

Сава Марков

Петър Хаджидобрев

РЪКОВОДСТВО
ЗА
ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ
ПО
ФИЗИКА

Сливен

1999

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

1. Основни сведения за измерване на физичните величини и обработка на експерименталните резултати.	1.
2. Кинематика на материална точка.	6.
3. Определяне модула на Юнг при огъване.	9.
4. Определяне инерчния момент на твърдо тяло с торзионно махало.	12.
5. Определяне коефициента на вътрешно триене на течности.	15.
6. Механични трептения и резонанс.	17.
7. Определяне скоростта на звука във въздух по метода на фазовата разлика.	22.
8. Градуиране на термометър с течност. Температурен коефициент на линейно и обемно разширение.	25.
9. Определяне на топлинния капацитет на течност и твърдо тяло с електрически калориметър.	30.
10. Определяне специфичната топлина на фазови преходи.	33.
11. Определяне на универсалната газова константа.	39.
12. Определяне на отношението C_p/C_v на въздуха.	42.
13. Определяне на средния свободен пробег и ефективен диаметър на въздушни молекули.	45.
14. Електроизмервателни уреди и работа с тях.	49.
15. Моделиране и изследване на електростатично поле.	56.
16. Електрично съпротивление на метални проводници.	59.

17. Волт-амперна характеристика на лампа с нажежаема нишка.	61.
18. Определяне хоризонталната компонента на земното магнитно поле.	64.
19. Определяне капацитета на кондензатор при разреждане.	68.
20. Основни величини на променливия ток.	72.
21. Определяне дължината на светлинната вълна с помощта на дифракционна решетка.	77.
22. Поляризация на светлината.	80.
23. Определяне на специфичния заряд на електрона по метода на магнетрона.	84.
24. Отделителна работа на електрони при термоелектронна емисия.	87.
25. Изследване на фотоефект.	92.
26. Градуиране на термоелемент.	97.
27. Температурна зависимост на електричното съпротивление на метал и полупроводник.	100.
28. Изследване на ефекта на Хол.	103.
29. Изследване на биполярен транзистор.	107.
30. Изучаване на следи на заредени частици, получени в Уилсънова камера.	110.
Приложения.	113.
Литература.	

Настоящото Ръководство за лабораторни упражнения по физика е предназначено за предварителна подготовка на студентите за работа в лабораторията. В него са включени експериментите, поставени в Колежа в Сливен, към структурата на Технически Университет - София. В Ръководството са разработени и упражнения, които не са поставени в Колежа, но предстои да се изработят, а също и такива, залегнали в Ръководството на Техническия университет, Технологическия университет, Университета по архитектура и строителство и др. Повечето от упражненията съществуват като опитни установки и се ползват и от други колежи и висши училища. Поради това авторите нямат претенции, че настоящото Ръководство е нещо съвсем ново, макар и в него да има работи, представени по нов начин.

Ръководствата за всяко лабораторно упражнение са адаптирани и съобразени с възможностите на Колежа, студентите и учебните програми за всички специалности, като се има предвид, че изучаването на дисциплината Физика започва още от първия семестър. Това наложи да се дадат накратко по-важните знания за работа в лабораторията по физика, сведения за същността на физичните измервания, теорията на грешките, правилното използване на системните единици и др.

За всяко лабораторно упражнение е дадена необходимата теория, метода и експерименталната установка, с която се работи. Цялостната работа се поставя като задачи за изпълнение, обработка на получените опитни резултати и представянето им по съответния начин. Поради ограничения обем на Ръководството задачите за изпълнение в него са дадени по-сбито, тъй като в лабораторията има подробни указания за работа. Ръководството за съответното упражнение е съставено така, че да няма нужда от препратки към други и се явява самостоятелно само за себе си. Поради това за някои сходни теми има общи неща, които се повтарят, но значително се улеснява усвояването на текста. Навсякъде в Ръководството използваните величини са изразени в Международната система измерителни единици (SI).

Авторите

ОСНОВНИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ФИЗИЧНИТЕ ВЕЛИЧИНИ И ОБРАБОТКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

1. Измерване на физични величини.

Основна задача на физиката е да установи обективните закономерности, които характеризират изучаваните от нея явления. За това се използва физичният експеримент, при който се измерват различни физични величини и се пресмятат резултати с получените при измерването първични данни.

Измерването е сравняване на неизвестната физична величина с друга еднородна на нея величина, приета за единица мярка.

Ако с X се обозначи неизвестната величина, а с X_0 единицата мярка, то отношението им a показва колко пъти единицата мярка се нанася (съдържа) в измерваната величина и дава нейната числена стойност:

$$(1) \quad a = \frac{X}{X_0}, \quad \text{откъдето:} \quad (2) \quad X = a \cdot X_0$$

Резултатът от измерването X се състои от две части: числената стойност на измерваната величина a и единицата мярка X_0 . При отразяване на получения резултат е важно да се запише както числената стойност, така и единицата мярка, която се използва.

2. Грешки при измерването. Видове грешки.

Резултатът от извършването на едно измерване никога не дава истинската стойност на измерваната величина. Получава се само приблизителната стойност. Ако измерената стойност е X , а истинската стойност е X_u , отклонението ΔX_u на истинската от измерената стойност се нарича истинска абсолютна грешка $\Delta X_u = X - X_u$, която не може да бъде намерена, тъй като истинската стойност никога не може да бъде получена. След извършване на едно измерване се получава приблизителната стойност X на търсената величина и е възможно да се определи абсолютната грешка ΔX при измерването. Резултатът от дадено измерване се записва чрез измерената стойност X и абсолютната грешка ΔX :

$$(3) X_u = X \pm \Delta X$$

Смисълът на този запис е следния: истинската стойност X_u на търсената величина се намира в интервала от $(X - \Delta X)$ до $(X + \Delta X)$.

Освен абсолютната грешка се въвежда и т.нар. относителна грешка ε , която е безразмерно число, по-малко от единица:

$$(4) \varepsilon = \frac{\Delta X}{X}, \quad \text{или в проценти} \quad (5) \varepsilon[\%] = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100 \%$$

Използването на относителната грешка е удобно за сравняване на точността при разнородни измервания, тъй като абсолютните грешки могат да се различават значително като стойности, а относителната грешка ги привежда към единица или 100%.

Под точност на дадено измерване се разбира най-малката част от мерната единица, до която със сигурност може да се запише резултата от измерването. За даден измерителен уред точността обикновено се взема равна на стойността на най-малкото деление на скалата на уреда, но при повече опит точността може да се приеме половината от най-малкото деление. При по-сложни измервания - многократни, косвени и др., точността се оценява с абсолютната грешка, получена за всяко конкретно измерване. За лабораторни измервания за достатъчна е точност от 0,1%, а при лабораторните упражнения точността е в граници 1 - 10 %.

По своя характер грешките могат да се разделят на три големи групи: груби, систематични и случайни грешки.

Грубите грешки са неоправдано големи отклонения от истинската стойност на измерваната величина. Те се дължат на недостатъчен опит, умора, невнимание при измерването, неправилно записване на резултата. Могат да бъдат отстранени чрез повторно измерване.

Систематичните грешки се дължат на особености на измервателните уреди или на влияние на външни фактори върху измерването. Систематичните грешки се откриват при сравняването на уредите с еталонни и се намаляват с въвеждане на корекции в стойностите или с използване на по-съвършени уреди.

Случайните грешки се дължат на влиянието на множество случайни фактори, всеки от които взет поотделно влияе слабо върху измерването. Взети заедно обаче при отделното измерване, тяхното влияние може да бъде чувствително. За намаляването им се правят многократни измервания при едни и същи условия, като грешките в една и друга посока взаимно се компенсират.

3.Обработка на експерименталните резултати.

По начина на получаване на резултатите измерванията могат да се разделят на два вида: преки и косвени. При преките от уред или чрез директно сравнение се получава направо стойността на търсената величина. При косвените стойността се пресмята по определена функционална зависимост, свързваща търсената величина с други величини, които е възможно да се получат чрез пряко измерване.

Когато една величина се измерва само веднъж, се получава измерената стойност X и се оценява грешката при измерването ΔX , която се приема за равна на точността на уреда, с който се работи. Резултатът от измерването X_u се записва във вида:

$$(6) X_u = X \pm \Delta X$$

При многократно измерване на дадена величина се получават стойности X_1, X_2, \dots, X_n от n на брой измервания. Като краен резултат се приема средната аритметична стойност на измерванията:

$$(7) X_{cp} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

За всяко отделно измерване отклонението от средната стойност е:

$$(8) \Delta X_1 = X_{cp} - X_1, \Delta X_2 = X_{cp} - X_2, \dots, \Delta X_n = X_{cp} - X_n$$

Въвежда се средната квадратична грешка σ на средния резултат, или още стандартно отклонение:

$$(9) \sigma = \sqrt{\frac{\Delta X_1^2 + \Delta X_2^2 + \dots + \Delta X_n^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

За грешка при многократно измерване се приема средната квадратична грешка на средния резултат: $\Delta X = \sigma$. Резултатът от измерването се записва във вида:

$$(10) X_u = X_{cp} \pm \sigma$$

При многократни измервания истинската стойност на измерваната величина се намира в интервала от $(X - \Delta X)$ до $(X + \Delta X)$ с някаква вероятност P , която се нарича доверителна вероятност, а интервала се нарича доверителен интервал. Вероятността P ще бъде 100% тогава, когато броят на измерванията клони към безкрайност.

При малък брой измервания се въвежда корекционен коефициент на Стюдънт t , който за определен брой n дава връзка между средната квадратична грешка на средния резултат σ и доверителния интервал

ΔX , в който истинската стойност на измерваната величина се намира с предварително избрана доверителна вероятност P :

$$(11) t = \frac{\Delta X}{\sigma}, \text{ а доверителния интервал:} \quad (12) \Delta X = t \cdot \sigma$$

Коефициентът на Стюдънт t за 5, 10 и 15 измервания при вероятност 95% и 99% има следните стойности:

При $n = 5$ за $P = 95\%$ $t = 2,78$, за $P = 99\%$ $t = 4,60$.

При $n = 10$ за $P = 95\%$ $t = 2,26$, за $P = 99\%$ $t = 3,25$.

При $n = 15$ за $P = 95\%$ $t = 2,15$, за $P = 99\%$ $t = 2,98$.

При преките многократни измервания принос в грешката на крайния резултат имат и случайните, и систематичните грешки. Намалването на случайната грешка чрез увеличаване броя на измерванията има смисъл докато тя се изравни или стане по-малка по порядък от систематичната. Ако систематичната ΔX_c и случайната грешка $t \cdot \sigma$ са от един и същ порядък, доверителният интервал ΔX е:

$$(13) \Delta X = \sqrt{\Delta X_c^2 + (t \cdot \sigma)^2}$$

Грешката при косвено измерване се определя от грешките на преките измервания. В зависимост от формулата за изчисление се определя и начина, по който се изчислява грешката.

Абсолютната грешка на сбор и разлика е сумата от абсолютните грешки на съставните величини при най-неблагоприятния случай, когато грешките се натрупват. Ако $X = A + B - C$, абсолютната грешка е $\Delta X = \Delta A + \Delta B + \Delta C$, а относителната грешка е:

$$(14) \frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta A + \Delta B + \Delta C}{A + B - C}$$

Ако формулата за изчисление съдържа произведение, частно или степен: $X = A \cdot B^2 / C$, относителната грешка се получава след логаритмуване, полученият израз се диференцира и след заместване на безкрайно малките величини с крайни нараствания ΔX , ΔA , ΔB и ΔC , които имат смисъл на абсолютни грешки, при най-неблагоприятния случай, когато грешките се натрупват, се получава:

$$(15) \frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta A}{A} + 2 \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$$

По-сложните изрази могат да се разгледат като съставени от сбор, разлика, произведение, частно, степен и т.н. и за тях да се получи израз за изчисление на абсолютната или относителната грешка.

4. Графично представяне на зависимости между физични величини.

Най-често графически се представя някаква функционална зависимост с общ вид $A = f(B)$ в правоъгълна (Декартова) координатна система. Аргумента на функцията - величината B , се задава при измерванията, и се нанася на хоризонталната от на графиката (абсцисата). Стойностите на функцията - величината A , се получават експериментално от физичния закон след задаване на B , и се нанасят на вертикалната ос (ординатата). При чертаене на графики трябва да се спазват следните правила:

- Мащабите на двете оси не е задължително да са еднакви. Те се подбират така, че максимално да се използва дължината на осите. Мащабът за осите ориентировъчно се определя по формулата:

$$(16) m_x = \delta B/x \quad \text{и} \quad m_y = \delta A/y,$$

където m_x и m_y са мащабите по осите x и y , $\delta A = (A_{max} - A_{min})$ и $\delta B = (B_{max} - B_{min})$ са разликите между максималните и минималните стойности на величините, нанасяни по осите, а x и y са дължините на осите. Получените стойности за m_x и m_y се закръгляват към близките по-големи цели кръгли стойности, кратни на 1, 2 или 5.

- Върху осите се нанасят само най-подходящите за ориентиране и измерване кръгли реперни стойности и се получават мерни линейки за съответната величина. За по-голяма прегледност е добре числата по координатните оси да са дадени в нормален вид, като множителите на 10 се изписват в края на координатната ос.

- Пресичането на координатните оси може да не става в нулевите им точки. Ако е необходимо с графична интерполация да се получават нови стойности чрез продължаваме на получената графика, координатните оси трябва да имат необходимата дължина.

- В така построената координатна система се нанасят точки с координати B_i и A_i , през които се прекарва плавна права или крива линия, която да минава през колкото може повече от нанесените точки и да съответства на вида на функционалната зависимост.

КИНЕМАТИКА НА МАТЕРИАЛНА ТОЧКА

1. Теоретични бележки.

Кинематиката изучава движението на телата и намира законите на това движение. За опростяване на разглежданията се използва най-простия физичен модел, наречен материална точка, с която се означават реалните тела, когато при разглеждане на тяхното движение могат да се пренебрегнат формата и размерите им.

Една материална точка се движи, когато променя положението си в пространството спрямо друго тяло, прието условно за неподвижно, с което се свързва координатна система, а комбинацията координатна система и уред за отчитане на времето се нарича отправна система. В правоъгълна (Декартова) координатна система положението на материалната точка се определя с радиус-вектора \vec{r} или с неговите проекции: координатите x , y , и z . Изменението на координатите с времето t е най-общият вид на закона за движението на материалната точка в скаларна форма:

$$(1) \quad x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t).$$

Освен законът за движението интерес представлява и зависимостта на скоростта от времето, наречена закон за скоростта:

$$(2) \quad v_x = v_x(t), \quad v_y = v_y(t), \quad v_z = v_z(t).$$

При известно постоянно ускорение $\vec{a} = \text{const}$, начална скорост \vec{v}_0 и радиус-вектор \vec{r}_0 в началния момент на движението t_0 за закона за скоростта по компоненти се получава:

$$(3) \quad v_x = v_{0x} + a_x \cdot t, \quad v_y = v_{0y} + a_y \cdot t, \quad v_z = v_{0z} + a_z \cdot t$$

След като е известен явният вид на закона на скоростта, законът на движение по компоненти е:

$$(4) \quad x = x_0 + v_{0x} \cdot t + a_x \cdot t^2/2, \quad y = y_0 + v_{0y} \cdot t + a_y \cdot t^2/2, \\ z = z_0 + v_{0z} \cdot t + a_z \cdot t^2/2$$

Явният вид на закона за движение на материална точка може да се намери, ако се знаят n на брой положения с пореден номер i , определяни през равни интервали от време Δt . Съответният момент от време t_i се пресмята по формулата:

$$(5) \quad t_i = i \cdot \Delta t, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n$$

Ако отчитанията се правят по оста x , за всеки момент от време t_i ще са известни координатите x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$). Получените резултати представят закона за движение в табличен вид.

i	0	1	2	...	n
t_i	$t_0 = 0$	$t_1 = 1 \cdot \Delta t$	$t_2 = 2 \cdot \Delta t$...	$t_n = n \cdot \Delta t$
x_i	x_0	x_1	x_2	...	x_n

От получените таблични стойности се определя началното положение на тялото x_0 в момента $t_0 = 0$.

За всеки краен интервал от време се определя средната скорост:

$$(6) \quad v_{cp1} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0}, \quad v_{cp2} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}, \quad \dots, \quad v_{cpn} = \frac{x_n - x_{(n-1)}}{t_n - t_{(n-1)}}$$

Стойностите на t и x са $n + 1$ на брой (от 0 до n), а стойностите на v_{cp} са n на брой.

Поради ограничената точност при измерване на координатите при пресмятане на скоростта се получава грешка. Ако се пренебрегне грешката при задаване на времето като сравнително малка, за относителната грешка за средната скорост се получава формулата:

$$(7) \quad \frac{\Delta v_{cpj}}{v_{cpj}} = \frac{\Delta x_i + \Delta x_{(i-1)}}{x_i - x_{(i-1)}}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

където Δx е абсолютната грешка при определяне на координатите.

Ако получените средни скорости са приблизително равни в границите на грешката:

$$(8) \quad v_{cp1} \approx v_{cp2} \approx \dots \approx v_{cpn}$$

тогава движението е равномерно ($v_{cp} = \text{const}$). В този случай ускорението $a = 0$. Намира се средната стойност v_{cp} на скоростта за цялото движение:

$$(9) \quad v_{cp} = \frac{v_{cp1} + v_{cp2} + \dots + v_{cpn}}{n}$$

В този случай законът за движението има вида:

$$(10) \quad x = x_0 + v_{cp} \cdot t, \quad \text{а законът за скоростта е:} \quad (11) \quad v_{cp} = \text{const}$$

Ако получените средни скорости по (8) са различни, се намира средното ускорение a_{cp} за промяната на скоростта във всеки краен интервал от време:

$$(12) a_{cp1} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}, \quad a_{cp2} = \frac{v_3 - v_2}{t_3 - t_2}, \quad \dots, \quad a_{cp(n-1)} = \frac{v_n - v_{(n-1)}}{t_n - t_{(n-1)}}$$

Стойностите на v_{cp} са n на брой, а на a_{cp} са $n - 1$ на брой.

