

Теоријски задатак 1. Стишљиви флуиди

Истраживање протока гасова открива многе интересанте феномене који имају бројне примене, од бојлера до авиона и ракета. Да бисмо поједноставили рачун у овом задатку, претпоставићемо да:

- Гас је идеалан;
- Проток гаса је стационаран и нетурбулентан; (Струјање је ламинарно.)
- Процеси у гасу који тече су адијабатски;
- Брзина протока гаса је много мања од брзине светлости;
- Проток гаса је праволинијски – аксијално симетричан; (На истом пресеку сви делићи имају исту брзину.)
- Ефекти гравитације су занемарљиви;

Корисне константе у овом проблему су:

- Моларна маса ваздуха, $\mu = 29.0 \text{ g/mol}$;
- Константа идеалног гаса, $R = 8.32 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$.

А. Бернулијева једначина

(1.5 п)

Бернулијева једначина је математичка форма закона одржање енергије за проток идеалног флуида, у овом случају гаса. Добила је име у част швајцарског физичара Бернулија (Daniel Bernoulli (1700 - 1782)), који ју је извео 1738. године. Најједноставнији начин извођења ове једначине је праћење делића флуида (елемента запремине) дуж струјне линије.

A	Примените закон одржања енергије између две тачке унутар текућег флуида, чији су параметри (p_1, ρ_1, v_1) и (p_2, ρ_2, v_2) , и изведите једначину која их повезује. Познат је експонент адијабате γ посматраног гаса. Параметар p је притисак гаса, ρ густина, а v брзина.	1.5 п
----------	--	-------

В. Простирање поремећаја (пертурбације) у флуиду који тече

(4 п)

Уколико у једном слоју гаса који макроскопски мирује, дође до наглог пораста притиска (услед загревања или брзог сабијања), тај слој ће почети да се шири, сабијајући суседне слојеве. Ова промена притиска ће се онда континуално преносити кроз гас као талас.

В1. Брзина простирања поремећаја (пертурбације)

Брзина c овог таласа је брзина његовог таласног фронта. Таласни фронт представља скуп честица које осцилују у истој фази и чији су термодинамички параметри исти. У референтном систему гаса у којем нема поремећаја простирање таласа је нестационарно. (У свакој тачки термодинамички параметри гаса мењају се са временом.) Међутим, у референтном систему таласног фронта сви процеси су стационарни, тако да се могу користити једначине равнотежних процеса у идеалном гасу.

B1	Изведите математички израз за брзину простирања c таласног фронта, користећи термодинамичке параметре гаса (p, ρ) , до ког још није стигао таласни фронт (непертурбовани гас) и параметре пертурбованог гаса, кроз који је већ прошао таласни фронт $(p_1, \rho_1) = (p + \Delta p, \rho + \Delta \rho)$.	1.5 п
-----------	---	-------

V.2 Звучни таласи

Звучни таласи су таласи који настају услед малих поремећаја ($\Delta p \ll p$ и $\Delta \rho \ll \rho$) који путују брзином реда величине неколико стотина метара у секунди. Услед тога процеси сабијања и ширења гаса могу се сматрати адијабатским. Експонент адијабате је γ .

B2	Користећи резултат добијен у делу B1 , изведите математички израз за брзину звука у гасу. Затим, користећи Бернулијеву једначину, изведите израз који повезује брзину протока гаса и брзину звука у датој тачки.	0.5 п
-----------	---	-------

V.3. Махови бројеви

За изражавање брзина летилица на пример авиона, као и за одређивање врсте протока флуида користе се Махови бројеви.

$$M = \frac{v}{c},$$

где је v брзина летилице или протока флуида, док је c локална брзина звука у датом флуиду.

Величину је 1929. године увео швајцарски инжењер аеронаутике Акерет (Jakob Ackeret (1898 – 1981)), један од водећих аеронаутичара двадесетог века. Величина је име добила у част великог чешког (у то време било је то Аустроугарско царство) физичара и филозофа Маха (Ernst Mach (1838 – 1916)). Главна вредност ове бездимензионе величине је што раздваја нестишљиве од стишљивих текућих флуида. У аеронаутици гранична вредност износи $M = 0.3$, односно за вредности мање од граничног Маховог броја текући флуид је нестишљив.

B3.1	Нађите релативну промену густине гаса у зависности од Маховог броја, посматрајући почетно стање гаса у којем је брзина $v < c$ и крајње стање гаса у којем је брзина нула (гас се зауставио). Израчунајте максималну бројну вредност те релативне промене тако да је текући гас и даље нестишљив.	0.5 п
-------------	---	-------

B3.2	Притисак на носу летилице (врх предњег дела) док лети износи $1.92 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ при чему је релативна брзина ваздуха у односу на летилицу у тој тачки нула. Притисак и температура непертурбованог ваздуха (далеко од летилице) износе $1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ односно $21.1 \text{ }^\circ\text{C}$. Експонент адијабате при овој температури износи $\gamma = 1.40$. Нађите брзину и Махов број за ову летилицу.	0.5 п
-------------	---	-------

B3.3	При протоку гаса кроз цев, јавља се сила трења између зидова цеви и текућег флуида, коју не можемо увек занемарити. На улазу у цев притисак у флуиду је $p_1 = 6.90 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, а Махов број $M_1 = 0.700$. На излазу из цеви Махов број износи $M_2 = 1.00$. Изведите израз и израчунајте бројну вредност за силу којом флуид делује на цев. Експонент адијабате је $\gamma = 1.40$, површина попречног пресека цеви је $S = 9.29 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$, а релативни пораст температуре гаса у цеви (на улазу и излазу) је $5.00 \cdot 10^{-3}$.	1.0 п
-------------	--	-------

С. Ударни таласи

(4.5 п)

Постоје два типа акустичних таласа у гасу: звучни таласи и ударни таласи. Ударни таласи се јављају када се тело креће кроз гас суперсоничном брзином, односно када је релативна брзина тела у односу на гас већа од брзине звука у том гасу. При суперсоничним брзинама испред тела се формира танак слој гаса на већем притиску који се назива *компресиони шок*. Ову врсту специјалних акустичних таласа проучавао је Мах. Обвојница (енvelope) ових таласа има облик конуса у чијем врху се налази тело које се креће. Тај конус назива се Махов конус. Ударни талас изазива наглу промену термодинамичких параметара гаса. Махов конус је пример ударног таласа чији таласни фронт није равна површ. Ми ћемо се у овом делу проблема бавити равним ударним таласима, чији таласни фронт је нормалан на правац брзине тела или текућег флуида.

Код ударних таласа разлике у притисцима/густинама са различитих страна таласног фронта могу достићи веома велике вредности. Тај нагли скок термодинамичких параметара при проласку кроз таласни фронт је разлог називања ударног таласа и *компресионим шоком*.

C.1 Адијабата ударног таласа

Гас сабијен дејством ударног таласа, пролази кроз иреверзибилни (неповратни) адијабатски процес који се не може описивати Поасоновом једначином (једначина адијабате). Једначина која описује овакав адијабатски процес изведена је крајем деветнаестог века од стране шкотског физичара Ранкина (William Rankine (1820 – 1872)), и независно од њега, од стране француског инжењера Угониоа ☺ (Pierre Henri Hugoniot (1851 – 1887)), коришћењем закона одржања масе и енергије, као и другог Њутновог закона. Ова једначина која се назива Ранкин – Угониоова једначина, односно једначина адијабате ударног таласа, повезује притисак и густину гаса сабијеног ударним таласом.

