

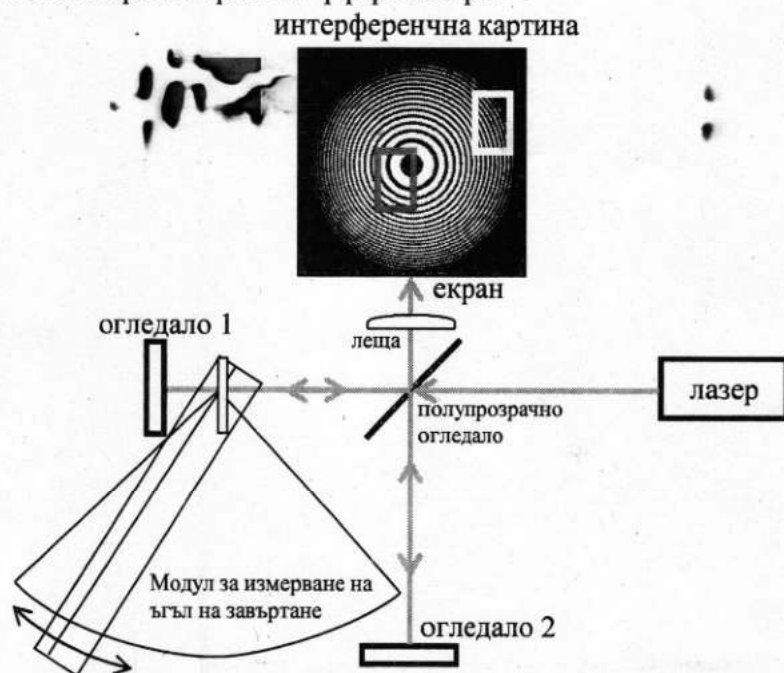
МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА
НАЦИОНАЛЕН КРЪГ; 7 април 2019 г., Русе
Тема 10.-12. клас (четвърта състезателна група)
Експериментален кръг - Задача 1

Теоретична част

Във физиката от края на XIX век се е считало, че светлината се разпространява в неподвижна среда, наречена етер, подобно на разпространението на звука във въздуха. За да установи наличието на предполагаемия етер, Алберт Майкелсън през 1881 година създава прецизен уред, по-късно известен като интерферометър на Майкелсън. Проведените експерименти не потвърждават наличието на етер, в който се разпространява светлината. Интерферометри от подобен тип се използват в много приложения, включително и при детектирането на гравитационни вълни в LIGO експеримента.

Целта в настоящата задача е с интерферометъра на Майкелсън да се определи показателя на пречупване на прозрачна пластинка, ако е известна нейната дебелина, и се определи дължината на светлинната вълна с дифракционна решетка.

Най-общо казано, интерферометърът на Майкелсън се състои от монохроматичен източник на светлина (например лазер), полупрозрачно (ПП) огледало, две огледала и екран подредени в схема с две рамена, подобна на показаната на фигурата. Участъкът от ПП огледало до огледало 1 е едното рамо, а от ПП огледало до огледало 2 другото рамо. Лещата служи единствено за увеличаване на интерференчната картина, а модулът за измерване на ъгли е за конкретното измерване чрез интерферометъра.



Част от светлината отива до огледало 1, отразява се от него и отново се отразява от ПП огледало към екрана. Друга част от светлината отива до огледало 2, отразява се от него и преминава през ПП огледало към екрана. Отиващите към екрана светлинни вълни се сумират и могат да интерферират конструктивно или деструктивно. Ако разликата в оптичните пътища на лъчите в двете рамена ($s_2 - s_1$) е четно число полувълни, ще се наблюдава максимум, а ако е нечетно число полувълни ще се наблюдава минимум. На практика, т.к. лазерният лъч има малка разходимост, типичната интерференчна картина, която се наблюдава е, както представената на фигурата. Вие ще наблюдавате части от нея, подобни на

частите, оградени с правоъгълници, на фигурата. В интерференчната картина се виждат редуващи се максимуми и минимуми, периода на които намалява от центъра към периферията на кръга.