Тъй като при определяне на ускорението се допуска известна грешка, то получените стойности се усредняват и се намира средното ускорението a_{cp} за цялото движение:

$$(13) a_{cp} = \frac{a_{cp1} + a_{cp2} + \dots + a_{cp(n-1)}}{(n-1)}$$

Началната скорост на движението се определя, като се използват измерените стойности x_i и t_i за всяко положение:

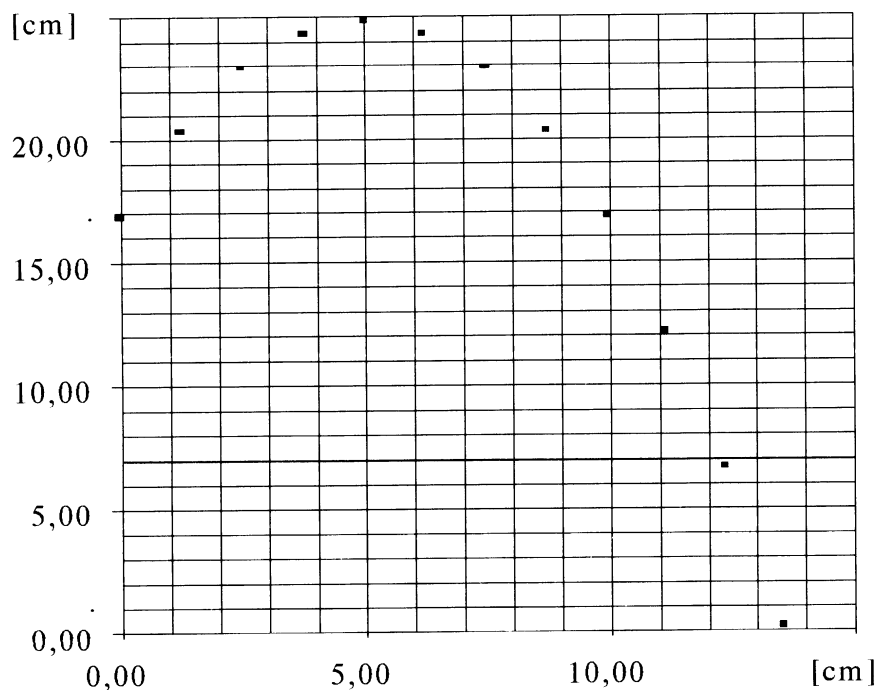
$$(14) v_{01} = \frac{x_1 - x_0 - a_{cp}t_1^2 / 2}{t_1}, \quad v_{02} = \frac{x_2 - x_0 - a_{cp}t_2^2 / 2}{t_2}, \quad \dots, \\ v_{0n} = \frac{x_n - x_0 - a_{cp}t_n^2 / 2}{t_n}$$

От получените стойности се намира средната стойност на началната скорост v_{0cp} :

$$(15) v_{0cp} = \frac{v_{0cp1} + v_{0cp2} + \dots + v_{0cpn}}{n}$$

Законите за движението и за скоростта ще бъдат:

$$(16) x = x_0 + v_{0cp} \cdot t + a_{cp} \cdot t^2 / 2 \quad \text{и} \quad (17) \quad v = v_{0cp} + a_{cp} \cdot t$$



$\Delta t = 0,5 \text{ s}$

Фиг. 1.

По същия начин може да бъдат получени и законите за движение и скоростта по другите оси на координатната система.

2. Схема на опитната установка.

Регистриране на изследваното движение става на стробоскопична снимка. Моделиране на движението може да стане и с компютър и да се получи подходяща за работата траектория, показана на Фиг. 1.

3. Задачи за изпълнение.

Задача 1. Отчитане на момента време и съответните координати.

За всяко положение на тялото се определя момента от време t_i по (5) и се измерват координатите x_i и y_i , които за удобство се вземат в сантиметри. Получените стойности се нанасят в таблица.

Задача 2. Определяне на характеристиките на движението.

Началното положение x_0 и y_0 се определя от таблицата в момента от време $t_0 = 0$. Средната скорост за всеки интервал от време се определя от (6). Получените резултати се нанасят в таблицата.

Проверява се дали е изпълнено (8) с пресмятане на относителната грешка за средната скорост по (7).

Ако е изпълнено (8), по (9) се определя средната стойност на скоростта за движението като цяло. Записва се законът на движението във вида (10) и законът за скоростта във вида (11).

Ако не е изпълнено (8), за всеки интервал от време се определя средното ускорение по (12). Получените резултати се нанасят в таблицата. Намира се средното ускорение за движението като цяло по (13). След това се определя началната скорост по (14), средната и стойност по (15). С получените стойности се записва законът за движението във вида (16) и законът за скоростта по (17).

ОПРЕДЕЛЯНЕ МОДУЛА НА ЮНГ ПРИ ОГЪВАНЕ

1. Теоретични бележки.

Под действието на външни сили твърдите тела се деформират, при което настъпва изменение на взаимното разположение на градивните им частици. Вследствие на промяната на положенията на частиците между тях възникват противодействащи сили, които се стремят да възстановят предишното положение на частиците и тялото да възвърне първоначалната си форма. Ако след преустановяване на външното въздействие тялото възстанови формата се, деформацията се нарича еластична, а ако формата остане променена, деформацията се нарича пластична. Пластична деформация настъпва при прилагане на сила, по-голяма от някаква стойност, която се нарича граница на еластичност.

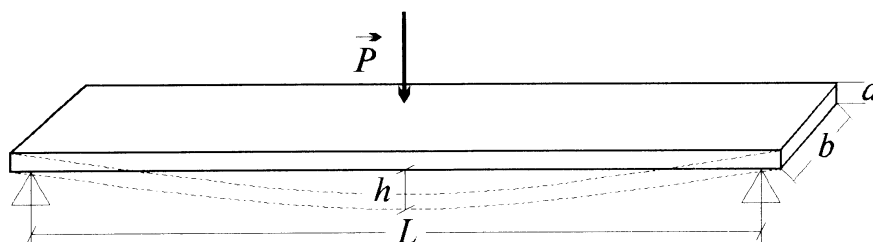
За еластичната деформация при опън е в сила законът на Хук, който дава връзката между действащата сила F и деформацията Δx :

$$(1) \quad F = \frac{E \cdot S}{x_0} \cdot \Delta x = k \cdot \Delta x$$

където x_0 е началната дължина, S е сечението на тялото, E - модула на Юнг, размерността на който се определя, като се реши (1) спрямо E и се получава Нютон/квадратен метър или Паскал [Pa].

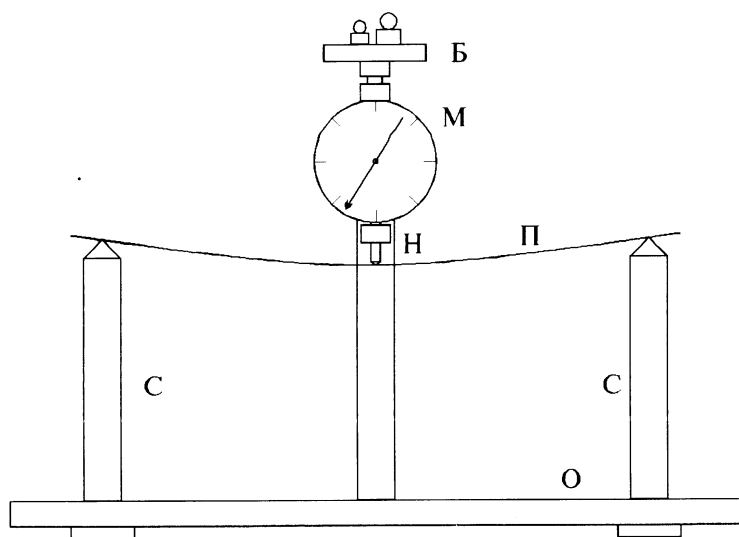
Освен деформацията при опън модулът на Юнг е характеристика и на други видове деформации. При огъване на метална пластинка с работна дължина L , дебелина a и ширина b , поставена свободно върху две опори след прилагане на сила P в средата, (Фиг.1.), деформацията h се дава с формулата:

$$(2) \quad h = \frac{1}{4E} \cdot \frac{PL^3}{a^3b}, \quad \text{откъдето} \quad (3) \quad E = \frac{L^3}{4a^3b} \cdot \frac{P}{h}$$



Фиг.1.

От (3) модулът на Юнг може да бъде определен за материала, от който е изработена пластинката, след измерване на a , b , L , P и h .



Фиг.3.

2.Схема на опитната установка.

На основата O са монтирани стойките C за поставяне на изследваната пластинка P (Фиг.2.). На трета стойка върху носач H е поставен микрометър от часовников тип M над средата на пластинката. На горния край на стеблото на микрометъра е поставено блюдо B за теглилки, които посредством стеблото огъват

пластинката, а по скалата на микрометъра се отчита деформацията.

3. Задачи за изпълнение.

Задача 1. Определяне размерите на изследваната пластинка.

На няколко места (примерно в двата края и в средата) се измерват дебелината a и ширината b на пластинката и получените стойности се усредняват. Измерва работната част L на пластинката между двете опори. От (3) за модула на Юнг се получава работна формула, в която с получените размери a , b и L се пресмята един постоянен за всички опити коефициент k :

$$(4) \quad E = k \cdot \frac{P}{h}, \quad \text{където} \quad k = \frac{L^3}{4 a^3 b}$$

Задача 2. Определяне деформацията при натоварване.

Изследваната пластинка се натоварва се постепенно и се отчита деформацията h за всяка сила P , пресметната по формулата $P = m.g$, където m е масата на теглилката, а g е земното ускорение. Получените резултати се нанасят в таблица.

Задача 3. Определяне модула на Юнг.

Представя се графически зависимостта на деформацията от силата: $h = f(P)$. За линейната част от графиката с резултатите за силата P и деформацията h се пресмята модула на Юнг E по (4).

Задача 4. Определяне на грешката и представяне на резултата от експеримента.

При пренебрегване грешката на теглилките за всяко измерване абсолютната грешка се определя по формулата:

$$(5) \quad \Delta E = \left(3 \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + 3 \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta h}{h} \right) \cdot E$$

където ΔL , Δa , Δb и Δh са абсолютните грешки за съответните величини, които се приемат равни на точността на използваните уредите, а E е получената стойност за съответното натоварване.

Поради различните условия при извършване на измерванията след получаване на грешките като стойност от експеримента се приема този с най-малка абсолютна грешка ΔE_{min} и съответния резултат. Окончателния запис се дава във вида:

$$(6) \quad E_u = (E \pm \Delta E_{min}) \text{ [Pa]}$$

ОПРЕДЕЛЯНЕ ИНЕРЧНИЯ МОМЕНТ НА ТВЪРДО ТЯЛО С ТОРЗИОННО МАХАЛО

1. Теоретични бележки.

Инерчния момент I характеризира инертността на телата при завъртане. Той е аналог на величината маса, характеризираща инертността на тела при праволинейното движение. Основното уравнение на динамиката на въртеливото движение има вида:

$$(1) \quad M = I \cdot \alpha$$

където M е момента на силата (въртящия момент), който завърта тяло с инерчен момент I с ъглово ускорение α .

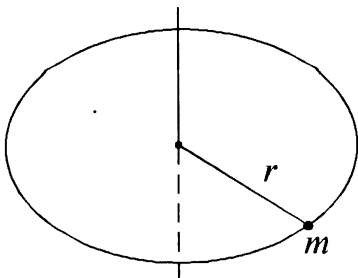
Най-просто се дава инерчния момент на материална точка с маса m , която се върти по окръжност с радиус r (Фиг.1.), с формулата:

$$(2) \quad I = m \cdot r^2$$

От (2) единицата за инерчния момент се получава килограм.квадратен метър [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$].

При непрекъснато разпределение на масата инерчният момент на тяло се пресмята като интеграл по цялата му маса:

$$(3) \quad I = \int_m r^2 \cdot dm$$

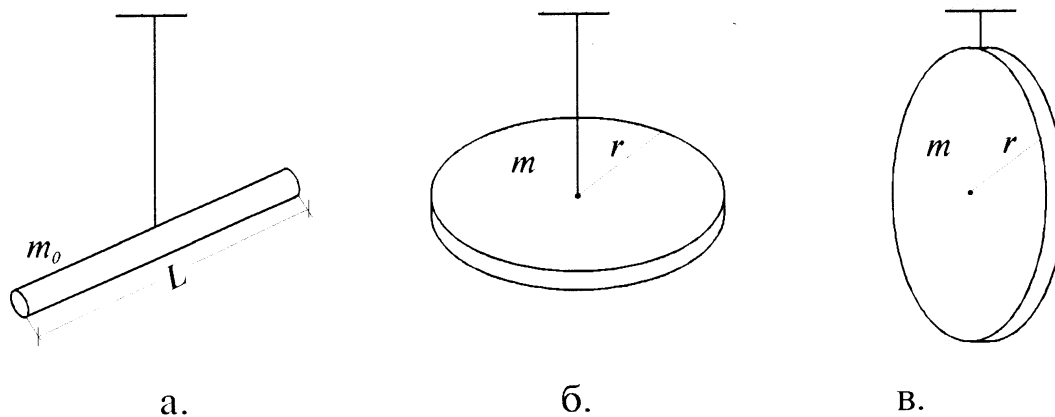


Фиг.1.

Инерчния момент на тела с правилна геометрична форма по (3) се изчислява лесно. За пръчка с дължина L и маса m_0 , въртяща се около вертикална ос, перпендикулярна на пръчката и минаваща през нейната среда (Фиг.2.а.), инерчния момент I_0 се получава по (4). Инерчния момент на диск с маса m и радиус r относно вертикална ос, минаваща през неговия център и перпендикулярна на неговата плоскост (полярен инерчен момент I_n^* - Фиг.2.б.), се дава с (5), а инерчния момент относно вертикална ос, съвпадаща с неговия диаметър (екваториален инерчен момент I_e^* - Фиг.2.в.) се дава с (6).

$$(4) \quad I_0 = \frac{m_0 l^2}{12} \quad (5) \quad I_n^* = \frac{m r^2}{2} \quad (6) \quad I_e^* = \frac{m \cdot r^2}{4}$$

При познаване на L , m_0 , r и m инерчните моменти могат да се пресметнат, използвайки теоретичните формули (4 - 6).



Фиг.2.

За тяло с неправилна форма инерчният момент се определя експериментално с торзионно махало, което се получава от самото тяло, окачено на тънка нишка. Махалото извършва трептения, като усуква нишката и се завърта около вертикална ос, съпадаща с нишката и минаваща през центъра на тежестта на тялото. При усукване възниква момент на еластичната сила M , който при малки ъгли (няколко градуса) е пропорционален на ъгъла на завъртане φ :

$$(7) \quad M = -c \cdot \varphi$$

където c е коефициент на еластичност при усукване, който зависи от еластичните свойства и размерите на нишката.

Като се има предвид, че ъгловото ускорение $\alpha = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ и се приравни (1) на (7) се получава диференциалното уравнение на движение на торзионното махало:

$$(8) \quad I \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -c \cdot \varphi, \quad \text{с решение:} \quad (9) \quad \varphi = \varphi_0 \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{c}{I}} \cdot t + \beta\right)$$

където φ_0 се нарича амплитуда и е максималния ъгъл на отклонение на торзионното махало от равновесното си положение, β е началната фаза, коефициентът пред t : $\sqrt{\frac{c}{I}} = \omega$ има смисъл на кръгова честота. Като се вземе предвид връзката между кръговата честота и периода на трептене T : $\omega = 2\pi/T$, за връзката между инерчният момент и периода се получава:

$$(10) \quad I = \frac{c}{4\pi^2} T^2$$

За да се определи I , трябва да се познава коефициента на еластичност c . Той се намира като се използва друго тяло с известен

инерчен момент. За такава се приема пръчката с инерчен момент I_0 , пресметнат по (4). Като се закачи на торзионното махало пръчката - еталон и се измери периода за едно колебание T_0 , за коефициента на еластичност c се получава:

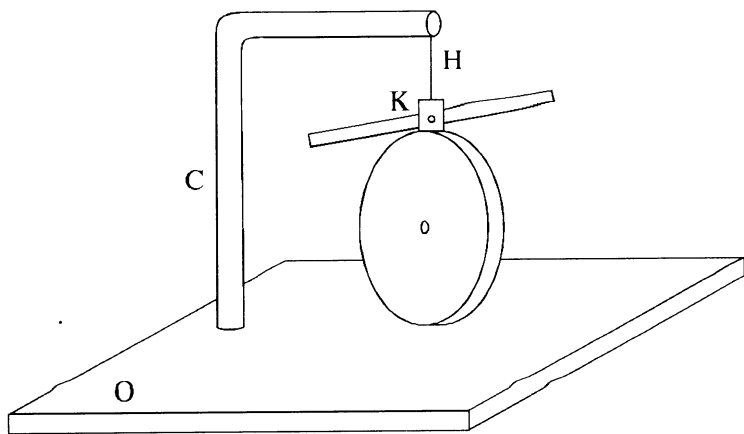
$$(11) c = \frac{4 \pi^2}{T_0^2} \cdot I_0$$

За определяне на неизвестния инерчен момент тялото се закача на торзионното махало заедно с пръчката. Общият инерчен момент на така получената система от тела съгласно (10) ще бъде:

$$(12) I + I_0 = \frac{c}{4 \pi^2} T^2$$

където T е периода на системата пръчка - тяло с неизвестен инерчен момент. След изразяване на c от (11) и замествайки в (12) за неизвестния инерчен момент окончателно се получава:

$$(13) I = \frac{T^2 - T_0^2}{T_0^2} \cdot I_0$$



Фиг.3.

другия и край е поставен накрайник К, към който се свързва изследваното тяло.

3. Задачи за изпълнение.