C1	<p>Уколико са p и ρ означимо притисак односно густину гаса испред ударног таласа (које ћемо сматрати познатим), p_1 и ρ_1 исте параметре иза ударног таласа (које ћемо сматрати непознатим), покажите да однос притисака $\frac{p_1}{p} = y_1$ зависи од односа густина $\frac{\rho_1}{\rho} = x_1$ по формули:</p> $y_1 = \frac{\alpha x_1 - \beta}{\tau - \sigma x_1}.$ <p>Нађите коефицијенте α, β, τ и σ. Познат је експонент адијабате гаса γ.</p> <p><i>Напомена:</i> Због једноставности, користите струјну цев константног попречног пресека, нормалну на таласни фронт равног ударног таласа.</p>	1.5 п
-----------	---	-------

C.2 Ударни талас који настаје услед експлозије

Експлозија доводи до појаве сферног ударног таласа који се простира радијално кроз ваздух који мирује, а чији су притисак и температура, $p_s = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ и $t_s = 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ респективно. Детектор региструје максималну вредност притиска $p_1 = 1.48 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ у тренутку проласка ударног таласа. Експонент адијабате у овом процесу износи $\gamma = 1.38$.

C2.1	Одредите колико пута се повећа температура ваздуха $\frac{T_1}{T_s}$ услед дејства компресионог шока експлозије.	0.5 п
-------------	--	-------

C2.2	Одредите Махов број који одговара брзини ударног таласа који настаје услед ове експлозије.	0.5 п
-------------	--	-------

C2.3	Одредите интензитет брзине ветра v_1 , који прати таласни фронт ударног таласа, у односу на непокретног посматрача.	0.5 п
-------------	---	-------

Током *компресионог шока* долази до наглог пораста притиска и температуре гаса, много већег него у квазистатичком адијабатском сабијању. Након дејства ударног таласа (*компресионог шока*), гас се шири адијабатски, али пошто је „адијабата“ у случају шока стрмија, у тренутку када се густина врати на почетну вредност, притисак гаса p_2 има већу вредност него притисак непертурбованог гаса p_s .

C2.4	Нађите односе $\frac{p_2}{p_s}$ и $\frac{T_2}{T_s}$ на крају адијабатског ширења и израчунајте бројне вредности коначног притиска и температуре p_2 и T_2 .	0.5 п
C2.5	Од овог тренутка на даље гас се хлади док не дође у почетно стање. Претпостављајући да током целог циклуса гас има константан експонент адијабте, напишите израз за промену ентропије по јединици масе гаса током <i>компресионог шока</i> и израчунајте њену нумеричку вредност.	1.0 п

Аутор задатка: Assoc. Prof. Sebastian POPESCU, PhD
Faculty of Physics, Alexandru Ioan Cuza University of Iași, ROMANIA

Теоријски задатак 1. Стишљиви флуиди

Лист за одговоре

Једначина која повезује (p_1, ρ_1, v_1) и (p_2, ρ_2, v_2) :

A	
----------	--

B1	$c =$
-----------	-------

B2	$c =$ Релација између брзине тока и брзине звука у датој тачки је:
-----------	---

B3.1	$\frac{\Delta\rho}{\rho}(M) =$ $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_{max} =$
-------------	---

B3.2	$v =$ $M =$
-------------	-------------

B3.3	Израз за силу:	Бројна вредност силе:
	$F =$	$F =$

C1	$\alpha =$	$\tau =$
	$\beta =$	$\sigma =$

C2.1	$\frac{T_1}{T_s} =$
-------------	---------------------

C2.2	$M =$
------	-------

C2.3	$v_1 =$
------	---------

	Аналитички изрази	Бројне вредности
C2.4	$\frac{p_2}{p_s} =$ $\frac{T_2}{T_s} =$	$p_2 =$ $T_2 =$

	Аналитички изрази	Бројне вредности
C2.5	$\frac{\Delta S_{shock}}{\Delta m} =$	$\frac{\Delta S_{shock}}{\Delta m} =$

Теоријски задатак 2. Извори светлости, атоми и спектри

Аутор: Florea ULIU, PhD, University of Craiova

А. Извор светлости

У сопственом референтном систему, тачкасти извор светлости емитује светлост у виду дивергентног конуса, са угаоном ширином од 90° (од -45° до $+45^\circ$ мерено у односу на осу конуса). У референтном систему који се креће према извору непознатом брзином v , угаона ширина снопа износи 60° (од -30° до $+30^\circ$ мерено у односу на исту осу конуса). Брзина светлости у вакууму износи $c = 2.998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

A	Одредити брзину v извора.	2.50 п
----------	-----------------------------	--------

В. Балмеров емисиони спектар

Спектрална моћ разлагања спектрометра износи $R = 5 \cdot 10^5$. Овај спектрометар се користи при посматрању Балмерове серије у емисионом спектру атома водоника (у видљивој области).

Напомена: Могући механизми ширења спектралне линије (Лоренцов, Гаусов, итд.) неће бити разматрани.

В.1	Навести математичку дефиницију спектралне моћи разлагања оптичког инструмента.	0.25 п
------------	--	--------

В.2	Одредите максималну вредност главног квантног броја n енергетског нивоа тако да се спектрална линија која одговара прелазу са посматраног нивоа на ниво $n' = 2$, може раздвојити од суседних линија помоћу описаног инструмента.	2.25 п.
------------	--	---------

С. Апсорпциони спектар

Енергија различитих нивоа у атому дата је изразом $E_n = -\frac{A}{n^2}$, где је n природан број, а A позитивна константа. На собној температури атом апсорбује две суседне линије таласних дужина 97.5 nm и 102.8 nm . Наелектрисање електрона је $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, брзина светлости у вакууму је $c = 2.998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, и Планкова константа $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

C.1	Одредите нумерички квантне бројеве n енергетских нивоа који учествују у описаном процесу.	3.00 п.
C.2	Одредите вредност констате A изражену у цулима и електрон-волтима користећи претходно добијене квантне бројеве.	1.50 п.
C.3	Одредите који је атом у питању и објасните дати одговор.	0.50 п.

Теоријски задатак 2. Извори светлости, атоми и спектри

Лист за одговоре

A	Коначни израз за брзину извора	Бројна вредност брзине извора	2.50 п
	$v =$	$v =$	

B.1	$R =$	0.25 п
------------	-------	--------

B.2	$n =$	2.25 п
------------	-------	--------

C.1	$n =$	3.00 п
------------	-------	--------

2,

C.2	у цулима	$A =$	1.00 п
	у електрон-волтима	$A =$	0.50 п

C.3		0.50 п
------------	--	--------

Теоријски задатак бр. 3 (10 поена)

”Збијање” носилаца наелектрисања коришћењем магнетних поља

Конструкција уређаја који могу да производе велике количине енергије фузијом је задатак који треба да се реши у оквиру физике плазме. Физички је овај процес објашњен пошто се зна да се догађа у звездама, али је технолошки тешко изводљив пре свега због загревања и контролисања плазме на температурама упоредивим са оном на Сунцу. Физички услови неопходни за нуклеарну фузију не могу бити постигнути у лабораторијама. Одржавање плазме локализоване у ограниченој запремини може бити постигнуто коришћењем магнетног поља.

У прва два дела овог задатка анализираћете неколико ситуација у којима се кретање наелектрисаних честица ограничава спољашњим магнетним пољем. У трећем делу задатка проучаваћете „заробљавање“ наелектрисаних честица сопственим магнетним пољем. При решавању задатка можете користити следеће физичке константе: елементарно наелектрисање $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, маса електрона $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, магнетна пропустљивост вакуума $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

Део бр. 1

Веома дугачак метални ваљак (идеалан електрични проводник) дужине L и полупречника R ($L \gg R$) ротира константном угаоном брзином ω око своје осе.

Ваљак је смештен у хомогено магнетно поље индукције \vec{B} које је паралелно са осом симетрије ваљка. Маса електрона је m , а наелектрисање $-e$. Нека је диелектрична пропустљивост материјала од кога је ваљак направљен ϵ .

