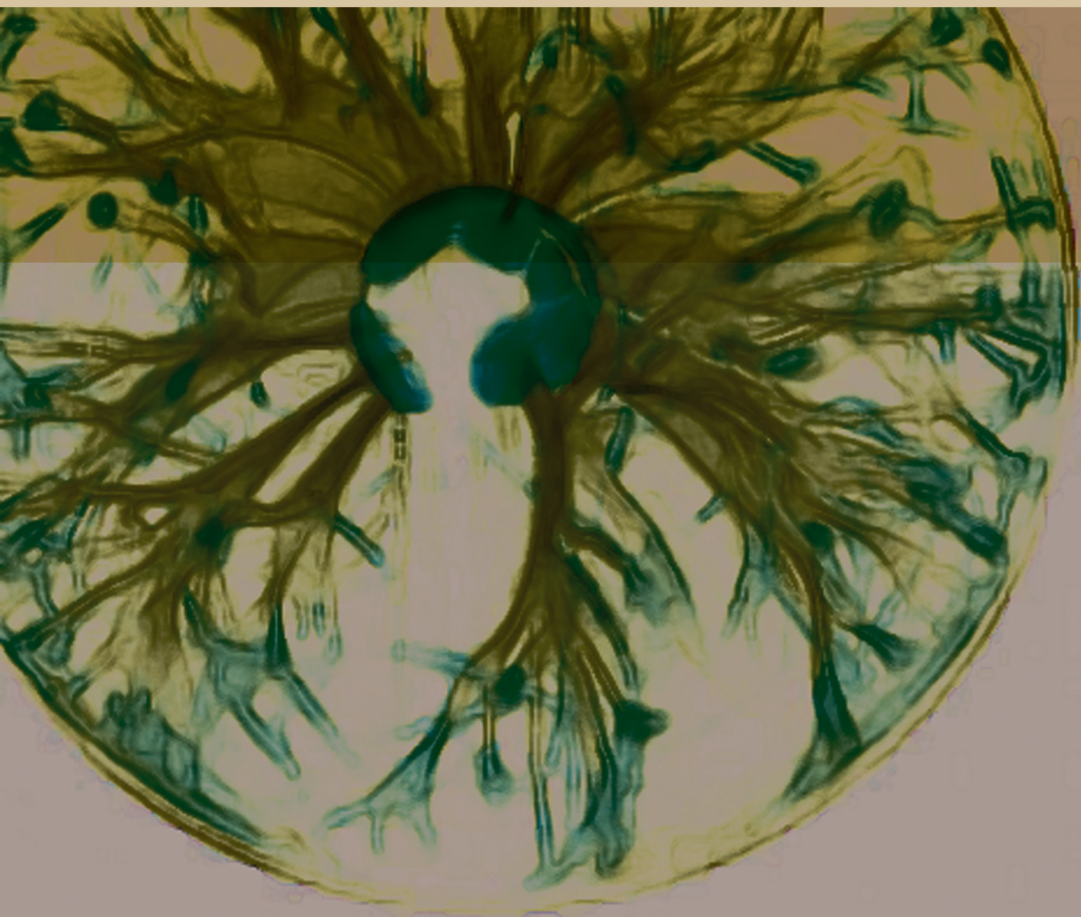


# ანოსანაბი ზოზანე ფიზიკანაში

თვიზიან დან აქოძიანი ფიზიკან



**ამოცანები ზოგად ფიზიკაში**  
ოპტიკა და ატომური ფიზიკა



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტი

## ამოცანები ზოგად ფიზიკაში

ოპტიკა და ატომური ფიზიკა



უნივერსიტეტის  
გამომცემლობა



განკუთვნილია ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა  
ფაკულტეტის არაფიზიკური სპეციალობების სტუდენტებისათვის

**რეცენზენტები:** პროფესორი არჩილ უგულავა

ასოცირებული პროფესორი რამაზ ხომერიკი

*შეადგინა ასისტენტ-პროფესორმა სიმონ ჩხაიძემ*

© ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2018

ISBN 978-9941-13-727-3

# სარჩევი

წინასიტყვაობა .....	7
---------------------	---

## თავი I. ოპტიკა

1. გეომეტრიული ოპტიკა .....	9
2. ძირითადი ფოტომეტრიული მახასიათებლები .....	13
3. ტალღური ოპტიკა .....	16
3.1. სინათლის ინტერფერენცია .....	16
3.2. სინათლის დიფრაქცია .....	18
3.3. სინათლის პოლარიზაცია და დისპერსია .....	19
ამოცანები .....	21

## თავი II. ატომური ფიზიკა

1. სითბური გამოსხივების კანონები .....	38
2. ფოტოეფექტი .....	39
3. დე-ბროილის ტალღები .....	40
ამოცანები .....	42
პასუხები .....	51
გამოყენებული ლიტერატურა .....	63



## წინასიტყვაობა

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს ზოგადი ფიზიკის ამოცანათა კრებულს უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის არაფიზიკური სპეციალობის სტუდენტებისათვის, რომელიც მოიცავს ამოცანებს ოპტიკასა და ატომურ ფიზიკაში. მართალია, არსებობს ქართულ ენაზე გამოცემული ამოცანათა რამდენიმე კრებული ზოგად ფიზიკაში უმაღლესი სასწავლებლებისათვის, მაგრამ ისინი განკუთვნილია ან მხოლოდ ფიზიკის მიმართულების სტუდენტებისათვის და შეიცავს გაზრდილი სირთულის ამოცანებს, ან არ არის ხელმისაწვდომი მომხმარებლისათვის. ჩვენი მიზანია ამ ხარვეზის ნაწილობრივი აღმოფხვრა.

წიგნში თავმოყრილია ამოცანები წინა წლებში გამოცემული სხვადასხვა ამოცანათა კრებულიდან (მათი ჩამონათვალი მოყვანილია პუნქტში „გამოყენებული ლიტერატურა“), რომლებსაც იყენებდნენ ტექნიკური უმაღლესი სასწავლებლები. წიგნი შედგება ორი თავისაგან. თითოეულ თავს თან ახლავს მოკლე შესავალი – თეორიული ნაწილი, სადაც თავმოყრილია ძირითადი ცნებები და ამოცანების ამოხსნისათვის აუცილებელი ფორმულები. თითქმის ყველა ამოცანას აქვს პასუხი.

მომავალში დაგეგმილია კრებულში კვანტური მექანიკის ამოცანების დამატება, რათა არაფიზიკური მიმართულების სტუდენტებსაც შეეძინათ ელემენტარული წარმოდგენა თანამედროვე ფიზიკის ამ უმნიშვნელოვანესი მიმართულების შესახებ; დაგეგმილია აგრეთვე ამოცანების ამოხსნის ნიმუშების დამატება.

მინდა აღვნიშნო წიგნის რეცენზენტების – პროფესორების: არჩილ უგულავას და რამაზ ხომერიკის დამსახურება. მათ მიერ გამოთქმული კრიტიკული შენიშვნების გათვალისწინებამ მნიშვნელოვნად შეამცირა ტექსტში გაპარული უზუსტობების რაოდენობა და შეავსო იგი.

დაბოლოს, მიუხედავად დიდი მცდელობისა, უზუსტობები ალბათ მაინც მრავლადაა ტექსტში, ამიტომ სიამოვნებით მივიღებ და გავითვალისწინებ კოლეგებისა და სტუდენტების მიერ გამოთქმულ ყველა შენიშვნას და მოსაზრებას, რაც ხელს შეუწყობს ამ კრებულის გაუმჯობესებას.

ს. ჩხაიძე

# თავი I. ოპტიკა

## 1. გეომეტრიული ოპტიკა

### სინათლის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები

დაცემული სხივი, არეკლილი სხივი და ორი გარემოს გამყოფ ზედაპირზე სხივის დაცემის ნერტილში აღმართული პერპენდიკულარი მდებარეობენ ერთ სიბრტყეში; დაცემის კუთხე არეკვლის კუთხის ტოლია:

$$\alpha = \beta,$$

სადაც  $\alpha$  და  $\beta$  - დაცემისა და არეკვლის კუთხეებია.

დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და ორი გარემოს გამყოფ ზედაპირზე სხივის დაცემის ნერტილში აღმართული პერპენდიკულარი მდებარეობენ ერთ სიბრტყეში; დაცემის კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხის კუთხის სინუსთან ტოლია პირველ და მეორე გარემოში სინათლის გავრცელების სიჩქარეთა ფარდობის:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n,$$

სადაც  $c_1$  და  $c_2$  – სინათლის გავრცელების სიჩქარეა პირველ და მეორე გარემოში,  $n_1$  და  $n_2$  – ამ გარემოთა აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებლები, ხოლო  $n$  – ფარდობითი გარდატეხის მაჩვენებელი.

სინათლის სხივთა ვიწრო კონუსს, რომლის ღერძი პერპენდიკულარულია (ნორმალურია) გარემოს გამყოფი სფერული ზედაპირისა, ეწოდება *პარაქსიალური (ღერძის მახლობლად მდებარე) კონა*.

თუ სფერულ ზედაპირს აქვს  $R$  სიმრუდის რადიუსი, ხოლო ზედაპირის ორივე მხარეს აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენე-

ბლებია  $n_1$  და  $n_2$ , მაშინ პარაქსიალური კონისათვის მუდმივი რჩება სიდიდე  $Q = n \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{R} \right)$ , რომელსაც ახეს ინვარიანტი ეწოდება.

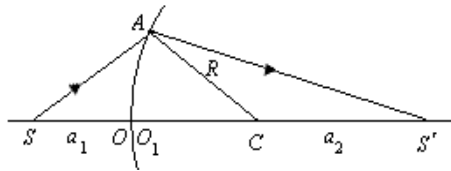
$$Q = n_1 \left( \frac{1}{a_1} - \frac{1}{R} \right) = n_2 \left( \frac{1}{a_2} - \frac{1}{R} \right).$$

აქ  $a_1$  და  $a_2$  – მანძილებია წყარომდე და მის გამოსახულებამდე. მაშინ:

$$\frac{n_1}{a_1} - \frac{n_2}{a_2} = \frac{n_1 - n_2}{R}, \quad \frac{n_1 R}{a_1} - \frac{n_2 R}{a_2} = n_1 - n_2,$$

$$\frac{n_1 R}{a_1 (n_1 - n_2)} + \frac{n_2 R}{a_2 (n_2 - n_1)} = 1.$$

$a_1$  და  $a_2$  აითვლება გამყოფი ზედაპირის 0 წერტილიდან (ნახ.1). ამასთან, სინათლის გავრცელების მიმართულებით ისინი ითვლებიან დადებითად, ხოლო საწინააღმდეგო მიმართულებით კი – უარყოფითად. ცხადია, რომ  $a_1 < 0$  და  $a_2 > 0$ . ამოზნექილი სფერული (სინათლის წყაროს მიმართ) ზედაპირისათვის  $R > 0$ , ხოლო ჩაზნექილისათვის  $R < 0$ .



ნახ. 1

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნებს  $\frac{n_1 R}{n_1 - n_2} = f_1$  და  $\frac{n_2 R}{n_2 - n_1} = f_2$ , მივი-

ღებთ  $\frac{f_1}{a_1} + \frac{f_2}{a_2} = 1$ .  $f_1$  და  $f_2$  გარდამტეხი სფერული ზედაპირის

წინა და უკანა ფოკუსური მანძილებია.  $F_1$  და  $F_2$  წერტილებს,

რომლისთვისაც  $a_1 = f_1$  და  $a_2 = f_2$ , ეწოდებათ სფერული ზედაპირის წინა და უკანა ფოკუსები. თუ სინათლის წყარო იმყოფება  $F$  ფოკუსში ( $a_1 = f_1$ ), მაშინ მისი გამოსახულება იქნება უსასრულობაში ( $a_2 = \infty$ ). ეს იმას ნიშნავს, რომ  $F_1$  ნერტილში კრებადი პარაქსიალური კონა გარდატეხის შემდეგ გარდაიქმნება პარალელურ სხივთა კონად. თუ  $S$  წყარო იმყოფება უსასრულობაში ( $a_1 = -\infty$ ), მაშინ მისი გამოსახულება მიიღება  $F_2$  ფოკუსში.  $F_1$  და  $F_2$  ფოკუსები ნამდვილია, თუ  $f_1 < 0$  და  $f_2 > 0$ , ანუ, თუ  $R > 0$ ,  $n_2 > n_1$  ან  $R < 0$ ,  $n_2 < n_1$ . ამ შემთხვევაში  $S'$  გამოსახულება არის ნამდვილი ( $a_2 > 0$ ), თუ  $\frac{a_1}{f_1} > 1$ .

### სფერული სარკის ფორმულა <sup>1</sup>

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R},$$

სადაც  $f = \frac{R}{2}$  – სფერული სარკის ფოკუსური მანძილია,  $a_1$  და  $a_2$  მანძილებია წყარომდე და გამოსახულებამდე. გამოსახულება სფერულ სარკეში ნამდვილია, თუ ის იმავე მხარეს მდებარეობს სარკიდან, როგორც წყარო ( $a_2 < 0$ ). წინააღმდეგ შემთხვევაში გამოსახულება წარმოსახვითია ( $a_2 > 0$ ). ამოზნექილ სარკეში ( $R > 0$ ) გამოსახულება ყოველთვის წარმოსახვითია, ხოლო ჩაზნექილ

---

<sup>1</sup> ყველა ამოცანაში უნდა განისაზღვროს  $a_1$ -ის,  $a_2$ -ის და  $R$ -ის ნიშნები და შემდეგ დაიწეროს  $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R}$  განტოლება ამ სიდიდეთა ნიშნების გათვალისწინებით: მაგ.,  $-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = -\frac{2}{R}$  და სხვა.



სარკეში ( $R < 0$ ) იგი წარმოსახვითია, თუ  $\frac{2a_1}{R} > 1$  და ნამდვილია,

თუ  $\frac{2a_1}{R} < 1$ .

თუ მნათი სხეული არის სფერული ზედაპირის ოპტიკური ღერძის პერპენდიკულარული  $h$  სიდიდის მცირე მონაკვეთი, მაშინ პარაქსიალური სხივებით მიღებული მისი გამოსახულებაც იქნება ოპტიკური ღერძის პერპენდიკულარული მონაკვეთი.

გამოსახულების და საგნის ხაზოვანი ზომების ფარდობას ეწოდება ხაზოვანი ან განივი გადიდება:

$$Y = \pm \frac{h_{\text{გამ.}}}{h_{\text{ს.}}}$$

„+“ ( $Y > 0$ ) აქ შეესაბამება პირდაპირ გამოსახულებას, ხოლო „-“ ( $Y < 0$ ) – შებრუნებულ გამოსახულებას.

### **თხელი ლინზის ფორმულა**

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} = D,$$

სადაც  $a_1$  და  $a_2$  – მანძილებია ლინზიდან სინათლის წყარომდე და გამოსახულებამდე,  $n$  – მინის გარდატეხის მაჩვენებელი,  $f$  – ფოკუსური მანძილი,  $D$  – ლინზის ოპტიკური ძალა, ხოლო  $R_1$  და  $R_2$  – ლინზის ზედაპირების სიმრუდის რადიუსები. ამასთან,  $R_1$  უფრო მრუდე ზედაპირის სიმრუდის რადიუსია  $R_2$ -თან შედარებით. ისევე როგორც სფერული სარკის შემთხვევაში, აქაც მანძილი ითვლება დადებითად, თუ ის აითვლება ლინზიდან სხივის გავრცელების მიმართულებით.

## 2. ძირითადი ფოტომეტრიული მახასიათებლები

ფოტომეტრია არის ოპტიკის ნაწილი, რომელშიც განიხილება იმ ენერგიის გაზომვა, რომელიც გადააქვს ოპტიკური დიაპაზონის ( $10^{-8} - 3 \cdot 10^{-3}$ ) მ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას. უფრო ვიწრო გაგებით, ფოტომეტრიის ქვეშ იგულისხმება ოპტიკის ნაწილი, რომელიც განიხილავს ხილული სინათლის მოქმედებას ადამიანის თვალზე.

სინათლის გამოსხივება, რომელიც ეცემა რაღაც ფართზე (ან გადის მასში), შეიძლება დავახასიათოთ ენერგიით, რომელიც გადააქვს ელექტრომაგნიტურ ტალღას ამ ზედაპირზე (ან გადის მასში) ერთ წამში, ანუ შეიძლება დავახასიათოთ გამოსხივების სიმძლავრით  $W_\lambda$ . მაგრამ აღმოჩნდა, რომ მხედველობითი შეგრძნება დამოკიდებულია არა მხოლოდ გამოსხივების სიმძლავრეზე, არამედ თვალის სპექტრულ მგრძობიარობაზეც (ხილვადობის კოეფიციენტზე). ამიტომ, მთელ რიგ შემთხვევებში სინათლის ენერგეტიკულ მახასიათებლად იყენებენ სინათლის ნაკადს:

$$\Phi_\lambda = W_\lambda V_\lambda,$$

სადაც  $W_\lambda$  – გამოსხივების სიმძლავრეა, ხოლო  $V_\lambda$  – ხილვადობის კოეფიციენტი. თუ გამოსხივება არაა მონოქრომატული, მაშინ:

$$\Phi = \sum \Phi_\lambda = \sum W_\lambda V_\lambda.$$

სინათლის ნაკადთან ერთად, ძირითად ფოტომეტრიულ მახასიათებლებად ითვლებიან აგრეთვე: სინათლის ძალა, განათებულობა და სიკაშკაშე.