Задача 1. Пресмятане на инерчния момент на пръчката и диска по теоретичните формули.

Изчисляват се инерчния момент на пръчката I_0 по (4), полярния инерчен момент на диска I_n^* по (5) и екваториалния инерчен момент на диска I_e^* по (6) с данни за размерите и масите на телата.

Задача 2. Експериментално определяне на инерчните моменти.

Определя се периода на торзионното махало с пръчката - T_0 , на системата пръчка-диск в полярно положение - T_n , и на системата пръчка-диск в екваториално положение - T_e , заместват в (13) и се определят полярния I_n и екваториалния I_e инерчен момент на диска, като се използва инерчен момент I_0 на пръчката, получен чрез

теоретическата формула (4).

Задача 3. Преценка на точността.

Според (13) за абсолютната грешка при експерименталното определяне на инерчния момент се дава формулата:

$$(14) \Delta I = \left(\frac{\Delta m_0}{m_0} + 2 \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{T \cdot \Delta T + T_0 \cdot \Delta T_0}{T^2 - T_0^2} + 2 \frac{\Delta T_0}{T_0} \right) \cdot I$$

Където ΔT и ΔT_0 са абсолютните грешки при измерването на съответните периоди. Абсолютните грешки Δm_0 и ΔL се приемат за равни на точността на използваните уреди. Крайният резултат се записва във вида:

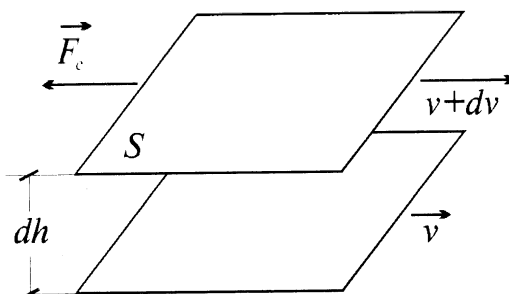
$$(15) I_u = (I + \Delta I) [\text{kg.m}^2]$$

ОПРЕДЕЛЯНЕ КОЕФИЦИЕНТА НА ВЪТРЕШНО ТРИЕНЕ НА ТЕЧНОСТИ

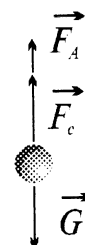
1. Теоретични бележки.

Поради сходните свойства на газовете и течностите те се наричат общо флуиди. При движението на тяло във флуид възниква сила на съпротивление с посока, обратна на скоростта, поради взаимодействието между частиците на флуида с тялото. В повечето случаи силите между частиците на флуида и повърхността на тялото са много по-големи, отколкото силите между самите частици на флуида. Затова тънкия граничен слой течност е неподвижен (прилепнал) към повърхността на тялото, а силата на съпротивление се дължи на силата на взаимодействие между частиците на флуида.

За успоредни слоеве течност с площ S на разстояние dh един от друг когато $dh^2 \ll S$ (Фиг.1.), при движението на единият слой със скорост v , а на другия с $v + dv$ възниква сила на съпро-



Фиг.1.



Фиг.2.

тивление F_c с посока, обратна на скоростта и с големина:

$$(1) F_c = \eta \cdot \frac{dv}{dh} \cdot S$$

където η се нарича коефициент на вътрешно триене или динамичен вискозитет и зависи от вида на течността и условията, при които е поставена. Единицата за коефициента на вътрешно триене от (1) се получава Паскал.секунда [Pa.s].

Коефициентът на вътрешно триене се определя по метода на Стокс, при който сфера с малък радиус се пуска да се движи в изследваната течност. Големината на силата на съпротивление е:

$$(2) F_c = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

където r е радиуса на сферата, а v е скоростта на движение.

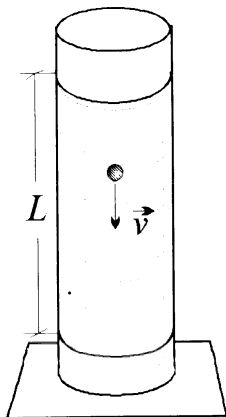
На неподвижна сфера в течността действа силата на тежестта G , насочена надолу, и Архимедовата сила F_A , насочена нагоре (Фиг.2.):

$$(3) G = m_1 \cdot g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g \quad \text{и} \quad (4) \quad F_A = m_2 \cdot g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_2 g$$

където m_1 , ρ_1 , m_2 , ρ_2 са съответно масата и плътността на сферата и изместената от нея течност, g е земното ускорение. Резултантната сила $F = G - F_A$ е движеща, насочена надолу и е постоянна.

Ако сферата се пусне в течността с начална скорост v_0 , ще и действа силата на съпротивление F_c , зависеща от скоростта и насочена нагоре. Сферата ще се движи с намаляваща скорост докато $F = F_c$, когато движението става с постоянна скорост. При известни r , g , ρ_1 , ρ_2 и v , които могат да се измерят, за η се получава:

$$(5) \eta = \frac{2}{9} \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot \frac{r^2}{v}$$



Фиг.3.

Тази формула е в сила при малка скорост и за течност, простираща се в безкрайност. Ако течността е поставена в тръба с радиус R , във (5) се въвежда коригиращ множител:

$$(6) b = 1 / (1 + 2,4 \cdot r/R)$$

2.2.Схема на опитната установка.

Изследваната течност е в стъклена тръба, на която са нанесени два белега на разстояние L (Фиг.3.).

2.3.Задачи за изпълнение.

Задача 1.Определяне радиуса на сачмите и скоростта им при падане в течността.

Измерва се диаметъра на сачмите, след което се пускат в течността и се засича времето t , за което изминават разстоянието L . Пресмята се скоростта $v = L/t$. Резултатите се нанасят в таблица.

Задача 2. Пресмятане коефициента на вътрешно триене.

На основата на (5) за коефициента на вътрешно триене се получава работна формула, в която се пресмята постоянен коефициент K с еднаквите величини за всички сачми:

$$(7) \quad \eta = K \cdot \frac{r^2}{v}, \quad \text{където} \quad (8) \quad K = \frac{2}{9} \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g$$

Търсената стойност за коефициента на вътрешно триене е средната аритметична стойност η_{cp} на получените резултати.

Задача 3. Определяне на грешката и запис на крайния резултат.

Крайният резултат се записва чрез средната стойност и средната квадратична грешка във вида:

$$(9) \quad \eta_u = (\eta_{cp} \pm \sigma_\eta) [\text{Pa}\cdot\text{s}]$$

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОТНОШЕНИЕТО C_p/C_v

НА ВЪЗДУХА

1. Теоретични бележки.

Като характеристика на газовете се въвежда понятието моларен топлинен капацитет C_μ , който е количеството топлина за повишаване на температурата на един мол от газа с един Келвин:

$$(1) \quad C_\mu = \frac{1}{n} \cdot \frac{dQ}{dT}$$

където n е броя молове на разглежданото вещество. Размерността на моларната топлоемност е Джаул/(мол.Келвин) - [J/(mol.K)].

Топлинният капацитет на газовете зависи от условията на топлообмен. Въвежда се моларен топлинен капацитет C_p при постоянно налягане p , и моларен топлинен капацитет C_v при постоянен обем V :

$$(2) \quad C_p = (C_\mu)_p = const \quad \text{и} \quad (3) \quad C_v = (C_\mu)_v = const$$

Отношението $C_p/C_v = \gamma$ се нарича показател на адиабатата и характеризира адиабатните процеси. Той е безразмерна величина като отношение на две величини с еднакви размерности. Адиабатните процеси протичат без получаване или отделяне на топлина и се описват с уравнението на Поасон, наречено уравнение на адиабатата:

$$(4) \quad p \cdot V^\gamma = const$$

Пример за адиабатен процес са звуковите вълни. Тъй като звуковите трептения се извършват много бързо, топлообмен не може да се извърши и затова процесът е адиабатен.

Скоростта на звука v зависи от средата, в която той се разпространява, и се дава с формулата:

$$(5) \quad v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}, \quad \text{където} \quad (6) \quad K = -V \cdot \frac{dp}{dV}$$

е модулът еластичност на деформацията, на която се дължи разпространението на звука, а ρ е плътността на средата.

За определяне на модула на еластичност се използва уравнението на адиабатата. Пълният диференциал на (4) е:

$$(7) \quad V^\gamma \cdot dp + p \cdot \gamma \cdot V^{\gamma-1} \cdot dV = 0, \quad \text{откъдето по (6):} \quad (8) \quad K = \gamma p$$

След заместване на (8) в (5) за скоростта се получава:

$$(9) \quad v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho}}$$

Плътността се определя от уравнението за състоянието на идеалния газ: $p \cdot V = (m/\mu) \cdot R \cdot T$, където m е масата, μ е моларната маса на газа, R е универсалната газова константа. Плътността $\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu \cdot p}{R \cdot T}$ и след заместване в (9) за показателя на адиабатата γ се получава:

$$(10) \quad \gamma = \frac{\mu \cdot v^2}{R \cdot T}$$

За намиране на γ е необходимо да се измери скоростта на звука v във въздух при определена температура T .

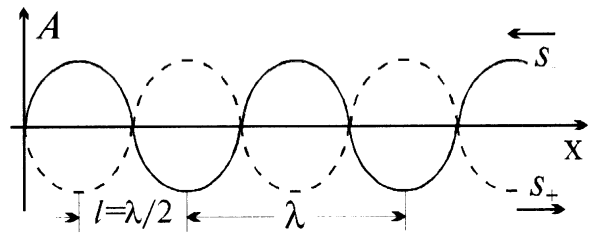
Скоростта на звука във въздух може да се определи по метода на стоящата звукова вълна, получена при разпространение на две вълни с еднакви честоти една срещу друга. Уравнението на стоящата вълна има вида:

$$(11) \quad s = 2a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$$

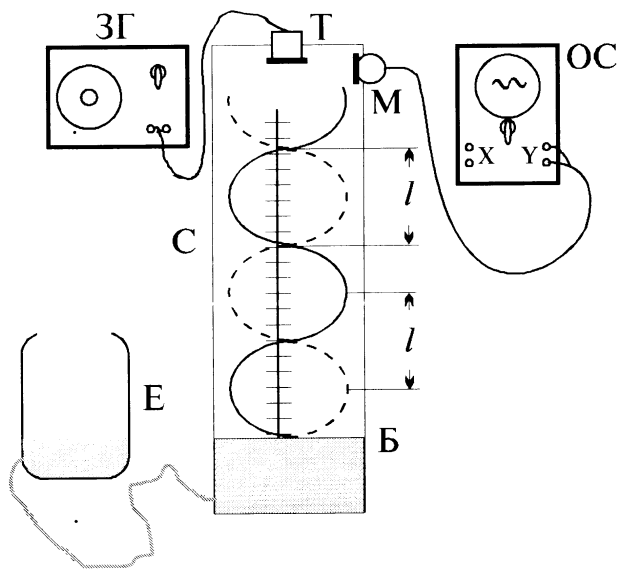
където s се нарича елонгация и е отклонението на частиците от равновесното им положение за точка с координата x в момента от време t , a се нарича амплитуда и е максималното отклонение на частиците, λ се нарича дължина на вълната и е разстоянието между две съседни точки, трептящи с еднакви амплитуди, f се нарича честота и е броят на трептенията за една секунда.

Уравнението (11) може да се разгледа като съставено от два множителя. Изразът $A = 2a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right)$ зависи само от x и се нарича амплитуда на стоящата вълна. Амплитудата е периодична функция на x . На Фиг.1. е показано нейното разпределение. Разстоянието между два съседни върха, където звукът е силен, или между два съседни възела, където звукът е слаб, е половин дължина на вълната: $l = \lambda/2$, и може да бъде измерено чрез регистриране на местата на максимуми или минимуми на амплитудата по оста x .

Дължината на вълната, изразена чрез разстоянието между



Фиг.1.



Фиг.2.

2.Схема на опитната установка.

Опитната установка е показана на Фиг.2. Източник на звук е телефонна капсула Т, захранвана от звуков генератор ЗГ. Излъчената звукова вълна се разпространява в стъклена тръба С, отразява се от затворения с водно бутало Б край на тръбата и се връща обратно, при което се сумира с падащата и възниква стояща вълна. Придвижването на водното бутало става чрез повдигане и сваляне на съда Е, при което се придвижва и стоящата вълна, а през отвор в горната част на тръбата чрез микрофон М и осцилоскоп ОС се регистрира амплитудата.

3.Задачи за изпълнение.

Задача 1.Намиране на местата на възлите и определяне на дължината на стоящата звукова вълна.

С придвижване на водното бутало се отчитат по линията, от долу нагоре, координатите $x_0, x_1, x_2, \dots, x_k$ на местата на възлите, където звукът е най-слаб и синусоидата на екрана става права линия. Получените резултати се нанасят в таблица.

Изчисляват се разликите между две съседни координати:

$$(15) l_1 = x_1 - x_0, \quad l_2 = x_2 - x_1, \quad \dots, \quad l_k = x_k - x_{k-1}$$

които са половинки дължини на вълната, и се намира средната им стойност l_{cp} . С получената стойност на l_{cp} се определя дължината на вълната $\lambda = 2.l_{cp}$.

Задача 2.Определяне скоростта на звука и пресмятане на показателя на адиабатата γ .

Скоростта на звука се получава по (13), като се използва получената стойност за λ . Намира се γ по (10). За пресмятане по

върховете или възлите ще бъде:

$$(12) \lambda = 2.l$$

За определена честота f и известна дължина на вълната λ скоростта на звука се получава по формулата:

$$(13) v = \lambda.f = 2.l.f$$

След заместването на скоростта в (10) за γ се получава:

$$(14) \gamma = \frac{4.l^2.f^2.\mu}{R.T}$$

формулата се намира абсолютната температура T , а другите необходими величини се вземат от справочник.

Задача 3. Определяне на грешката и оформяне на резултата.

Абсолютната грешка $\Delta\gamma$ за показателя на адиабатата се определя на основата на (14):

$$(16) \Delta\gamma = \left(\frac{2\Delta l_{cp}}{l_{cp}} + \frac{2\Delta f}{f} + \frac{\Delta T}{T} \right) \cdot \gamma$$

Където Δf и ΔT са абсолютните грешки за съответните величини, равни на точността на използваните уреди. За l се пресмята средната квадратична грешка σ_l и окончателния резултат се дава във вида:

$$(17) \gamma_u = (\gamma \pm \Delta\gamma)$$

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СРЕДНИЯ СВОБОДЕН ПРОБЕГ И ЕФЕКТИВЕН ДИАМЕТЪР НА ВЪЗДУШНИ МОЛЕКУЛИ

1. Теоретични бележки.

Съгласно молекулно-кинетичната теория газовете са съставени от молекули, които се намират непрекъснато в хаотично движение. Това движение се характеризира с пътя, изминат от молекулите между два последователни удара, наречено свободен пробег. Усреднената стойност на много свободни пробези за една молекула или усреднената стойност на пробезите за голям брой молекули в даден момент време се нарича среден свободен пробег λ .

Най-малкото разстояние, на което могат да се доближат две молекули при взаимодействие между тях се нарича ефективен диаметър на молекулите D . В система SI тези величини се измерват в метри [m].

Определянето на средния свободен пробег и ефективния диаметър може да се направи, като се изучат явленията, дължащи се на хаотичното движение на молекулите. Това са явленията на пренасяне, дифузия, вътрешно триене и др.

Средния свободен пробег λ е свързан с вискозитета η , плътността на газа ρ и средната аритметична скорост v на молекулите по формулата:

$$(1) \quad \lambda = \frac{3 \cdot \eta}{\rho \cdot v}$$

Вискозитета се определя по формулата на Поазьой:

$$(2) \quad \eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot t}{8 \cdot V \cdot L}$$

където V е обема на газа, минал през капилярка с дължина L и радиус r за време t , Δp е налягането, пораждащо движението на газа.

Средната аритметична скорост се определя от зависимостта, позната от молекулно-кинетичната теория:

$$(3) \quad v = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot \mu}}$$

където R е универсалната газова константа, T е абсолютната температура, μ е молекулната маса на въздуха.

Плътността ρ може да се определи от уравнението за състоянието на идеалния газ: $P \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T$, където m е масата на газа:

$$(4) \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu \cdot P}{R \cdot T}$$

След заместване на (2), (3) и (4) в (1) за средния свободен пробег λ се получава:

$$(5) \quad \lambda = \frac{3 \cdot \pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot t}{16 \cdot V \cdot L \cdot P} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot R \cdot T}{2 \mu}}$$

За пресмятане на средният свободен пробег е необходимо да са известни размерите на капилярката - радиус r и дължина L , времето t за което преминава въздух с обем V при налягане Δp и условията при провеждане на опита - атмосферно налягане P и температура T .

След като се намери λ , може да се определи ефективния диаметър D на молекулите по формулата:

$$(6) \quad D = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot n \cdot \lambda}}$$

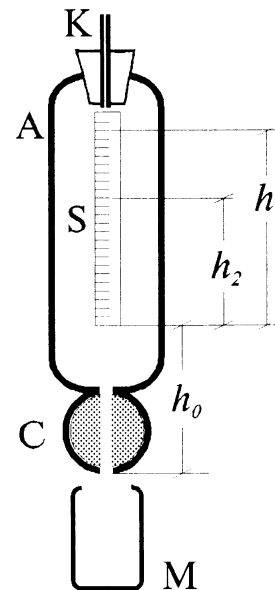
където n е броят на молекулите в единица обем при съществуващите условия на опита - атмосферно налягане P и температура T , който е свързан с налягането P_0 , температурата T_0 и броят на молекулите в единица обем n_0 (число на Лошмит) при нормални условия с връзката:

$$n = n_0 \cdot \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T}, \text{ и за } D \text{ се получава:}$$

$$(7) \quad D = \sqrt{\frac{P_0 \cdot T}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot n_0 \cdot P \cdot T_0 \cdot \lambda}}$$

2.Схема на опитната установка.