Оптичният път на светлината s при изминаването на път x през някаква среда за време t е пътят s , който би изминала светлина за същото време, ако се движи във вакуум $s=ct=c(x/v)=nx$, т.е. оптичният път е геометричният път умножен по показателя на пречупване на средата, в която се движи светлината.

При промяна на разликата в оптичните пътища $\Delta(s_2-s_1)$ интерференчната картина се променя, като промяна с две полувълни, води до заместването на един максимум със съседен на него. Ако в едно от рамената на уреда се промени или x , или n , или и двете, ще се промени и разликата в оптичните пътища на двата лъча.

При въртенето на прозрачна пластинка, поставена в едно от раменете на уреда, се променя разликата в оптичните пътища на рамената на уреда. Зависимостта на броят преминали максимуми k в една точка от интерференчната картина от ъгълът на завъртане на пластинката се дава със следният израз:

$$k(\theta) = \frac{2d(1 - \cos \theta)(1 - n)}{\lambda(1 - \cos \theta - n)},$$

където означенията са: d - дебелина на пластинката, n - показател на пречупване на пластинката, λ - дължина на светлинната вълна, θ - ъгъл между светлинния лъч и нормалата към пластинката. Зависимостта $k(\theta)$ е приближение, точността на което, е не по-лоша от 2% за ъгли $\theta < 45^\circ$.

При нормално падане на лъч към дифракционна решетка, зависимостта между преминалия дифракционен порядък - m и ъгълът му на отклонение - α_m спрямо нормалата към решетката е:

$$m\lambda = b \sin \alpha_m,$$

където b е периода на дифракционната решетка.

Уреди и материали за интерферометъра:

- Работна плоскост $52 \times 38 \times 2$ cm 1 бр.
- Огледала на стойки (прикрепването е с по 2 пластмасови щипки) 2 бр.
- Полупрозрачно огледало на стойка (прикрепването е с метална щипка-32 mm) ... 1 бр.
- Масичка с 3 винтови крачета за фина нивелация 1 бр.
- Отвертка за фина нивелация 1 бр.
- Леща на стойка (прикрепването е с метална щипка-25 mm) 1 бр.
- Лазер на стойка (с подвижно магнитно прикрепване към стойката) 1 бр.
- Свързващи проводници с крайници тип крокодил 2 бр.
- Батерия - 9V 1 бр.
- Модул за измерване на ъгъл на завъртане (включващ: транспортер с централен отвор, линейка - рамо на транспортера, кабърче за фиксиране на линейката към центъра на транспортера, алуминиева плочка - подставка за изследваната прозрачна пластинка 1 бр.
- Екран с подвижни точки, на стойка (прикрепването е с метална щипка-25 mm) 1 бр.
- Тънка прозрачна пластинка на стойка (24×32 mm) 1 бр.

допълнителни:

- Дифракционна решетка от $\frac{1}{4}$ компактдиск, на стойка (прикрепването е с метална щипка - 50 mm) 1 бр.
- Линия-екран на стойка (прикрепването е с метална щипка-25 mm) 1 бр.
- Линия 1 бр.
- Милиметрова хартия 1 л.

Указания:

по отношение на интерференчната картина:

- Лазерът загрява за около 2 минути, през което време се наблюдава нестабилна интерференчна картина.
- В реализираната конфигурация на интерферометъра се наблюдава малка част от цялата интерференчна картина, подобна на частите оградени с малки правоъгълници в интерференчната картина на фигурата. Каква част от цялата картина ще се наблюдава, зависи от фината настройка: малки промени в позициите на ПП огледало и огледало 2 показват различна част от цялата интерференчна картина. Това позволява да се работи с максимуми с по-голям или по-малък период.
- На екрана ще наблюдавате две двойки лазерни петна, т.к. се получават отражения и от двете стени на ПП огледало, но само от по-ярките петна се получава интерференчната картина. По-ярките петна са от полупрозрачен слой нанесен на едната стена на ПП огледало.

