ავთანდილ შუღრაია

გეომეტრიული ოპტიკა

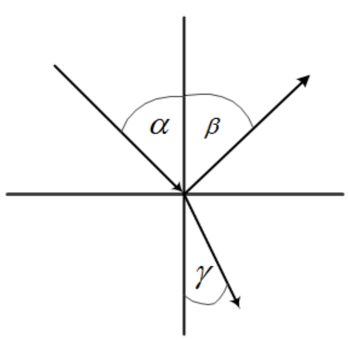
ოპტიკა შეისწავლის სინათლის გავრცელებას, აგრეთვე მის როგორც ელექტრომაგნიტური ტალღის თვისებებს. სინათლის ტალღურ თეორიას, როგორც ცნობილია, საფუძვლად უდევს ჰიუგენსის პრინციპი, რომელიც საშუალებას იძლევა, დროის მოცემულ მომენტში არსებული ტალღური ფრონტის მიხედვით განისაზღვროს ტალღის მდებარეობა დროის მომდევნო მომენტებში. ამ პრინციპის თანახმად, ტალღური ფრონტის წერტილი თვითონვე წარმოადგენს მეორეული სფერული ტალღის წყაროს. ასეთი მეორეული სფერული ტალღების მომვლები ზედაპირი კი განსაზღვრავს ტალღურ ფრონტს დროის მომდევნო მომენტში. ჰიუგენსის პრინციპი იმის საშუალებასაც იძლევა, აღვწეროთ სინათლის ტალღის ქცევა ორი გამჭვირვალე გარემოს გამყოფ ზედაპირზე. გეომეტრული ოპტიკის ფარგლებში განვმარტავთ სინათლის სხივს, რომელიც წარმოადგენს სინათლის ტალღის ფრონტის მართობულ სხივს, გავლებულს სინათლის გავრცელების მიმართულებით.

გეომეტრიული ოპტიკის ძირითადი დებულებებია:

I. სინათლე ერთგვაროვან გარემოში ვრცელდება წრფივად;

II. ორი გამჭვირვალე გარემოს გამყოფ ზედაპირზე დაცემისას სინათლე იცვლის გავრცელების მიმართულებას - იგი აირეკლება ზედაპირიდან, ბრუნდება იმავე გარემოში და/ან გარდატყდება და ვრცელდება მეორე გარემოში.

არეკვლა და გარდატეხა ემორჩილება შემდეგ კანონებს (იხ ნახ. 1):



ნახ. 1

1. არეკვლის კანონები

● დაცემული სინათლის სხივი, არეკლილი სხივი და დაცემის წერტილში აღმართული პერპენდიკულარი ერთსა და იმავე სიბრტყეში მდებარეობს;

● დაცემის α კუთხე უდრის არეკვლის β კუთხეს: $\alpha = \beta$.

2. გარდატეხის კანონები

● დაცემული სინათლის სხივი, გარდატეხილი სხივი და დაცემის წერტილში აღმართული პერპენდიკულარი ერთსა და იმავე სიბრტყეში მდებარეობს;

● დაცემის კუთხის სინუსი და გარდატეხის კუთხის სინუსი ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც სინათლის გავრცელების სიჩქარე v_1 პირველ გარემოში სინათლის გავრცელების სიჩქარეს v_2 მეორე გარემოში (სნელის კანონი):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{v_1}{v_2};$$

აქვე აღვნიშნავთ, რომ სინათლის სიჩქარე (ისევე როგორც, საზოგადოდ, ტალღის სიჩქარე) დამოკიდებული გავრცელების გარემოზე და მას აქვს მაქსიმალურად დასაშვები ზღვარი - სიჩქარე ვაკუუმში. მნიშვნელოვანია, რომ გარდატეხის დროს იცვლება სინათლის ტალღის სიგრძე, მაგრამ არა მისი სიხშირე. სინათლის ტალღის სიჩქარის ცვლილებას გარემოს მიხედვით აღწერს ფიზიკური სიდიდე - სინათლის გარდატეხის მაჩვენებელი, რომელიც განიმარტება როგორც ვაკუუმში სინათლის სიჩქარის c შეფარდება მოცემულ გარემოში სინათლის v სიჩქარესთან:

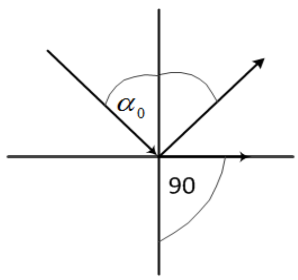
$$n = \frac{c}{v}.$$

სნელის კანონი შეიძლება ჩაიწეროს გარდატეხის მაჩვენებლის მეშვეობით:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1};$$

გარდატეხის მაჩვენებელთან არის დაკავშირებული გარემოს ოპტიკური სიმკვრივის ცნება: რაც უფრო მაღალია გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი, ოპტიკურად მით უფრო მკვრივია იგი. როცა სინათლე გადადის ოპტიკურად ნაკლებად მკვრივი გარემოდან ოპტიკურად მეტად მკვრივში, გარდატეხილი სხივი იხრება ორი გარემოს გამყოფი ზედაპირის ნორმალისკენ, ხოლო როცა სინათლე გადადის მეტად მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივში, სხივი ამ ნორმალს შორდება. უკანასკნელ შემთხვევაში შესაძლებელია სინათლის სრული არეკვლა და მაშინ გარდატეხა არ მოხდება.