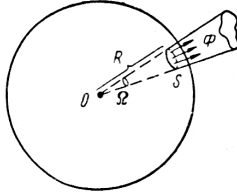
სინათლის ძალა არის სინათლის ნაკადი, რომელსაც ქმნის წერტილოვანი წყარო ერთეულოვან სხეულოვან კუთხეში:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}.$$

სხეულოვანი კუთხე  $\Omega$  არის სივრცის ნაწილი, რომელიც შემოსაზღვრულია კონუსური ზედაპირით. სხეულოვანი კუთხის სიდიდე

იზომება ამ კუთხის მიერ სფერულ ზედაპირზე ამოჭრილი ფართობის შეფარდებით სფეროს რადიუსის კვადრატთან (ნახ.2):

$$\Omega = \frac{S}{R^2}.$$



ნახ. 2

მისი საზომი ერთეულია სტერადიანი (სივრცული რადიანი) – კუთხე, რომელიც ამოჭრის ერთეულოვან ფართს ერთეულოვანი რადიუსის მქონე სფეროს ზედაპირზე. ცხადია, რომ სხეულოვანი კუთხე, რომელიც მოიცავს მთელ სივრცეს, სინათლის წყაროს ირგვლივ იქნება  $4\pi$  სტერადიანი:

$$\Omega = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi.$$

სინათლის ძალის საზომი ერთეულია სანთელი ან კანდელა.

სინათლის ნაკადის ერთეულია:

$$\Phi = I\Omega = 1 \text{ სანთ.} \cdot 1 \text{ სტერად.} = 1 \text{ ლუმენი.}$$

1 ლუმენი არის სინათლის ისეთი ნაკადი, რომელსაც ქმნის 1 სანთელი სინათლის ძალის მქონე წყარო 1 სტერადიან კუთხეში.

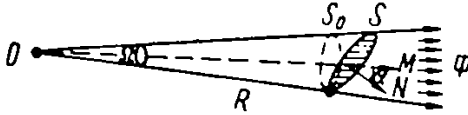
შემოყავთ აგრეთვე განათების რაოდენობრივი მახასიათებელი განათებულობა:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

ეს არის სინათლის ნაკადი, რომელიც ეცემა  $S$  ფართს. თუ  $S$  ფართობის წირითი ზომები მცირეა სინათლის წყარომდე მანძილთან შედარებით, მაშინ შეიძლება დავწეროთ, რომ:

$$\Omega = \frac{S_0}{R^2} = \frac{S \cos \alpha}{R^2},$$

სადაც  $\alpha$  კუთხეა  $S$  ფართობსა და მის პროექციას შორის (ნახ.3).



ნახ. 3

$$S = \frac{\Omega R^2}{\cos \alpha} \text{ და } E = \frac{I \Omega}{S} = \frac{I \Omega \cos \alpha}{\Omega R^2} = \frac{I \cos \alpha}{R^2},$$

ე.ი. ზედაპირის განათებულობა პირდაპირპროპორციულია სინათლის ძალისა და სინათლის დაცემის კუთხის კოსინუსის და უკუპროპორციულია ზედაპირამდე მანძილის კვადრატისა. განათებულობის ერთეულია ლუქსი:

$$1 \text{ ლუქსი} = \frac{1 \text{ ვუტ}}{1 \text{ მ}^2}.$$

შემოაქვთ კიდევ ნათობის ცნება:

$$R = \rho E,$$

სადაც  $E$  განათებულობაა, ხოლო  $\rho$  – არეკვლის კოეფიციენტი და სიკაშკაშე:

$$B = \frac{I}{S \cos \theta},$$

აქ  $S$  – მნათი სხეულის ხილული ზედაპირია, ხოლო  $\theta$  – სხივების დაცემის კუთხე. მაშინ ცხადია, რომ ნათობა სიკაშკაშესთან დაკავშირებულია თანაფარდობით:

$$E = 4\pi B.$$

### 3. ტალღური ოპტიკა

#### 3.1. სინათლის ინტერფერენცია

ოპტიკური მანძილი არის მანძილის  $d$  გეომეტრიული სიგრძის ნამრავლი გარემოს  $n$  აბსოლუტურ გარდატეხის მაჩვენებელზე:

$$S = nd .$$

სინათლის ერთსა და იმავე წყაროდან წამოსული ორი კოჰერენტული ტალღის ფაზათა სხვაობა  $\Delta\phi$ , რომელთაგან ერთი გადის  $d_1$  სიგრძის მანძილს  $n_1$  გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე გარემოში, ხოლო მეორე –  $d_2$  მანძილს  $n_2$  გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე გარემოში, არის:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (S_2 - S_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta S ,$$

სადაც  $S_2 = n_2 d_2$ ,  $S_1 = n_1 d_1$ ,  $\lambda$  – სინათლის ტალღის სიგრძეა ვაკუუმში,  $S_2 - S_1 = \Delta S$  სიდიდეს ეწოდება ოპტიკური სვლათა სხვაობა. თუ ორი სხივის ოპტიკური მანძილი ერთნაირია ( $S_2 = S_1$ ), მაშინ გზას, რომელსაც გადის ტალღა, ეწოდება ტაუტოქრონული (რომელიც არ წარმოქმნის ფაზათა სხვაობას).

თუ  $\Delta S = \frac{\lambda}{2}$ , მაშინ  $\Delta\phi = \pi$ , ე.ი. ოპტიკური სიგრძის გაზრდა ან

შემცირება მეორე სხივთან შედარებით  $\frac{\lambda}{2}$  სიდიდით შეესაბამება ამ სხივის ჩამორჩენას ან წინსწრებას მეორე სხივთან შედარებით  $\pi$  ფაზით. ასეთი ორი ტალღის სუპერპოზიციის დროს მათი ამპლიტუდები აკლდება ერთმანეთს და მათი ტოლობის შემთხვევაში მარეზულტირებელი ტალღის ამპლიტუდა ნულის ტოლი იქნება.

ინტერფერენციის დაკვირვება შესაძლებელია მხოლოდ მცირე  $\Delta S$  სხვაობის დროს. თუ  $\Delta S \geq \tau c$  ( $\tau$  აქ არის ატომის მიერ სინათ-

ლის გამოსხივების ერთი აქტის ხანგრძლივობა), მაშინ ზედმდები ტალღები კოჰერენტული არ არიან და არც ინტერფერირებენ.

თუ  $\Delta S \leq \tau c$ , მაშინ ინტერფერენციის დამზერის პირობაა:

$$\Delta\lambda < \frac{\lambda^2}{\Delta S},$$

ე.ი. ინტერფერენციის არსებობისათვის,  $\Delta S$ -ის დიდი მნიშვნელობის დროს, საჭიროა სხივი იყოს ძლიერ მონოქრომატული.

ბრტყელ-პარალელურ ფირფიტაში გამავალი სინათლის შემთხვევაში ინტერფერენციის შედეგი გამოისახება ფორმულებით:

$$2hncosr = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

და

$$2hncosr = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

პირველი ფორმულა შეესაბამება სინათლის გაძლიერებას, ხოლო მეორე – სინათლის შესუსტებას. აქ  $k$  – ფირფიტის სისქეა,  $n$  – გარდატეხის მაჩვენებელი,  $r$  – გარდატეხის კუთხე,  $\lambda$  – სინათლის ტალღის სიგრძე.

არეკლილ სინათლეში გაძლიერებისა და შესუსტების პირობები შებრუნებულია გამავალი სინათლის შემთხვევაში არსებულ პირობებთან შედარებით.

ხვრელიდან დიფრაქციის დროს, როდესაც მას ნორმალურად ეცემა პარალელურ სხივთა კონა, განათებულობის მინიმუმების მდებარეობა განისაზღვრება პირობით:

$$a \sin\varphi = \pm k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

სადაც  $a$  – ხვრელის სიგანეა,  $\varphi$  – დიფრაქციის კუთხე, ხოლო  $\lambda$  – დაცემული სინათლის ტალღის სიგრძე.

სინათლის მაქსიმუმები დიფრაქციულ მესერში დაიმზირება იმ მიმართულებით, რომლებიც ადგენენ  $\varphi$  კუთხეს მესრის ნორმალთან და აკმაყოფილებენ თანაფარდობას:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

სადაც  $d$  - მესრის მუდმივაა.

მესრის მუდმივა, ანუ პერიოდი:

$$d = \frac{1}{N_0}.$$

აქ  $N_0$  - მესრის სიგრძის ერთეულზე მოსული ხვრელების რიცხვია.

დიფრაქციული მესრის გარჩევისუნარიანობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\frac{\lambda}{\Delta \lambda} = kN,$$

სადაც  $N$  - ხვრელების საერთო რიცხვია მესერში,  $\lambda$  და  $\lambda + \Delta \lambda$  - ორი ახლო სპექტრული ხაზის ტალღათა სიგრძეები, რომლის გარჩევაც ჯერ კიდევ შეუძლია მესერს.

დიფრაქციული მესრის კუთხური დისპერსია ეწოდება სიდიდეს:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda},$$

ხოლო დიფრაქციული მესრის წრფივი დისპერსია კი სიდიდეს: -

$$D_1 = FD,$$

სადაც  $F$  - ეკრანზე სპექტრის მაპროექცირებელი ლინზის ფოკუსური მანძილია.

### 3.2. სინათლის დიფრაქცია

#### 1. დიფრაქცია ერთ ხვრელზე

ინტენსიურობის განაწილება:

$$J(\varphi) = J_0 \frac{\sin^2 \left( \frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi \right)}{\left( \frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi \right)^2},$$

სადაც  $J_0$  – ინტენსიურობაა დიფრაქციული სურათის ცენტრში,  $a$  – ხვრელის სიგანე,  $\varphi$  – კუთხე ხვრელის სიბრტყესა და ტალღის გავრცელების მიმართულებას შორის.

მინიმუმის პირობა:

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, \dots).$$

მაქსიმუმის პირობა:

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

## 2. დიფრაქცია მესერზე

მთავარი მაქსიმუმები:

$$d \sin \varphi = n\lambda \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots),$$

სადაც  $d = a + b$  მესრის პერიოდია,  $b$  – მანძილი მეზობელი ხვრელების უახლოეს კიდეებს შორის.

წინა მინიმუმები:

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, \dots).$$

დამატებითი მინიმუმები:

$$d \sin \varphi = m \frac{\lambda}{N} \quad (m = 1, 2, \dots, N - 1, N + 1, \dots),$$

სადაც  $N$  – ხვრელების საერთო რიცხვია.

ორ მთავარ მაქსიმუმს შორის მდებარეობს  $N - 1$  დამატებითი მინიმუმი.

## 3.3. სინათლის პოლარიზაცია და დისპერსია

1. არეკლილი სხივის სრული პოლარიზაციის კუთხე (ბრიუსტერის კუთხე):

$$i_B = \arctg n .$$



2. მალიუსის კანონი:

$$J = J_0 \cos^2 \alpha,$$

სადაც  $J_0$  – პოლარიზატორში გასული სხივის ინტენსიურობაა,  $J$  – ანალიზატორიდან გამოსული სხივის ინტენსიურობა.

3. სინათლის არეკვლის კოეფიციენტი გარემოთა გამყოფ საზღვარზე ნორმალური დაცემის დროს:

$$k = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}.$$

## ამოცანები

**1.1.** სინათლის ჰორიზონტალური სხივი ეცემა ვერტიკალურად განლაგებულ სარკეს. სარკე მოაბრუნეს  $\alpha$  კუთხით ვერტიკალური ღერძის მახლობლად. რა  $\theta$  კუთხეზე მობრუნდება არეკლილი სხივი?

**1.2.** ჩაზნექილი სარკის სიმრუდის რადიუსია  $R = 20$  სმ. სარკიდან  $a_1 = 30$  სმ მანძილზე დგას საგანი, რომლის სიმაღლეა  $y_1 = 1$  სმ. იპოვეთ გამოსახულების მდებარეობა და მისი სიმაღლე  $y_2$ .

**1.3.** სარკიდან რა  $a_2$  მანძილზე წარმოიქმნება საგნის გამოსახულება ამოზნექილ სარკეში, რომლის სიმრუდის რადიუსია  $R = 40$  სმ, თუ სხეული მოთავსებულია სარკიდან  $a_1 = 30$  სმ მანძილზე? როგორი იქნება გამოსახულების სიმაღლე  $y_2$ , თუ სხეულის სიმაღლეა  $y_1 = 2$  სმ?

**1.4.** ამოზნექილ სარკეს აქვს სიმრუდის რადიუსი  $R = 60$  სმ. სარკიდან  $a_1 = 10$  სმ მანძილზე დადგმულია საგანი, რომლის სიმაღლეა  $y_1 = 2$  სმ. იპოვეთ გამოსახულების მდებარეობა  $a_2$  და სიმაღლე  $y_2$ . ააგეთ ნახაზი.

**1.5.** ჩაზნექილ სარკეში, რომლის სიმრუდის რადიუსია  $R = 40$  სმ, უნდა მივიღოთ ნამდვილი გამოსახულება, რომლის სიმაღლე ორჯერ ნაკლებია საგნის სიმაღლეზე. სად უნდა განთავსდეს საგანი და სად მიიღება მისი გამოსახულება?

**1.6.** საგნის გამოსახულების სიმაღლე ჩაზნექილ სარკეში ორჯერ ნაკლებია საგნის სიმაღლეზე. მანძილი საგანსა და გამოსახულებას შორის ტოლია  $a_1 - a_2 = 15$  სმ. იპოვეთ ფოკუსური მანძილი  $F$  და სარკის ოპტიკური ძალა  $D$ .

**1.7.** სად იქნება მოთავსებული და რა  $y_2$  ზომა ექნება მზის გამოსახულებას, რომელიც მიიღება  $R = 16$  მ სიმრუდის რადიუსის

მქონე რეფლექტორში? მზის დიამეტრია  $1.4 \cdot 10^9$  მ, ხოლო მანძილი დედამიწიდან მზემდე  $1.5 \cdot 10^{11}$  მ.

**1.8.** სინათლის სხივი ეცემა მინის ბრტყელ-პარალელურ ფირფიტას  $i = 30^\circ$  კუთხით და გამოდის გარეთ საწყისი სხივის პარალელურად. მინის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.5$ . რა სისქისაა ფირფიტა, თუ სხივებს შორის მანძილი  $l = 1.94$  სმ?

**1.9.** ბრტყელ-პარალელურ მინის ფირფიტაზე, რომლის სისქეა  $d = 1$  სმ, ეცემა სინათლის სხივი  $i = 60^\circ$  კუთხით. მინის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.73$ . სინათლის ნაწილი აირეკლება, ხოლო ნაწილი გადის მინაში, აირეკლება ფირფიტის ქვედა ზედაპირიდან და ხელმეორედ გარდატეხის შემდეგ გამოდის ისევ ჰაერში პირველი არეკლილი სხივის პარალელურად. იპოვეთ მანძილი  $l$  სხივებს შორის.

**1.10.** სინათლის სხივი  $i$  კუთხით ეცემა სხეულს, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n$ . როგორ უნდა იყვნენ დაკავშირებული ერთმანეთთან  $i$  და  $n$  სიდიდეები, რომ არეკლილი სხივი იყოს გარდატეხილი სხივის პერპენდიკულარული?

**1.11.** მინის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 1.52$ . იპოვეთ სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე  $\beta$  გამყოფი ზედაპირისათვის: ა) მინა-ჰაერი; ბ) წყალი-ჰაერი; გ) მინა-წყალი.

**1.12.** რა მიმართულებით ხედავს ჩამავალ მზეს წყალში მყოფი მყვინთავი?

**1.13.** სინათლის სხივი გამოდის სკიპიდარიდან ჰაერში. სრული არეკვლის ზღვრული კუთხე ამ სხივისათვის არის  $\beta = 42^\circ 23'$ . იპოვეთ სინათლის გავრცელების სიჩქარე  $V_1$  სკიპიდარში.

**1.14.** წყლით სავსე ჭიქაზე დევს მინის ფირფიტა. რა  $i$  კუთხით უნდა ეცემოდეს სხივი ფირფიტას, რომ ზედაპირიდან წყალი-მინა მოხდეს სრული შინაგანი არეკვლა? მინის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.5$ .

**I.15.** ჭურჭლის ფსკერზე მოთავსებულია სინათლის ნერტილოვანი წყარო. ჭურჭელში  $h=10$  სმ სიმაღლემდე ასხია წყალი. წყლის ზედაპირზე დაცურავს მრგვალი არაგამჭვირვალე ფირფიტა ისე, რომ მისი ცენტრი პირდაპირ სინათლის წყაროს ზევითაა მოთავსებული. როგორი უმცირესი  $r$  რადიუსი უნდა ჰქონდეს ფირფიტას, რომ არც ერთ სხივს არ შეეძლოს წყლის ზედაპირიდან გამოსვლა?

**I.16.** რალაც სორტის მინის გარდატეხის მაჩვენებლები წითელი და იისფერი სხივებისათვის ტოლია:  $n_1=1.51$  და  $n_2=1.53$ . იპოვეთ სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხეები  $\beta_1$  და  $\beta_2$  ამ სხივების დაცემისას გამყოფ ზედაპირზე მინა-ჰაერი.