В цилиндричен съд А, с кранче С на долния си край и затворен отгоре със запушалка с капилярка К, е налята вода. Под кранчето е поставена мензура М, с която се измерва изтеклата течност, равна по обем на навлезлия в съда въздух през капилярката. Върху стената на съда е поставена скала S, началото на която отстои от долния край на крана на разстояние h_0 (Фиг.1.).



Фиг.1.

3.Задачи за изпълнение.

Задача 1.Намиране на величините, необходими за определяне на средния свободен пробег.

Измерва се времето t , за което изтича вода с обем V от нивото h_1 до нивото h_2 . Отчитането на времето започва когато водата изтича равномерно на капки и докато височината намалее с 1 см.

Налягането Δp , на което се дължи протичането на въздух през капилярката, се пресмята по формулата:

$$(8) \quad \Delta p = \rho_m \cdot g \cdot \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_0 \right) = \frac{\rho_m \cdot g}{2} \cdot (h_1 + h_2 + 2h_0)$$

където ρ_m е плътността на течността (водата), g е земното ускорение, h_0 е разстоянието от долния край на крана до началото на скалата, означено на установката. Правят няколко измервания при едни и същи начални и крайни височини.

Задача 2. Пресмятане на средния свободен пробег.

Пресмятат се плътността на въздуха ρ по (4) и средната аритметична скорост на въздушните молекули v по (3), които са едни и същи са различните опити. С получените стойности за обема V , времето t и налягането Δp за всеки опит се изчислява коефициента на вътрешно триене η за въздуха по (2) с данните за дължината L и

радиуса r на използваната капилярка, означени на установката. Получените стойности се нанасят в таблица и се намира средно-аритметичната стойност η_{cp} на резултатите. Със стойността на η_{cp} , ρ и ν по (1) се изчислява средният свободен пробег λ .

Задача 3. Определяне на грешката и оформяне на крайният резултат за средния свободен пробег.

Значително преобладава в сравнение с останалите грешката при определянето на радиуса на капилярката, за която се взема учетворената стойност. Поради това оценяването на абсолютната грешка на средния свободен пробег може да стане по формулата:

$$(10) \Delta\lambda = 4 \cdot \frac{\Delta r}{r} \cdot \lambda$$

където Δr е абсолютната грешка при определяне на радиуса, която се приема за равна на точността на използвания уред. Окончателно крайният резултат се записва във вида:

$$(11) \lambda_u = (\lambda \pm \Delta\lambda) \text{ [m]}$$

Задача 4. Изчисляване на ефективният диаметър.

След като е намерен средния свободен пробег λ_{cp} , ефективният диаметър D се намира по (9), като за това трябва да се определят атмосферното налягане P , което се изразява в Паскали [Pa], и температурата T , която трябва да се превърне в Келвини [K]. От справочник се вземат и P_0 , T_0 и n_0 при нормални условия.

За абсолютната грешка на ефективния диаметър съгласно (9) се получава израза:

$$(12) \Delta D = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot D$$

в които са пренебрегнати грешките при измерване на атмосферното налягане и температурата като значително по-малки в сравнение с тази при намиране на средния свободен пробег.

Крайният резултат за D се записва във вида:

$$(13) D_u = (D \pm \Delta D) \text{ [m]}$$

ЕЛЕКТРОИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ

И РАБОТА С ТЯХ

1. Основни положения.

Измервателният уред е устройство, оформено като едно цяло, което направо показва стойността на измерваната величина.

Измервателната уредба е по-сложна система, съставена от разнородни части (измервателни уреди, еталони, изчислителни устройства и др.), при което измерваната величина се намира чрез извършване на определени манипулации.

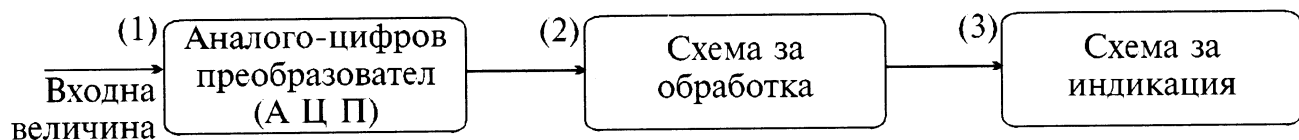
2. Общо устройство и принцип на действие на уредите.

Най-общо електроизмервателните уреди могат да се разглеждат като съвкупност от измерителна система и спомагателна част.

2.1. Измерителна система.

Измерителната система превръща величината, подадена на входа, в показание, от което се отчита измерваната стойност. В зависимост от принципа на действие измерителните системи могат да се разделят на две големи групи: електронни и електромеханически.

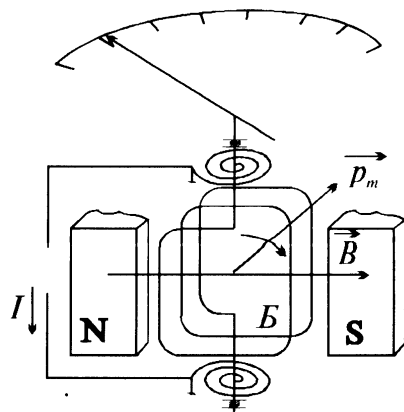
Принципа на действие на електронните измерителни системи може да се представи със следната блокова схема - Фиг. 1.



Фиг. 1.

1). Величината за измерване се подава на схемата (1) за пробразуване в цифров код. Най-често това е аналого-цифров преобразовател (АЦП). Полученият код се подава на схемата за обработка (2), където се представя във вида, необходим за подаване към следващата схема за индикация. На индикатора на последната схема (3) с число се изписва стойността на измерваната величина.

2). Работата на електромеханическите измерителни системи се основава на електрическо, магнитно или други взаимодействия. Най-широко разпространение са получили системите с електромагнитно взаимодействие между проводник с ток или електромагнит, поставени в друго магнитно поле. В зависимост от конструкцията си те биват различни видове: магнитоелектрическа, електродинамична, електро-



Фиг.2.

магнитна и др..

Магнитноелектрическата измерителна система, която най-често се среща, има устройството показано на Фиг.2. Между полюсите N и S на постоянен магнит е поставена подвижната част, която е ос с бобинка Б, към която е закрепена стрелката на системата. Стрелката се поддържа в равновесно положение от две спирални пружинки, през които също се пропуска токът за измерване да протече през бобинката.

Взаимодействието между магнитното поле на тока и постоянния магнит е такова, че бобинката завърта оста, при което спиралните пружинки се деформират и възникналите еластични сили се противопоставят на това завъртане. При завъртане на определен ъгъл става уравновесяване на системата. Ъгълът на отклонение на стрелката е пропорционален на тока през системата и по деленията на скалата се отчита стойността на тока.

3). По-важни величини, характеризиращи измерителните системи и означения върху тях.

- Обхват на системата - най-голямата стойност на измерваната величина. При тази стойност цифровата индикация изписва най-голямото число, което може да се покаже, а при стрелковите измерителни системи показалеца се отклонява до края на скалата. Обхватът може да бъде зададен като големина на тока I_0 и се нарича ток на максимално отклонение, или като напрежение U_0 . В справочниците най-често се задава обхватът по ток I_0 .

- Вътрешно съпротивление R_0 - за електронните измерителни системи това е входното съпротивление на аналого-цифровия преобразовател, а за електромеханичните системи - съпротивлението на проводника на бобинките на системата. Връзката между обхватите и вътрешното съпротивление се дава със закона на Ом: $U_0 = I_0 \cdot R_0$.

- Клас на точност - относителната грешка в проценти за максималната стойност на измерваната величина (обхвата). Той дава грешката, дължаща се на конструктивните особености и несъвършенства при изработката на системата. За електромеханичните системи класът на точност има стандартни стойности: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 10. За електронните системи за широка употреба относителната грешка, съответстваща на класа на точност е 1%.



- Означения, поставяни върху измерителните системи - условни знаци, които дават допълнителна информация за системата. По-

необходими от тях са следните:

- вид на тока и напрежението: — или = прав ток или напрежение, ~ или ≈ променлив ток или напрежение, ≅ прав и променлив ток или напрежение.

- работно положение: \ulcorner хоризонтално (легнало), \perp вертикално (изправено), $\angle 60^\circ$ наклонено (под ъгъл).

- вид на измерителната система:

 магнитоелектрическа  електродинамична

 електромагнитна  електростатична  индукционна

2.2. Спомагателна част.

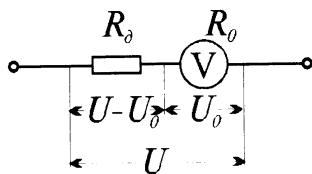
Основните функции на спомагателната част са да увеличи обхвата на вложената в уреда измерителна система и да се приспособи системата за измерване на различни видове величини.

1). Увеличаване на обхвата на измерителната система.

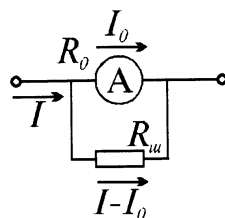
- Увеличаване на обхвата на волтметър. Поставя се допълнително съпротивление последователно на измерителната система съгласно Фиг.3. На определяне подлежи стойността на допълнителното съпротивление R_∂ . То се подбира така, че върху него да пада излишното за измерителната система напрежение $U - U_0$:

$$(1) R_\partial = \frac{U \cdot R_0}{U_0} - R_0 = R_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0} - 1 \right) = R_0 \cdot (n_U - 1)$$

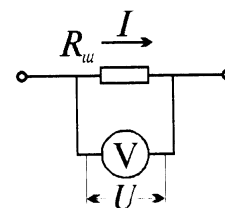
където отношението $n_U = U/U_0$ е коефициент на промяна на обхвата по напрежение.



Фиг.3.



Фиг.4.



Фиг.5.

- Увеличаване на обхвата на амперметър. Поставя се допълнително съпротивление успоредно на измерителната система съгласно Фиг.4. Това съпротивление се нарича шунт. На определяне подлежи

стойността на шунта $R_{ш}$, която се подбира така, че през него да протича излишния за измерителната система ток $I - I_0$:

$$(2) \quad R_{ш} = \frac{I_0 \cdot R_0}{I - I_0} = \frac{R_0}{(I / I_0) - 1} = \frac{R_0}{n_I - 1}$$

където отношението $n_I = I/I_0$ е коефициент на промяна на обхвата по ток.

2). Приспособяване на системата за измерване на различни видове величини.

За вграждане в електроизмерителните уреди се използват системи с възможно по-голямо вътрешно съпротивление и по-малък обхват по ток. Обхватът на една система може да се увеличи по посочените по-горе способности или да се пригоди и за измерване на други електрически величини.

- Използване на измерителна системата за напрежение за измерване на големина на тока.

При измерване на големи токове с увеличаването на обхвата на амперметъра стойност на шунта под 0,5 - 1 Ома води до значителни грешки. В този случай токът се получава чрез измерването на пада на напрежение върху съпротивление с известна стойност - Фиг.5. Изчислението може да стане със закона на Ом и формулите (2) и (3). Методът позволява измерителната система да се отдалечи от мястото, където текат големи токове и може да се прилага за малки токове.

- Използване на измерителна системата за ток за измерване електрическо съпротивление става с помощта на източник на еталонно напрежение и отчитане на тока, протичащ при свързване на неизвестното съпротивление, при което то се изчислява по закона на Ом. За удобство на скалата на системата има линия, разграфена в Омове, която направо дава стойността на съпротивлението.

Измерването на индуктивности, капацитети и др. величини е по-сложно и в по-разпространените уреди рядко се реализира.

3). Качества на електроизмервателните уреди.

По-важните качества и характеристики на измервателните уреди като цяло са следните:

- Измервателен обхват - най-голямата стойност на измерваната величина. В комбинираните електроизмервателни уреди обхватите са няколко за различните величини. Най-малкият обхват обикновено е равен на обхвата на използваната измерителна система.

- Константа на обхвата k (цена на едно деление) - стойността на измерваната величина, която съответства на едно деление от скалата на уреда. Ако с $X_{сп}$ се означава обхвата, а с n общият брой деления на

скалата, константата k се изчислява като:

$$(3) \quad k = \frac{X_{ep}}{n}$$

Размерността на k е равна на размерността на измерваната величина за едно деление. При използване на една и съща скала за различните обхвати на уреда се получават различни константи.

- Чувствителност α е величина, реципрочна на константата на обхвата: $\alpha = 1 / k$. Дава броя деления, които съответстват на единица мярка от измерваната величина.

- Клас на точност - дава оценка за относителната грешка, наричана още приведена грешка ε_n , получена като отношение на абсолютната грешка ΔX (отклонението на измерената от истинската стойност) към измервателния обхват X_{ep} :

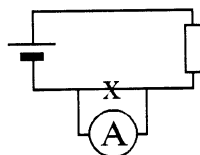
$$(4) \quad \varepsilon_n = \frac{\Delta X}{X_{ep}} \quad \text{или изразена в проценти} \quad \varepsilon_n[\%] = \frac{\Delta X}{X_{ep}} \cdot 100\%$$

При комбинираните уреди точността може да бъде различна за различни величини и обхвати. Максималната точност обикновено е равна на класа на точност на измерителната система.

3. Работа с електроизмерителни уреди.

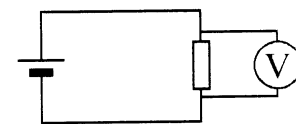
3.1. Работа с амперметър.

За измерване амперметърът се включва последователно в електрическата верига, както е показано на Фиг.6. Там, където



Фиг.6.

трябва да се измери тока, веригата се прекъсва (мястото, означено с кръстче) и краищата на прекъснатия проводник се свързват с амперметъра. Обхватът на амперметъра трябва да е по-голям от очакваната стойност на измерваната величина.



Фиг.7.

3.2. Работа с волтметър.

За измерване волтметърът се включва успоредно на участъка на веригата, както е показано на Фиг.7. Обхватът на волтметъра трябва да е по-голям от очакваната стойност на напрежението.

3.3. Работа с комбинирани електроизмервателни уреди.

1). При работа с комбинираните електроизмервателни уреди с електромеханична измерителна система може да се прилага следната

последователност при извършване на измерването:

- Определяне на вида на измерването - изяснява се вида на измерваната величина - дали това е напрежение или големина на тока, прав или променлив е тока, или ще се измерва друга величина. След това уредът се наглася за нейното измерване чрез съответните превключватели съгласно инструкцията за експлоатация.

- Определяне на обхвата на уреда - подбира се обхват, който да е по-голям от очакваната стойност на измерваната величина. Ако тази стойност е неизвестна, уредът се поставя на най-големия обхват и след това той се намалява, докато се получи възможно най-голямо отклонение на стрелката, без обаче тя да излиза извън скалата.

- Определяне константата на избрания обхват.

За правилното определяне стойността на търсената величина е необходимо предварително да се определи константата k на избрания обхват X_{ep} съгласно (3), като се уточни по коя скала ще се извърши отчитането и колко е общия брой деления n на скалата.

- Намиране стойността на измерваната величина.

При извършване на измерването стрелката на уреда се отклонява до някакво деление n_o , което се отчита. Стойността на търсената величина X се изчислява по формулата:

$$(5) \quad X = k \cdot n_o = \frac{X_{ep}}{n} \cdot n_o$$

- Определяне на грешката при измерването.

Общата грешка при извършване на дадено измерване е сумата от приведената грешка ε_n , зададена с класа на точност, и получената относителна грешка ε при отчитането на измерваната величина, изразена чрез деленията на скалата n_o или измерената стойност X :

$$(6) \quad \varepsilon = \frac{\Delta X}{X} = \frac{1}{n_o} \quad \text{или в проценти} \quad \varepsilon[\%] = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% = \frac{1}{n_o} \cdot 100\%$$

където ΔX е абсолютната грешка за измерването на съответната величина, равна на стойността на едно деление на скалата или всъщност това е константата на обхвата k . Относителната грешка намалява при по-голям брой отчетени деления. В повечето случаи тя се явява основната грешка при измерването.

2). При работа с електронните уреди преди измерването също е необходимо да се определи вида на измерването и обхвата на уреда, след което цифровата индикация направо изписва измерената стойност, без да са необходими изчисления.

Общата грешка при измерване с електронен уред е сума от тази, зададена с класа на точност, и грешката, получена при индикацията на числото, която може да бъде пренебрегната.

3). Основните задачи при измерванията са два вида.

При първия вид с уреда се измерва неизвестна стойност на дадена величина. Това става с извършване на действията, посочени в т.3.3.1.

Пример.1. Известен (определен) е обхвата на волтметър $U_0 = 6 \text{ V}$ и общият брой деления на скалата е $n = 30$. При измерването уредът отчита $n_0 = 23 \text{ d}$ (деления). Търси се стойността на измерваното напрежение, относителната и абсолютната грешка при отчитането.

Константата на обхвата е $k = U_0/n = 6 \text{ V} / 30 \text{ d} = 0,2 \text{ V/d}$.

Стойността на напрежението е $U = k.n_0 = 0,2 \text{ V/d} \cdot 23 \text{ d} = 4,6 \text{ V}$.

Относителната грешка $\varepsilon[\%] = (1/n_0).100\% = (1/23).100\% = 4,35 \%$.

Абсолютната грешка $\Delta U = \varepsilon.U = 0,435 \cdot 4,6 \text{ V} = 0,2 \text{ V}$ - равна на константата k . Резултатът се представя с получената стойност и абсолютната грешка във вида: $U_u = 4,6 \pm 0,2 \text{ V}$ и означава, че истинската стойност е в интервала от 4,4 до 4,8 V.

При втория вид с помощта на уреда трябва да се измери точно определена стойност на величината.

Пример.2. Известен е обхватът на амперметър $I_0 = 750 \text{ mA}$ и общият брой деления на скалата е $n = 30$. Трябва да се задават стойности на тока $I_1 = 50$, $I_2 = 100$, $I_3 = 150$ и т.н. Търси се броят деления на амперметъра, за да се зададе необходимия ток.

Константата на обхвата е $k = I_0/n = 750 \text{ mA}/30 \text{ d} = 25 \text{ mA/d}$.

За броя деления след преобразуването на (6) се получава: $n_0 = X/k$, като в примера величината X е големината на тока I .