1.i. У стационарном случају наћи израз за the запреминску густину наелектрисања ρ унутар ваљка на растојању r од његове осе ($0 < r < R$). Резултат изразити у функцији B, e, m, ω и ϵ . (1.00п)

1.ii. Наћи израз за угаону брзину ω_0 при којој је запреминска густина наелектрисања једнака нули у свакој тачки ваљка. Резултат изразити у функцији B, e и m . (0.20п)

1.iii. Проценити могућност практичне реализације нулте запреминске густине наелектрисања у свакој тачки металног ваљка, у описаном експерименту који се изводи у Земљиним магнетним пољу на месту где је магнетна индукција $B = 1,82 \times 10^{-5} \text{ T}$. Кратко образложити одговор. (0.30п)

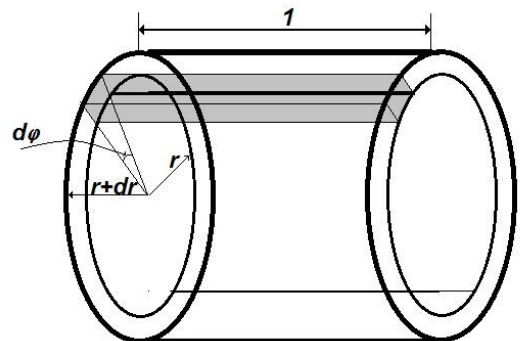
Део бр. 2

У вакуумској комори налази се дугачка, права жица занемарљиве дебљине направљена од материјала са великом електричном проводношћу. Кроз жицу тече електрична струја јачине $I = 10 \text{ A}$. Сноп електрона је усмерен дуж правца нормалног на жицу. Електрони полазе са растојања r_0 од жице почетном брзином v_0 која је знатно мања од брзине светлости. Минимално растојање на које електрони могу да приђу жици износи $r_0/2$. Нека су дата два референтна система – лабораторијски систем S.L. и покретни систем S.M. који се креће паралелно жици константном брзином v_0 у смеру протицања струје. Занемарити Земљино магнетно поље.

- 2.i. Извести израз за индукцију магнетног поља које ствара струја која тече кроз жицу у оба система референце $\vec{B}_{S.L.}(r)$, $\vec{B}_{S.M.}(r)$. (1.00п)
- 2.ii. Наћи израз за разлику Лоренцових сила које делују на електроне који се крећу према жици, у два референтна система, $\vec{F}_{S.L.}(r) - \vec{F}_{S.M.}(r)$. Резултат изразити у функцији e , μ_0 , I , r и v_0 . (1.50п)
- 2.iii. Одредити компоненте брзине електрона $\vec{v}(r_0/2)$ у оба референтна система. (1.00п)
- 2.iv. Одредити израз за брзину v_0 у функцији e , m , I , μ_0 . Израчунати бројну вредност за v_0 . (1.50п)
- 2.v. Извести израз за максимално растојање од жице, D , у функцији од r_0 , на коме се електрон може наћи када се креће од жице у правцу нормалном на њу. (0.50п).

Део бр. 3

У вакуумској комори генерише се цилиндрични стуб плазме полупречника R и дужине L . Плазма настаје услед јонизације гаса тако да је у свакој тачки концентрација електрона $n_e(r)$ једнака концентрацији јона $n_i(r)$, $n_i(r) = n_e(r) = n(r)$; вредност $n(r)$ у некој тачки зависи само од растојања те тачке од осе цилиндра. Претпоставити да је плазма у стационарном стању, односно да јој ниједна макроскопска карактеристика не зависи од времена. Узети да је температура плазме T иста у свакој тачки цилиндра и да се на тој температури параметри плазме померавају једначини стања идеалног гаса. Наелектрисање електрона је $-e$, док су јони једновалентни, наелектрисања e . Узети да су познате магнетна пропустљивост плазме μ и Болцманова константа k_B . Између електрода које се налазе на крајевима плазменог стуба тече (кроз плазму) струја константне густине $j(r) = j$.



Посматрајте елементарни шупљи цилиндар полупречника r и $r + dr$ као што је приказано на слици. Узети да је овај шупљи цилиндар једначне висине. Као елементарну запремину плазменог стуба узети делић овог цилиндра који је одређен углом $d\varphi$ (сива област на слици).

- 3.i. Написати изразе за силе које делују на елементарну запремину плазменог стуба (\vec{F}_p услед притиска $p(r)$ у плазменом стубу, \vec{F}_e услед интеракције са наелектрисаним честицама које су у плазми, \vec{F}_m услед интеракције са магнетним пољем електричне струје која тече кроз плазму). Написати једначину која описује равнотежу посматране елементарне запремине плазменог стуба. (1.20п)
- 3.ii. Извести израз за притисак $p(r)$ у произвољној тачки плазменог стуба. Резултат изразити у функцији r , j , R и магнетне пропустљивости μ . (1.00п)
- 3.iii. Одредити израз за број наелектрисаних честица N у плазменом стубу у функцији L , I , T , μ и k_B . (0.80п)

© Аутори задатка:
Dr. Delia DAVIDESCU
Dr. Adrian DAFINEI

ЛИСТ ЗА ОДГОВОРЕ

Теоријски задатак бр. 3 (10 поена)

"Збијање" носилаца наелектрисања коришћењем магнетних поља

Део бр. 1

1.i. Израз за запреминску густину наелектрисања ρ унутар цилиндра на растојању r од осе цилиндра.

1.00п

1.ii. Израз за угаону брзину ω_0 при којој је запреминска густина наелектрисања једнака нули у свакој тачки цилиндра.

0.20п

1.iii. Проценити могућност практичне реализације нулте запреминске густине наелектрисања у свакој тачки металног цилиндра. Кратко образложити одговор.

0.30п

Део бр. 2

2.i. Изрази за индукцију магнетног поља које ствара струја која тече кроз жицу у оба система референце $\vec{B}_{S.L.}(r)$, $\vec{B}_{S.M.}(r)$.

1.00п

2.ii. Израз за разлику Лоренцових сила у два референтна система, $\vec{F}_{S.L.}(r) - \vec{F}_{S.M.}(r)$.

1.50п

2.iii. Одредити компоненте брзине електрона $\vec{v}(r_0/2)$ у оба референтна система.

1.00п

2.iv. Израз за брзину v_0 у функцији e, m, l, μ_0 и њена бројна вредност.

1.50п

2.v. Израз за максимално растојање од жице, D , у функцији од r_0 , на коме се електрон може наћи када се креће од жице у правцу нормалном на њу.

0.50п

Deo бр. 3

3.i. Изрази за силе које делују на елементарну запремину плазменог стуба.

0.80п

Једначина која описује равнотежу посматране елементарне запремине плазменог стуба.

0.40п

3.ii. Израз за притисак $p(r)$ у произвољној тачки плазменог стуба.

1.00п

3.iii. Број наелектрисаних честица N у плазменом стубу.

0.80п

Експериментални задатак број 1 (10 поена)

Тајна играчака

Циљ овог експеримента је препознати оптичке елементе који се налазе унутар оптичке црне кутије, одредити њихове позиције и геометријски их окарактерисати. Једини мерни инструмент који вам је на располагању је штоперица.

Експериментална поставка

На радном столу од материјала, наћи ћете следећу опрему:

A. Транспарентну (провидну) кутију у којој се налазе:

a. Црвени ласер „поинтер“ (показивач) чија је таласна дужина $\lambda = 640\text{nm}$.

УПОЗОРЕЊЕ! Строго је забрањено уперити укључени поинтер себи или некој другој особи у очи.

b. Штоперица – једини мерни инструмент који мери у јединицама S.I.

c. Украс за јелку. Можете сматрати да је овај украс облика сфере полупречника R и занемарљиве дебљине. Приликом одређивања карактеристика сфере, занемарите део који служи за качење украса. На поменутом делу се налазе две рупице кроз које можете да провучете иглу.

d. Картонска кутија у облику коцке чије су затворене стране обележене словима C, U, V, E. Преостале две стране обележене су словима G и F и на њима се налазе два паралелна прореза. Унутар коцке налази се оптички елементи. Занемарите дебљину зидова коцке.