**I.17.** მონოქრომატული სინათლე ეცემა პერპენდიკულარულად პრიზმის გვერდით ზედაპირს, რომლის გარდატეხის კუთხეა  $\gamma=40^\circ$ . პრიზმის მასალის გარდატეხის მაჩვენებელი ამ სინათლისათვის არის  $n=1.5$ . იპოვეთ პრიზმიდან გამოსული სხივის გადახრის კუთხე  $\delta$  მისი თავდაპირველი მიმართულებიდან.

**I.18.** პრიზმის გარდამტეხი კუთხე  $\gamma=45^\circ$ . პრიზმის მასალის გარდატეხის მაჩვენებელი რალაც მონოქრომატული სხივისათვის არის  $n=1.6$ . როგორი უნდა იყოს დაცემის უდიდესი კუთხე  $i$  ამ პრიზმაზე, რომ პრიზმიდან გამოსვლისას არ მოხდეს სრული შინაგანი არეკვლა?

**I.19.** მონოქრომატული სინათლე ნორმალურად ეცემა პრიზმის გვერდით ზედაპირს და გამოდის იქიდან  $25^\circ$  კუთხით გადახრილი. პრიზმის მასალის გარდატეხის მაჩვენებელი ამ სხივისათვის არის 1.7. იპოვეთ პრიზმის გარდამტეხი კუთხე.

**I.20.** ტოლფერდა პრიზმის გარდამტეხი კუთხე  $\gamma=10^\circ$ . მონოქრომატული სხივი ეცემა გვერდით წახნაგზე  $i=10^\circ$  კუთხით. პრიზმის მასალის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n=1.6$ . განსაზღვრეთ სხივის გადახრის კუთხე  $\delta$  თავდაპირველი მიმართულებიდან.

**I.21.** სინათლის კონა სრიალებს ტოლფერდა პრიზმის გვერდითი ნახნაგის გასწვრივ. პრიზმის როგორი ზღვრული გარდატეხი კუთხის დროს ექნება ადგილი სრულ შინაგან არეკვლას მეორე გვერდითი ნახნაგიდან? პრიზმის გარდატეხის მაჩვენებელი ამ სხივებისთვის ტოლია 1.6-ის.

**I.22.** მონოქრომატული სხივი ეცემა ტოლფერდა პრიზმის გვერდით ზედაპირს და გარდატეხის შემდეგ ვრცელდება პრიზმაში მისი ფუძის პარალელურად. პრიზმიდან გამოსვლისას ის აღმოჩნდა გადახრილი  $\delta$  კუთხით თავისი თავდაპირველი მიმართულებიდან. იპოვეთ ამ შემთხვევაში კავშირი პრიზმის გარდატეხის  $\gamma$  კუთხეს, სხივის  $\delta$  გადახრასა და  $n$  გარდატეხის მაჩვენებელს შორის.

**I.23.** იპოვეთ კვარცის ლინზის  $F_1$  ფოკუსური მანძილი ვერცხლისწყლის სპექტრის ულტრაიისფერი ხაზისათვის ( $\lambda_1 = 259$  ნმ), თუ ნატრიუმის ყვითელი ხაზისათვის ( $\lambda_2 = 589$  ნმ) მთავარი ფოკუსური მანძილი  $F_2 = 16$  სმ. კვარცის გარდატეხის მაჩვენებელი ამ ტალღის სიგრძეებისათვის ტოლია  $n = 1.504$  და  $n = 1.458$ .

**I.24.** იპოვეთ  $F$  ფოკუსური მანძილები შემდეგი ლინზებისათვის: 1) ორმხრივ ამოზნექილი ლინზისათვის  $R_1 = 15$  სმ,  $R_2 = -25$  სმ; 2) ბრტყელ-ამოზნექილი ლინზისათვის  $R_1 = 15$  სმ,  $R_2 = \infty$ . მასალის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.5$ .

**I.25.** ორი მინისაგან, რომელთა გარდატეხის მაჩვენებლებია  $n_1 = 1.5$  და  $n_2 = 1.7$ , დამზადებულია ორი ერთნაირი ორმხრივამოზნექილი ლინზა. იპოვეთ მათი ფოკუსური მანძილების ფარდობა  $F_1/F_2$ . როგორ იმოქმედებს თითოეული ლინზა მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურ სხივზე, თუ ლინზებს ჩაუშვებთ გამჭვირვალე სითხეში, გარდატეხის მაჩვენებლით  $n = 1.6$ ?

**I.26.** აჩვენეთ, რომ ორმხრივამოზნექილ ლინზაში, რომელთა ზედაპირების სიმრუდის რადიუსები ერთმანეთის ტოლია და რომ-

ლის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n=1.5$ , ფოკუსები ემთხვევა სიმრუდის ცენტრს.

**I.27.** ლინზა, რომლის ფოკუსური მანძილია  $F=16$  სმ, გვაძლევს საგნის მკვეთრ გამოსახულებას ორ მდებარეობაში, რომელთა შორის მანძილი  $d=60$  სმ. იპოვეთ  $a_1+a_2$  მანძილი საგნიდან ეკრანამდე.

**I.28.** ორმხრივამოზნექილი ლინზა, რომლის ზედაპირების სიმრუდის რადიუსებია  $R_1=R_2=12$  სმ, ჩაშვებულია წყალში. იპოვეთ მისი ფოკუსური მანძილი  $F$ .

**I.29.** ორმხრივამოზნექილი ლინზის ზედაპირების სიმრუდის რადიუსები ტოლია  $R_1=R_2=50$  სმ. ლინზის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n=1.5$ . იპოვეთ ლინზის ოპტიკური ძალა.

**I.30.**  $S=2\times 2$  მ<sup>2</sup> ფართის სურათს იღებენ ფოტოაპარატით, რომელიც მისგან  $a=4.5$  მ მანძილზე მდებარეობს. მიღებულია გამოსახულება ზომით  $S=5\times 5$  სმ<sup>2</sup>. იპოვეთ აპარატის ობიექტივის ფოკუსური მანძილი  $F$ . ჩათვალეთ, რომ მანძილი სურათიდან ობიექტივამდე დიდია ფოკუსურ მანძილთან შედარებით.

**I.31.** სინათლე ელექტრონათურიდან, რომლის სინათლის ძალაა  $I=200$  სანთელი, ეცემა  $\alpha=45^\circ$  კუთხით სამუშაო ადგილს და ქმნის  $E=141$  ლუქს განათებულობას. სამუშაო ადგილიდან რა  $r$  მანძილზეა ნათურა? სამუშაო ადგილიდან რა  $h$  სიმაღლეზე კიდია იგი?

**I.32.** ჭერზე დაკიდებული ნათურა ჰორიზონტალური მიმართულებით გვაძლევს სინათლის ძალას  $I=60$  სანთ. როგორი სინათლის ნაკადი  $\Phi$  ეცემა  $S=0.5$  მ<sup>2</sup> ფართის სურათზე, რომელიც კიდია კედელზე ვერტიკალურად ნათურიდან  $r=2$  მ მანძილზე, თუ მოპირდაპირე კედელზე მოთავსებულია დიდი სარკე ნათურიდან  $a=2$  მ მანძილზე?

**I.33.** კვადრატული ფორმის ოთახის ცენტრში დაკიდებულია ნათურა. ოთახის ფართობია  $S=25$  მ<sup>2</sup>. რა  $h$  სიმაღლეზე უნდა

იყოს ნათურა იატაკიდან, რომ განათებულობა ოთახის კუთხეში იყოს მაქსიმალური?

**1.34.**  $D=1.2$  მ დიამეტრის წრიული მაგიდის ცენტრში განლაგებულია მაგიდის ნათურა ერთი ელექტრონათურით, რომელიც  $h_1 = 40$  სმ სიმაღლეზეა მაგიდის ზედაპირიდან. მაგიდის ცენტრში,  $h_2 = 2$  მ სიმაღლეზე მისი ზედაპირიდან, კიდია ქალი ოთხი ნათურით. რა შემთხვევაში იქნება მეტი განათებულობა (და რამდენჯერ) მაგიდის კიდეზე: როცა ანთია მაგიდის ნათურა თუ ქალი?

**1.35.** ფოტოგრაფირებისას საგანი ნათდება ელექტრონათურით, რომელიც მისგან  $r_1 = 2$  მ მანძილითაა დაშორებული. რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს ექსპოზიციის დრო, თუ ნათურა გადაიტანეს საგნიდან  $r_2 = 3$  მ მანძილზე?

**1.36.** იპოვეთ დედამიწის ზედაპირის განათებულობა  $E$ , რომელსაც იწვევს ნორმალურად დაცემული მზის სხივები. მზის სიკაშკაშე  $B=1.2 \cdot 10^9$  კანდ/მ<sup>2</sup>.

**1.37.** ელექტრული ნათურის სპირალი სინათლის ძალით  $I=100$  კანდ. მოთავსებულია მქრქალ სფერულ კოლბაში, რომლის დიამეტრია  $d=5$  სმ. იპოვეთ ნათურის ნათობა  $R$  და სიკაშკაშე  $B$ . სინათლის დანაკარგები კოლბის გარსში უგულვებელყავით.

**1.38.** თეთრ ქალაღზე, რომლის ფართია  $S=20 \times 30$  სმ<sup>2</sup>, პერპენდიკულარულად ეცემა  $\Phi=120$  ლუმ. სინათლის ნაკადი. იპოვეთ ამ ფურცლის განათებულობა  $E$ , ნათობა  $R$  და სიკაშკაშე  $B$ , თუ არეკვლის კოეფიციენტია  $\rho=0.75$ .

**1.39.** ქალაღის ფურცელი, რომლის ფართია  $S=10 \times 30$  სმ<sup>2</sup>, ნათდება ნათურით, რომლის სინათლის ძალაა  $I=100$  კანდ. ამასთან, მასზე ეცემა ნათურის მიერ შექმნილი მთელი ნაკადის მხოლოდ 0.5%. იპოვეთ ფურცლის განათებულობა  $E$ .

**1.40.**  $\lambda=0.5$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლის  $S_1$  მონოქრომატული წყაროდან ეკრანის  $A$  წერტილში მოდის ორი სხივი: უშუალოდ წყაროდან ეკრანის მართობული  $S_1A$  სხივი და  $S_1BA$  სხივი,

რომელიც აირეკლება  $B$  წერტილში  $S_1A$  სხივის პარალელური სარკიდან. მანძილი ეკრანსა და წყაროს შორის არის  $l_1 = 1$  მ, ხოლო  $S_1A$  სხივიდან სარკის სიბრტყემდე კი  $h = 2$  მმ. განსაზღვრეთ: ა) რა შეინიშნება ეკრანის  $A$  წერტილში – განათებულობის გაძლიერება თუ შესუსტება?; ბ) როგორ შეიცვლება განათებულობა  $A$  წერტილში, თუ  $S_1A$  სხივის გზაზე მის პერპენდიკულარულად მოვათავსებთ  $d = 6$  მკმ სისქის მინის ( $n = 1.55$ ) ბრტყელ-პარალელურ ფირფიტას?

**1.41.**  $\nu = 5 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირის მონოქრომატული სინათლის ტალღის რამდენი სიგრძე მოთავსდება  $l = 1.2$  მმ სიგრძის გზაზე: ა) ვაკუუმში; ბ) მინაში?

**1.42.** ვაკუუმში რა სიგრძის გზაზე მოთავსდება მონოქრომატული სინათლის ტალღის იმდენი სიგრძე, რამდენიც თავსდება წყალში  $l = 3$  მმ-ზე?

**1.43.** რა სიგრძის გზას გაივლის მონოქრომატული სინათლის ტალღის ფრონტი ვაკუუმში იმავე დროში, რა დროშიც იგი გადის  $l = 1$  მ სიგრძის გზას წყალში?

**1.44.** ჰაერში გამავალი სხივის გზაზე მოათავსეს  $l = 1$  მმ სისქის მინის ფირფიტა. რამდენით შეიცვლება სხივის სვლის ოპტიკური სიგრძე, თუ სხივი ეცემა ფირფიტას: ა)  $90^\circ$  კუთხით, ბ)  $30^\circ$  კუთხით?

**1.45.** მონოქრომატული სინათლის ორი მაინტერფერირებელი სხივის სვლათა სხვაობა  $\Delta = 0.3\lambda$ . განსაზღვრეთ რხევების ფაზათა სხვაობა.

**1.46.** იპოვეთ ხილული სინათლის ყველა ტალღის სიგრძე ( $0.76 \div 0.38$  მკმ ინტერვალში), რომლებიც; ა) მაქსიმალურად გაძლიერდება, თუ მაინტერფერირებელი სხივების სვლათა სხვაობა  $\Delta = 1.8$  მკმ.

**1.47.** სინათლის ორ კოჰერენტულ წყაროს ( $\lambda = 0.5$  მკმ) შორის მანძილი  $0.1$  მმ-ის ტოლია. ეკრანზე, ინტერფერენციული სურათის



შუა ნაწილში, ნათელ ზოლებს შორის მანძილი 1 სმ-ის ტოლია. იპოვეთ მანძილი წყაროებიდან ეკრანამდე.

**I.48.** თეთრი სინათლის კონა ეცემა მინის ფირფიტას, რომლის სისქეა  $d = 4$  მკმ. მინის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 1.5$ . ხილული სპექტრის არიდან ( $4 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-4}$  მმ) რომელი ტალღის სიგრძეები ძლიერდება არეკლილ კონაში?

**I.49.** მრგვალი ხვრელის მქონე დიაფრაგმაზე ნორმალურად ეცემა მონოქრომატული სინათლის პარალელური კონა ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  მ). ეკრანზე დაიმზირება დიფრაქციული სურათი. დიაფრაგმასა და ეკრანს შორის რა უდიდესი მანძილის დროს ჯერ კიდევ დაიმზირება მუქი ლაქა დიფრაქციული სურათის ცენტრში? ხვრელის დიამეტრია 1.96 მმ.

**I.50.** 2 მკმ სიგანის ხვრელს ნორმალურად ეცემა მონოქრომატული სინათლის პარალელური კონა, რომლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ . იპოვეთ კუთხეები, რომელთა მიმართულებითაც დაიმზირება სინათლის მინიმუმები.

**I.51.**  $2 \cdot 10^{-3}$  სმ სიგანის ხვრელზე ნორმალურად ეცემა მონოქრომატული სინათლის პარალელური კონა, რომლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  სმ. იპოვეთ ხვრელის გამოსახულების სიგანე ეკრანზე, თუ ის დაშორებულია ხვრელიდან  $l = 1$  მ მანძილით. გამოსახულების სიგანედ ჩათვალეთ მანძილი პირველ დიფრაქციულ მინიმუმებს შორის, რომლებიც მდებარეობენ განათებულობის მთავარი მაქსიმუმის ორივე მხარეს.

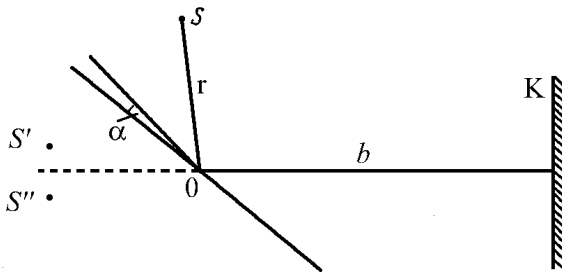
**I.52.** ხვრელზე ნორმალურად ეცემა მონოქრომატული სინათლის პარალელური კონა, რომლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda$ . ხვრელის სიგანეა  $6\lambda$ . რა კუთხით დაიმზირება სინათლის მესამე დიფრაქციული მინიმუმი?

**I.53.** იპოვეთ სპექტრის უდიდესი რიგი ნატრიუმის ყვითელი ხაზისათვის ( $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ ), თუ დიფრაქციული მესრის მუდმივა ტოლია 2 მკმ.

**I.54.** 2.5 სმ სიგანის დიფრაქციული მესრის მუდმივა ტოლია 2 მკმ. ტალღის სიგრძეთა როგორი სხვაობა შეიძლება გაარჩიოს ამ მესერმა ყვითელი სინათლის არეში ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$  სმ) მეორე რიგის სპექტრში?

**I.55.** აჩვენეთ, რომ ჯამური რხევის ინტენსიურობა  $I$ , რომელიც ჩნდება ორი,  $I_1$  და  $I_2$  ინტენსიურობის რხევათა შეკრებით, ტოლია მათი ჯამისა ( $I = I_1 + I_2$ ), თუ: ა) ორივე რხევა ერთი მიმართულებისაა და ისინი არაკოჰერენტული არიან; ბ) რხევები ურთიერთმართობია, აქვთ ერთნაირი სიხშირე და ფაზათა ნებისმიერი სხვაობა.

**I.56.** ნახ.4-ზე ნაჩვენებია ინტერფერენციის სქემა ფრენელის ბისარკეებით. სარკეებს შორის კუთხე  $\alpha = 12'$ , მანძილი სარკეთა გადაკვეთის წრფიდან ვიწრო  $S$  ხვრელამდე და  $K$  ეკრანამდე ტოლია, შესაბამისად,  $r = 10$  სმ და  $b = 130$  სმ. სინათლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda = 0.55$  მკმ. განსაზღვრეთ: ა) ინტერფერენციული ზოლის სიგანე ეკრანზე და ზოლების რიცხვი; ბ) ინტერფერენციული სურათის წანაცვლება ეკრანზე  $S$  ხვრელის წანაცვლებისას  $\delta S = 1.0$  მმ სიდიდით  $r$  რადიუსის რკალზე, რომლის ცენტრია  $O$  წერტილში. ხვრელის რა მაქსიმალური სიგანის დროს ( $\delta_{\max}$ ) იქნება ინტერფერენციული ზოლები ეკრანზე ჯერ კიდევ საკმაოდ მკაფიო?