за настройката на интерферометъра на Майкелсън:

- По време на настройките внимавайте с лазера ! Не гледайте към изхода на лазера ! Не гледайте в равнината на движение на лазерното лъчение !
- Груба схема на подредбата на елементите на интерферометъра е нарисувана на работната плоскост.
- Както ще се убедите, уредът е много чувствителен на вибрации, нестабилни елементи, и дори леко притискане на работната маса и трябва да се работи внимателно. По тази причина при подредбата на елементите на уреда трябва да се избягва стойките на елементите да стъпват върху неравности (например върху транспортира), за да не се създават нестабилности в уреда. Докато правите самите измервания, е добре по работната маса да пипате, само линейката-рамо на транспортира. При позициониране на огледало се убедете, че долният ръб на огледалото лежи стабилно на масата, като притиснете самото огледало към работната плоскост ! Малки нестабилности в елементите могат да се премахнат, чрез почукване по работната плоскост.
- При настройките хващайте с пръсти оптичните елементи странично, не за повърхностите където трябва да минава светлината.
- Раменете на уреда не трябва да се различават по дължина повече от ± 2 cm.
- (1) Първо се настройва отразеният лъч от огледало 1 да се връща отново в изхода на лазера, а също така да преминава и през прозрачната пластинка. При тази настройка прозрачната пластинка се поставя на позиция на вертикалната ос, преминаваща през центъра на транспортира. Тези настройки се правят лесно чрез въртене на огледало 1 и насочване на лазера. Лазерът има подвижно магнитно прикрепване към стойката.
- (2) След това се позиционира ПП огледало, като отразеният към екрана лъч трябва да е приблизително перпендикулярен на излизащият от лазера лъч и приблизително на неговото ниво, което лесно се настройва чрез въртене на ПП огледало върху масичката с 3 крачета и нейното нивелиране с отвертката. Екранът може да стои на работната маса извън работната плоскост, ако е нужен по-голям образ на интерференчната картина.
- (3) След това се позиционира огледало 2 така, че да отрази съответния лъч към екрана. Груба настройка за припокриване на двете по-ярки лазерни петна на екрана се постига лесно чрез въртене на огледало 2 и нивелиране на масичката с 3 крачета с отвертката.
- (4) Накрая се поставя лещата между екрана и ПП огледало. Сега може да се прави фината настройка за получаване на стабилна интерференчна картина чрез съвсем малко движение на огледало 2 и съвсем малка нивелация на ПП огледало с някой от винтовете на масичката с 3 крачета. Тази фина настройка определя каква част от интерференчната картина се вижда.

- (5) Настройката на интерферометъра е постигната, ако при въртене на прозрачната пластинка, се наблюдава плавно движение на максимумите. В противен случай, внимателно се променя фината настройка на уреда.
- (6) Важно е да не се разместят елементите от настройка (1), докато се правят следващите настройки, иначе трябва да се започне отначало настройването.

по отношение на изследваната линейна зависимост в задачата:

- Поради ползвани приближения в зависимостта $k(\theta)$, свободният член на получената линейна зависимост не дава информация с добра точност, и не се налага да го определяте.

Необходими величини:

- Разстоянието между пътеките на 80 минутен CD-ROM е $b = 1.5 \mu m \pm 3\%$
- Дебелината на прозрачната пластинка е $d = 160 \pm 5 \mu m = 160 \mu m \pm 3\%$

Номерируйте страниците на беловата и черновата. Пишете четливо.

Задачи:

1. Определяне на дължината на вълната на лазера λ , чрез компактдиска и екрана-линийка.
 - 1.1. Начертайте схема на подредбата на елементите, която ще използвате за определяне на дължината на лазера. На схемата означете нужните величини за пресмятането на λ . [1 т.]
 - 1.2. Представете израз, с който ще пресметнете λ . [0.5 т.]
 - 1.3. Направете нужното еднократно измерване с възможно по-голяма точност и представете измерените величини с грешките по подходящ начин. [2 т.]
 - 1.4. Опишете накратко какви мерки взехте за коректно подреждане на елементите и за по-голяма точност на резултата от еднократното измерване. [1 т.]

1.5. Пресметнете дължината на вълната на лазера λ . Приемете, че сте я определили с точност 5% и я представете по подходящ начин с абсолютната и относителната процентна грешки по подходящ начин. [0.5 т.]

2. Изследване на $k(\theta)$ - зависимостта на броя преминали максимуми в точка от интерференчната картина от ъгъла между лъча и нормалата към пластинката. Определяне на показателя на пречупване n на прозрачна пластинка.