УПОЗОРЕЊЕ! Забрањено је отворати кутију!

e. Игла која служи за вешање украса.

f. Рајснадла за причвршћавање листова папира за екран. („Боцкице“, „прибадаче“ у боји.)

B. Паралелепипедни комад стиропора са постољем и држачем за куглицу. Слободна страна стиропора ће вам служити као екран када на њега закачите бели папир користећи рајснадле, као што је приказано на слици.



Стиропор који се користи као екран. Украс за јелку је закачен помоћу игле на држач. На слици десно можете видети штоперицу.

C. Оптичка клупа коју ћете користити током експеримента направљена је од стиропра на чијем врху се налази жљеб који ће вам омогућити прецизно померање коцке (кутија описана под **A.d**) Два мала правоугаона дела од стиропора омогућавају вам поравнање (усмеравање)



ласерског снопа. Делови који чине оптичку клупу спојени су ексерима.

D. Две половине папира формата А4 на којима су нацртане еквидистантне праве. Растојање између правих није познато. Ако желите да изразите дужину коју сте измерили помоћу ових папира, користите нотацију „број линија“ # а.у. (арбитрарне (произвољне) јединице).

E. Неколико листова белих папира А4 формата.

Задатак број 1

Покажите да је момент инерције сфере у односу на осу која пролази кроз центар сфере једнак $\frac{2}{3} \cdot m \cdot R^2$. Претпоставити да је дебљина зидова сфере занемарљива. Маса сфере је m , а полупречник R . (1.00п)

Задатак број 2

Напишите израз за момент инерције ове сфере у односу на осу која је тангира. (0.50п)

Вредност гравитационог убрзања је $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

У било ком експерименталном делу проблема НИЈЕ потребно рачунати грешке.

Задатак број 3

Користећи украс за јелку, иглу и штоперницу, одредите растојање између правих на добијеном папиру (**D**). Изразити (1 а.у) у милиметрима (mm). У овом делу биће потребно да:

3.i. Кратко опишите коришћени метод. Опис треба да стане у предвиђени простор на листу за одговоре. (1.00п)

3.ii. Измерите обим великог круга сфере у а.у. Напишите резултат у облику ##,# а.у. у предвиђени простор на листу за одговоре (0.50п)

3.iii. Направите табелу са подацима мерења које сматрате важним. Урадите то у предвиђеном простору на листу за одговоре. (1.50п)

3.iv. Одредите вредност арбитрарне јединице у милиметрима $1 \text{ a.u.} = \# \text{ mm}$ и запишите добијену вредност (у облику ##,# (mm)) у предвиђени простор на листу за одговоре. (0.50п)

Задатак број 4

Одредите дужину ивице коцке и изразите њену дужину у центиметрима cm користећи једну значајну цифру. Напишите одговор у предвиђени простор на листу за одговоре. (0.50п)

Унутар коцке могу се наћи један или више оптичких елемената из следеће табеле.

	Оптички елемент	Геометријске карактеристике
1	Дифракциона решетка	Константа дифракционе решетке (растојање између суседних прореза), правац прореза, положај унутар кутије
2	Призма	Угао при врху призме, угао између једне од страна на којој долази до преламања и осе коцке, положај унутар кутије

Задатак број 5

Испитајте све могуће положаје коцке, тако да ласерски сноп улази у коцку кроз један, а излази из ње кроз други прорез. Користите два папира са еквиливантним линијама (**D**) да измерите растојање између екрана и коцке и да потврдите да централни сноп пада нормално на екран. Водите рачуна да при постављању експеримента ласерски сноп пролази кроз централну зону оба прореза (на странама коцке са прорезима налазе се ознаке које помажу при усмеравању снопа). Користите као референтни објекат слику која настаје на екрану када се између ласерског поинтера и екрана не налази коцка.

5.i. Сваки пут забележите на папиру причвршћеном за екран позиције осветљених тачака. Малом стрелицом обележите централну тачку на добијеној слици. Ако сматрате неопходним, поновите мерења за више различитих растојања између коцке и екрана (не више од четири пута). Приложите папире са обележеним тачкама, нумеришите их и упишите редни број папира у одговарајуће поље у табели са подацима која се налази у листу за одговоре. (1.00п)

5.ii. У предвиђеном простору у листу за одговоре направите табелу са мерним подацима. Мерења обележите у одговарајућим пољима, записивањем слова са горње стране коцке и слова са стране кроз коју сноп улази у кутију. (1.00п)

5.iii. Одредите најједноставнији распоред (конфигурацију) оптичких елемената који се налазе у кутији. Наведите у предвиђеном простору у листу за одговоре елементе који се налазе унутар кутије. (1.00п)

5.iv. Користећи одговарајуће графике, одредите растојање сваког од оптичких елемената од стране са прорезом обележене словом F. На одвојеним папирима нацртајте графике које сматрате важним за сваки од елемената и напишите у предвиђеним просторима у листу за одговоре величине одређене помоћу графика. (1.00п)

5.v. Одредите друге геометријске особине сваког од оптичких елемената. Запишите одређене особине у одговарајуће поље у листу за одговоре. (0.50п)

СПЕЋНО!!! ☺

© Аутори задатка:

Prof. dr. Delia DAVIDESCU

Prof.dr. Dan Ovidiu CROCNAN

Conf. univ. dr. Adrian DAFINEI

*Лист за одговоре**Експериментални Задатак број 1**Шајна играчака**Задатак број 1*

Покажите да је момент инерције сфере у односу на осу која пролази кроз центар сфере једнак $\frac{2}{3} \cdot m \cdot R^2$. Претпоставити да је дебљина зидова сфере занемарљива. Маса сфере је m , а полупречник R .

1.00п

Задатак број 2

Напишите израз за момент инерције ове сфере у односу на осу која је тангира.

0.50п

Задатак број 3

3.i. Опишите коришћени метод.

1.00п

3.ii. Измерите обим великог круга сфере у а.у. Напишите резултат у облику ##,## а.у.

0.50п

3.iii. Табела са подацима мерења које сматрате важним.

--

1.50p

3.iv. Вредност арбитрарне јединице у милиметрима $1a.u. = \# mm$. Запишите добијену вредност (у облику $\#\#, \#$ (mm)).

--

0.50p

Задатак број 4

Дужина ивице коцке. Изразите њену дужину у сантиметрима см користећи једну значајну цифру.

0.50п

Task No. 5

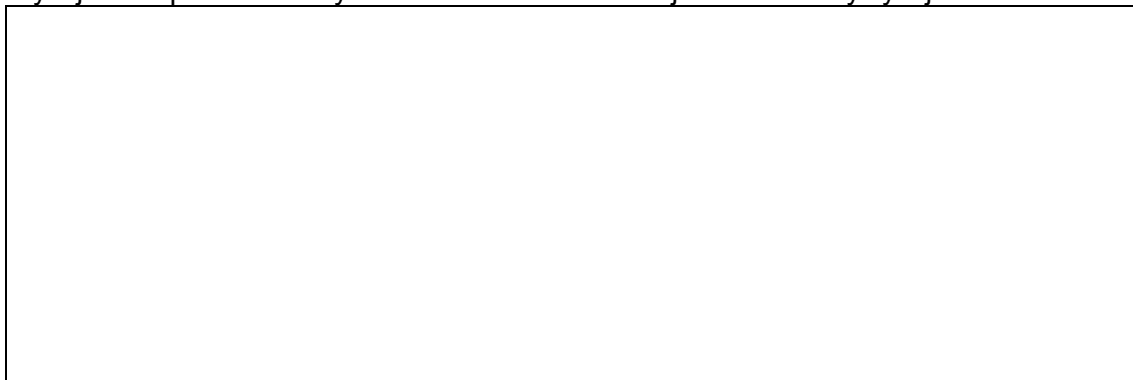
5.i. Приложите папире са обележеним тачкама, нумеришите их и упишите редни број папира у одговарајуће поље у табели.