ნახ. 4

**1.57.** ფრენელის სარკეებიდან ინტერფერენციული სურათის დასამზერად ორი ბრტყელი სარკე განათავსეს  $\varphi = 5 \cdot 10^{-3}$  რად. კუთხით  $L = 4.9$  მ მანძილზე ეკრანიდან და  $r = 10$  სმ მანძილზე ღრეწოდან, რომელიც ორივე სარკის პარალელურია. მანძილი ორ მეზობელ ბნელ ზოლს შორის ეკრანზე შეადგენს 2.5 მმ. განსაზღვრეთ სინათლის ტალღის სიგრძე.

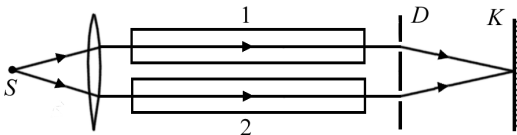
**1.58.** ფრენელის სარკეები განლაგებულია ისე, რომ წიბო მათ შორის იმყოფება  $r = 20$  სმ მანძილზე მისი პარალელური ღრეწოდან და  $L = 180$  სმ მანძილზე ეკრანიდან. როგორი  $\varphi$  კუთხე უნდა იყოს სარკეებს შორის, რომ წითელი ( $\lambda = 700$  ნმ) სინათლით განათებისას ეკრანზე მანძილი ნებისმიერი პირველიდან მეხუთე ბნელ ზოლამდე იყოს 14 მმ.

**1.59.** როგორი იქნება მანძილი მეზობელ ნათელ ზოლებს შორის ინტერფერენციულ სურათზე, რომელიც მიღებულია წინა ამოცანაში განხილული ფრენელის სარკეებიდან, თუ ხვრელი ნათდება  $\lambda = 600$  ნმ სინათლის სხივით?

**1.60.** 5 სმ დიამეტრისა და  $f = 25$  სმ ფოკუსური მანძილის მქონე ლინზა გაჭრეს ორ ტოლ ნაწილად. გაჭრისას დაიკარგა  $a = 1.0$  მმ სისქის ფენა. ამის შემდეგ, ლინზის ორივე ნახევარი შეახეს ერთმანეთს და ასეთი ხერხით მიღებულ ბილინზის ფოკალურ სიბრტყეში მოათავსეს ვიწრო ხვრელი, რომელიც ასხივებდა  $\lambda = 0.60$  მკმ ტალღის სიგრძის მონოქრომატულ სინათლეს. ბილინზის უკან, მისგან  $b = 50$  სმ მანძილზე, განათავსეს ეკრანი. განსაზღვრეთ: ა) ინტერფერენციული ზოლის სიგანე და ზოლების რიცხვი ეკრანზე; ბ) ხვრელის ის მაქსიმალური სიგანე  $\delta_{\max}$ , რომლის დროსაც ინტერფერენციული ზოლები დაიშორება მკაფიოდ.

**1.61.** მანძილი ფრენელის ბიპრიზმიდან ვიწრო ხვრელამდე და ეკრანამდე ტოლია, შესაბამისად,  $a = 25$  სმ და  $b = 100$  სმ. ბიპრიზმა მინისაა გარდამტეხი კუთხით  $\theta = 20'$ . იპოვეთ სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ ინტერფერენციული ზოლების სიგანე ეკრანზე  $\Delta x = 0.55$  მმ.

**I.62.** ნახ.5-ზე ნაჩვენებია ინტერფერომეტრის სქემა, რომელიც განკუთვნილია გამჭვირვალე ნივთიერებათა გარდატეხის მაჩვენებლების გასაზომად. აქ  $K$  – ეკრანია,  $S$  – ვიწრო ხვრელი, რომელიც ნათდება მონოქრომატული სინათლით  $\lambda = 0.589$  მკმ, 1 და 2 – ორი ერთნაირი  $l = 10.0$  სმ სიგრძის მილია ჰაერით,  $D$  - დიაფრაგმაა ორი ხვრელით. როდესაც ჰაერი 1 მილში შეცვალეს ამიაკით, ინტერფერენციულმა სურათმა ეკრანზე წაინაცვლა ზევით  $N = 17$  ზოლით. ჰაერის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.000277$ . განსაზღვრეთ ამიაკის გარდატეხის მაჩვენებელი.



**ნახ. 5**

**I.63.** თხელ ფირზე ( $n = 1.33$ ) ეცემა თეთრი სინათლის პარალელური კონა. დაცემის კუთხე  $i_1 = 52^\circ$ . ფირის რა სისქის დროს იქნება სარკულად არეკლილი სხივი ყველაზე მეტად შეფერილი ყვითლად ( $\lambda = 0.60$  მკმ) ?

**I.64.** რამდენჯერ უნდა შევცვალოთ იუნგის ცდაში მანძილი ეკრანამდე, რომ ახალი ინტერფერენციული სურათის მე-5 ნათელი ზოლი აღმოჩნდეს იმავე მანძილზე ნულოვანიდან, რაზეც მე-3 ზოლი წინა სურათზე? გამოთვალეთ იგივე მეოთხე ბნელი და მეექვსე ნათელი ზოლებისათვის; მესამე ბნელი და მეშვიდე ბნელი ზოლებისათვის.

**I.65.** მანძილი ხვრელებს შორის იუნგის ცდაში  $t = 0.5$  მმ, ხოლო  $\lambda = 550$  ნმ. როგორია მანძილი ხვრელებიდან ეკრანამდე, თუ მანძილი მეზობელ ბნელ ზოლებს შორის ეკრანზე ტოლია 1 მმ?

**I.66.** გამჭვირვალე სითხეში  $n$  გარდატეხის მაჩვენებლით ატარებენ იუნგის ცდას. გამოიყვანეთ ნულოვანიდან ნათელი და ბნელი ზოლების მანძილების გამომსახველი გამოსახულებები.

**1.67.** იუნგის ცდაში ჯერ იყენებენ  $\lambda_1 = 600$  ნმ ტალღის სიგრძის სინათლეს, ხოლო შემდეგ  $\lambda_2$ -ს. როგორია ტალღის სიგრძე მეორე შემთხვევაში, თუ მე-7 ნათელი ზოლი პირველ შემთხვევაში თანხვედრა მე-10 ბნელ ზოლს მეორე შემთხვევაში?

**1.68.** ერთ-ერთი ინტერფერირებული სხივის გზაზე ათავსებენ 12 მკმ სისქის მინის ფირფიტას. განსაზღვრეთ რამდენი ზოლით წინაცვლებს ინტერფერენციული სურათი, თუ მინის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.5$ ; სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 750$  ნმ და სინათლე ეცემა ფირფიტაზე ნორმალურად.

**1.69.** როგორი უნდა იყოს ფირფიტის სისქე, როცა  $n = 1.6$  და  $\lambda = 550$  ნმ, თუ ფირფიტის განთავსებისას ერთ-ერთი ინტერფერირებული სხივის გზაზე სურათი წინაცვლებს ოთხი ზოლით?

**1.70.** როგორია  $n = 1.5$  გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე ბრტყელ-პარალელური ფირფიტის უმცირესი შესაძლო სისქე, თუ თეთრი სინათლით განათებისას  $i = 45^\circ$  და  $i = 60^\circ$  კუთხით, ის გვეჩვენება წითლად ( $\lambda = 0.74$  მკმ)?

**1.71.** განსაზღვრეთ უდიდესი და უმცირესი შესაძლო სვლათა სხვაობა წინა ამოცანაში განხილული ფირფიტისათვის. კიდევ როგორი კუთხეების დროს მოგვეჩვენება იგი წითლად?

**1.72.** ფირფიტის განათებისას ჯერ  $\lambda_1$ , ხოლო შემდეგ  $\lambda_2$  ტალღის სიგრძის სინათლით, მაქსიმუმები არეკლილ სინათლეში დაიშორება ერთი და იმავე კუთხით. რისი ტოლია  $k$  უფრო დიდი  $\lambda_1$  ტალღის სიგრძისათვის, თუ ეს პირველი დამთხვევაა?

**1.73.** რა საზღვრებში შეიძლება იცვლებოდეს ფირფიტის სისქე, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.5$ , რომ არეკლილ სინათლეში დაიშორებოდეს თანაბარი დახრილობის ხაზების დამთხვევა  $\lambda_1 = 550$  ნმ და  $\lambda_2 = 525$  ნმ-თვის?

**1.74.** რა საზღვრებში შეიძლება იცვლებოდეს ფირფიტის სისქე, რომ შესაძლებელი იყოს მე-12 რიგის მაქსიმუმის დამზერა  $\lambda = 600$  ნმ-თვის? ფირფიტის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 1.6$ .

**I.75.** როგორი უნდა იყოს ხვრელის სიგანე  $a$ , რომ პირველი დიფრაქციული მინიმუმი დაიმზირებოდეს  $90^\circ$  კუთხით: ა) წითელი ( $\lambda = 760$  ნმ) სინათლით განათებისას; ბ) ლურჯი ( $\lambda = 440$  ნმ) სინათლით განათებისას?

**I.76.** დიფრაქციული მესრის გამჭვირვალე და არაგამჭვირვალე უბნების სიგანე ხუთჯერ მეტია დაცემული სინათლის ტალღის სიგრძეზე: 1) განსაზღვრეთ დამზერილი პირველი სამი მაქსიმუმის შესაბამისი კუთხეები; 2) ამოხსენით ეს ამოცანა, როცა  $a = 4\lambda$ ,  $b = 8\lambda$ .

**I.77.** დიფრაქციული მესერი შედგება  $b = 2.5 \cdot 10^{-3}$  მმ სიგანის არაგამჭვირვალე ხაზებისაგან, რომლებიც გაყოფილია  $a = 2.5 \times 10^{-3}$  მმ სიგანის გამჭვირვალე უბნებით. როგორი  $h$  სისქე უნდა ჰქონდეს ბრტყელ-პარალელურ მინის ფირფიტას, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n = 1.5$ , რომ მასში მესამე რიგის მაქსიმუმი  $\lambda = 600$  ნმ-თვის დაიმზირებოდეს იმავე კუთხით, როგორც დიფრაქციულ მესერზე?

**I.78.** დიფრაქციული მესრის პერიოდია  $d = 1 \cdot 10^{-2}$  მმ, ხოლო გამჭვირვალე ნაწილის სიგანე  $a = 2.5 \cdot 10^{-3}$  მმ. რამდენი მაქსიმუმი არ დაიმზირება სპექტრში ნულოვანი მაქსიმუმიდან  $\alpha = 30^\circ$  კუთხემდე მთავარი მინიმუმების გავლენის გამო ( $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ )?

**I.79.** 12 მმ სიგანის დიფრაქციული მესერი შეიცავს 4800 ხაზს (შტრიხს). განსაზღვრეთ: 1) დიფრაქციული მესრის სპექტრში დამზერილი მაქსიმუმების რიცხვი  $\lambda$  ტალღის სიგრძისათვის, რომელიც ოპტიკური დიპაზონის შუა მნიშვნელობაა; 2) ბოლო მაქსიმუმის შესაბამისი კუთხე.

**I.80.** დიფრაქციული მესრის პერიოდია  $d = 0.005$  მმ. განსაზღვრეთ დამზერილი მთავარი მაქსიმუმების რიცხვი დიფრაქციული მესრის სპექტრში: 1)  $\lambda = 760$  ნმ და 2)  $\lambda = 440$  ნმ ტალღებისათვის.

**I.81.** რამდენი შტრიხი (ხაზი) უნდა ჰქონდეს დიფრაქციულ მესერს 1 მმ-ზე, რომ  $\varphi = 90^\circ$  კუთხეს შეესაბამებოდეს მე-5 რიგის მაქსიმუმი  $\lambda = 500$  ნმ ტალღის სიგრძის სინათლისათვის?

**1.82.** დიფრაქციულ მესერს აქვს  $N = 1000$  ხვრელი. როგორია მისი სიგანე, თუ  $90^\circ$  კუთხით დაიმზირება დიფრაქციული სურათის ხუთი მეათათასე დამატებითი მინიმუმი ნატრიუმის ყვითელი ხაზისათვის, რომლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda = 590$  ნმ?

**1.83.** დიფრაქციული მესერის პერიოდი  $d = 5 \cdot 10^{-4}$  სმ. დიფრაქციული სურათის რომელი ელემენტი დაიმზირება  $\varphi = \frac{\pi}{6}$  კუთხით, თუ მესერს გავანათებთ  $\lambda = 6000 \text{ \AA}$  მონოქრომატული სინათლით? მესერის სიგანეა  $l = 0.25$  სმ.

**1.84.** დიფრაქციული მესერის პერიოდი  $d = 6 \cdot 10^{-6}$  მ. წყალბადის სპექტრული ხაზისათვის  $\lambda = 486$  ნმ. შეარჩიეთ ისეთი უდიდესი  $\Delta\lambda$ , რომ არსად არ იყოს სპექტრების გადაფარვა განათებისას  $\lambda \pm \Delta\lambda$  ინტერვალში.

**1.85.** განსაზღვრეთ დისპერსია და დიფრაქციული მესერის გარჩევისუნარიანობა  $k$ -ური რიგის სპექტრში, თუ მისი პერიოდი  $d$ , ხოლო ხვრელების რიცხვი  $N$ .

**1.86.** აჩვენეთ, რომ დიფრაქციული მესერის გარჩევისუნარიანობა არ შეიძლება აღემატებოდეს  $l/\lambda$  მნიშვნელობას, სადაც  $l$  – მესერის სიგრძეა, ე.ი.  $r \leq \frac{l}{\lambda}$  მესერის ნებისმიერი  $d$  პერიოდისათვის.

**1.87.** ორ დიფრაქციულ მესერს აქვს ერთნაირი სიგანე  $l = 3$  მმ და სხვადასხვა პერიოდი:  $d = 3 \cdot 10^{-3}$  მმ და  $d = 6 \cdot 10^{-6}$  მმ. განსაზღვრეთ მათი უდიდესი გარჩევისუნარიანობა ნატრიუმის ყვითელი ხაზისათვის ტალღის სიგრძით  $\lambda = 5896 \text{ \AA}$ .

**1.88.**  $\varphi = 30^\circ$  კუთხით დაიმზირება კადმიუმის წითელი ხაზის ( $\lambda = 644$  ნმ) მე-4 მაქსიმუმი. განსაზღვრეთ დიფრაქციული მესერის პერიოდი  $d$  და მისი სიგანე, თუ მესერის მიერ უმცირესი დასაშვები გადახრა შეადგენს  $\delta\lambda = 0.322$  ნმ.

**1.89.** განსაზღვრეთ: 1) 6 მმ სიგრძისა და  $d = 3 \cdot 10^{-4}$  სმ პერიოდის პქონე დიფრაქციული მესერის დისპერსია და გარჩევისუნარიანობა

ნობა მესამე რიგის სპექტრში წყალბადის  $H_\alpha$  ნითელი ხაზისათვის, ტალღის სიგრძით  $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ; 2)  $\Delta\lambda = 10 \text{ ნმ}$ -ის შესაბამისი კუთხე; 3) გარჩევისუნარიანობის შესაბამისი  $\delta\lambda$ .

**1.90.** ერთი ხვრელიდან დიფრაქციის დროს, სხივების გავრცელების კუთხეზე ინტენსიურობის დამოკიდებულებიდან აჩვენეთ, რომ მინიმუმები დაიმზირება, როცა  $\sin \varphi = k\lambda/a$  ( $k = 1, 2, \dots$ ), ხოლო მაქსიმუმები, როცა  $\sin \varphi = m\lambda/a$ , სადაც  $m = 1.43, 2.46, 3.47, 4.48, \dots$ .

**1.91.** ერთი ხვრელიდან მიღებული დიფრაქციული სურათის ნულოვანი მაქსიმუმის ინტენსიურობაა  $J_0$ . განსაზღვრეთ მომდევნო სამი მაქსიმუმის ინტენსიურობა.

**1.92.** გამოიყვანეთ მთავარი მაქსიმუმების პირობები იმ შემთხვევისათვის, როცა  $d$  პერიოდის მქონე მესერზე სინათლე ეცემა  $\alpha$  კუთხით. სინათლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda$ .

**1.93.**  $d = 5 \cdot 10^{-3} \text{ მმ}$  პერიოდის დიფრაქციულ მესერზე  $\alpha = 30^\circ$  კუთხით ეცემა  $600 \text{ ნმ}$  ტალღის სიგრძის სინათლე. განსაზღვრეთ კუთხეები, რომელზედაც დაიმზირება მე-2 რიგის მაქსიმუმები.

**1.94.** სინათლე ეცემა მინას ( $n = 1.72$ ) ისეთი კუთხით, რომ არ ხდება სინათლის არეკვლა. განსაზღვრეთ კუთხე გარდატეხილ სხივსა და ზღვრული გარდატეხის მიმართულებას შორის.