Броя деления е: $n_1 = I_1/k = 50 \text{ mA} / 25 \text{ mA/d} = 2 \text{ d}$, $n_2 = I_2/k = 100 \text{ mA} / 25 \text{ mA/d} = 4 \text{ d}$, $n_3 = I_3/k = 150 \text{ mA} / 25 \text{ mA/d} = 6 \text{ d}$. Вижда се, че за нарастване на тока с по 50 mA деленията трябва да се увеличават с по 2 броя.

Абсолютната грешка е равна на константата - 2,5 mA, а по (7) може да се получи и относителната грешка, която за първата стойност е твърде голяма - 50%, а за другите съответно 25% и 17%.

ЕЛЕКТРИЧНО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА МЕТАЛНИ ПРОВОДНИЦИ

1. Теоретични бележки.

Електричното съпротивление е величина, която характеризира свойствата на веществата да провеждат електричния ток. Съгласно закона на Ом големината на протичащия ток I през метален проводник е пропорционален на приложеното напрежение U в краищата на проводника.

$$(1) \quad I = G \cdot U = \frac{1}{R} \cdot U$$

където G е електрическа проводимост, а R - електрическо съпротивление на проводника. От (1) $R = U/I$ и за размерността на съпротивлението се получава Волт/Ампер [V/A], наречена Ом [Ω]. Единицата за проводимост е Ампер/Волт [A/V], наречена Сименс [S].

Електричното съпротивление на еднороден метален проводник с форма на нишка зависи от дължината L и сечението S :

$$(2) \quad R = \rho \cdot \frac{L}{S}, \quad \text{където} \quad (3) \quad \rho = \frac{R \cdot S}{L}$$

се нарича специфично съпротивление, което отчита естеството на проводника. За размерността му от (3) се получава Ом.метър [$\Omega \cdot \text{m}$]. В техническата литература специфичното съпротивление се дава с единицата $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, като $1 \Omega \cdot \text{m} = 10^6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Съпротивление може да се измери със схемата, показана на Фиг.1., наречена мост на Уитстон, съставен от четири съпротивления. Към т. А и В е свързан източник на напрежение, а в т. С и Д - микроамперметър. Стойността на неизвестното съпротивление R_x може да се определи при известни R_2 , R_3 и R_4 при условие, че през микроамперметъра не протича ток. Тогава мостът е уравновесен (балансиран), $U_{CD} = 0$, $U_{AC} = U_{AD}$, $U_{BC} = U_{BD}$, $I_{AC} = I_{CB}$, $I_{AD} = I_{DB}$. Но $U_{AC} = I_{AC} \cdot R_x$, $U_{CB} = I_{CB} \cdot R_2$, $U_{AD} = I_{AD} \cdot R_3$, $U_{DB} = I_{DB} \cdot R_4$. Оттук се получава:

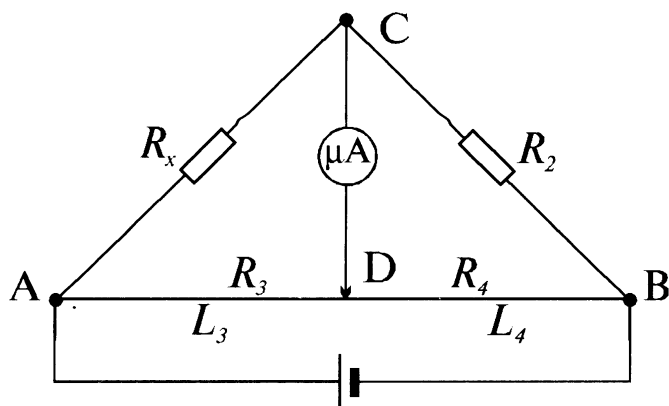
$$(4) \quad \frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}, \quad \text{откъдето} \quad (5) \quad R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}$$

2.Схема на опитната установка.

Подбирането на съпротивленията R_2 , R_3 и R_4 за уравнивяване на моста е трудно, затова R_3 и R_4 се заменят с проводник с голямо съпротивление, по който се движи плъзгач D - Фиг.1. Частта от проводника от т.А. до плъзгача (т.Д.) задава съпротивлението R_3 , а частта от плъзгача (т.Д.) до т.В. задава R_4 . Чрез плъзгача се изменят едновременно и R_3 , и R_4 . Като се изразят R_3 и R_4 от (2) и се замести

отношението им в (5), за R_x се получава:

$$(6) \quad R_x = R_2 \cdot \frac{L_3}{L_4}$$



Фиг.1.

3.Задачи за изпълнение.

Задача 1. Измерване на съпротивлението и определяне на специфичното съпротивление на различни проводници.

Използват се проводници с означени дължина L и диаметър d . Измерва се съпротивлението R_x , изчислява се сечението S и специфичното съпротивление ρ по (3). Резултатите се нанасят в таблица.

Задача 2. Измерване на съпротивлението и определяне на специфичното съпротивление на проводник с различна дължина и сечение.

Използува се проводник, разделен на 4 равни части, всяка с дължина L_0 и диаметър d , с който се съставят 8 комбинации, за които се измерва съпротивлението, пресмята се сечението и специфичното съпротивление ρ по (3) и данните се нанасят в таблицата.

Задача 3. Преценка на точността.

Съгласно (6) за относителната грешка $\Delta R_x / R_x$ се получава:

$$(7) \quad \frac{\Delta R_x}{R_x} = \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta L_3}{L_3} + \frac{\Delta L_4}{L_4} \right) \cdot 100 [\%]$$

където $\Delta R_2 / R_2$ е относителната грешка на известното съпротивление, а ΔL_3 и ΔL_4 са абсолютните грешки на дължините L_3 и L_4 , които се приемат равни на точността на измерването им.

Относителната грешка $\Delta \rho / \rho$ при използване на (3) се получава:

$$(8) \frac{\Delta\rho}{\rho} = \left(\frac{\Delta R_x}{R_x} + 2 \cdot \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta L_0}{L_0} \right) \cdot 100 [\%]$$

където $\Delta R_x / R_x$ е пресметнатата по (7) стойност, ΔL_0 и Δd са абсолютните грешки на дължината L_0 и диаметъра d на проводника.

Да се анализират данните от таблиците да се прецени как зависи съпротивлението и специфичното съпротивление от веществото, дължината и сечението на проводника.

ВОЛТ-АМПЕРНА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ЛАМПА С НАЖЕЖАЕМА НИШКА

1. Теоретични бележки.

Електричен ток се нарича насоченото движение на електрични заряди. За протичане на ток е необходимо наличието на две условия: да има свободни електрични заряди и електродвижещо напрежение.

Според класическата теория за проводимостта на металите в тях свободни електрични заряди са електроните. Самият метал в твърдо състояние се разглежда като кристална решетка от положително заредени йони, и свободни електрони, които се движат хаотично между йоните на кристалната решетка.

За привеждане на свободните електрични заряди в насочено движение е необходима сила, която се създава в източниците на електродвижещо напрежение от неелектрични сили, действащи против електричните. Източниците на електродвижещо напрежение се характеризират с величината електрическо напрежение U^* , което е работата, извършена от външните сили за пренасяне на единица положителен заряд от единия до другия полюс на източника:

$$(1) U^* = \frac{A}{q}$$

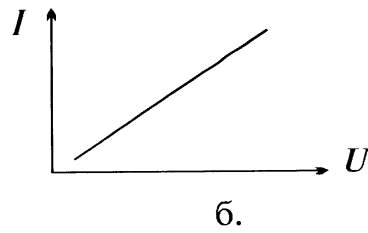
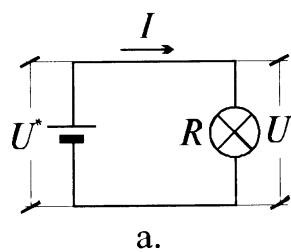
където A е извършената работа, а q е пренесения заряд. От (1) за размерността на напрежението се получава Джаул/Кулон [J/C], а единицата е наречена Волт [V].

Електрическият ток се характеризира с големината I , която за постоянен ток е заряда, преминал през проводника за единица време:

$$(2) \quad I = \frac{q}{t}$$

където t е времето за протичане на заряда q . От (2) размерността на големината на тока се получава Кулон/секунда [C/s]. Тази единица се нарича Ампер [A].

В електрическа верига от източник на електродвижещо напрежение и консуматор (Фиг.1.а.), токът зависи от приложеното напрежение. Тази зависимост се нарича волт-амперна характеристика (Фиг.1.б.) и се дава със закона на Ом за част от веригата:



$$(3) \quad I = \frac{U}{R}$$

където R се нарича електрическо съпротивление и характеризира свойствата на веществата. От (3)

Фиг.1.

размерността му се получава Волт/Ампер [V/A], наречена Ом [Ω].

Съгласно класическата теория за проводимостта на металите електрическото съпротивление се дължи на ударите, които изпитват електроните с кристалната решетка при своето насочено движение и пречат на придвижването им. Съпротивлението като коефициент на пропорционалност в (3) явно не зависи от напрежението и тока, но те могат да му влияят косвено и съпротивлението зависи от други фактори, най-важен от които е температурата.

Произведението от напрежението върху консуматора U , равно на електродвижещото U^* за схемата на Фиг.1.а., по големината на тока I дава работата, извършена от електрическите сили за пренасяне на зарядите през консуматора за единица време, т.е. мощността P :

$$(4) \quad P = U.I$$

От (4) за размерността на мощността се получава Волт.Ампер [V.A]. Тази единица се нарича Ват [W].

Мощността в консуматора се получава при отдаване на енергия от електроните на кристалната решетка на проводника при ударите им с нея. Температурата се повишава и се увеличава съпротивлението на проводника. Ако съпротивлението му е R_c при температура T_c , след загряване до друга температура T то нараства и става R . Увеличаването на съпротивлението $\Delta R = R - R_c$ зависи от началната стойност R_c и

промяната на температурата $\Delta T = T - T_c$:

$$(5) \Delta R = R - R_c = \alpha \cdot R_c \cdot \Delta T$$

където α се нарича температурен коефициент на съпротивлението и е характеризира веществото, мерната му единица е $1/\text{Келвин}$ [K^{-1}].

Поради зависимостта си от температурата в закона на Ом (3) R не е постоянно и волт-амперната характеристика няма да е права линия.

От (5) за температурната разлика $\Delta T = T - T_c$ и за температурата T , до която се е нагрят проводника, се получава:

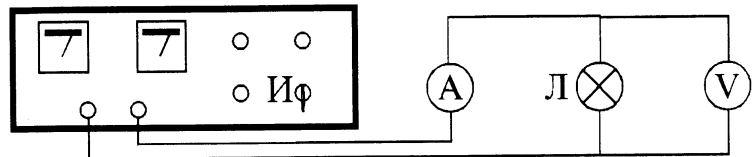
$$(6) \Delta T = T - T_c = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{R}{R_c} - 1 \right) \quad (7) \quad T = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{R}{R_c} - 1 \right) + T_c$$

2.Схема на опитната установка.

От източник на регулируемо напрежение И се захранва лампата с нажежаема нишка Л - Фиг. 2. . Напрежението се отчита по волтметъра V, големината на тока - по амперметъра А.

3.Задачи за изпълнение.

Задача 1. Снемане на волт-амперната характеристика на лампата.



Фиг. 2.

От източника на напрежение се задават стойности на U от 0 до 24 през 1 V и се отчита тока I . Резултатите се нанасят в таблица.

Задача 2. Пресмятане характеристиките на лампата.

Изчислява се мощността P по (4), съпротивлението $R = U/I$, определено от (3). Съпротивлението R_c и температурата T_c при която е измерено, са означени на установката. Пресмята се отношението R/R_c , необходимо за изчисляване температурата T на нишката по (7).

Задача 3. Графическо представяне на характеристиките.

Построява волт-амперната характеристика с координатни оси U и I . Поради влиянието на температурата наклонът на линията намалява към по-високите стойности на напрежението.

Построява се зависимостта на мощността P от напрежението U , която е квадратична и наклонът на линията се увеличава към по-високите стойности на напрежението.

Представят се графически зависимостта на съпротивлението R от напрежението U и от температурата T на нишката.

ОПРЕДЕЛЯНЕ КАПАЦИТЕТА НА КОНДЕНЗАТОР ПРИ РАЗРЕЖДАНЕ

1. Теоретични бележки.

Електрическият капацитет е величина, която характеризира способността на телата да натрупват електрични заряди, при което се увеличава техният потенциал. Капацитетът C дава връзката между получения потенциал φ и заряда q , предаден на тялото:

$$(1) \quad C = \frac{q}{\varphi}$$

Единицата за капацитет съгласно (1) има измерение Кулон за Волт и е наречена Фарад [F]. За обикновено срещаните капацитети тази стойност е твърде голяма и затова се използват по-малките кратни стойности микрофарад [μF] - $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$; нанофарад [nF] - $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$; пикофарад [pF] - $\text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$.

За натрупване на заряди се използва система от два метални проводника - електроди, наречена кондензатор. В електрическите схеми кондензатора се означава със знака " \parallel - ".

При нормални условия двете плочи на кондензатора не са заредени и потенциалите на плочите са $\varphi_0 = 0$. При пренасяне на заряд $+q$ от едната на другата плоча тази, от която е отнет заряда ще се зареди

отрицателно до потенциал φ^- , а другата ще се зареди положително до потенциал φ^+ . Разликата в потенциалите на плочите на кондензатора се нарича електрическо напрежение U и е пропорционално на предадения заряд q :

$$(2) \quad U = \varphi^+ - \varphi^- = \frac{q}{C}$$

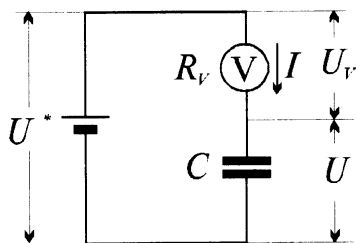
Зареждането на кондензатор може да стане по схемата, показана на Фиг.1.а. От източник с напрежение U^* кондензатора с неизвестен капацитет C се зарежда през вътрешното съпротивление R_V на един волтметър, който отчита напрежението U_V , равно на разликата между напрежението на източника и на кондензатора.

Съгласно (2) промяната на напрежението върху кондензатора dU се дължи на предаден на кондензатора елементарен заряд dq .

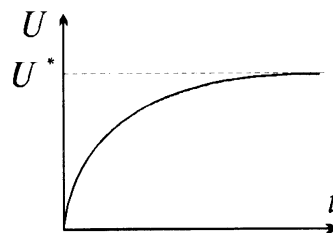
$$(3) \quad dU = \frac{dq}{C} \quad \text{като} \quad (4) \quad dq = I \cdot dt$$

където I е протеклия ток на зареждане за интервал от време dt . Той е равен на пада на напрежение U_V , разделен на вътрешното съпротивление R_V на волтметъра: $I = U_V / R_V$. Напрежението върху волтметъра в текущия момент е $U_V = U^* - U$. След заместване в (3) се получава диференциалното уравнение на зареждането:

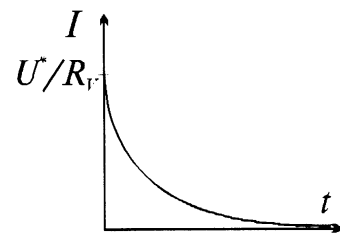
$$(5) \quad dU = \frac{U^* - U}{R_V \cdot C} \cdot dt$$



а.



б.



в.

Фиг.1.

Ако в началния момент $t = 0$ напрежението на кондензатора е $U = 0$, за напрежението U при зареждане се дава следното решение:

$$(6) \quad U = U^* \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$

където $e = 2,7183\dots$ е основата на натуралните логаритми, а

произведението $R.C = \tau$ се нарича времеконстанта, има размерност на време и се мери в секунди. На Фиг.1.б. е дадена зависимостта на напрежението на кондензатора U като функция на времето t .

Ако в (6) U се замени с $(U^* - U_V)$, след преобразуване за напрежението върху волтметъра U_V се получава:

$$(7) \quad U_V = U^* \cdot e^{-\frac{t}{R_V.C}}$$

За определяне на капацитета при известни U^* и R_V трябва да се измери напрежението U_V в даден момент от време t от началото на зареждането, като U_V е $1/2$ до $1/5$ от U^* , което се отчита по волтметъра в началния момент на включване към източника, когато още $U = 0$. Ако в (7) двете страни се разделят на R_V , се получава:

$$(8) \quad I = I^* \cdot e^{-\frac{t}{R_V.C}}$$

където I е токът в текущия, а I^* е токът в началния момент на зареждането. Графика на тока при зареждане е показана на Фиг.1.в.

Капацитетът на кондензатор при разреждане се определя по схемата на Фиг.2.а. От напрежение U_0 кондензатора се разрежда през вътрешното съпротивление R_V на волтметъра V . Съгласно (3) промяната на напрежението dU се дължи на отнет елементарен заряд dq , който за интервал от време dt се определя по (4), където I е токът при разреждане. Съгласно закона на Ом $I = U/R_V$. Изменението на напрежението върху кондензатора е:

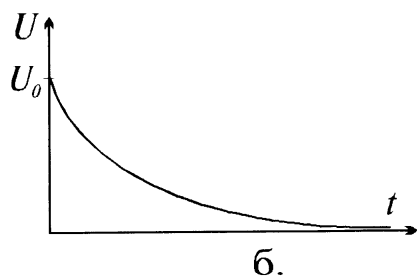
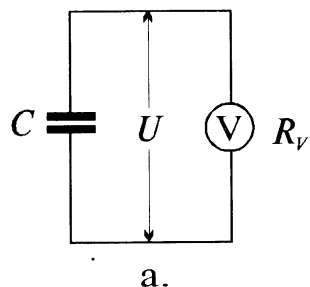
$$(9) \quad dU = \frac{U}{R_V.C} \cdot dt$$

Ако в началния момент на $t = 0$ напрежението на кондензатора е U_0 , решението за напрежението U при разреждане е:

$$(10) \quad U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R_V.C}}$$

Промяната на напрежението на кондензатора U с течение на времето t е показана на Фиг.2.б. Токът при разреждането ще има подобен вид, тъй като той е пропорционален на напрежението.