2.1. Представете зависимостта $k(\theta)$ в подходящи променливи, така че да е права линия, в наклона на която да участват n , d и λ . [2 т.]

2.2. Представете израз, чрез който от наклона ще определите търсеният показател на пречупване. [1 т.]

2.3. След настройване на интерферометъра на Майкелсън получите експериментално зависимостта на $k(\theta)$ и я представете в табличен вид. Докато измервате, преценете по какъв начин ще определите кога прозрачната пластинка е нормална на лъча и го опишете накратко. [3 т.]

2.4. Начертайте схематично образа на използваната част от интерференчната картина, като означите приблизителните ѝ размери. обосновете как избрахте каква част от интерференчната картина ще използвате. **[1 т.]**

2.5. Използвайки експерименталните данни, представете линейната зависимост от задача 2.1. таблично и графично. **[4 т.]**

2.6. Определете само наклона на линейната зависимост, абсолютната му и относителна процентна грешки и представете резултата по подходящ начин. [2 т.]

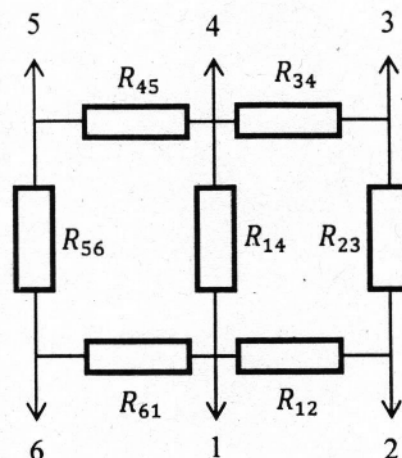
2.7. Определете стойността на показателя на пречупване n . Представете го с оценените му абсолютна и относителна процентна грешки по подходящ начин. [2 т.]

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА, НАЦИОНАЛЕН КРЪГ
07 АПРИЛ 2019 г., РУСЕ

Тема за 10-12. клас (четвърта възрастова група)
Експериментален кръг, задача 2

Разполагате с „черна кутия“ с 6 извода (номерирани от 1 до 6) и мултицет. В кутията има верига, съдържаща 7 резистора (виж фигурата). Целта на задачата е чрез подходящи измервания да се изчислят съпротивленията на резисторите във веригата.

Упътване: Опитайте се чрез подходящи свързвания „накъсо“ на някои изводи да направите измервания във вериги, съдържащи по-малко на брой резистори.



Работата си опишете по следния начин:

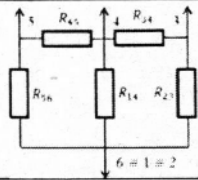
Стъпка 1: Опишете „стратегията“ на последователността от измервания, която ще направите, за да изчислите съпротивленията на резисторите от измерванията. [3 т.]

Стъпка 2: Запишете формулите, които сте получили и които ще използвате, за да изчислите съпротивленията на резисторите от измерванията. Измереното съпротивление между изводи n и m отбелязвайте с $r_{nm}(pq, rs)$. Символите в скобите показват при това измерване кои изводи сте дали „накъсо“ (едната двойка са изводи pq , а другата са rs). Ако сте дали „накъсо“ само една двойка изводи, отбележете измереното съпротивление с $r_{nm}(pq)$. [2 т.]

Стъпка 3: Измерванията си запишете в таблицата на следващите страници. Използвайте символиката в дадения пример на първия ред от таблицата. [5 т.]

Стъпка 4: Запишете изчислените съпротивления на резисторите в дадената таблица. [10 т.]

резистор	изчислена стойност, Ω
R_{12}	
R_{23}	
R_{34}	
R_{45}	
R_{56}	
R_{61}	
R_{14}	

измерване №	изводи „накъсо“	изводи „накъсо“	измерено съпротивление r_{nm} между изводи n и m , Ω	Еквивалентна схема, която се измерва
пример!	1-2	1-6	1-4 $r_{14}(12,16)$ 817	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

№	изводи „накъсо“	изводи „накъсо“	измерено съпротивление r_{nt} между изводи, Ω	Еквивалентна схема, която се измерва
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				