 10^{-4}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Відповідь: $\bar{v} = 0,5\ \frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

6. Обчислити швидкість упорядкованого руху електронів у мідному проводі, що має переріз 25 мм^2, при силі струму 50 А, вважаючи, що на кожен атом припадає один електрон провідності.

Дано:

$S = 25$ мм^2

$= 25\cdot 10^{-6}$ м^2

$I = 50$ А

$e = -1,6\cdot 10^{-19}$ Кл

$\rho = 8900\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$N_\text{А} = 6,02\cdot 10^{23}$моль$^{-1}$

Розв'язання

$$\bar{v} = \frac{I}{n|e|S} \qquad n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_\text{А}}{V} = \frac{m}{M}\bullet\frac{N_\text{А}}{V} = \rho\bullet\frac{N_\text{А}}{M}$$

$$\bar{v} = \frac{IM}{\rho N_\text{А}|e|S}$$

$$[\bar{v}] = \frac{\text{А}\cdot\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\bullet\text{моль}^{-1}\text{·Кл·м}^2} = \frac{\text{А·м}}{\text{А·с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\bar{v} = \frac{50\cdot 63{,}5\cdot 10^{-3}}{8900\cdot 6{,}02\cdot 10^{23}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 25\cdot 10^{-6}} \approx 1,5\cdot 10^{-4}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Відповідь: $\bar{v} = 0,15\ \frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

$M = 63,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

$\bar{v} - ?$