**1.95.** 1) განსაზღვრეთ არეკლილი სხივის სრული პოლარიზაციის კუთხე წყლისათვის ( $n = 1.33$ ), მინისათვის ( $n = 1.6$ ) და ალმასისათვის ( $n = 2.42$ ); 2) როგორაა პოლარიზებული ვარდნილი სხივი, თუ ამ შემთხვევაში არეკლილი სხივები არ არის?

**1.96.** შესაძლებელია თუ არა ისლანდიის კალციტისაგან (ისლანდიის შპატი) და ნატრიუმის გვარჯილასაგან დამზადებული ერთნაირი სისქის ფირფიტების მეშვეობით  $\lambda = 589 \text{ ნმ}$  ტალღის სიგრძის მქონე წრიულად პოლარიზებული სინათლე გარდაიქმნას ბრტყლად პოლარიზებულად?



**1.97.** ბრტყლად პოლარიზებული სინათლე ეცემა ნორმალურად ტალღის მეოთხედის ტოლი სისქის ფირფიტას. როგორი კუთხე უნდა შეადგინოს დაცემული სინათლის პოლარიზაციის სიბრტყემ ოპტიკური ღერძის მიმართულებასთან, რომ ფირფიტის გავლის შემდეგ გაჩნდეს ელიფსურად პოლარიზებული სინათლე? ანალიზატორის მობრუნებისას მაქსიმალური განათებულობის ფარდობა მინიმალურთან უნდა უდრიდეს ორს. დანაკარგები არეკვლაზე და შთანთქმვაზე ფირფიტაში უგულებელყავით.

**1.98.** ისარგებლეთ რეფრაქციის განსაზღვრებით:

$$r = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{\delta_0}{\delta}$$

და აჩვენეთ, რომ აირებისათვის არცთუ ისე დიდი ფარდობითი  $\delta/\delta_0$  სიმკვრივეების დროს, ადგილი აქვს თანაფარდობებს:

$$n \approx 1 + \frac{3}{2} r \frac{\delta}{\delta_0} \text{ და } r \approx \frac{2}{3} (n_0 - 1),$$

სადაც  $n_0$  – აირის გარდატეხის მაჩვენებელია ნორმალური პირობების დროს.

**1.99.** ისარგებლეთ ფორმულით  $r \approx \frac{2}{3} (n_0 - 1)$  და გამოთვალეთ აზოტის, წყალბადის, ჟანგბადის, წყლის ორთქლისა და ჰაერის რეფრაქციები.

**1.100.** განსაზღვრეთ ჰაერის გარდატეხის მაჩვენებელი ფარდობითი სიმკვრივეების შემდეგი მნიშვნელობების დროს:  $\frac{\delta}{\delta_0} = 10, 0.5, 0.1, 0.001$ .

*მიითითება:* ისარგებლეთ ფორმულით  $n \approx 1 + \frac{3}{2} r \frac{\delta}{\delta_0} = 1 + (n_0 - 1) \frac{\delta}{\delta_0}$ .

**1.101.** გამოთვალეთ წყლის ორთქლის რეფრაქცია და გარდატეხის მაჩვენებელი ნორმალური პირობების დროს.

**1.102.** მირაჟების წარმოქმნა აიხსნება სრული შინაგანი არეკვლით სინათლის დაცემისას შედარებით ცივი ფენებიდან გამთბარ-

ზე. განსაზღვრეთ სრული შინაგანი არეკვლის კუთხე ჰაერის ორ ფენას შორის  $20K$  ტემპერატურული ნახტომის დროს ( $T_1 = 300K$ ,  $T_2 = 280K$ ). ატმოსფერული წნევა ტოლია  $760$  მმ ვწყ. სვ.

**I.103.** ისარგებლეთ I.101. ამოცანაში მიღებული წყლის ორთქლის რეფრაქციის მნიშვნელობით და გამოთვალეთ წყლის გარდატეხის მაჩვენებელი, თუ მისი სიმკვრივეა  $1000$  კგ/მ<sup>3</sup>.

**I.104.** როდის დაიმზირება სრული შინაგანი არეკვლა: სხივის გადასვლისას წყლიდან ცინულში თუ პირიქით? ცინულის გარდატეხის მაჩვენებელი განსაზღვრეთ წყლის გარდატეხის მაჩვენებლის მეშვეობით რეფრაქციის ფორმულის გამოყენებით. ცინულის სიმკვრივეა  $0.9$  გ/სმ<sup>3</sup>. განსაზღვრეთ სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე.

## თავი II. ატომური ფიზიკა

### 1. სითბური გამოსხივების კანონები

#### სტეფან-ბოლცმანის კანონი

აბსოლუტურად შავი სხეულის ინტეგრალური გამოსხივების უნარი პროპორციულია აბსოლუტური ტემპერატურის მეოთხე ხარისხისა:

$$\varepsilon = \sigma T^4,$$

სადაც  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$  ვტ·მ<sup>2</sup>·გრად<sup>-4</sup>.

#### ვინის წანაცვლების კანონი

აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრში ტალღის სიგრძე, რომელზეც მოდის გამოსხივების ენერგიის მაქსიმუმი, აბსოლუტური ტემპერატურის უკუპროპორციულია:

$$\lambda_0 = \frac{C'}{T},$$

სადაც  $C' = 2.90 \cdot 10^{-3}$  მ·კ – ვინის მუდმივაა. ეს არის ვინის I კანონი.

აბსოლუტურად შავი სხეულის ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივის (ანუ ტალღათა სიგრძის ერთეულოვან ინტერვალზე მოსული ენერგეტიკული ნათობა)  $r_\lambda$  მაქსიმალური მნიშვნელობა აბსოლუტური ტემპერატურის მეხუთე ხარისხის პროპორციულია:

$$r_\lambda = C'' T^5.$$

აქ  $C'' = 1.30 \cdot 10^{-5}$  ვტ/მ<sup>3</sup>კ<sup>5</sup> – ვინის II კანონის მუდმივაა.

პლანკის ფორმულა გამოსახავს  $T$  აბსოლუტურ ტემპერატურამდე გახურებულ აბსოლუტურად შავი სხეულის ენერგეტიკული ნათობის  $r_\lambda$  სპექტრული სიმკვრივის განაწილების კანონს ტალღის სიგრძეების მიხედვით:

$$r_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}.$$

აქ  $k = 1.38 \cdot 10^{-28}$  ჯ/კ – ბოლცმანის მუდმივაა,  $c = 3 \cdot 10^8$  მ/წმ – სინათლის გავრცელების სიჩქარეა ვაკუუმში, ხოლო  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  ჯ·წმ – პლანკის მუდმივაა.

$$C_1 = 2\pi hc^2 = 3.74 \cdot 10^{-16} \text{ ვტ} \cdot \text{მ}^2; \quad C_2 = \frac{hc}{k} = 1.44 \cdot 10^{-2} \text{ მ} \cdot \text{კ}.$$

მაშინ

$$r_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}.$$

## 2. ფოტოეფექტი

აინშტაინის ფორმულა ფოტოეფექტისათვის:

$$h\nu = E_K + A,$$

სადაც  $h\nu$  - ელექტრონის მიერ შთანთქმული ენერგიაა,  $A$  - ლითონიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა,  $E_K = mV^2/2$  - ფოტოელექტრონის კინეტიკური ენერგია,  $m$  - ელექტრონის უძრავობის მასა. ნათელია, რომ ნივთიერებაზე დაცემული სინათლის სიხშირის შემცირებით მცირდება ფოტოელექტრონის კინეტიკური ენერგია და რაღაც მცირე  $\nu = \nu_0$  ( $\lambda_0 = c/\nu_0$ ) სიხშირის დროს კინეტიკური ენერგია გახდება ნულის ტოლი, ე.ი. ფოტოეფექტს ადგილი აღარ ექნება, მაშინ  $\nu_0 = \frac{A}{h}$ , ან  $\lambda_0 = \frac{hc}{A}$ . ამ ზღვრულ სიხშირეს ფოტოეფექტის „წითელი საზღვარი“ ეწოდება. იგი დამოკიდებულია მხოლოდ  $A$  სიდიდეზე, ანუ ფოტოკათოდის ნივთიერებაზე.

თუ ფოტოკათოდზე დაცემული ფოტონის ენერგია საკმარისად დიდია, მაშინ  $E_K \neq mV^2/2$ . მართლაც, როგორც ვიცით,  $E = mc^2$

და  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , სადაც  $m_0$  – უძრაობის მასაა. თუ  $v$  სიჩქარე მცირეა, მაშინ  $m \approx m_0$  და  $E_0 = m_0 c^2$ . სრული ენერგია  $E = E_0 + E_K + E_P$ .

პოტენციური ენერგია  $E_P \ll E_0 + E_K$ . ამიტომ  $E_K = E - E_0$ , ანუ

$$E_K = mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

პრაქტიკულად ამოცანების ამოხსნისას შეიძლება ვისარგებლოთ კრიტიერიუმით, რომ, თუ დაცემული ფოტონის ენერგია ნაკლებია 5 კეე-ზე, მაშინ კინეტიკური ენერგია შეიძლება განისაზღვროს კლასიკური ფორმულით, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი უნდა ვისარგებლოთ ბოლო ფორმულით.

### 3. დე-ბროილის ტალღები

სინათლის კვანტის ენერგია  $E = h\nu$ . ამავე დროს  $E = mc^2$  და  $\nu = c/\lambda$ . ცხადია, რომ

$$\lambda = \frac{h}{mc}.$$

დე-ბროილმა გამოთქვა ჰიპოთეზა სინათლისა და ნივთიერების თვისებებს შორის ღრმა ანალოგიის არსებობის შესახებ. მან დაუშვა, რომ სინათლის მსგავსად, ნივთიერებასაც ახასიათებს როგორც კორპუსკულური, ისე ტალღური თვისებები. კერძოდ, ყოველ მოძრავ მიკრონაწილაკს უნდა შეესაბამებოდეს ტალღა:

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

სადაც  $m$  – მიკრონაწილაკის მასაა,  $v$  – მისი სიჩქარე.

დე-ბროილის ჰიპოთეზის სისწორე ბევრჯერ დამტკიცდა ცდით, მაგალითად, ელექტრონების დიფრაქციით. ზოგადად რომ ვთქვათ, დე-ბროილის ტალღები ახასიათებს ყველა ნაწილაკს, მათ შორის მაკრონაწილაკებსაც, მაგრამ დიდი მასის გამო ტალღის სიგრძეები იმდენად მცირეა, რომ მათი დეტექტირება შეუძლებელი ხდება. ამიტომ თვლიან, რომ მაკროსხეულებს ტალღური თვისებები არ გააჩნიათ.

## ამოცანები

**II.1.** სადნობი ლუმელის სამზერი სარკმლიდან გამოსხივებული ენერგიის ნაკადი  $\Phi = 34$  ვტ. განსაზღვრეთ ლუმელის ტემპერატურა, თუ ხვრელის ფართობი  $S = 6$  სმ<sup>2</sup>.

**II.2.** რა ტალღის სიგრძეზე მოდის აბსოლუტურად შავი სხეულის ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივის მაქსიმუმი 0° C ტემპერატურაზე?

**II.3.** როგორი უნდა იყოს აბსოლუტურად შავი სხეულის ტემპერატურა, რომ ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივე დაემთხვეს ხილული სპექტრის წითელ საზღვარს (760 ნმ)?; იისფერ საზღვარს (380 ნმ)?

**II.4.** კაშკაშა წითელი ვარსკვლავის – არკტურის ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივის მაქსიმუმი მოდის 580 ნმ ტალღის სიგრძეზე. ჩათვალეთ, რომ ვარსკვლავი ასხივებს როგორც აბსოლუტურად შავი სხეული და განსაზღვრეთ მისი ზედაპირის ტემპერატურა.

**II.5.** აბსოლუტურად შავი სხეულის ტემპერატურის ცვლილების შედეგად ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივის მაქსიმუმმა 2.4 მკმ-დან 0.8 მკმ-მდე გადაინაცვლა. როგორ და რამდენჯერ შეიცვალა სხეულის ენერგეტიკული ნათობა და ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობა?

**II.6.** სინათლის ძალის ეტალონი წარმოადგენს სრულ გამომსხივარს (რომელიც ასხივებს ყველა სიგრძის ტალღას), რომლის გამომსხივებელი ზედაპირის ფართობი 0.5305 მმ<sup>2</sup>-ის ტოლია, ხოლო ტემპერატურა პლატინის გამყარების ტემპერატურის ტოლი (1063 °C). განსაზღვრეთ წყაროს სიმძლავრე.

**II.7.** აბსოლუტურად შავი სხეულის ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობაა  $4.16 \cdot 10^{11}$  (ვტ/მ<sup>2</sup>)/მ.ტალღის რა სიგრძეს შეესაბამება იგი?

**II.8.** აბსოლუტურად შავი სხეულის ტემპერატურაა 2000 K. განსაზღვრეთ: 1) ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივე 600 ნმ სიგრძის ტალღებისათვის; 2) ენერგეტიკული ნათობა 590 ნმ-დან 610 ნმ-მდე ტალღის სიგრძეთა ინტერვალში. ჩათვალეთ, რომ სხეულის ენერგეტიკული ნათობის სპექტრული სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობა ამ ინტერვალში 600 ნმ ტალღის სიგრძისათვის ნაპოვნი მნიშვნელობის ტოლია.

**II.9.** იპოვეთ ფოტონის მასა: 1) წითელი სინათლისათვის ( $\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$  სმ), 2) რენტგენის სხივებისათვის ( $\lambda = 0.25 \text{ \AA}$ ) და 3) გამახსივებისათვის ( $\lambda = 1.24 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}$ ).

**II.10.** განსაზღვრეთ ფოტონის ენერგია, მასა და იმპულსი, თუ მისი შესაბამისი ტალღის სიგრძე უდრის  $0.016 \text{ \AA}$ .

**II.11.** ვერცხლისწყლის რკალს აქვს 125 ვტ სიმძლავრე. სინათლის რამდენი კვანტი გამოსხივდება ყოველ წამში, თუ ტალღის სიგრძეებია: 1)  $6123 \text{ \AA}$ ; 2)  $5791 \text{ \AA}$ ; 3)  $5461 \text{ \AA}$ ; 4)  $4047 \text{ \AA}$ ; 5)  $3655 \text{ \AA}$  და 6)  $2537 \text{ \AA}$ ? ამ ხაზების ინტენსივობა შესაბამისად ტოლია ვერცხლისწყლის რკალის ინტენსივობის 1) 2%; 2) 4%; 3) 4%; 4) 2.9%; 5) 2.5% და 6) 4%-ისა. ჩათვალეთ, რომ სიმძლავრის 80% მიდის გამოსხივებაზე.

**II.12.** რა  $V$  სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს ელექტრონი, რომ მისი კინეტიკური ენერგია ტოლი იყოს  $\lambda = 520$  ნმ ტალღის სიგრძის ფოტონის ენერჯისა?

**II.13.** რა  $V$  სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს ელექტრონი, რომ მისი იმპულსი ტოლი იყოს ფოტონის იმპულსისა, რომლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda = 520$  ნმ?

**II.14.** როგორი ენერგია უნდა ჰქონდეს ფოტონს, რომ მისი მასა ტოლი იყოს ელექტრონის უძრაობის მასისა?

**II.15.** ფოტონების მონოქრომატული კონის მიერ გადაცემული იმპულსი  $S = 2 \text{ სმ}^2$  ფართობი  $t = 0.5$  წთ-ში ტოლია  $p = 3 \cdot 10^{-9}$  კგმ/წმ. იპოვეთ ამ კონისათვის ენერგია  $E$ , რომელიც ეცემა ფართის ერთეულზე დროის ერთეულში.



**II.16.** რა  $T$  ტემპერატურაზე იქნება ორატომიანი გაზის მოლეკულების კინეტიკური ენერგია  $\lambda = 589$  ნმ ტალღის სიგრძის ფოტონის ენერგიის ტოლი?

**II.17.** იპოვეთ ფოტონის მასა, თუ მისი იმპულსი ტოლია წყალბადის მოლეკულის იმპულსისა  $t = 20^{\circ}C$  ტემპერატურის დროს. მოლეკულის სიჩქარე ჩათვალით საშუალო კვადრატული სიჩქარის ტოლად.

**II.18.** იპოვეთ სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda_0$ , რომელიც შეესაბამება ფოტოეფექტის წითელ საზღვარს ლითიუმისათვის, ნატრიუმისათვის, კალიუმისათვის და ცეზიუმისათვის.

**II.19.** სინათლის ტალღის სიგრძე, რომელიც შეესაბამება რაღაც ლითონის წითელ საზღვარს, არის  $\lambda = 275$  ნმ. იპოვეთ ფოტონის მინიმალური ენერგია, რომელიც იწვევს ფოტოეფექტს.

**II.20.** სინათლის ტალღის სიგრძე, რომელიც შეესაბამება ფოტოეფექტს, არის  $\lambda_0 = 275$  ნმ. იპოვეთ ელექტრონის გამოსვლის  $A$  მუშაობა მეტალიდან, იმ ელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე, რომლებიც ამოიგლიჯებიან მეტალიდან  $\lambda = 180$  ნმ სიგრძის სინათლით და ელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია.