1.00п

5.ii. Табела са мерним подацима. Мерења обележите у одговарајућим пољима, записивањем слова са горње стране коцке и слова са стране кроз коју сноп улази у кутију.

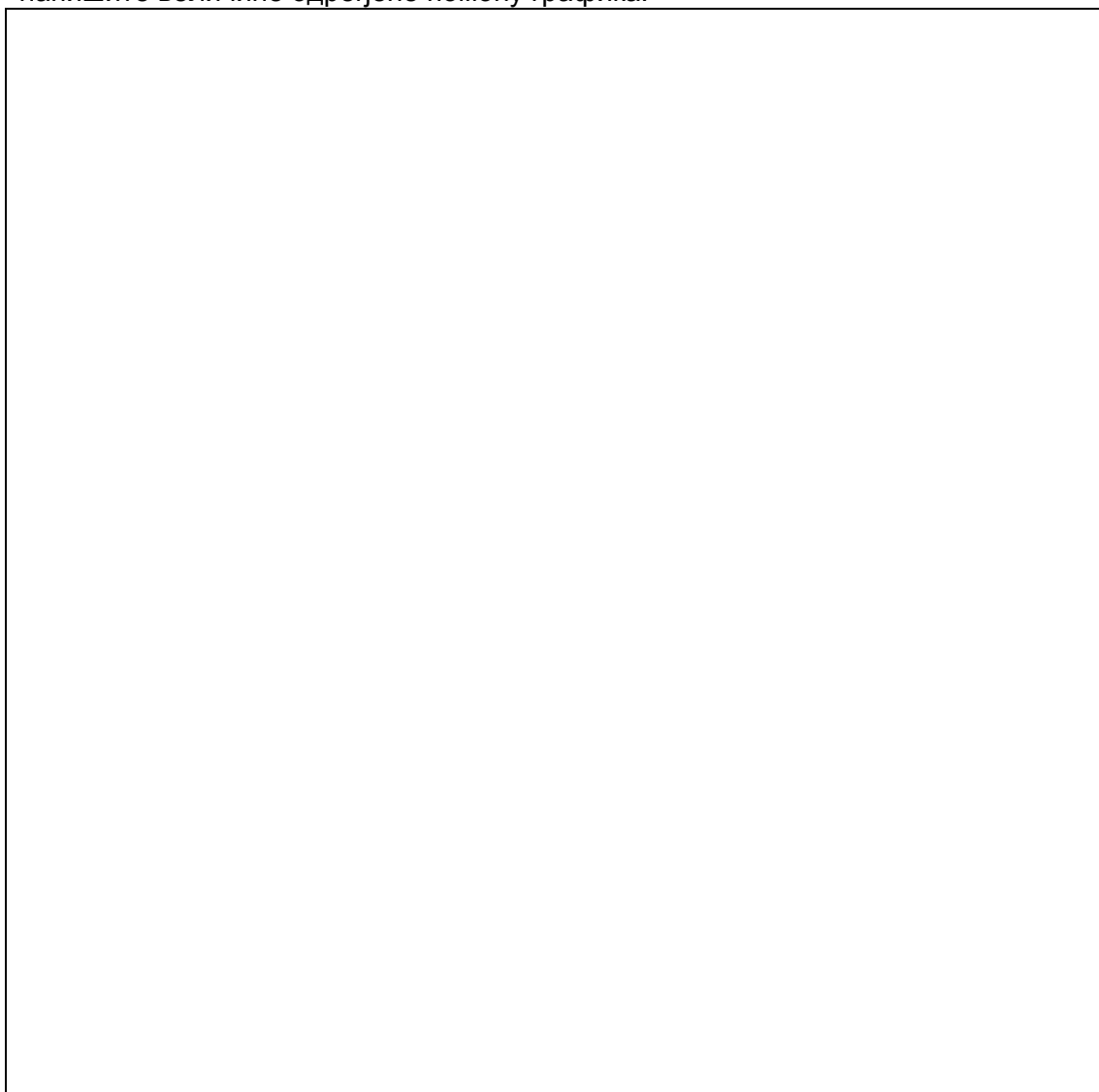
1.00п

5.iii. Најједноставнија конфигурација оптичких елемената који се налазе у кутији. Направите листу оптичких елемената који се налазе у кутији.



1.00p

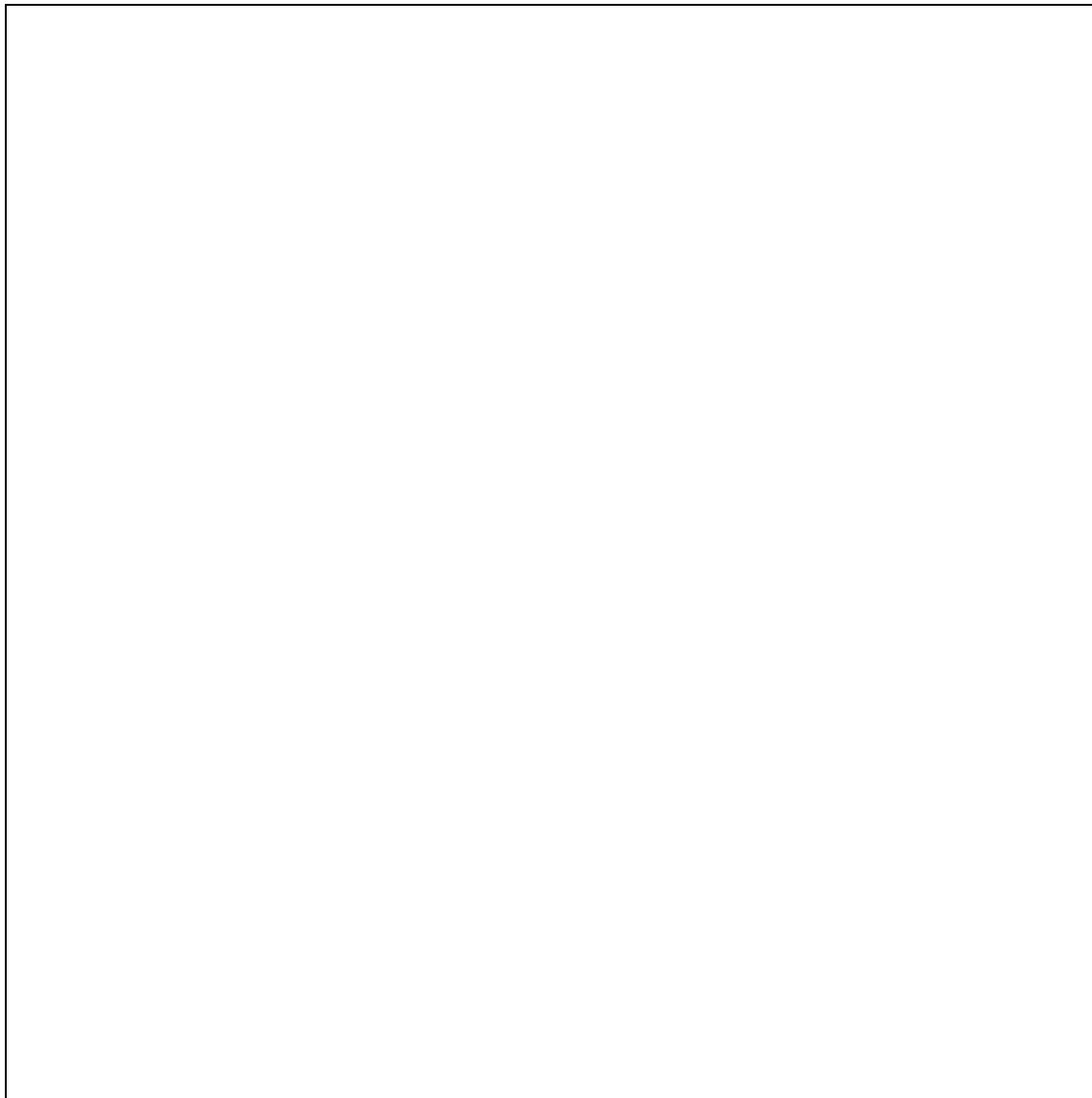
5.iv. Користећи одговарајуће графике, одредите растојање сваког од оптичких елемената од стране са прорезом обележене словом F. На одвојеним папирима нацртајте графике које сматрате важним за сваки од елемената и напишите величине одређене помоћу графика.