След делене на U_0 , логаритмуване и преобразования от (10) за капацитета C се получава:



Фиг.2.

$$(11) C = \frac{t}{R_V \cdot \ln(U_0 / U)}$$

2.Схема на опитната установка.

За определяне на капацитета на кондензатор при зареждане се използва схемата на Фиг.1.а., а при разреждане тази на Фиг.2.а.

3.Задачи за изпълнение.

Задача 1.Определяне неизвестния капацитет на кондензаторите.

След зареждане към кондензатора се свързва волтметърът по схемата на Фиг.2.а. Когато волтметърът покаже кръгла стойност, която се приема за U_0 , се пуска хронометърът, спира се когато напрежението намалее от 2 до 5 пъти спрямо първоначалното до стойност U , и се отчита времето t . Получените величини се нанасят в таблица и по (11) се изчислява неизвестният капацитет. Стойностите се превръщат в микроФаради.

Задача 2.Определяне на грешката и оформяне на резултата.

Намирането на абсолютната грешка ΔC при определяне на капацитета съгласно (11) може да стане по следната формула:

$$(12) \Delta C = \frac{\Delta t}{t} \cdot C$$

където Δt е абсолютната грешка при отчитане на времето, която е равна на точността на хронометъра, а грешките при отчитането на началната и крайната стойност на напрежението при разреждане се пренебрегват, тъй като отчитането им става на точно деление.

Окончателно резултатът за всеки капацитет се записва във вида:

$$(13) C_u = (C \pm \Delta C) [\mu F]$$

ОПРЕДЕЛЯНЕ ДЪЛЖИНАТА НА СВЕТЛИННАТА ВЪЛНА С ПОМОЩТА НА ДИФРАКЦИОННА РЕШЕТКА

1. Теоретични бележки.

Дифракцията е отклонение на вълните от праволинейното им разпространение при преминаване край краищата на прегради, или през тесни отвори с размери, съизмерими с дължината на вълната.

Интерференция се наблюдава при сумирането на вълни от два източника и се изразява в усилването на вълната в едни и отслабване в други части от пространството. Интерференцията е устойчива при условие, че източниците са кохерентни т.е. трептенията им са с еднакви честоти и постоянна фазова разлика.

Ако източника на вълната извършва трептения по закона:

$$(1) \quad s = s_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

То трептенията на точка от средата на разстояние r от източника ще закъсняват и ще стават по закона:

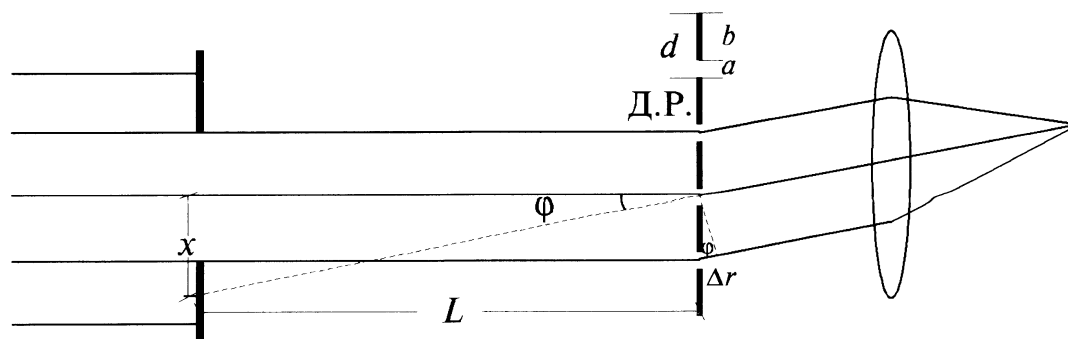
$$(2) \quad s = s_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 2\pi \cdot r / \lambda)$$

където в (1) и (2) s се нарича елонгация, s_0 е нарича амплитуда и е максималната стойност на величината, характеризираща вълната, λ се нарича дължината на вълната и е разстоянието, изминато от вълната при едно трептене, ω е кръговата честота, t е текущото време. За различни места от средата уравнението на вълната (2) ще е различно.

Добре изразена интерференчна картина се получава с дифракционна решетка, която е съвкупност от голям брой процепи (Фиг.1). Съгласно принципа на Хюйгенс-Френел всеки процеп може да се разглежда като точков източник, като за така получените източници е изпълнено условието за кохерентност. Основни величини, характеризиращи дифракционната решетка Д.Р. са ширината на процепа a , на преградата b и тяхната сума, наречена константа на дифракционната решетка $d = a + b$. Разликата между ходовете на двата лъча ще бъде:

$$(3) \Delta r = d \cdot \sin \varphi$$

където φ е ъгълът между падащия и дифрактирания лъч.



Фиг.1.

Интерференчната картина се получава в окото на наблюдателя, а той вижда образа на екрана x , през процепа на който преминава тесен сноп успоредни лъчи. Ако трептенията от два съседни отвора на решетката стават по закона (1), то в дадена точка от окото на наблюдателя вълните ще имат уравнения:

$$(4) s_1 = s_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 2\pi \cdot r_1 / \lambda) \quad \text{и} \quad (5) \quad s_2 = s_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - 2\pi \cdot r_2 / \lambda)$$

Резултантното трептене в точката е сума от двете: $s_x = s_1 + s_2$:

$$(6) s_x = S_x \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad \text{където} \quad (7) S_x = \sqrt{2s_0 \cdot \{1 + \cos[2\pi \cdot (r_2 - r_1) / \lambda]\}}$$

е амплитудата на резултантното трептене, която зависи от разликата в разстоянията от източниците до точката $\Delta r = r_2 - r_1$. Условието за максимум и минимум на амплитудата са:

$$(8) \Delta r = 2k \cdot \lambda / 2 \text{ за максимум, и } (9) \Delta r = (2k+1) \cdot \lambda / 2 \text{ за минимум}$$

където $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$.

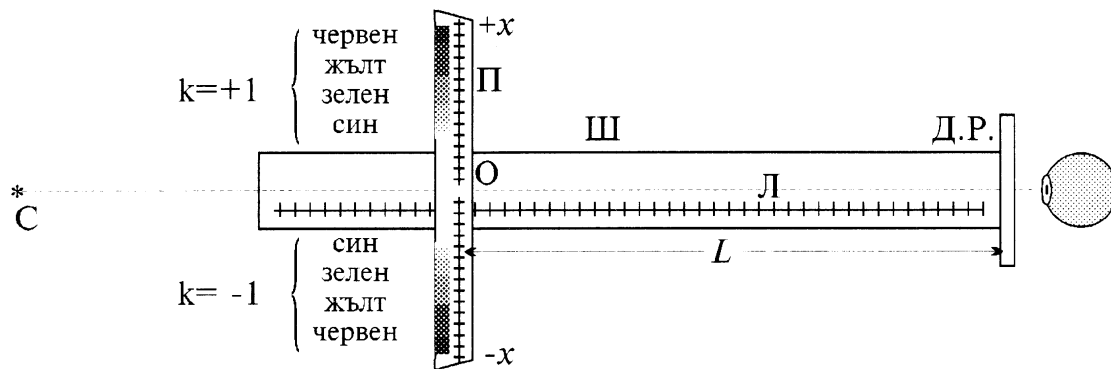
Ако размерите d и x са много по-малки от L , ъгълът φ е малък и тогава приблизително $\text{tg} \varphi = \sin \varphi = \varphi = x/L$. При условието за максимум (8) и от (3) за дължината на вълната λ се получава:

$$(10) \lambda = \frac{x \cdot d}{k \cdot L}$$

Числото k се нарича порядък на съответния максимум. То приема стойности $\pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$, съответно първи, втори и т.н. порядък. Условието за максимуми на различна дължина на вълната се получава при различно x и при пропускане на бяла светлина тя се разлага на съставлящите я цветове. Ясно разграничаване на цветовете се получава за първите няколко порядъка.

2.Схема на опитната установка.

От източника C светлината преминава през отвора O на пластинката Π , който пропуска сноп успоредни лъчи - Фиг.2. На пластинката Π е поставена мерната линейка X и двете могат да се придвижват по шината Ш , на която има друга линия L . На края на шината е дифракционната решетка Д.Р. . Преминалата през дифракционната решетка светлина попада в окото на наблюдателя, където дифрактиралите лъчи се фокусират върху ретината и върху мерната линейка X наблюдателят виждат цветовете, съставлящи светлината.



Фиг.2.

3.Задачи за изпълнение.

Задача 1. Определяне отклонението на лъчите за различни цветове.

Източникът на светлина C , отворът O , средата на дифракционната решетка и окото на наблюдателя трябва да лежат на права линия. По линията L се наглася възможно по-голямо разстояние. По мерната линейка X се отчита координатата x за първия максимум за средата на всеки цвят отляво ($k = -1$) и отдясно ($k = +1$) на отвора. Получените резултати се нанасят в таблица.

Задача 2. Определяне дължината на светлинната вълна.

За всеки цвят се определя дължината на вълната по (11). Константата d е означена на дифракционната решетка. Резултатите се превръщат в нанометри ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)

Задача 3. Определяне на грешката и оформяне на резултата.

На основата на (10) за абсолютната грешка се дава формулата:

$$(11) \Delta\lambda = \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta L}{L} \right) \cdot \lambda$$

Където Δx и ΔL са абсолютните грешки при измерване на съответните величини, равни на точността на използваните уреди.

Крайнният резултат за всяка дължина на вълната се дава във вида:

$$(12) \lambda_u = (\lambda + \Delta\lambda) \text{ [nm]}$$

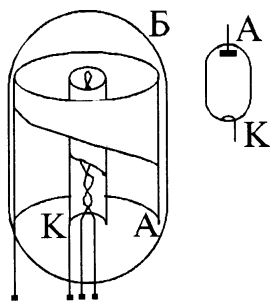
ОПРЕДЕЛЯНЕ СПЕЦИФИЧНИЯ ЗАРЯД НА ЕЛЕКТРОНА ПО МЕТОДА НА МАГНЕТРОНА

1. Теоретични бележки.

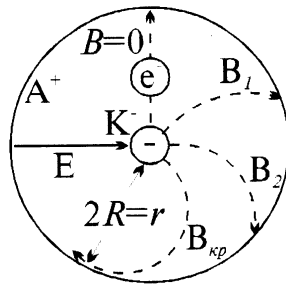
Най-важните характеристики на електрона са масата и електричният заряд. Масата характеризира инертността на частицата по отношение на действащите върху нея сили, а електричният заряд е причина върху електрона да действуват електрически и магнитни сили. Отношението на заряда e към масата m : e/m , се нарича специфичен заряд на електрона и е друга важна негова характеристика. Единицата за специфичния заряд се получава Кулон/килограм [C/kg].

Изучаването на движението, което извършва електрона, поставен при познати условия, дава възможност да се определи неговия специфичен заряд. Такива условия има в двуелектродната лампа - вакуумния диод, конструкцията на който е показана на Фиг.1.а. Източникът на свободни електрони е катодът К, който представлява метална тръбичка със специално покритие на повърхността, която се загрява до висока температура (1000 - 1500 К) от поставено в нея микронагревателче. Симетрично около катода е разположен другият електрод на лампата - анодът А, който представлява метален цилиндър. Цялата конструкция е поставена в стъклен балон Б, от който е изтеглен въздух. Изводи от катода, анода и микронагревателчето са изведени върху цокъла на лампата.

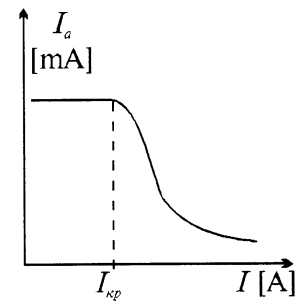
Към отоплението на лампата се подава напрежение няколко волта, катодът се свързва с отрицателния, а анодът с положителния полюс на друг източник на напрежение със стойност няколко десетки волта. На електрон, отделен от повърхността на катода с нулева начална скорост, действа електрична сила F_e с големина:



а.



б.



в.

Фиг.1.

$$(1) F_e = e \cdot E$$

където E е интензитета на електричното поле, създадено в лампата (Фиг.1.б.). Под действието на тази сила електронът се ускорява от катода към анода и скоростта му нараства. При достигане до анода със скорост v кинетичната му енергия ще бъде равна на работата, извършена от силата на полето:

$$(2) \frac{m \cdot v^2}{2} = e \cdot U$$

където U е напрежението между катода и анода.

При въздействие с магнитно поле с индукция B и посока, перпендикулярна на скоростта v , на електрона действа т.нар. Лоренцова сила F_L , която се явява центростремителна сила: $F_L = F_{uc}$ за която може да се запише:

$$(3) F_L = e \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

С увеличаване скоростта на електрона Лоренцовата сила расте. Под действието на тази сила електронът се движи по окръжност с радиус R , получен след определяне на v от (2) и заместване в (3):

$$(4) R = \frac{\sqrt{2U}}{B \cdot \sqrt{e/m}}$$

При равни други условия радиусът на окръжността R зависи само от индукцията на магнитното поле B . При липса на магнитно поле електрона ще се движи по права линия от катода към анода и през лампата ще протича аноден ток I_a . При по-големи стойности на индукцията траекторията на електрона ще бъде окръжност с по-малък радиус. При някаква стойност на индукцията $B_{кр}$ този радиус ще стане толкова малък, че електрона няма да достига анода и анодният ток I_a ще намалее до нула. Тогава диаметърът на окръжността ще бъде $2R =$

r , където r е радиуса на анода при условие, че радиуса на катода r' е пренебрежимо малък спрямо r . След заместване на R в (4) след преобразуване за специфичния заряд се получава:

$$(5) \quad \frac{e}{m} = \frac{8 \cdot U}{r^2 \cdot B_{кр}^2}$$

За определянето на специфичния заряд е необходима критичната стойност на магнитната индукция $B_{кр}$, която за един електрон се определя от условието $2R = r$. Анодният ток обаче не се дължи само на един електрон, и затова той не намалява изведнъж, а постепенно.

За получаване на магнитно поле се използва соленоид, при който магнитната индукция B е пропорционална на тока I през него:

$$(6) \quad B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot N \cdot I}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

където μ и μ_0 са магнитната проницаемост съответно на веществото и на вакуума, N е броят на навивките на соленоида, L е дължината, D е диаметъра му. Единица за магнитна индукция в система SI е Тесла [Т].

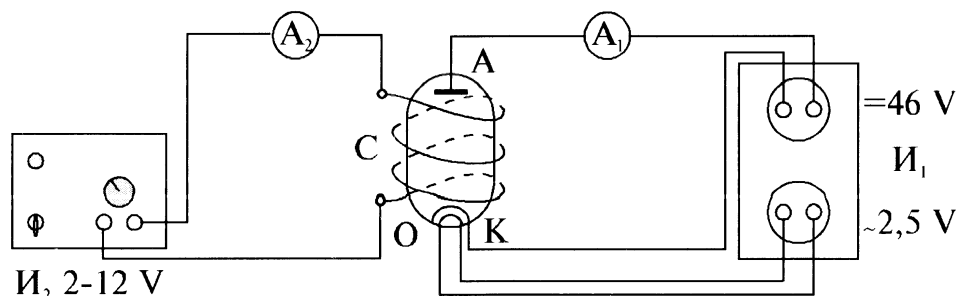
Стойността на критичната индукция $B_{кр}$ се получава при съответният критичен ток през соленоида $I_{кр}$. Примерен вид на реалната зависимост на анодния ток I_a от тока през соленоида I е даден на Фиг.1.в. За критична стойност $I_{кр}$ се приема стойността му в началото на участъка, в който започва да намалява анодния ток I_a .

След заместване на (6) в (5) за специфичния заряд се получава:

$$(7) \quad \frac{e}{m} = \frac{8 \cdot U \cdot (L^2 + D^2)}{(r \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot N \cdot I_{кр})^2}$$

2.Схема на опитната установка.

Опитната установка е макет с монтиран на него вакуумен диод Д тип 2Ц2С - Фиг.2. Отоплението на диода се захранва от източника I_1 . От други клеми на същия източник се подава постоянно напрежение



Фиг.2.

между катода и анода. Анодният ток се измерва с амперметъра A_1 . Диодът е поставен във вътрешността на соленоида S , който се захранва от регулируем източник на право напрежение I_2 . Токът през соленоида се измерва с амперметъра A_2 .

3. Задачи за изпълнение.

Задача 1. Снемане на зависимостта на анодния ток I_a от тока през соленоида I .

От източника I_2 се задава токът I през соленоида, измерва се анодния ток I_a и се нанасят в таблица.

Задача 2. Определяне стойността на критичния ток.

Построява графиката $I_a = f(I)$ съгласно Фиг.1.в. и от нея се определя стойността на критичния ток $I_{кр}$ в началото на падащия участък от графиката, на който съответства критична индукция $B_{кр}$.

Задача 3. Пресмятане на специфичния заряд и отразяване на крайния резултат.

Получената стойност за $I_{кр}$ се замества в (7) и се определя специфичния заряд на електрона e/m . Напрежението U между катода и анода се измерва с волтметър, необходимите константи са дадени на установката.

Като се има предвид, че преобладаващата грешка се допуска при намирането на критичния ток $I_{кр}$ от графиката, който в (7) е на втора степен, окончателния резултат се закръглява на две значещи цифри.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОЕФЕКТ

1. Теоретични бележки.

В процеса на взаимодействие на светлината с веществото се наблюдава явлението фотоефект, при което под действието на светлината в кондензираната материя става преразпределяне на енергията на електроните и се появяват свободни електрични заряди.

Фотоефект възниква и от светлина, получена от лампи с нажежаема жичка, които са точкови източници, тъй като размерите им са много по-малки от разстоянието до осветения обект. Характеризират се с величината интензитет W , който е излъчената светлинна енергия за една секунда. Единицата за интензитет на точков източник е основна в система SI и се нарича кандела [cd].