**II.21.** იპოვეთ სინათლის სიხშირე  $\nu$ , რომელიც მეტალიდან ამოგლეჯს ელექტრონებს, რომლებიც მთლიანად შეკავდებიან პოტენციალთა სხვაობით  $U = 3$  ვ. ფოტოეფექტი იწყება  $\nu_0 = 6 \times 10^{14}$  ჰც სიხშირის დროს. იპოვეთ მეტალიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა  $A$ .

**II.22.** იპოვეთ შემაკავებელი პოტენციალთა სხვაობა  $U$  ელექტრონებისათვის, რომლებიც ამოიგლიჯებიან კალიუმის განათებით  $\lambda_0 = 330$  ნმ სინათლით.

**II.23.** პლატინის ზედაპირიდან ფოტოეფექტის დროს, შემაკავებელი პოტენციალთა სხვაობა აღმოჩნდა  $U = 0.8$  ვ. იპოვეთ გამოყენებული გამოსხივების ტალღის სიგრძე  $\lambda$  და ტალღის სიგრ-

დის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $\lambda_0$ , რომლის დროსაც ჯერ კიდევ შესაძლებელია ფოტოეფექტის არსებობა.

**II.24.** ფოტონები, რომელთა ენერგიაა  $\varepsilon = 4.9$  ევ, ამოგლეჯენ ელექტრონებს მეტალიდან, რომლის გამოსვლის მუშაობა  $A = 4.5$  ევ. იპოვეთ მაქსიმალური იმპულსი  $P_{max}$ , რომელიც გადაეცემა მეტალის ზედაპირს თითოეული ელექტრონის გამოსვლისას.

**II.25.** იპოვეთ პლანკის მუდმივა  $h$ , თუ ცნობილია, რომ ლითონიდან  $v_1 = 2.2 \cdot 10^{15}$  ჰც სიხშირის სინათლით ამოგლეჯილი ელექტრონები მთლიანად ყოვნდებიან პოტენციალთა სხვაობით  $U_1 = 6.6$  ვ, ხოლო  $v_2 = 4.6 \cdot 10^{15}$  ჰც სიხშირის სინათლით ამოგლეჯილი ელექტრონები ყოვნდებიან  $U_1 = 16.5$  ვ პოტენციალთა სხვაობით.

**II.26.** განსაზღვრეთ ნატრიუმიდან ელექტრონების გამოსვლის მუშაობა, თუ ფოტოეფექტის წითელი საზღვარი ტოლია  $5000 \text{ \AA}$ .

**II.27.** ექნება თუ არა ადგილი ფოტოეფექტს, თუ ვერცხლის ზედაპირს დავასხივებთ  $3000 \text{ \AA}$  ტალღის სიგრძის ულტრაიისფერი სხივებით?

**II.28.** ფოტონის ენერგიის რა ნაწილი დაიხარჯა ფოტოელექტრონის ამოგლეჯაზე, თუ ფოტოეფექტის წითელი საზღვარი ტოლია  $3070 \text{ \AA}$  და ფოტოელექტრონის მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია უდრის  $1$  ევ?

**II.29.** ლითიუმის ზედაპირზე ეცემა მონოქრომატული სინათლე ( $\lambda = 3000 \text{ \AA}$ ). ელექტრონების ემისიის შეწყვეტისათვის საჭიროა მოდებული იყოს  $1.7$  ვ დამამუხრუჭებელი პოტენციალთა სხვაობა. განსაზღვრეთ გამოსვლის მუშაობა.

**II.30.** პლატინის ფირფიტაზე ეცემა ულტრაიისფერი სხივები. ფოტოეფექტის შეწყვეტისათვის საჭიროა მოვდოთ  $3.7$  ვ დამამუხრუჭებელი პოტენციალთა სხვაობა. პლატინის ფირფიტის სხვა ლითონის ფირფიტით შეცვლისას დამამუხრუჭებელი პოტენციალთა სხვაობა უნდა გაიზარდოს  $6$  ვ მნიშვნელობამდე. განსაზღვრეთ ამ ფირფიტის ზედაპირიდან ელექტრონების გამოსვლის მუშაობა. გამოსვლის მუშაობა პლატინიდან ტოლია  $6.3$  ევ.

**II.31.** თუთიის ფირფიტას ეცემა  $2200 \text{ \AA}$  ტალღის სიგრძის მონოქრომატული სინათლე. განსაზღვრეთ ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე.

**II.32.** რა სიგრძის უნდა იყოს ულტრაიისფერი სხივების ტალღა, რომ რაღაც მეტალის დასხივებისას ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე  $10^7 \text{ მ/წმ}$  სიდიდის ტოლი იყოს? გამოსვლის მუშაობა უგულებელყავით.

**II.33.** განსაზღვრეთ  $0.03 \text{ \AA}$  ტალღის სიგრძის მოქმედებით მეტალიდან ამოგლეჯილი ელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე.

**II.34.** განსაზღვრეთ  $1.53 \text{ მეგევ}$  ენერგიის  $\gamma$ -კვანტების დასხივებით მეტალიდან ამოგლეჯილი ელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე.

**II.35.**  $\gamma$ -კვანტებით დასხივებისას ლითონიდან ამოტყორცნილი ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარეა  $291 \text{ მგმ/წმ}$ . განსაზღვრეთ  $\gamma$ -კვანტების ენერგია.

**II.36.** იპოვეთ ბორის ელექტრონული ორბიტების რადიუსების პირველი სამეული  $r_k$  წყალბადის ატომში და ელექტრონების სიჩქარეები მათზე  $V_k$ .

**II.37.** იპოვეთ ელექტრონის კინეტიკური  $W_k$ , პოტენციური  $W_p$  და სრული  $W$  ენერგია ბორის პირველ ორბიტაზე.

**II.38.** იპოვეთ წყალბადის ატომის  $k$ -ურ ორბიტაზე მყოფი ელექტრონის კინეტიკური ენერგია  $W_k$  (სიჩქარის გამოსახულება  $V_k$  გამოიყვანეთ), თუ  $k = 1, 2, \dots, \infty$ .

**II.39.** იპოვეთ ელექტრონის ბრუნვის პერიოდი  $T$  წყალბადის ატომის ბორის პირველ ორბიტაზე და მისი კუთხური სიჩქარე  $\omega$ .

**II.40.** იპოვეთ წყალბადის სპექტრული ხაზების მინიმალური და მაქსიმალური ტალღის სიგრძეები ხილულ არეში.

**II.41.** იპოვეთ უდიდესი ტალღის სიგრძე  $\lambda_{max}$  წყალბადის ატომის სპექტრის ულტრაიისფერ უბანში. როგორი უმცირესი სიჩქარე  $V_{min}$  უნდა ჰქონდეს ელექტრონებს, რომ ამ ელექტრონების დარტყმით აგზნებულ წყალბადის ატომებს ჰქონდეს ეს ხაზები?

**II.42.** იპოვეთ წყალბადის ატომის იონიზაციის პოტენციალი  $U_1$ .

**II.43.** როგორი უმცირესი ენერგია  $W_{min}$  (ელექტრონვოლტებში) უნდა ჰქონდეს ელექტრონებს, რომ წყალბადის ატომების აგზნებისას ამ ელექტრონებით გაჩნდეს წყალბადის ატომის ყველა სერიის ყველა ხაზი. როგორი უმცირესი სიჩქარე  $V_{min}$  უნდა ჰქონდეს ამ ელექტრონებს?

**II.44.** რა საზღვრებში უნდა იყოს დამბომბავი ელექტრონების ენერგია, რომ წყალბადის ატომების აგზნებისას ამ ელექტრონებით წყალბადის სპექტრს ჰქონდეს მხოლოდ ერთი სპექტრული ხაზი?

**II.45.** როგორი უმცირესი ენერგია  $W_{min}$  (ელექტრონვოლტებში) უნდა ჰქონდეს ელექტრონებს, რომ წყალბადის ატომების აგზნებისას ამ ელექტრონებით წყალბადის სპექტრს ჰქონდეს სამი სპექტრული ხაზი? იპოვეთ ამ ხაზების ტალღის სიგრძეები  $\lambda$ .

**II.46.** რა საზღვრებში უნდა იყოს მონოქრომატული სინათლის ტალღის სიგრძეები  $\lambda$ , რომ წყალბადის ატომების აგზნებით ამ სინათლის კვანტებით დაიმზირებოდეს სამი სპექტრული ხაზი?

**II.47.** რამდენად შეიცვალა ელექტრონის კინეტიკური ენერგია წყალბადის ატომში ატომის მიერ  $\lambda = 486$  ნმ ტალღის სიგრძის ფოტონის გამოსხივებით?

**II.48.** რა საზღვრებში უნდა იყოს მონოქრომატული სინათლის ტალღის სიგრძე, რომ წყალბადის ატომის აგზნებისას სინათლის ამ კვანტებით, ელექტრონის ორბიტის რადიუსი გაიზარდოს 9-ჯერ?

**II.49.** იპოვეთ ბორის პირველი ელექტრონული ორბიტის რადიუსი  $r_1$  ერთჯერადად იონიზებული ჰელიუმისათვის და ელექტრონის  $V_1$  სიჩქარე ამ ორბიტაზე.

**II.50.** იპოვეთ აგზნების პირველი პოტენციალი ერთჯერადად იონიზირებულ ჰელიუმში და ორჯერადად იონიზებულ ლითიუმში.

**II.51.** ბორის პირველი პოსტულატიდან გამომდინარე, გამოიყვანეთ წყალბადის ატომის ელექტრონის  $n$ -ური ორბიტის რადი-

უსის განმსაზღვრელი ფორმულა. გამოთვალეთ პირველი სამი ორბიტის რადიუსი.

**II.52.** იცით რა ელექტრონის მუხტი და ორბიტის რადიუსი, განსაზღვრეთ წყალბადის ატომის პირველ ორბიტაზე მოთავსებული ელექტრონის პოტენციური, კინეტიკური და სრული ენერგიები.

**II.53.** განსაზღვრეთ ბალმერის სერიაში მესამე სპექტრული ხაზის შესაბამისი ტალღის სიგრძე.

**II.54.** იპოვეთ წყალბადის სპექტრის პირველი ინფრანითელი სერიის (პაშენის სერიის) უდიდესი და უმცირესი ტალღის სიგრძეები.

**II.55.** განსაზღვრეთ წყალბადის ატომში ელექტრონის მესამე ენერგეტიკული დონიდან პირველზე გადასვლისას გამოსხივებული ფოტონის ენერგია.

**II.56.** განსაზღვრეთ წყალბადის სპექტრის ულტრაიისფერი სერიის (ლაიმანის სერიის) ფოტონის ენერგიის უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობანი.

**II.57.** განსაზღვრული ტალღის სიგრძის სინათლით აგზნებული ატომური წყალბადი ძირითად მდგომარეობაში გადასვლისას გამოასხივებს მხოლოდ სამ სპექტრულ ხაზს. განსაზღვრეთ ამ ხაზების ტალღის სიგრძეები.

**II.58.** 16.5 ევ ენერგიის ფოტონმა არააგზნებული წყალბადის ატომიდან ამოაგდო ელექტრონი. განსაზღვრეთ ელექტრონის სიჩქარე ატომის ბირთვიდან მოშორებით.

**II.59.** განსაზღვრეთ ჰელიუმის  $He^+$  იონის მიერ მეორე ენერგეტიკული დონიდან პირველზე გადასვლისას გამოსხივებული ტალღის სიგრძე. იგივე გამოთვლა ჩაატარეთ ლითიუმის  $Li^{++}$  იონისათვის.

**II.60.** იპოვეთ  $He^+$  და  $Li^{++}$  იონების  $E_i$  იონიზაციის ენერგია და  $U_i$  პოტენციალი.

**II.61.** გამოთვალეთ წყალბადის ატომის მეორე და მესამე ორბიტაზე ელექტრონის ბრუნვის სიხშირეები. შეადარეთ ეს სიხში-

რეები ელექტრონის მესამე ორბიტიდან მეორეზე გადასვლისას გამოსხივების სიხშირეს.

**II.62.** წყალბადის ატომი ძირითად მდგომარეობაში შთანთქავს  $\lambda = 1215 \text{ \AA}$  ტალღის სიგრძის სინათლის კვანტს. განსაზღვრეთ წყალბადის აგზნებული ატომის ელექტრონული ორბიტის რადიუსი.

**II.63.** განსაზღვრეთ წყალბადის ატომის აგზნების პირველი პოტენციალი.

**II.64.** განსაზღვრეთ ელექტრონის ტალღური თვისებების დამახასიათებელი დე-ბროილის ტალღის სიგრძე, თუ ელექტრონის სიჩქარეა  $1 \text{ მგმ/წმ}$ . ჩაატარეთ ანალოგიური გამოთვლა პროტონისათვის.

**II.65.** ელექტრონი მოძრაობს  $200 \text{ მგმ/წმ}$  სიჩქარით. განსაზღვრეთ მისი დე-ბროილის ტალღის სიგრძე.

**II.66.** რა ამაჩქარებელი პოტენციალთა სხვაობა უნდა გაიაროს ელექტრონმა, რომ დე-ბროილის ტალღის სიგრძე  $1 \text{ \AA}$  -ის ტოლი იყოს?

**II.67.** განსაზღვრეთ ელექტრონის დე-ბროილის ტალღის სიგრძე, თუ მისი კინეტიკური ენერგია  $1 \text{ ეეე-ის}$  ტოლია.

**II.68.** იპოვეთ დე-ბროილის ტალღის სიგრძე პროტონისათვის, რომელმაც გაიარა  $1 \text{ კე}$  და  $1 \text{ მგვ}$  ამაჩქარებელი პოტენციალთა სხვაობა ( $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ კგ}$ ).

**II.69.** განსაზღვრეთ ძირითად მდგომარეობაში მყოფ წყალბადის ატომში წრიულ ორბიტაზე მოძრავი ელექტრონის დე-ბროილის ტალღის სიგრძე.

**II.70.** განსაზღვრეთ წყალბადის ატომის მეორე ორბიტაზე მოთავსებული ელექტრონის დე-ბროილის ტალღის სიგრძე.

**II.71.** რა სიჩქარით მოძრაობს ელექტრონი, თუ ელექტრონის დე-ბროილის ტალღის სიგრძე რიცხობრივად კომპტონის ტალღის სიგრძის ტოლია?

**II.72.** განსაზღვრეთ რენტგენის მილაკის ანტიკათოდის დამბობავი ელექტრონების დე-ბროილის ტალღის სიგრძე, თუ რენტგენის სხივების უწყვეტი სპექტრის საზღვარი ემთხვევა  $30 \text{ \AA}$  ტალღის სიგრძეს.

**II.73.** ელექტრონი მოძრაობს 8 მტლ ინდუქციის მაგნიტურ ველში 0.5 სმ რადიუსის წრეწირზე. განსაზღვრეთ ელექტრონის დე-ბროილის ტალღის სიგრძე.

**II.74.** რაღაც კრისტალის ნახნაგს მისი ზედაპირისადმი  $60^\circ$  კუთხით ეცემა ერთნაირი სიჩქარით მოძრავ ელექტრონთა პარალელური კონა. განსაზღვრეთ ელექტრონების სიჩქარე, თუ ისინი განიცდიან პირველი რიგის ინტერფერენციულ არეკვლას. კრისტალის ატომურ სიბრტყეებს შორის მანძილი 2 Å-ის ტოლია.

**II.75.** ერთნაირი სიჩქარით (1 მგმ/წმ) მოძრავი ელექტრონების პარალელური კონა ეცემა მართობულად 1 მკმ სიგრძის გრძელ ხვრელს. ხვრელში გავლის შემდეგ ელექტრონები განიბნევიან რა ხვრელიდან 50 სმ მანძილზე მოთავსებულ ეკრანზე ქმნიან დიფრაქციულ სურათს. განსაზღვრეთ წირითი მანძილი პირველ დიფრაქციულ მინიმუმებს შორის.

**II.76.**  $U = 30$  კვ მაჩქარებელი პოტენციალთა სხვაობის გავლის შემდეგ, ელექტრონთა ვიწრო კონა ეცემა მართობულად ოქროს თხელ ფირს, გადის მასში და განიბნევა. ფირის უკან  $L = 20$  სმ მანძილზე მოთავსებულ ფოტოფირფიტაზე მიიღება დიფრაქციული სურათი, რომელიც წრიული ცენტრალური ლაქისა და რამდენიმე კონცენტრული წრეწირისაგან შედგება. პირველი წრეწირის რადიუსია  $R = 3,4$  მმ. განსაზღვრეთ: 1) პირველი წრეწირის შესაბამისი ელექტრონების არეკვლის კუთხე ოქროს მიკროკრისტალებიდან (კუთხე იზომება კრისტალის ზედაპირიდან); 2) ელექტრონებისათვის დე-ბროილის ტალღის სიგრძე; 3) ოქროს კრისტალური მესრის მუდმივა.

## პასუხები

### თავი I. ოპტიკა

**I.1.**  $2\alpha$ . **I.2.** -15 სმ; 0.5 სმ. გამოსახულება ნამდვილი, შებრუნებული და შემცირებულია. **I.3.** 12 სმ; -0.8 სმ. გამოსახულება წარმოსახვითი, პირდაპირი და შემცირებულია. **I.4.** 7.5 სმ; -1.5 სმ. გამოსახულება წარმოსახვითი, პირდაპირი და შებრუნებულია.

**I.5.** -0.6 მ; -0.3 მ. **I.6.** -10 სმ; -10 დიოპტრი. **I.7.** გამოსახულება იქნება სარკის ფოკუსში; 7.5 სმ. **I.8.** 0.1 მ. **I.9.** 5.8 მმ. **I.10.**  $tgi = n$ .