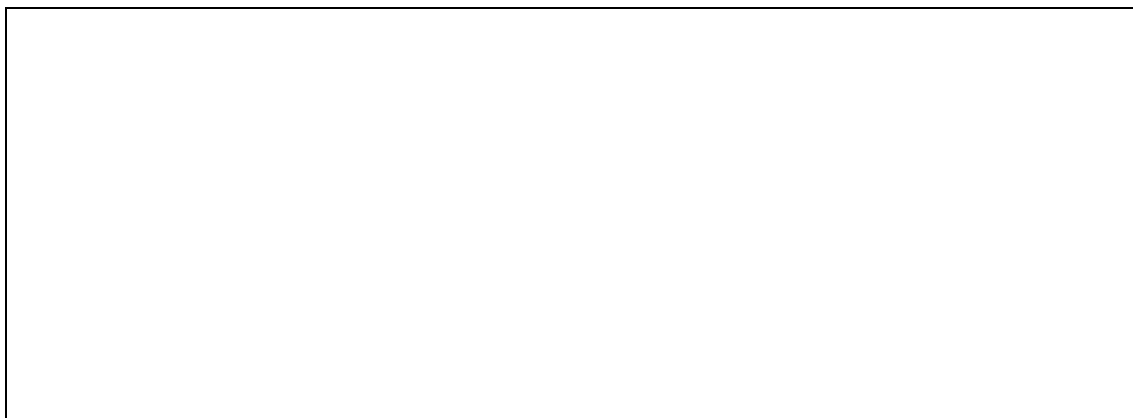
1.00p

5.iv.

5.iv.



5.v. Геометријске особине сваког од оптичких елемената.



0.50п



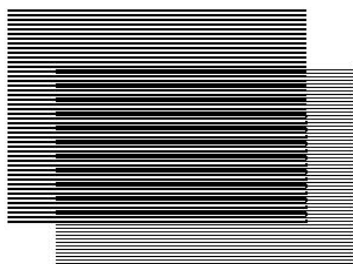
Експериментални задатак бр. 2 (10 поена)

Проучавање Моареових (Moiré) шара

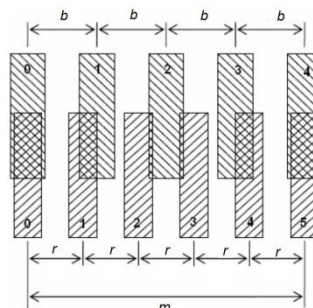
Поставите прсте као што је приказано на сликама десно; ако су прсти преклопљени (горња слика) онда светлост пролази, а ако су преплетени светлост не пролази (доња слика). Моареова шара се добија преклапањем две мреже које имају незнатно различите скале, или када су преклопљене под малим углом. Као пример за преклапање се могу узети два комада исте тканине од фине свиле. Сличан, али не исти, размак између појединачних свилених нити ствара карактеристичну "таласасту" шару, при гледању кроз оба комада тканине. Сасвим генерално, суперпозиција две оптичке мреже линија ствара реалну и видљиву шару скоро паралелних светлих и тамних трака, Моареову шару, која се види заједно са мрежама. Моареове шаре се користе за проучавање протицање флуида, при решавању техничких проблема везаних за простирање таласа, при анализи напрезања материјала, у кристалографији, оптици, математици, психологији перцепције, итд.



Најједноставнија Моареова шара опажа се када се провидна фолија која садржи мрежу (периодично постављених паралелних непровидних уских пруга) постави преко листа папира који такође садржи мрежу. Слика која се опажа слагањем ове две мреже представља периодично поновљене тамне и светле паралелне траке које чине Моареову шару, као што је приказано на слици 1. Светле области ове слике одговарају областима у којима се пруге појединачних мрежа преклапају. Тамне области ове слике, које образују тамне Моареове траке, одговарају областима у којима се тамне пруге једне мреже преклапају са светлим областима између пруга друге мреже, односно областима у којима су мреже преклопљене.



Слика 1



Слика 2

Период мреже је растојање између симетрала суседних паралелних пруга. У Моареовим експериментима разлика између периода мрежа је веома мала. У овом експерименту лист папира са мрежом ћемо звати "базом" а провидну фолију са мрежом "откривалицом". Период "базе" је b а период "откривалице" је r , као што је приказано на слици 2. У добијеној Моареовој шари, растојање m између две узастопне светле (или тамне) траке (гледајте цео понављајући патерн) се назива периодом шаре (на слици 2, светле траке се појављују на оба краја, док се тамна трака појављује у средини). Ако је $b > r$, онда је број периода базе који се налази унутар периода Моареове шаре за један мањи од броја периода откривалице у периоду шаре, односно:

$$m/b = (m/r) - 1, \quad (1)$$

тако да је:

$$m = b \cdot r / (b - r). \quad (2)$$

Очигледно, једначина (2) је тачна и када је $b < r$. Период Моареове шаре се повећава када се $|b - r|$ смањује. Померањем једне од мрежа примећује се померај пруга у Моареовој шари.

Када је разлика између периода две мреже веома мала, онда је m много веће од периода обе мреже. Коначно, преклапање две мреже паралелних пруга ствара оптичку слику са паралелним Моареовим тракама повећаног периода.

У оквиру експерименталног задатка бр. 2 проучаваћете Моареове шаре и одредићете периоде две оптичке мреже, користећи два различита експериментална метода.

Поставка експеримента

За решавање овог задатка имате на располагању:

- I. Комад стиропора која се користи као радна површ, на коју можете убадати шпенадле.
- II. Коверат који садржи:
 - A. Провидну фолију са натписом „Revelator, ruler, protractor”. На фолији су одштампани:
 - угломер;
 - лењир са по десет мањих подеока између два главна подеока. Најмањи подеок (растојање између суседних мањих подеока) лењира је јединица мере (a.u) за растојања у овом експерименту;
 - оптичка мрежа са периодом 0,76 a.u.
 - B. Лист папира са натписом „Grid 1”. На листу су одштампани:
 - угломер;
 - лењир са по десет мањих подеока између два главна подеока. Најмањи подеок (растојање између суседних мањих подеока) лењира је јединица мере (a.u) за растојања у овом експерименту;
 - оптичка мрежа непознатог периода.
 - C. Лист папира са натписом „Grid 2”. На листу су одштампани:
 - угломер;
 - лењир са по десет мањих подеока између два главна подеока. Најмањи подеок (растојање између суседних мањих подеока) лењира је јединица мере (a.u) за растојања у овом експерименту;
 - оптичка мрежа непознатог периода.
 - D. Лист папира са натписом „Circle”. Мрежа на овом папиру се састоји од концентричних кругова чији се полупречници повећавају од центра ка ободу са константним прираштајем - "периодом" кружне мреже.
 - E. Празна провидна фолија.

Упозорење: само по овој празној фолији (E) можете да цртате и пишете. Није дозвољено цртање и писање на провидној фолији и листовима папира описаним у деловима A, B, C и D.

- III. Мала кеса која садржи неколико шпенадли и маркер који можете да користите за писање по празном папиру и фолији.

Део бр. 1 – Паралелне мреже

Користите фолију означену са "Revelator, ruler, protractor", лист папира означен са "Grid 1", и по потреби празну фолију, шпенадле и маркер. Поставите фолију означену са "Revelator, ruler, protractor" преко папира означеног са "Grid 1" тако да линије обе мреже буду паралелне.