Излъчването от точков източник се разпространява равномерно във всички посоки. Осветеността E , създадена на разстояние r от източника, зависи от неговия интензитет W и е обратно пропорционално на квадрата на разстоянието до обекта на осветяване:

$$(1) \quad E = \frac{W}{r^2}$$

Единицата за осветеност се получава кандела/квадратен метър [cd/m²] и се нарича лукс [lx].

Съгласно квантовата теория светлината се излъчва като поток елементарни частици, наречени фотони, с енергия $\varepsilon = h \cdot \nu$, където h е константата на Планк, а ν е честотата на светлинната вълна. В бялата светлина има фотони с различна енергия ε и честота ν . При попадане върху веществото енергията на един фотон се предава на електрон от неговите атоми. Разпределението на получената от електрона енергия се дава с формулата на Айнщайн за фотоефекта:

$$(2) \quad h \cdot \nu = C + B + A + \frac{m \cdot v^2}{2}$$

където C е работата за отделяне на електрона от атома, B е работата за придвижване до повърхността на веществото, A е работата за отделяне от повърхността, $m \cdot v^2/2$ е кинетичната енергия на електрона след неговото отделяне от веществото.

1.1. Външен фотоефект.

При външния фотоефект от повърхността на металите се избиват електрони при облъчването им със светлина. При това в (2) $C = 0$,

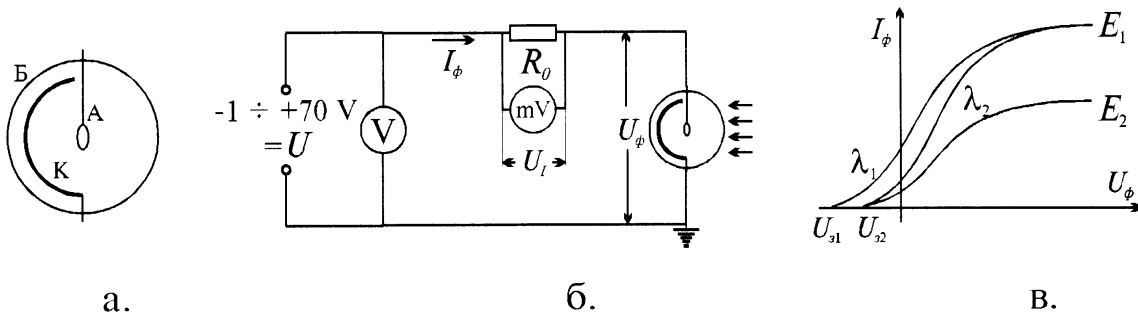
$B \ll A$ и уравнението на Айнщайн за металите има вида:

$$(3) \quad h \cdot \nu = A + \frac{m \cdot v^2}{2}$$

За наблюдаване и изследване на външния фотоефект са необходими специални условия, каквито има в т.нар. фотоклетка. Тя е електровакуумен прибор (Фиг.1.а.), който представлява стъклен балон Б, с изтеглен въздух. В балона има електрод, наречен катод К от веществото, в което се получава фотоефекта, най-често с полусферична форма. За събиране на отделените при фотоефекта електрони във фотоклетката има втори електрод - анод А, който е метален пръстен или диск. Фотоклетката се свързва в електрическа верига, показана на Фиг.1.б., с което се създават условия за насочено движение на фотоелектроните, наречено фототок.

При външния фотоефект са в сила следните закономерности:

1). При една и съща осветеност E големината на протеклия ток I_ϕ през фотоклетката зависи от приложеното върху нея напрежение U_ϕ . Зависимостта $I_\phi = f(U_\phi)$ при $E = \text{const.}$ се нарича волт-амперна характеристика, която е представена графически на Фиг.1.в.



Фиг.1.

2). Броят n на фотоелектроните, отделени за единица време, или съответно фототока I_ϕ , е пропорционален на осветеността E :

$$(4) \quad I_\phi = k \cdot E$$

където k е коефициент на пропорционалност. При достатъчно високо напрежение всички електрони достигат анода и фототокът достига максимална стойност, наречена фототок на насищане $I_{\phi \text{нас}}$ (Фиг.1.в.), пропорционален на осветеността.

3). Максималната скорост v_{max} на избитите фотоелектрони и тяхната кинетична енергия зависи от честотата на светлината ν . От Фиг.1.в. се вижда, че при нулево напрежение върху фотоклетката протича фототок, защото избитите електрони имат някаква начална скорост и достигат до анода. За да стане нула токът, върху фотоклетката се прилага обратно задържащо напрежение U_3 , по което

може да се оцени максималната скорост на фотоелектроните, като от (3) се получава връзката:

$$(5) \quad e \cdot U_3 = \frac{m \cdot v_{\max}^2}{2} = h \cdot \nu - A$$

Откъдето се вижда, че $U_3 \sim \nu$, $m \cdot v_{\max}^2 / 2 \sim \nu$, а $v_{\max} \sim \nu^{1/2}$.

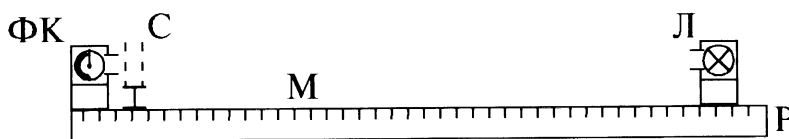
4). За всяко вещество има минимална гранична честота ν_0 (или максимална дължина на вълната λ_{\max}) под (над) която фотоэффект не възниква. Тази стойност се нарича червена граница на фотоэффекта. От уравнението на Айнщайн за металите (3) при нулева скорост за граничната честота ν_0 се получава:

$$(6) \quad \nu_0 = \frac{A}{h}$$

5). Началото и края на отделянето на фотоелектрони започва и завършва веднага след включването и изключването на светлината.

1.2. Схема на опитната установка.

От лампа с нажежаема жичка Л - Фиг.2., светлина попада върху фотоклетката ФК, пред която е поставена стойката С за филтри, с които се променя спектралният състав на светлината. Лампата е поставена на релсата Р и може да се придвижва по нея. Разстоянието се отчита по мерната линия М. Фотоклетката е свързана в електрическа верига, показана на Фиг.1.б., и се захранва от регулируем източник на право напрежение U , което се отчита по волтметъра V. За отчитането на фототока се използва прецизен електронен милivolтметър mV. Той измерва пада на напрежение U_I , получен при протичане на фототока през вътрешното му съпротивление R_0 със стойност $1 \text{ M}\Omega$ ($10^6 \Omega$), при което на 1 mV съответства ток 1 nA (10^{-9} A), а на 1 V - ток 1 mA (10^{-6} A). Напрежението върху фотоклетката U_ϕ е разликата между това на източника U и пада на напрежение U_I при измерване на тока:



Фиг.2.

$$(7) \quad U_\phi = U - U_I$$

1.3. Задачи за изпълнение.

Задача 1. Получаване и графическо представяне на волт-амперната характеристика на фотоклетката при право напрежение.

Задават се стойности на напрежението U на източника от 0 през 5 V до максималната стойност и за всяка се отчита U_I във Волта [V],

равно на фототока I_ϕ в микроампери [μA]. Напрежението върху фотоклетката U_ϕ се получава по (7). Извършват се измервания за различна дължина на вълната λ_1 и λ_2 при една и съща осветеност E_1 , зададена като един и същ фототок при максимално захранващо напрежение, и трето измерване за някоя от използваните дължини на вълната при друга осветеност E_2 , за друго разстоянието от лампата до фотоклетката. Получените величини се нанасят в таблица. На една графика се построяват волт-амперните характеристики $I_\phi = f(U_\phi)$ за правото напрежение, получени при различни условия, които имат вид подобен на Фиг.1.в. за положителните стойности на U_ϕ .

Задача 2. Получаване и графическо представяне на зависимостта на наситения фототок от осветеността.

За определена дължина на вълната се променя осветеността чрез изменение на разстоянието r до лампата и се пресмята като $E = 1/r^2$, където интензитетът W на източника в (1) се приема за единица. Отчита се наситеният фототок $I_{\phi_{нас}}$ при максимално захранващо напрежение и се нанася в таблица. Графически се представя зависимостта $I_{\phi_{нас}} = f(E)$, която има вид на права линия.

Задача 3. Получаване и графическо представяне на волт-амперната характеристика на фотоклетката при обратно напрежение.

За всички възможни дължини на вълната λ се задават отрицателни стойности на напрежението U на източника в милиВолта [mV] от 0 V през 200 mV и за всяка се отчита U_I в милиВолта [mV], което е равно на фототока I_ϕ в наноампери [nA]. Приложеното напрежение върху фотоклетката U_ϕ се получава по (7). Измерванията се извършват при една и съща осветеност E_1 , която се задава като един и същ фототок при максимално захранващо напрежение, получен чрез промяна на разстоянието от лампата до фотоклетката. Резултатите от измерванията се нанасят в таблица.

С резултатите от измерванията на една графика се построяват волт-амперните характеристики $I_\phi = f(U_\phi)$ за обратното напрежение за различни дължини на вълната λ .

Задача 4. Получаване и графическо представяне на зависимостта на задържащото напрежение от честотата и намиране на отделителната работа на фотоелектроните.

От графиката за обратното напрежение за всяка дължина на светлинната вълна се определя задържащото напрежение U_3 , при което фототокът I_ϕ е нула. Стойностите са нанасят в таблица.

За всяка дължина на вълната λ се определя съответстващата и честотата ν по формулата $\nu = c/\lambda$, където c е скоростта на светлината

във вакуум, и се построява графически зависимостта $U_3 = f(\nu)$, която има вид на права линия. От (5) за отделителната работа се получава:

$$(8) A = h.\nu - e.U_3$$

Стойностите на отделителната работа за различни честоти се усредняват. Тъй като точността при определянето не е висока, средният резултат се записва с две значещи цифри.

2.1. Вътрешен фотоефект.

Вътрешен фотоефект се наблюдава в полупроводниците и диелектриците при облъчването им със светлина, при което във вътрешността им стават преходи на електрони от свързано в свободно състояние. Получените свободни електрони не напускат веществото, а остават в неговия обем. Те не са в топлинно равновесие с кристалната решетка, затова се наричат неравновесни токови носители.

При чистите вещества фотоносителите са електрони, получени от атомите на самото вещество, и затова се наричат собствени фотоносители. Те са два вида: свободни електрони, които обуславят т.нар. електронна n-проводимост, и незаети места на електрони (дупки), които обуславят т.нар. дупчеста p-проводимост.

При веществата с примеси фотоносителите най-често се получават от примесните атоми и затова се наричат примесни фотоносители. Те могат да бъдат два вида: донорни (на отдаване на електрони), при което токовете носители са електрони и проводимостта е само електронна n-проводимост, и акцепторни (на залавяне на електрони) при което се създават незаети места на електрони и проводимостта е само дупчеста p-проводимост.

При включване и изключване на светлината достигане на равновесна концентрация на токовете носители става след изтичане на определено време, което означава, че вътрешния фотоефект не е безинерционен като външния.

Преобразувателите, при които се използва вътрешния фотоефект се наричат фотосъпротивления. Основното им свойство е зависимостта на проводимостта им G от осветеността E , създадена от попадналата върху тях светлина: $G = f(E)$.

За получаване на тази зависимост изследваното фотосъпротивление се свързва в схемата на Фиг.3. Върху фотосъпротивлението се прилага напрежение и се измерва протичащия ток, дължащ се на свободните токови носители - електрони, получени при фотоефекта. Проводимостта G на фотосъпротивлението е равна на тока, получен при прилагане на напрежение 1 V върху фотоклетката. При фотоефекта проводимостта G расте с увеличаване на осветеността E и за връзката между тях се получават зависимостите:

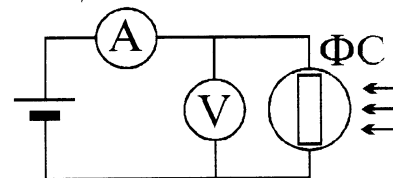
$$(9) \quad G = \frac{I}{U} = k \cdot E$$

където k е коефициент на пропорционалност, зависещ от особеностите на установката за изследване. Размерността му е Ампер/(Волт.люкс) $[A/(V.lx)]$ и има смисъл на чувствителност на фотосъпротивлението към облъчващата го светлина.

Връзката между проводимостта G и осветеността E се намира, като се изследва зависимостта (9). За дадена установка коефициента k и интензивността W на източника са постоянни величини.

2.2.Схема на опитната установка.

Използва се оптичката част на опитната установка на Фиг.2., като на мястото на фотоклетката $\Phi К$ се поставя фотосъпротивлението $\Phi С$, свързано към електрическа верига, показана на Фиг.3. Напрежението на фотоклетката U се измерва с волтметъра V , а токът I с амперметъра A .



Фиг.3.

2.3.Задачи за изпълнение.

Задача 1. Измерване на тока и изчисляване на проводимостта.

Изменя се разстоянието r до лампата и се пресмята осветеността $E = 1/r^2$, като интензитета W на източника в (1) се приема за единица. Измерва се напрежението U , токът I и се определя проводимостта G по (9). Резултатите се нанасят в таблица.

Задача 2. Построяване на зависимостта на проводимостта от осветеността.

С данните се построява графиката $G = f(E)$, като по абсцисата се нанася осветеността E , а по ординатата - проводимостта G . Приблизителен вид на графиката е права линия.

ТЕМПЕРАТУРНА ЗАВИСИМОСТ НА ЕЛЕКТРИЧНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА МЕТАЛ И ПОЛУПРОВОДНИК

1. Теоретични бележки.

Електричното съпротивление е величина, която характеризира свойствата на веществата да провеждат електричния ток. Съгласно закон на Ом големината на тока I през метален проводник е пропорционален на напрежение U в краищата на проводника:

$$(1) \quad I = G \cdot U = \frac{1}{R} \cdot U$$

Величината, означена с G е проводимостта, а $R = 1/G$ е електрическото съпротивление на проводника. Размерността на съпротивлението е Волт/Ампер и е наречена Ом $[\Omega]$. Един Ом съпротивление има този проводник, през който при прилагане на напрежение 1V протича ток 1A.

Електричното съпротивление на еднороден метален проводник с форма на нишка е право пропорционално е на дължината L и обратно пропорционално на сечението S :

$$(2) \quad R = \rho \cdot \frac{L}{S}, \quad \text{където} \quad (3) \quad \rho = \frac{R \cdot S}{L}$$

се нарича специфично съпротивление, което зависи от веществото на проводника. Размерността на ρ от (3) се получава Ом.метър [$\Omega \cdot m$].

Като се има предвид, че проводимостта е реципрочна на съпротивлението, от (2) се получава:

$$(4) \quad G = \frac{S}{\rho \cdot L} = \frac{\sigma \cdot S}{L}, \quad \text{където} \quad (5) \quad \sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{R \cdot S} = \frac{G \cdot L}{S}$$

се нарича специфична проводимост. Единицата за нея е [$\Omega \cdot m$]⁻¹.

В зависимост от специфичното си съпротивление веществата се делят на три големи групи: проводници, полупроводници и диелектрици. Величините σ и ρ имат смисъл на константи, характеризиращи веществото, но в действителност даже за един и същ проводник те зависят от условията, при които е поставен проводника - температура, налягане, облъчване и др.

За изясняване на същността на проводимостта в класическата теория за проводимостта се правят редица опростяващи допускания, при които теорията дава за специфичната проводимост σ израз:

$$(6) \quad \sigma = \frac{q^2 \cdot n}{r}$$

където q е на заряда на токовите носители, n е концентрацията им, а r има смисъл на коефициент на съпротивление при движението на токовите носители. Съгласно (6) проводимостта σ ще зависи от два фактора: от концентрацията n и от коефициента r . И двата фактора зависят от температурата, като според вида на веществото различна тежест има единия или другия фактор.

Зависимостта на съпротивлението от температурата се характеризира с температурният коефициент на съпротивлението α :

$$(7) \quad \alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$$

където R е съпротивлението, а dR е изменението му за безкрайно малко изменение на температурата dT . Единицата за α от (7) е [K^{-1}].

При металите промяната на съпротивлението се дължи на разсейването на токовите носители при движението им в кристалната решетка, което се увеличава с температурата. Чрез α зависимостта на съпротивлението на металите от температурата се дава с формулата:

$$(8) \quad R_M = R_H \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_H)]$$

където R_M е съпротивлението при температура T , а R_H е

съпротивлението при началната температура T_n . Температурния коефициент на съпротивлението α в (8) фигурира като константа, то той също по сложен начин зависи от температурата. За неголеми температурни интервали обаче той може да се счита за постоянен.

При полупроводниците промяната на съпротивлението се дължи на промяната на концентрацията на токовите носители n , която зависи от температурата. Съпротивлението на полупроводника намалява с увеличаване на концентрацията на токовите носители:

$$(9) R_n = R_\infty \cdot e^{\frac{W}{2k \cdot T}}$$

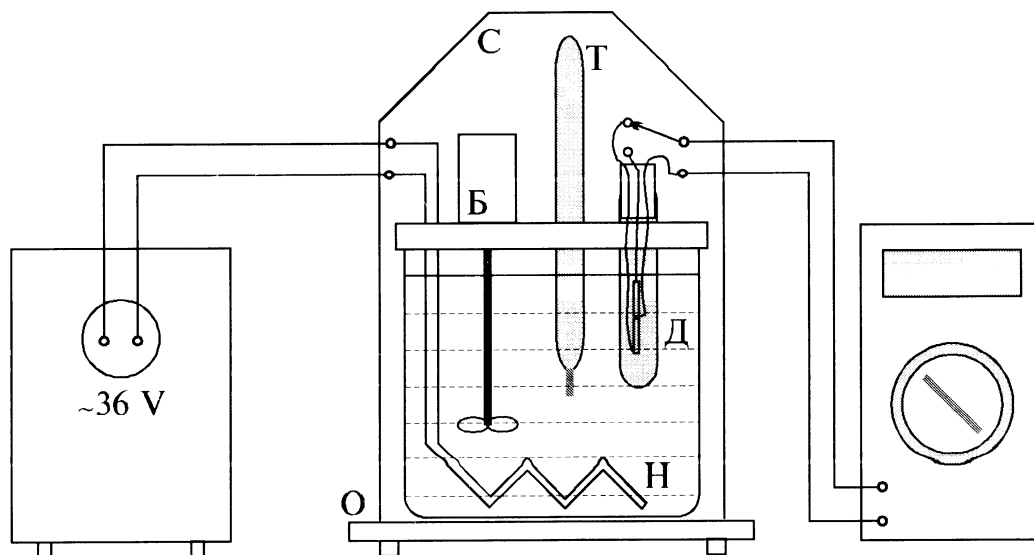
където R_∞ е съпротивлението при достатъчно висока температура $T \gg W/2k$. След заместване на R_n от (9) в (7) за α се получава:

$$(10) \alpha = \frac{W}{2k} \cdot \frac{1}{T^2}$$

От (10) ясно се вижда, че за полупроводниците температурния коефициент на съпротивлението α зависи значително от температурата и неговото определяне има смисъл в само за определена температура или в тесен температурен интервал.