**I.11.**  $41^{\circ}8'$ ;  $48^{\circ}45'$ ;  $61^{\circ}10'$ . **I.12.**  $41^{\circ}15'$  წყლის ზედაპირის მიმართ.

**I.13.**  $2.02 \cdot 10^8$  მ/წმ. **I.14.** ამოცანის პირობის შესრულება შეუძლებელია. **I.15.** 0.114 მ. **I.16.**  $41^{\circ}28'$ ;  $40^{\circ}49'$ . **I.17.**  $34^{\circ}37'$ . **I.18.**  $10^{\circ}8'$ .

**I.19.**  $28^{\circ}$ . **I.20.**  $6^{\circ}2'$ . **I.21.**  $77^{\circ}22'$ . **I.22.**  $\sin \frac{\delta + \gamma}{2} = n \sin \frac{\gamma}{2}$ . ამ შემთხ-

ვევაში მიიღება სხივის უმცირესი გადახრა თავისი თავდაპირველი მიმართულებიდან. **I.23.** 0.146 მ. **I.24.** 0.188 მ; 0.30 მ. **I.25.** 1.4;

მოცემულ სითხეში პირველი ლინზა იმოქმედებს როგორც გამბნევი, ხოლო მეორე – როგორც შემკრები. **I.27.** 1 მ. **I.28.** 0.47 მ.

**I.29.** 2 დიოპტრი **I.30.** 0.112 მ. **I.31.** 1 მ; 0.71 მ. **I.32.** 8.34 ლუმ.

**I.33.** 2.5 მ. **I.34.** მაგიდის ნათურის შემთხვევაში განათებულობა მეტია 1.2-ჯერ. **I.35.** 2.25-ჯერ. **I.36.**  $8 \cdot 10^4$  ლუქს.

**I.37.**  $1.6 \cdot 10^5$  ლუმ/მ<sup>2</sup>;  $5.1 \cdot 10^4$  კანდ/მ<sup>2</sup>. **I.38.**  $2 \cdot 10^3$  ლუქსი;  $1.5 \cdot 10^3$  ლუმ/მ<sup>2</sup>; 480 კანდ/მ<sup>2</sup>. **I.39.** 210 ლუქს. **I.40.** განათებულობის მაქსიმალური

შესუსტება; ნაწილობრივ გაძლიერდება. **I.41.**  $2 \cdot 10^3$ ;  $3 \cdot 10^3$ . **I.42.** 4 მმ.

**I.43.** 1.33 მ. **I.44.** გაიზრდება: 1) 0.50 მმ-ით; 2) 0.45 მმ-ით. **I.45.**  $0.6\pi$ .

**I.46.** 0.6 და 0.45 მკმ. **I.47.** 2 მ. **I.48.**  $4.8 \cdot 10^{-7}$  მ. **I.49.** 0.8 მ.

**I.50.**  $17^{\circ}8'$ ;  $36^{\circ}5'$ ;  $62^{\circ}$ . **I.51.** 5 სმ. **I.52.**  $30^{\circ}$ . **I.53.** 3. **I.54.** 0.24 Å.

**I.56.** ა)  $\Delta x = \frac{\lambda(b+r)}{2ar} = 1.1$  მმ;  $N = \frac{4a^2rb}{\lambda(b+r)} = 8$  ზოლი; ბ) სურათის



წანაცვლება  $\delta x = \frac{b}{r} \delta r = 13$  მმ. სურათი ჯერ კიდევ იქნება მკაფიო,

თუ  $\delta x \leq \Delta x / 2$ . აქედან  $\delta_{\max} = \frac{\lambda}{4a} \left(1 + \frac{r}{b}\right) = 0.042$  მმ. **1.57.** მანძილი

ღრეჩოს გამოსახულებებს შორის  $i = 2r\varphi$ , ხოლო მანძილი მათგან ეკრანამდე  $L + r$ . მანძილი ნულოვან მაქსიმუმიდან  $k$ -ურ ნათელ და ბნელ ზოლებამდე:

$$y_k = (L + r) \frac{k\lambda}{t} \quad \text{და} \quad y'_k = (L + r) \frac{2k + 1}{2} \frac{\lambda}{t}.$$

მანძილი მეზობელ ზოლებს შორის  $a = (L + r) \frac{\lambda}{t}$ , საიდანაც

$\lambda = \frac{at}{L + r} \approx 500$  ნმ. **1.58.** თუ ნებისმიერი პირველი ბნელი ზოლის

ნომერია  $k$ , ხოლო მეორის  $k + m$ , მაშინ მანძილი მათ შორის

$$b = (L + r) \frac{2(k + m) + 1}{2} \frac{\lambda}{2r\varphi} - (L + r) \frac{2k + 1}{1} \frac{\lambda}{2r\varphi} = m(L + r) \frac{\lambda}{2r\varphi}$$

(იხ. ამოცანა 1.57).  $\varphi = \frac{m(L + r)\lambda}{2rb}$   $m = 4$ ,  $\varphi \approx 3'.44$ .

**1.59.**  $a = (L + r) \frac{\lambda}{2r\varphi}$ ;  $a = 3$  მმ (იხ. ამოცანა 1.57).

**1.60.** ა)  $\Delta x = \frac{\lambda f}{a} = 0.15$  მმ;  $N = \frac{ba^2}{\lambda f^2} = 13$  ზოლი. ბ) ზოლები იქნება

საკმაოდ მკვეთრი, თუ  $\delta x \leq \Delta x / 2$ , სადაც  $\delta x$  - ინტერფერენციული სურათის წანაცვლებაა ხვრელის კიდურა ელემენტებიდან. აქედან

$$\delta_{\max} = \frac{\lambda f^2}{2ab} \approx 34 \text{ მკმ.}$$

**1.61.**  $\lambda = \frac{2l\theta(n - 1)\Delta x}{a + b} = 0.64$  მკმ.

**1.62.**  $n' = n + \frac{N\lambda}{l} = 1.000377$ .

**1.63.**  $d = \frac{\lambda(2k+1)}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}} = 0.14(2k+1)$  მკმ, სადაც  $k = 0, 1, 2, \dots$

**1.64.** 1)  $y_{k1} = \frac{L_1}{t} k_1 \lambda$ ;  $y_{k2} = \frac{L_2}{t} k_2 \lambda$ ;  $\frac{L_2}{L_1} = \frac{k_1}{k_2}$ ;  $\frac{L_2}{L_1} = \frac{3}{5}$ .

2)  $y_{k1} = \frac{L_1}{t} k_1 \lambda$ ;  $y'_{k2} = \frac{L_2(2k_2+1)}{2t} \lambda$ ;  $\frac{L_2}{L_1} = \frac{2k_1}{2k_2+1}$ ;  $\frac{L_2}{L_1} = \frac{4}{3}$ .

3)  $y'_{k1} = \frac{L_1(2k_1+1)}{2t} \lambda$ ;  $y'_{k2} = \frac{L_2(2k_2+1)}{2t} \lambda$ ;  $\frac{L_2}{L_1} = \frac{2k_1+1}{2k_2+1} = \frac{15}{7}$ .

**1.65.**  $L = \frac{t\Delta l}{\lambda} = 91$  სმ. **1.66.**  $k$ -ური ნათელი  $y_k = k \frac{L\lambda}{tn}$ ;  $k$ -ური ბნელი

$$y'_k = \frac{L}{t}(2k+1) \frac{\lambda}{2n}.$$

**1.67.**  $y_{k1}(\lambda_1) = \frac{Lk_1\lambda_1}{t}$ ;  $y'_{k2}(\lambda_2) = \frac{L(2k_2+1)\lambda_2}{2t}$ ;  $y_{k1}(\lambda_1) = y'_{k2}(\lambda_2)$ ;

$$\lambda_2 = \frac{2k_1}{2k_2+1} \lambda_1; \lambda_2 = 440 \text{ მმ}.$$

**1.68.** დამატებითი სვლათა სხვაობა  $\Delta = t(n-1)$ . ინტერფერენციული სურათი წარმოიქმნება  $\Delta N = \frac{t(n-1)}{\lambda}$  ზოლით;  $\Delta N = 8$ .

**1.69.**  $\Delta N = \frac{t(n-1)}{\lambda}$ . აქედან  $t = \frac{\Delta N \lambda}{(n-1)} = 3.67$  მკმ.

**1.70.** ფირფიტის სისქე იქნება უმცირესი, თუ  $i_1$  და  $i_2$  კუთხით დამზერადი მაქსიმუმები იქნებიან მეზობელი მაქსიმუმები.

$$h = \frac{\lambda}{2\left(\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \sqrt{n^2 - \sin^2 i_2}\right)} \approx 3.8 \cdot 10^{-6} \text{ მ}.$$

**1.71.**  $\Delta_{\min} = 9$  მკმ.  $\Delta_{\max} = 12$  მკმ.

$$i_k = \arcsin \sqrt{n^2 - \frac{(2k-1)^2 \lambda^2}{16h^2}}.$$

გამოთვლები ჩაატარეთ დამოუკიდებლად.

$$1.72. (2k-1)\frac{\lambda_1}{2} = (2k+1)\frac{\lambda_2}{2}; \quad k = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}.$$

$$1.73. h_{\min} = 3.76 \text{ მკმ}; \quad h_{\max} = 5.04 \text{ მკმ}.$$

1.74.  $k$ -ური მაქსიმუმის პირობიდან

$$(2k-1)\frac{\lambda}{2} = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i}; \quad h = \frac{(2k-1)\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}.$$

ფირფიტის სისქე იქნება მინიმალური, თუ მაქსიმუმი დაიმზირება  $i = 0^\circ$  კუთხით, ხოლო მაქსიმალური, როცა  $i = 90^\circ$ ;

$$h_{\min} = \frac{(2k-1)\lambda}{4n} = 2.16 \text{ მკმ}; \quad h_{\max} = \frac{(2k-1)\lambda}{4\sqrt{n^2-1}} = 2.77 \text{ მკმ}.$$

$$1.75. 1) a_1 = \lambda_1 = 7.6 \cdot 10^{-5} \text{ სმ. } 2) a_2 = \lambda_2 = 4.4 \cdot 10^{-5} \text{ სმ.}$$

1.76. 1) ლუნი მაქსიმუმები ამ შემთხვევაში არ დაიმზირება. ამიტომ  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 3$  და  $k_3 = 5$ .  $\varphi_1 = 5^\circ 44'$ ;  $\varphi_2 = 17^\circ 28'$ ;  $\varphi_3 = 30^\circ$ .

2)  $d = a + b = 12\lambda$ ;  $\frac{d}{a} = 3$ . არ დაიმზირება სამის ჯერადი არცერთი მაქსიმუმი;  $k = 1$ ;  $k = 2$ ;  $k = 4$ .

$$d \sin \varphi_i = k_i \lambda; \quad \sin \varphi_i = k_i \frac{\lambda}{q n \lambda}. \quad \sin \varphi_1 = 0.0833; \quad \varphi_1 = 4^\circ 47'.$$

$$\sin \varphi_2 = 0.1667; \quad \varphi_2 = 9^\circ 36'. \quad \sin \varphi_3 = 0.3333; \quad \varphi_3 = 19^\circ 28'.$$

1.77. მესრის პერიოდი  $d = a + b = 5 \cdot 10^{-3}$  მმ. კუთხე, რომელზედაც დაიმზირება  $k$ -ური მაქსიმუმი, აკმაყოფილებს თანაფარდობას  $d \sin \varphi = k\lambda$ , საიდანაც;

$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}.$$

ფირფიტისათვის მაქსიმუმის პირობა  $\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$ , ამას-

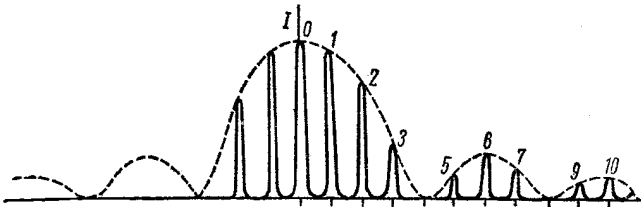
თან,  $i = \varphi$  მაშასადამე,  $h = \frac{\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda}{2\sqrt{n^2 - \left(\frac{k\lambda}{d}\right)^2}}$ . ჩვენს შემთხვევაში  $h = 0.51$  მკმ.

**1.78.** მაქსიმუმის უდიდესი რიგი დაიმზირება  $30^\circ$ -ზე მცირე კუთხეზე;  $d \sin \alpha = k\lambda$ ;  $k = \frac{d \sin \alpha}{\lambda}$ ;  $k = 10$ ;  $k_{\max} = 10$ . მინიმუმის მდებარეობა დაიმზირება ერთ სვრელზე დიფრაქციისას:

$$a \sin \varphi_{\min} = m\lambda; \quad \sin \varphi_{\min} = m \frac{\lambda}{a}, \quad m = 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$\sin \varphi_{\min} = m \frac{d \lambda}{a d}. \quad (2)$$

თუ  $m \frac{d}{a}$  მთელი რიცხვია, მაშინ (2) გამოსახულება გადადის მაქსიმუმის პირობაში, რომლის რიგი  $k' = m \frac{d}{a}$ ,  $k' = m \frac{10^{-2}}{2.5 \cdot 10^{-3}} = 4m$ , ე.ი.  $k' = 4, 8, 12, \dots$  ასეთი რიგის მაქსიმუმები არ დაიმზირება, რადგან ისინი მოდიან ძირითად მინიმუმებზე. ჩვენს შემთხვევაში „იკარგება“ ორი მაქსიმუმი – მეოთხე და მერვე (იხ. ნახ. 6).



**ნახ. 6**

**1.79.** 1)  $k_{\max} = 4$ ;  $\varphi_{\max} = 68^\circ$ .

**1.80.** 1) განვსაზღვროთ სპექტრის მაქსიმალური რიგი დაშვებით  $\sin \varphi = 1$  მთავარი მაქსიმუმის პირობაში;  $d \sin \varphi = k\lambda$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ),

$k = \frac{d}{\lambda} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{7.6 \cdot 10^{-4}} \leq 6.59$ ,  $k_{\max} = 6$ . ნულოვანი მაქსიმუმის გათვალისწინებით ყველა დამზერელი მაქსიმუმების რაოდენობა იქნება

$N = 2k_{\max} + 1 = 13$ . 2)  $k \leq \frac{5 \cdot 10^{-3}}{4.4 \cdot 10^{-4}} \leq 11.8$ ;  $k_{\max} = 11$ ;  $N = 23$ .

**1.81.** დიფრაქციული მესრის მთავარი მაქსიმუმის პირობა

$$d \sin \varphi = k\lambda, \text{ საიდანაც } d = \frac{k\lambda}{\sin \varphi};$$

$$n = \frac{1}{d} = \frac{\sin \varphi}{k\lambda} = 400.$$

**1.82.** მესრის სიგანე  $l = Nd$ . მინიმუმის პირობა  $Nd \sin \varphi = m\lambda$ , სადაც  $m$  ისეთი მთელი რიცხვია, რომ  $m \neq kN$ . მინიმუმების რიცხვი მეზობელ მთავარ მაქსიმუმებს შორის ტოლია  $N-1$ . 1-დან 5000-მდე გამოდის 1000-ის ჯერადი  $m$ -ის ხუთი მნიშვნელობა. მაშასადამე:

$$m_{5000} = 5005; \quad l = Nd = \frac{m\lambda}{\sin \varphi} = m\lambda; \quad l = 0.295 \text{ სმ.}$$

**1.83.**  $Nd = \frac{m\lambda}{\sin \varphi}$ ;  $m = \frac{Nd \sin \varphi}{\lambda}$ . თუ  $m$   $N$ -ის ჯერადია, დაიმზირება

მაქსიმუმი, თუ  $m \neq kN$ , მაშინ – მინიმუმი.  $m = \frac{l \sin \varphi}{\lambda} = 2083$ ;

$N = \frac{l}{d} = 500$ .  $\frac{\pi}{6}$  კუთხით დაიმზირება ოთხმოცდამესამე მინიმუმი

მეოთხე მთავარი მაქსიმუმის შემდეგ.