1a. Одредите вредност (y a.u.) периода мреже на папиру „Grid 1”. (0.40п)

Користите фолију означену са "Revelator, ruler, protractor", лист папира означен са "Grid 2", и по потреби празну фолију, шпенадле и маркер. Поставите фолију означену са "Revelator, ruler, protractor" преко папира означеног са "Grid 2" тако да линије обе мреже буду паралелне.

1b. Одредите вредност (y a.u.) периода добијене Моареове шаре. (0.50п)

1c. Одредите вредност (y a.u.) периода мреже на папиру „Grid 2”. (0.50п)

Део бр. 2 – Заротиране мреже

Размотрите две оптичке мреже; мрежу "откривалицу", са периодом r , и мрежу "база" са периодом b . "Откривалица" је заротирана тако да је угао између њених линија и линија "базе" ρ . Добијена Моареова шара има период m ; угао између Моареових трака и линија мреже "базе" је μ .

2a. Показати да је $\mu = \arctan(b \cdot \sin \rho / (b \cdot \cos \rho - r))$. (0.80п)

2b. Показати да је период Моареове шаре $m = \frac{r \cdot b}{\sqrt{b^2 + r^2 - 2b \cdot r \cdot \cos \rho}}$. (0.50п)

Користите фолију означену са "Revelator, ruler, protractor" и папир "Grid 1", шпенадле и маркер.

2c. Измерите угао ρ између линија фолије „Revelator” и линија папира „Grid 1”, као и период m добијене Моареове шаре за углове $0 < \rho < 15^\circ$. Извршите најмање 10 мерења и попуните Табелу 1 на листу за одговоре. (1.00п)

2d. Користећи експерименталне податке из Табеле 1, нацртајте график линеаризоване зависности m од ρ . (1.00п)

2e. Користећи график који сте нацртали у делу **2d**, одредите у а.у. вредност периода мреже на папиру „Grid 1”. (0.50п)

Користите фолију означену са "Revelator, ruler, protractor" и папир "Grid 2", шпенадле и маркер.

2f. Измерите угао ρ између линија фолије „Revelator” и линија папира „Grid 1”, као и период m добијене Моареове шаре за углове $0 < \rho < 10^\circ$. Извршите најмање 10 мерења и попуните Табелу 2 на листу за одговоре. (1.00п)

2g. Користећи експерименталне податке из Табеле 2, нацртајте график линеаризоване зависности m од ρ . (1.00п)

2h. Користећи график који сте нацртали у делу **2g**, одредите у а.у. вредност периода мреже на папиру „Grid 2”. (0.50п)

Део бр. 3 – Експерименталне грешке коришћених метода

3a. Наведите изворе грешака за мерења у деловима број 1 и 2. (0.20п)

3b. Одредите израз за релативне грешке периода мреже на папиру "Grid 2" (који сте одредили у **1c** и **2h**). (0.60п)

3c. Израчунајте релативну грешку периода мреже на папиру "Grid 2", који сте одредили у **1c**. Израчунајте релативну грешку периода мреже на папиру "Grid 2", који сте одредили у **2h**, најмање за једну тачку. (0.40п)

Део бр. 4 - Моареова шара за кружну мрежу

4a. Користите фолију означену са "Revelator, ruler, protractor" и папир "Circle", шпенадле и маркер. Процените период кружне мреже. Образложите одговор. (0.70п)

4b. Укратко објасните ширину и променљиви нагиб Моареових трака које сте видели у **4a**. Објасните симетрију уочених Моареових трака у **4a**. (0.40п)

© Аутори задатка:

Dr. Delia DAVIDESCU

Dr. Adrian DAFINEI

ЛИСТ ЗА ОДГОВОРЕ

Експериментални задатак бр. 2 (10 поена)

Проучавање Моаревих шара

Део бр. 1 – Паралелне мреже

1a. Одредите вредност (у а.у.) периода мреже на папиру „Grid 1”

0.40п

1b. Одредите вредност (у а.у.) периода добијене Моареве шаре.

0.50п

1c. Одредите вредност (у а.у.) периода мреже на папиру „Grid 2”.

0.50п

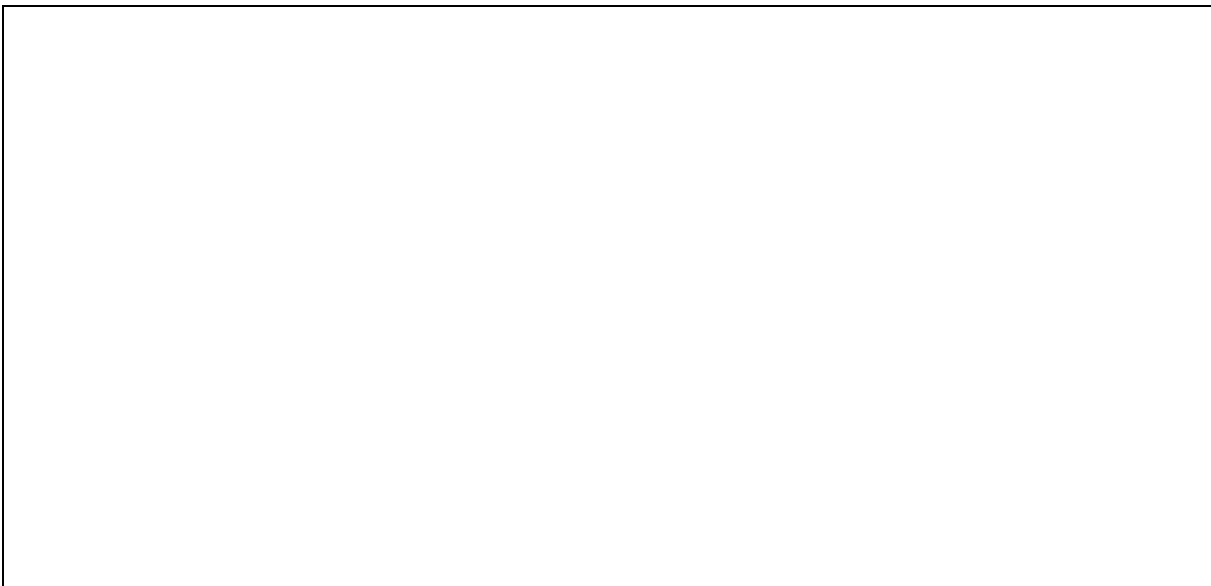
Део бр. 2 – Заротиране мреже

2а. Показати да је $\mu = \arctan(b \cdot \sin \rho / (b \cdot \cos \rho - r))$.



0.80п

2б Показати да је период Моареове шаре $m = \frac{r \cdot b}{\sqrt{b^2 + r^2 - 2b \cdot r \cdot \cos \rho}}$.