2.Схема на опитната установка.

Изследваните датчици Д са поставени в епруветка, потопена във водна баня В с нагревател Н, бъркалка Б и точен термометър Т. Датчиците, нагревателя, бъркалката и термометъра са закрепени на подвижна стойка С, която може да се придвижва по основата О на работната част (Фиг.2.). Електрическото съпротивление се измерва с цифров измерителен уред. Захранващ блок осигурява променливо напрежение 36 V 3 A за нагревателя и мотора на бъркалката.



Фиг.2.

3. Задачи за изпълнение.

Задача 1. Снемане на стойностите на съпротивлението на метала и полупроводника за различни температури.

Задават се стойности на температурата от началната температура на студената вода до 90°C през 5° и се отчита съпротивлението на метала R_M и полупроводника R_n . Резултатите се нанасят в таблица.

Задача 2. Графическо представяне на температурната зависимост на съпротивлението.

По данните от таблицата на една графика се построява зависимостта $R = f(t^{\circ})$ за метала и полупроводника.

Задача 3. Изчисляване температурния коефициент на съпротивлението.

Температурният коефициент на съпротивлението за метала се изчислява след преобразуването на (8), като температурната разлика се изразява в градуси Целзий t° :

$$(11) \alpha = \frac{1}{R_n} \cdot \frac{R_M - R_n}{t^{\circ} - t_n^{\circ}}$$

Тъй като зависимостта $R = f(t^{\circ})$ за полупроводника не е линейна, температурният коефициент на съпротивлението α зависи от температурата и няма да бъде характеристика на цялата крива. За тесен температурен интервал (между две съседни точки) се определя α по (11) за началото, средата и края на графиката.

ИЗУЧАВАНЕ НА СЛЕДИ НА ЗАРЕДЕНИ ЧАСТИЦИ ПОЛУЧЕНИ В УИЛСЪНОВА КАМЕРА

1. Теоретични бележки.

Характеристиките на изследваните частици се намират при наблюдение на тяхното движение и траектория при поставянето им в определени известни условия, създавани най-често с електрическо и магнитно поле. В магнитно поле с индукция B , перпендикулярна на скоростта v на частица с маса m и заряд q , на нея и действа силата на Лоренц F_L , перпендикулярна на скоростта и на индукцията и се проявява като центростремителна сила $F_{цс}$, под действието на която частицата започва да се движи по окръжност с радиус R :

$$(1) \quad F_L = q \cdot v \cdot B = F_{цс} = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Импулсът на частицата е $p = m \cdot v$ и за него от (1) се получава:

$$(2) \quad p = q \cdot B \cdot R$$

Определянето на радиуса на окръжността R , по която се движи частицата, нейния заряд q и познаването на магнитната индукция B дава възможност по (2) да се определи импулсът, а чрез сравняване на следите, получени от познати частици, могат да се правят заключения

за естеството на непознатата частица.

Между импулса p на частицата и нейната пълна енергия E при движение със скорости, близки до скоростта на светлината c във вакуум, в специалната теория на относителността се дава връзката:

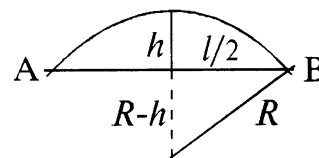
$$(3) \quad E^2 = E_0^2 + p^2 \cdot c^2$$

където $E_0 = m_0 \cdot c^2$ е енергията на частицата в покой. При големи скорости $E_0 \ll p^2 \cdot c^2$ и пълната енергия с отчитане на (2) се получава:

$$(4) \quad E = p \cdot c = q \cdot B \cdot R \cdot c$$

Радиусът на траекторията се намира след измерване на дължината l на хордата АВ и височината h към нея съгласно Фиг.1. От чертежа се вижда, че $R^2 = (R - h)^2 + (l/2)^2$, и за радиуса R се получава:

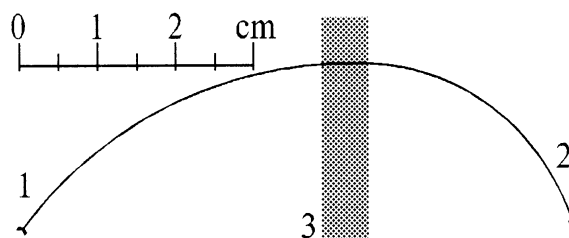
$$(5) \quad R = \frac{l^2}{8h} + \frac{h}{2}$$



Фиг.1.

2.Схема на опитната установка.

В мъглинната камера, наречена още Уилсънова камера, има инертен газ в разрежено състояние и наситени пари на някаква течност. При навлизане на движещи се с голяма скорост частици в камерата те йонизират атомите на разредения газ, които играят роля на кондензационни ядра. Парите на течността кондензират около тях и получените микроскопични частици мъгла очертават траекторията на частицата, която се фотографира. На Фиг.2. се вижда траекторията на позитрон при движението му в магнитно поле с индукция 1,2 Т, преди - участъка 1, и след - участъка 2, преминаването му пред оловна пластинка 3 с дебелине 6 mm. Преди и след пластинката траекторията на позитрона е с различен радиус на кривината поради промяна на импулса и енергията.



Фиг.2.

3.Задачи за изпълнение.

Задача 1. Определяне на радиуса на кривината на траекторията.

Избират се две точки А и В, колкото е възможно по-отдалечени една от друга, прекарва се хордата l и през средата и се издига височината h . Резултатите се нанасят в таблица. Радиусът на кривината се изчислява по (5). Измерванията се правят за двата участъка.

Задача 2. Изчисляване импулса и енергията на позитрона.

С получените стойности за радиусите по (2) и (4) се изчисляват p и

Е. Получените стойности се нанасят в таблицата.

Задача 3. Преценка на точността и оформяне на крайния резултат.

Най-голяма е грешката при определянето на радиуса на кривината

R . За абсолютната грешка ΔR на основата на (5) се получава:

$$(6) \quad \Delta R = \frac{l \cdot \Delta l}{4 \cdot h} + \left(\frac{l^2}{8 \cdot h^2} + \frac{1}{2} \right) \cdot \Delta h$$

където Δl и Δh са абсолютните грешки при измерване на съответните величини, равни на точността на използваните уреди.

На основата на (2) и (4) с отчитането на (6) за абсолютните грешки на импулса Δp и енергията ΔE се получава:

$$(7) \quad \Delta p = q \cdot B \cdot \Delta R \quad \text{и} \quad (8) \quad \Delta E = c \cdot \Delta p$$

След закръгляване окончателните резултати се записват във вида:

$$(9) \quad p_u = p \pm \Delta p \quad \text{и} \quad (10) \quad E_u = E + \Delta E$$

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Представяне на числените стойности на резултатите от физичните измервания.

За записване на числата, отразяващи резултата от измерването се използват предварително установени правила.

Цифрите, които се съдържат в числото, без нулите пред първата цифра отляво надясно, различна от нула, се наричат значещи цифри. Нулите, които са отдясно на числото, са значещи за точността на измерването. Значещите цифри на записа се разделят на верни и съмнителни цифри. Съмнителната цифра е последната дясна. Останалите цифри на числото, без съмнителната, се наричан верни.

Пример: Диаметърът на стоманена сачма, измерен с линейка, е 1,2 cm. Записът на тази стойност съдържа 2 значещи цифри, първата (единицата) - вярна, втората (двойката) - съмнителна.

Ако диаметърът се измери с шублер, който има най-малко деление 0,1 mm, в записа на получената стойност се появява още една цифра - примерно 1,24 cm. Значещите цифри на това число са 3 на брой - две верни (единицата и двойката) и една съмнителна (четворката).

При работа с микрометър с най-малко деление 0,01 mm, записът на резултата вече ще бъде 1,238 cm. Значещите цифри са четири, три - верни, и една (осмицата) - съмнителна. От получената нова стойност се вижда, че при предишното измерване с шублер наистина четворката е съмнителна цифра - при по-точното измерване с микрометър за нея се получава друга стойност.

При запис на измерените стойности от представеното число може да се съди за това, колко точно е получено то. Поради това са недопустими всякакви промени в записа, които могат да доведат до неправилното му разбиране - най-често това са закръгляване на полученото число и дописване на нули отдясно на числото.

При превръщане на сантиметрите в метри от съответните стойности се получава 0,012 m, 0,0124 m и 0,01238 m. Броят на значещите цифри е същият, както и в предишните записи, тъй като нулите, броени отляво надясно до единицата не са значещи. Ако първата измерена стойност обаче имаше нула отдясно - примерно 0,0120 m, то тя не трябва да се изпуска при записа или да се закръглява, тъй като от нея се съди за това че измерването е направено с точност 0,1 mm.

Приближените числа се записват в т.нар. нормален вид - като произведение от два множителя. Първият множител се представя като десетична дроб, която съдържа всички значещи цифри, записани така, че първата отляво надясно да има разряда на единиците, а вторият множител е цяла положителна или отрицателна степен на числото 10. Масата на протона е $m_p = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001\ 672\ \text{kg}$ (закръглена), а в нормален вид се записва като $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$.

Броят молекули в един мол вещество (число на Авогадро) (закръглено) е $N_A = 602\ 200\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$, а в нормален вид е $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$.

Работата с числа в нормален вид позволява пресмятането на произведение, частно и степен и с обикновени калкулатори без опасност от загуба на знаци, като с калкулатора се прави изчисление с десетичните дробни части от порядъка на единиците, а пресмятането със степените на 10 се извършва на ръка или наум и крайния резултат се представя като произведение на получената дробна част и цяла положителна или отрицателна степен на числото 10.

Пример: Получения диаметър на сачмата от най-точното измерване, превърнат в метри, може да се представи в нормален вид по следния начин: умножава се по единица, представена като 100:100, при което не се променя стойността, а след извършване на означените действия се получава нормалния вид.

$$0,01238 = 0,01238 \cdot 100 : 100 = 1,238 : 10^2 = 1,238 \cdot 10^{-2}$$

В посочения пример се избира умножение по 100, за да може след действието дробната част да има цифра в разряда на единиците.

Друг пример: След умножение на няколко числа се получава стойността 928 300. Тя е получена с точност три значещи цифри, но поради написаните нули това не може да се разбере, а и числото не е закръглено както трябва. При превръщане на числото в нормален вид тази неяснота се избягва. Действието се извършва по следния начин:

$$928\ 300 = 928\ 300 : 100\ 000 \cdot 100\ 000 = 9,283 \cdot 100\ 000 \approx 9,28 \cdot 10^5$$

При действия с приближени числа с различен брой значещи цифри междинните изчисления се закръгляват до един и същ брой значещи цифри, колкото са значещите цифри на числото с най-малък брой, плюс една (запасна). В крайния резултат се оставят толкова цифри, колкото има числото с най-малък брой значещи цифри.

Пример: Умножението на горните числа може да се запише така:

$$(1,238 \cdot 10^{-2}) \cdot (9,28 \cdot 10^5) = (1,238 \cdot 9,28) \cdot (10^{-2} \cdot 10^5) = 11,48864 \cdot 10^3$$

Полученото число се представя в нормален вид и ако е краен резултат, се закръглява на три значещи цифри колкото второто число:

$$11,48864 \cdot 10^3 = 1,148864 \cdot 10 \cdot 10^3 = 1,148864 \cdot 10^4 \approx 1,15 \cdot 10^4$$

$$\begin{aligned} & \text{По подобен начин може да се извърши и делението:} \\ & (1,238 \cdot 10^{-2}) : (9,28 \cdot 10^5) = (1,238 : 9,28) \cdot (10^{-2} : 10^5) = \\ & = 0,1334051 \cdot 10^{-7} = (1,334051 : 10) \cdot 10^{-7} = \\ & = 1,334051 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-7} \approx 1,33 \cdot 10^{-8} \end{aligned}$$

Когато крайният резултат от физичен експеримент се представя като измерена стойност и абсолютна грешка, междинните пресмятания и оформяне на крайния запис може да стане по следния начин:

- Изчислява се окончателната стойност на търсената величина и се записва във вида, даден от калкулатора или друга изчислителна машина с всичките цифри, които съставят полученото число. Когато се работи с числа в нормален вид, най-често дробната част е в граници между 1000 и 0,001, при което за малките числа има минимална загуба на цифри при работа с обикновен калкулатор.

- Полученото число с всичките си цифри се представя в нормален вид. Нека за незакръглена стойност се вземе горния пример:

$$X = 1,334051 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

- Изчислява се абсолютната грешка, закръглява се на една значеща цифра, която е и съмнителната цифра, и се записва като число, умножено по 10 на същата степен, използвана при нормалния вид на записа на окончателната стойност. Ако изчислената абсолютната грешка е $\Delta X = 3,7856 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, след преобразуването се получава:

$$\Delta X = 3,7856 \cdot 10^{-9} \approx 4 \cdot 10^{-9} = 4 : 10 \cdot 10^{-9} = 0,4 \cdot 10^{-8} \text{ m.}$$

- Окончателната стойност на търсената величина се закръглява до разряда на абсолютната грешка. За разглеждания случай:

$$X = 1,334051 \cdot 10^{-8} \approx 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ m.}$$

- След закръгляването истинската стойност на търсената величина се представя чрез получената окончателна закръглена стойност и на закръглената абсолютната грешка като доверителен интервал. Ако окончателната стойност и абсолютната грешка съдържат множител 10 на произволна степен, то той се изважда след скоби, в които се заграждат окончателната стойност и абсолютната грешка.

Окончателния резултат за разглеждания пример се записва:

$$X_u = (1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-8} \text{ m.}$$

Ако степента на 10 е -1, 0 или 1, за прегледност се пресмята производението и записът на резултата вече не се прави в нормален вид.

Приложение 2. Физични константи, необходими за лабораторните упражнения по физика.

Гравитационна константа G		$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$
Среден радиус на Земята R_3		$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Маса на Земята M_3		$5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Земно ускорение g при 45° с.ш.:		$9,81 \text{ m/s}^2$
Плътност ρ при 18°C	алуминий	$2,72 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
	вода	$9,98 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3$
	глицерин	$1,26 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
	желязо	$7,860 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
	мед	$8,93 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
	олово	$1,134 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^3$
	спирт	$7,90 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3$
Температурен коэффициент на линейно разширение α	алуминий	$2,45 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
	желязо	$1,25 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
	йенско (лабораторно) стъкло	$8,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
	кварцово стъкло	$0,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
	мед	$1,42 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
Универсална газова константа R		$8,314 \text{ J}/(\text{mol.K})$ $(8,314 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kmol.K}))$
Константа на Болцман k		$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Брой частици в 1 mol (1 kmol) - число на Авогадро N_A		$6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ $(6,022 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1})$
Моларен обем V_μ на идеален газ при нормални условия		$2,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$ $(22,4 \text{ m}^3/\text{kmol})$
Брой частици n в 1 m^3 (1 cm^3) - число на Лошмит		$2,69 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ $(2,69 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3})$

Нормални условия за идеален газ	налягане p_0 температура T_0	$1,013 \cdot 10^5$ Pa 273 K
Моларна маса μ (молекулна маса)	кислород азот въздух	$32 \cdot 10^{-3}$ kg/mol $28 \cdot 10^{-3}$ kg/mol $29 \cdot 10^{-3}$ kg/mol
Елементарен електричен заряд e		$1,60 \cdot 10^{-19}$ C
Електрична константа (диелектрична проницаемост на вакуума) ϵ_0		$8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m
Магнитна константа (магнитна проницаемост на вакуума) μ_0		$1,26 \cdot 10^{-6}$ H/m
Скорост на светлината във вакуум c		$3,00 \cdot 10^8$ m/s
Маси на елементарни частици	електрон m_e протон m_p неутрон m_n	$9,11 \cdot 10^{-31}$ kg $1,673 \cdot 10^{-27}$ kg $1,675 \cdot 10^{-27}$ kg
Константа на Планк h		$6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s

ЛИТЕРАТУРА

Трофимова, Т. Курс по физика. Превод от руски. УИ “Св. Кл. Охридски”, София, 1994.

Бончев, Л. и колектив. Физика I и II част. Учебник за студентите от ТУ - София. София, 1991.

Тошев, С. и колектив. Физика. ДИ “Наука и изкуство”, София, 1987.

Марков, С. и колектив. Физика. Бургас, 1992.

Илков, Н. и колектив. Физика I и II част. София, 1995.

Иванчев, Н. и колектив. Физика. ДИ “Техника”, София, 1975.

Симеонова, И. и колектив. Ръководство за лабораторни упражнения по физика. “Мартилен”, София, 1994.

Христозов, Д. и колектив. Лабораторен практикум по физика. “Наука и изкуство”, София, 1990.

Керачев, П. и колектив. Ръководство за лабораторни упражнения по физика. София, 1983.

Андреев, М., В. Людсканов. Лабораторна физика. “Наука и изкуство”, София, 1975.

Четкаров, М., В. Попов. Практикум по физика. ДИ “Наука и изкуство”, София, 1961.