**1.84.** თუ გადაფარვა სპექტრში არ იქნება  $\lambda$ -ს უდიდესი რიგისათვის  $k_{\max}$ , მაშინ იგი არ იქნება მცირე რიგისთვისაც. ამიტომ  $\Delta\lambda$  შეიძლება ვიპოვოთ პირობიდან:

$$k_{\max} (\lambda + \Delta\lambda) = (k_{\max} + 1)(\lambda - \Delta\lambda);$$

$$k_{\max} \Delta\lambda = \lambda - k_{\max} \Delta\lambda - \Delta\lambda; \quad \Delta\lambda = \frac{\lambda}{2k_{\max} + 1}.$$

განვსაზღვროთ  $k_{\max}$ :

$$d \sin \varphi = k\lambda; \quad k = \frac{d}{\lambda} = 12.3; \quad k_{\max} = 12 \quad \text{და} \quad \Delta\lambda = 19.4 \text{ ნმ.}$$

**1.85.** 1)  $D = \frac{d\varphi}{d\lambda}$ . მაქსიმუმის პირობიდან  $d \sin \varphi = k\lambda$  ვპოულობთ

$d \cos \varphi \frac{d\varphi}{d\lambda} = k$ ;  $D = \frac{k}{d \cos \varphi}$ . 2) გარჩევისუნარიანობა  $r = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$ , სა-

დაც  $\lambda$  – სინათლის ტალღის სიგრძეა, ხოლო  $\delta\lambda$  – ტალღის სიგრძეთა უმცირესი ინტერვალი, რომლის დროსაც მაქსიმუმები  $\lambda$  და  $\lambda + \delta\lambda$  ტალღის სიგრძეებისათვის აღიქმება ცალ-ცალკე. რელეის პირობის თანახმად,  $\delta\lambda$  შეესაბამება კუთხურ მანძილს  $\lambda$ -ს მაქსიმუმსა და მომდევნო მინიმუმს შორის. მაშასადამე,  $(\lambda + \delta\lambda)$ -ს  $k$ -ური მაქსიმუმი და პირველი მინიმუმი  $\lambda$ -ს  $k$ -ური მაქსიმუმის შემდეგ უნდა დაიმზირებოდნენ ერთი კუთხით:  $d \sin \varphi = k(\lambda + \Delta\lambda)$ ;

$$Nd \sin \varphi = (Nk + 1)\lambda, \text{ საიდანაც } k\lambda + k\delta\lambda = \frac{Nk + 1}{N}\lambda; \quad \frac{\lambda}{\delta\lambda} = kN.$$

**1.86.**  $k$ -ური რიგის სპექტრში  $N$  ხველიანი მესრის გარჩევისუნარიანობა  $r = kN$ . მაქსიმუმის პირობიდან  $k = \frac{d \sin \varphi}{\lambda} \leq \frac{d}{\lambda}$ . ხველების რიცხვი მესერში  $N = \frac{l}{d}$ , საიდანაც  $r = \frac{d \sin \varphi}{\lambda} \frac{l}{d} \leq \frac{l}{\lambda}$ . ტოლობის ნიშანი შეესაბამება შემთხვევას, როცა ბოლო მაქსიმუმი შეესაბამება  $90^\circ$ .

**1.87.** საჭიროა ვიპოვოთ თითოეული მესრის შტრიხების რიცხვი  $N_1$  და  $N_2$  და მაქსიმუმების უდიდესი რიგი  $N_1 = \frac{l}{d_1} = 1000$ ;

$$N_2 = \frac{l}{d_2} = 500; \quad d \sin \varphi = k\lambda; \quad k_1 = \frac{d_1}{\lambda} = 5.09; \quad k_{\max} = 5; \quad k_2 = \frac{d_2}{\lambda} =$$

$$10.18; \quad k_{\max} = 10.$$

გარჩევისუნარიანობა:

$$r_1 = N_1 k_{\max 1} = 5000; \quad r_2 = N_2 k_{\max 2} = 5000.$$

**1.88.**  $d = \frac{k\lambda}{\sin \varphi} = 5.15 \cdot 10^{-3} \text{ მმ}; \quad l = Nd = 2.58 \text{ მმ}.$

**1.89.** 1) დისპერსია  $D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \varphi} = \frac{k}{d\sqrt{1 - \sin^2 \varphi}}$ . მთავარი მაქსი-

მუმის პირობიდან  $\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$ , საიდანაც  $D = \frac{k}{d\sqrt{1 - \left(\frac{k\lambda}{d}\right)^2}}$ .

გარჩევისუნარიანობა  $r = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = kN$ , სადაც  $\delta\lambda$  მესრის სვრელების

რიცხვი  $N = \frac{l}{d}$ ;  $r = k \frac{l}{d}$ ;  $D = 0.456$  მინ/ნმ.  $r = 6000$ . 2)  $\delta\lambda = \frac{\lambda}{r} = 0.109$  ნმ.

**1.90.** რადგან ინტენსიურობა პროპორციულია ამპლიტუდის კვადრატისა  $A(\varphi)$ , ამიტომ მაქსიმუმები შეიძლება ვიპოვოთ

პირობიდან  $\frac{\partial A}{\partial \varphi} = 0$ ;

$$A(\varphi) = A_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi}.$$

პირობიდან  $\frac{\partial A}{\partial \varphi} = 0$  ვღებულობთ:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right) = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi.$$

ეს ტრანსცენდენტული განტოლებაა, რომელიც შეიძლება ამოიხსნას ცხრილების მეშვეობით. მისი ამონახსნებია:  $\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi = m\pi$ ,

სადაც  $m = 1.43, 2.46, 3.47, \dots$ . რაც უფრო მაღალია მაქსიმუმის რიგი, მით უფრო ზუსტად სრულდება პირობა  $a \sin \varphi = (2k+1) \frac{\lambda}{2}$ ,

$k = 1, 2, 3, \dots$  მინიმუმის პირობა მიიღწევა, როცა  $A(\varphi) = 0$ , ე.ი. როცა  $\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right) = 0$ , საიდანაც  $\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi = k\pi$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ).

**1.91.**  $J_\varphi = J_0 \left[ \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi} \right]^2$ . მაქსიმუმის პირობიდან  $\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi =$

$m\pi$ , სადაც  $m = 1.43, 2.46, 3.47, \dots$  მაშინ

$$J_1 = J_0 \left[ \frac{\sin(1.43\pi)}{1.43\pi} \right]^2 = 0.047J_0; \quad J_2 = J_0 \left[ \frac{\sin(2.46\pi)}{2.46\pi} \right]^2 = 0.017J_0;$$

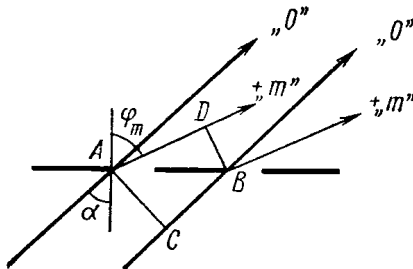
$$J_3 = J_0 \left[ \frac{\sin(3.47\pi)}{3.47\pi} \right]^2 = 0.008J_0.$$

**1.92.** სვლათა სხვაობა სხივებს შორის, რომლებიც მიმართული არიან  $\varphi_m$  კუთხით ნორმალთან (იხ. ნახ.7) არის:

$$\Delta = AD - BC = d \sin \varphi_m - d \sin \alpha.$$

მთავარი მაქსიმუმების პირობა:

$$d(\sin \varphi - \sin \alpha) = m\lambda; \quad m = 0 \pm 1, \pm 2, \dots$$



ნახ. 7

**1.93.**  $\varphi_1 = 47^\circ 44'$ ;  $\varphi_2 = 15^\circ 04'$ .

**1.94.** გარდატეხის კუთხე  $r = 30^\circ 12'$ . გარდატეხის ზღვრული კუთხე  $r_c = 35^\circ 30'$ .

**1.95.** 1)  $\text{tg } i = n$ ;  $i = \text{arctg } n$ ;  $i_{H_2O} = 53^\circ$ ,  $i_g = 58^\circ$ ,  $i_d = 67^\circ 30'$ .

2) ვარდნილი სხივი ბრტყლად პოლარიზებულია.

**1.96.** ფირფიტებს, რომლებიც აკმაყოფილებენ ამოცანის პირობას, აქვთ „მეოთხედი ტალღის სიგრძის“ ფირფიტებზე კენტ რიცხვჯერ

მეტი სისქე, ე.ი.  $l_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{4\Delta n_1}$  და  $l_2 = (2m + 1) \frac{\lambda}{4\Delta n_2}$ ;



$\frac{\Delta n_2}{\Delta n_1} = \frac{2m+1}{2k+1}$ ,  $\frac{\Delta n_2}{\Delta n_1} = \frac{43}{64}$ . შეუძლებელია იმიტომ, რომ შეუძლებელია ისეთი ორი კენტი რიცხვის შერჩევა, რომ მათი ფარდობა ტოლი იყოს  $\frac{\Delta n_2}{\Delta n_1}$ .

**I.97.** ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების ამპლიტუდების ფარდობა ამ შემთხვევაში უნდა იყოს ტოლი  $\sqrt{2}$  ან  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{2}; \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}; \alpha_1 = 54.5^\circ; \alpha_2 = 35^\circ.$$

**I.98.**  $r \frac{\delta}{\delta_0} (n^2 + 2) = n^2 - 1$ ;  $n^2 \left(1 - r \frac{\delta}{\delta_0}\right) = 1 + 2r \frac{\delta}{\delta_0}$ ;  $n = \sqrt{\frac{1 + 2r \frac{\delta}{\delta_0}}{1 - r \frac{\delta}{\delta_0}}}$ .

რადგან აირებისთვის  $n^2 - 1 \ll 1$ , ამიტომ მწკრივად გაშლის შემდეგ  $r \frac{\delta}{\delta_0}$ -ს მიხედვით მივიღებთ  $n = \sqrt{1 + 3r \frac{\delta}{\delta_0}} \approx 1 + \frac{3}{2} r \frac{\delta}{\delta_0}$ . ნორმა-

ლურ პირობებში  $n = n_0$  და  $\delta = \delta_0$ , საიდანაც  $r = \frac{2}{3}(n_0 - 1)$ .

**I.99.**

	$n_0$	$r \cdot 10^4$
აზოტი	1.000297	1.98
წყალბადი	1.000138	0.92
ჟანგბადი	1.000272	1.81
წყლის ორთქლი	1.000257	1.71
ჰაერი	1.000292	1.95

**I.100.**

$\frac{\delta}{\delta_0}$	10	0.5	0.1	0.001
$\delta$	1.00292	1.000146	1.000029	1.00000029

**I.101.** წყლის ორთქლის  $\mu_{H_2O}r_{H_2O}$  მოლეკულური რეფრაქცია ტოლია მოლეკულაში შემავალი ატომების რეფრაქციათა ჯამისა

$$\mu_{H_2O}r_{H_2O} = 1 \cdot r_{H_2} + 1 \cdot r_{H_2} + r_{O_2}; \quad r_{H_2O} = \frac{2r_{H_2} + 16r_{O_2}}{\mu_{H_2O}} = 1.71 \cdot 10^{-4}.$$

$$n_0 = 1 + \frac{3}{2}r = 1.000257. \text{ შედეგი ემთხვევა ცხრილს.}$$

**I.102.**  $i = 89^{\circ}38',8.$

**I.103.**  $n \approx 1.35.$  მიღებული შედეგი მცირედ განსხვავდება ცხრილისაგან.

## თავ II. ატომური ფიზიკა

**II.1.** 1000 K. **II.2.** 10.6 მკმ. **II.3.** 3.8 კკ. **II.4.** 4.98 კკ. **II.5.** გაიზარდა 81-ჯერ და გაიზარდა 243-ჯერ. **II.6.** 95.8 მგტ. **II.7.** 1.45 მკმ. **II.8.** 30 მგეტ/მ<sup>2</sup> მმ; 600 ვტ/მ<sup>2</sup>. **II.9.**  $3.2 \cdot 10^{-36}$  კგ;  $8.8 \cdot 10^{-32}$  კგ;  $1.8 \cdot 10^{-30}$  კგ. **II.10.**  $1.15 \cdot 10^{-13}$  ჯ;  $1.38 \cdot 10^{-30}$  კგ;  $4.1 \cdot 10^{-22}$  კგმ/წმ. **II.11.**  $6.2 \cdot 10^{18}$  კვანტი;  $1.2 \cdot 10^{19}$  კვანტი;  $1.1 \cdot 10^{19}$  კვანტი;  $5.9 \cdot 10^{18}$  კვანტი;  $4.6 \cdot 10^{18}$  კვანტი;  $5.1 \cdot 10^{18}$  კვანტი. **II.12.**  $9.2 \cdot 10^5$  მ/წმ. **II.13.** 1400 მ/წმ. **II.14.** 0.51 მგევ. **II.15.** 150 ჯ/მ<sup>2</sup>-წმ. **II.16.** 9800 °K **II.17.**  $2.1 \cdot 10^{-32}$  კგ. **II.18.**  $5.17 \cdot 10^{-7}$  მ;  $5.4 \cdot 10^{-7}$  მ;  $6.2 \cdot 10^{-7}$  მ;  $6.6 \cdot 10^{-7}$  მ. **II.19.** 4.5 ევ. **II.20.** 4.5 მ;  $9.1 \cdot 10^5$  მ/წმ;  $3.8 \cdot 10^{-19}$  ჯ. **II.21.**  $13.2 \cdot 10^{14}$  ჰც. **II.22.** 1.75 ვ. **II.23.** 2040 Å; 2340 Å. **II.24.**  $3.45 \cdot 10^{-25}$  კგმ/წმ. **II.25.**  $6.6 \cdot 10^{-34}$  ჯწმ. **II.26.** 2.49 ევ. **II.27.** 4.1 ევ; არა. **II.28.** 0.8. **II.29.** 2.3 ევ. **II.30.** 4 ევ. **II.31.** 740 კმ/წმ. **II.32.** 43.6 Å. **II.33.** 249 მგმ/წმ. **II.34.** 291 მგმ/წმ. **II.35.** 1.59 მგევ. **II.36.**  $2.12 \cdot 10^{-10}$  მ,  $0.53 \cdot 10^{-10}$  მ,  $4.77 \cdot 10^{-10}$  მ;  $2.19 \cdot 10^6$  მ/წმ,  $1.1 \cdot 10^6$  მ/წმ,  $7.3 \cdot 10^5$  მ/წმ. **II.37.** 13.6 ევ; -27.2 ევ; -13.6 ევ. **II.38.**  $2.18 \cdot 10^{-18}$  ჯ = 13.6 ევ;  $5.44 \cdot 10^{-19}$  ჯ = 3.40 ევ;  $2.42 \cdot 10^{-19}$  ჯ = 1.51 ევ; 0. **II.39.**  $1.52 \cdot 10^{-16}$  წმ,  $4.13 \cdot 10^{16}$  რად/წმ. **II.40.** 3650 წმ; 6560 წმ. **II.41.**  $1.21 \cdot 10^{-7}$  მ,  $1.90 \cdot 10^6$  მ/წმ. **II.42.** 13.6 ვ. **II.43.** 13.6 ევ;

$2.2 \cdot 10^6$  მ/წმ. **II.44.** 10.2 ევ-დან 12.1 ევ-მდე. **II.45.** 12.1 ევ;  $1.21 \cdot 10^{-7}$  მ;  $1.03 \cdot 10^{-7}$  მ;  $6.56 \cdot 10^{-7}$  მ. **II.46.**  $102.6 \leq \lambda \leq 121.5$  ნმ. **II.47.** 2.56 ევ-ით. **II.48.** 102.6 ნმ-დან 121 ნმ-მდე. **II.49.**  $2.66 \cdot 10^{-11}$  მ;  $4.37 \cdot 10^6$  მ/წმ. **II.50.** 40.8 ვ; 91.8 ვ. **II.51.** 0.529 Å; 2.12 Å; 4.77 Å. **II.52.** -27.2 ევ; 13.6 ევ; -13.6 ევ. **II.53.** 434 ნმ. **II.54.** 1.87 მკმ; 820 ნმ. **II.55.** 12.1 ევ. **II.56.** 10.2 ევ; 13.6 ევ. **II.57.** ლაიმანის სერია 1216 Å; 1026 Å; ბალმერის სერია 6563 Å. **II.58.** 1 მგმ/წმ. **II.59.** 303 Å; 135 Å. **II.60.** ჰელიუმი 54 ევ; 54 ვ; ლითიუმი 122 ევ; 122 ვ. **II.61.** ბრუნვის სიხშირე:  $8.2 \cdot 10^{14}$  და  $2.4 \cdot 10^{14}$  ბრ/წმ; გამოსხივების სიხშირე:  $4.6 \cdot 10^{14}$  ჰც. **II.62.** 2.12 Å. **II.63.** 10.2 ვ. **II.64.** 727 პმ; 0.396 პმ. **II.65.**  $2.7 \cdot 10^{-12}$  მ. **II.66.** 150 ვ. **II.67.** 0.39 Å. **II.68.**  $907 \cdot 10^{14}$  მ,  $28.3 \cdot 10^{14}$  მ. **II.69.** 3.3 Å. **II.70.** 6.7 Å. **II.71.** 212 მგმ/წმ. **II.72.** 0.6 Å. **II.73.** 1 Å. **II.74.** 2.10 მგმ/წმ. **II.75.** 1.1 მმ. **II.76.** 30'; 0.07 Å; 4.1 Å.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. В.С. Волькенштейн. Сборник задач по общему курсу физики, Наука, М. 1969.
2. А.Г. Чертов, А.А. Воробьев, М.Ф. Федоров. Задачник по физике.
3. Н.Н. Взоров, О.И. Замша, И.Е. Иродов, И.В. Савельев. Сборник задач по общей физике, Наука, М. 1969.
4. Л.Г. Гурьев, А.В. Кортнев, А.Н. Куценко, Б.В. Латьев, С.Е. Минкова, Ю.В. Рублев, В.В. Тищенко, М.И. Шепетуха. Сборник задач по общему курсу физики, Высшая Школа, М. 1972.

გამომცემლობის რედაქტორი  
კომპ. უზრუნველყოფა  
გარეკანის დიზაინერი

**მარინე ვარამაშვილი**  
**ლალი კურდღელაშვილი**  
**ნინო ებრალიძე**

0179 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 14  
14, Ilia Tshavtchavadze Ave., Tbilisi 0179  
Tel: 995(32) 225 14 32  
[www.press.tsu.edu.ge](http://www.press.tsu.edu.ge)