0.50п

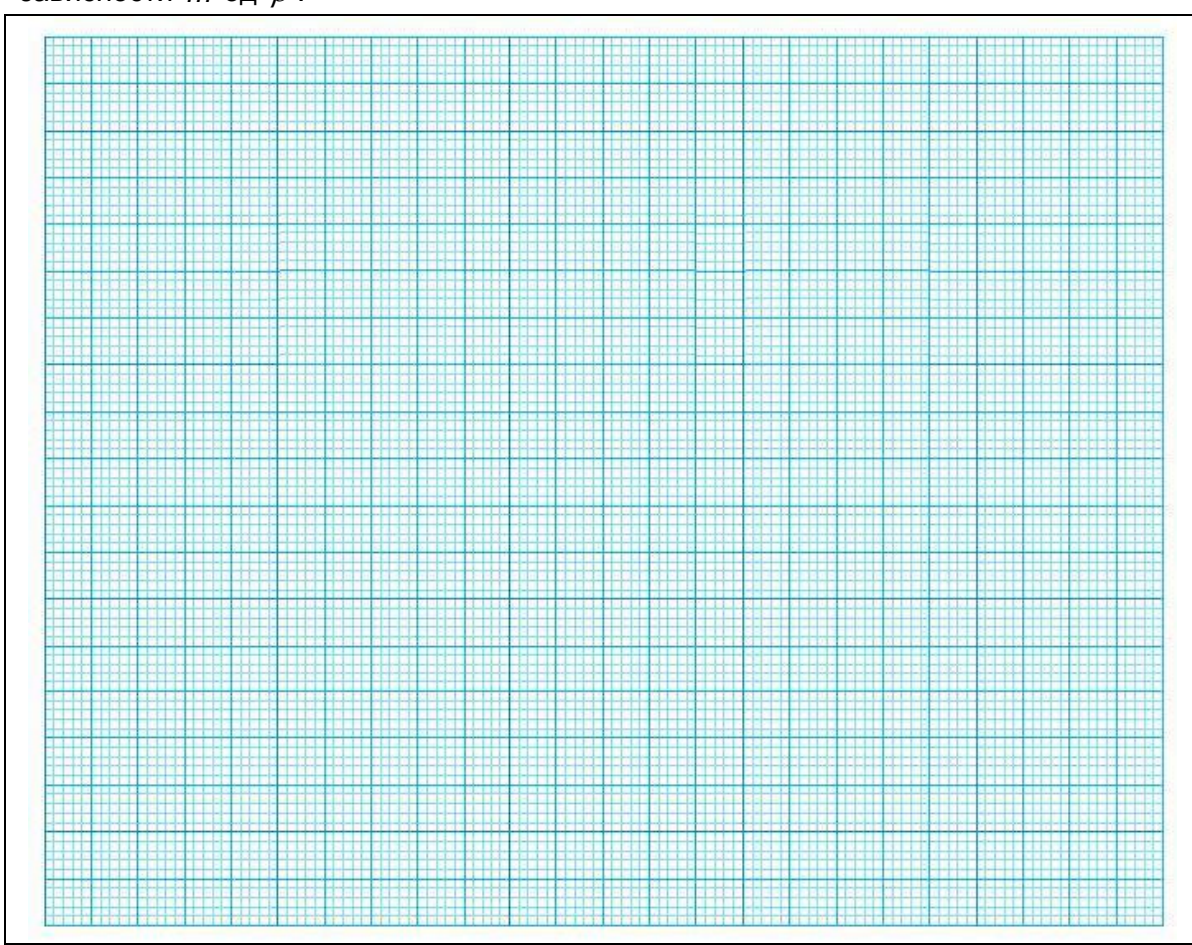
2c. Табела 1

Nr. crt.	ρ	m

Nr. crt.	ρ	m

1.00p

2d. Користећи експерименталне податке из Табеле 1, нацртајте график линеаризоване зависности m од ρ .



1.00p

2e. Користећи график који сте нацртали у делу 2d, одредите у а.и. вредност периода мреже на папиру „Grid 1”.



0.50п

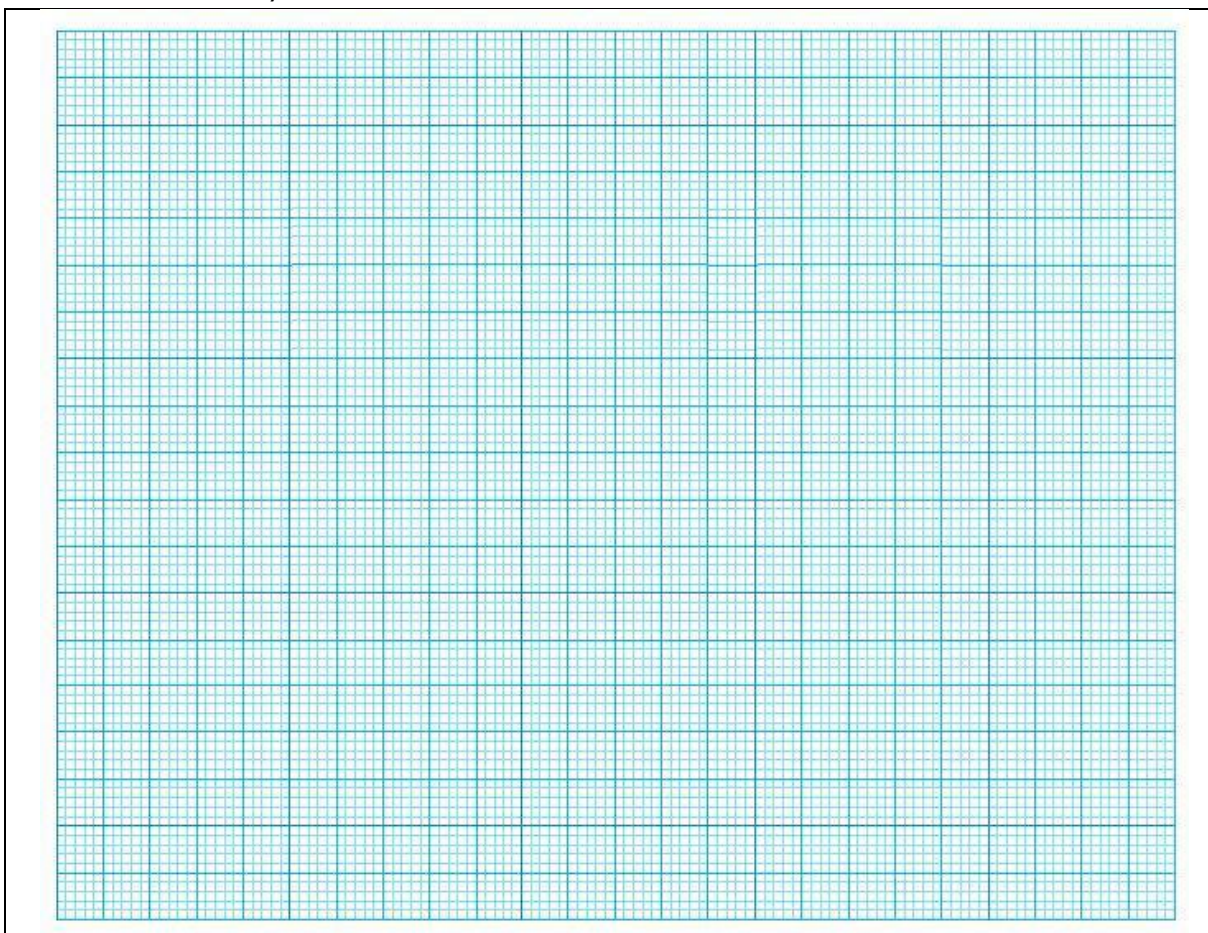
2f. Табела 2

Nr. crt.	ρ	μ	m

Nr. crt.	ρ	μ	m

1.00п

2g. Користећи експерименталне податке из Табеле 2, нацртајте график линеаризоване зависности t од ρ .



1.00п

2h. Користећи график који сте нацртали у делу **2g**, одредите у а.у. вредност периода мреже на папиру „Grid 2”.

A large empty box for the answer to question 2h.

0.50п

Део бр. 3 – Експерименталне грешке коришћених метода

3а. Наведите изворе грешака за мерења у деловима број 1 и 2.

0.20п

3б. Одредите израз за релативне грешке периода мреже на папиру "Grid 2" (који сте одредили у **1с** и **2h**)

0.60п

3с. - Израчунајте релативну грешку периода мреже на папиру "Grid 2", који сте одредили у **1с**.


0.20п

Израчунајте релативну грешку периода мреже на папиру "Grid 2", који сте одредили у **2h**, најмање за једну тачку.

0.20п

Део бр. 4 - Моареова шара за кружну мрежу

4a. Процените период кружне мреже. Образложите одговор.



0.70п

4b. Укратко објасните ширину и променљиви нагиб Моареових трака које сте видели у **4a**. Објасните симетрију уочених Моареових трака у **4a**.



0.40п