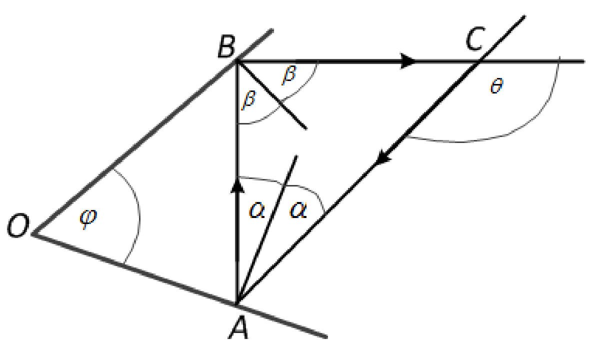
დაცემის იმ უმცირეს α_0 კუთხეს, როდესაც გარდატეხილი სინათლე ვრცელდება ორი გარემოს გამყოფი ზედაპირის გასწვრივ, ეწოდება სრული არეკვლის ზღვრული კუთხე (იხ. ნახ. 2).



ნახ. 2

გეომეტრიული ოპტიკის ძირითადი კანონების მიღება შესაძლებელია აგრეთვე ფერმას პრინციპზე დაყრდნობით, რომლის თანახმად, სინათლის სხივი ორ წერტილს შორის არსებულ მანძილს გაივლის მინიმალურ დროში ყველა სხვა შესაძლო დროსთან შედარებით. ვინაიდან სინათლის სიჩქარე დამოკიდებულია გარემოზე, განიმარტება სინათლის სხივის ოპტიკური მანძილის ცნება, რომელიც წარმოადგენს სხივის მიერ გავლილი გეომეტრიული მანძილის ნამრავლს გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელზე. ეს ცნება განსაზღვრავს სინათლის ტალღის ფაზას და მნიშვნელოვანია სინათლის ინტერფერენციისა და დიფრაქციის განხილვის დროს.

წინამდებარე წერილში ჩვენ განვიხილავთ ამოცანებს გეომეტრიული ოპტიკის ფარგლებში.



ნახ. 3

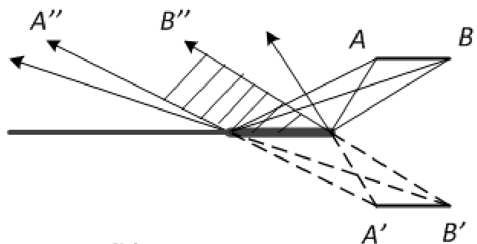
სინათლის სხივის გადახრის კუთხე: ორი სარკე ერთმანეთის მიმართ ქმნის α კუთხეს, რომელიც გაშლილ კუთხეზე ნაკლებია. ერთ-ერთ სარკეს სინათლის სხივი ეცემა სარკის მართობულ სიბრტყეში. აჩვენეთ, რომ კუთხე ორივე სარკიდან არეკვლილ სხივსა და დაცემულ სხივს შორის არ არის დამოკიდებული პირველადი სხივის დაცემის კუთხეზე (ნახ. 3).

ნახაზიდან ჩანს, რომ საძიებელი კუთხე θ არის სამკუთხედ ABC–ს გარე კუთხე და ის ტოლია სამკუთხედში მისი არამოსაზღვრე კუთხეების ჯამისა: $\theta = 2\alpha + 2\beta.$ მეორე მხრივ, სამკუთხედ AOB-ში

$$\varphi + (\pi/2 - \beta) + (\pi/2 - \alpha) = \pi \implies \varphi = (\alpha + \beta) \implies \theta$$

ეს ნიშნავს, რომ კუთხე θ არ არის დამოკიდებული პირველადი სხივის დაცემის კუთხეზე, იგი მხოლოდ სარკეებს შორის არსებულ კუთხეზეა დამოკიდებული.

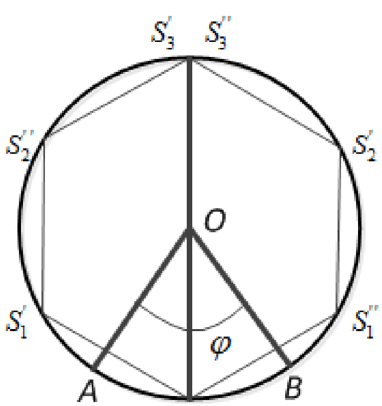
გამოსახულება სარკეში: ნახ. 4-ზე მოცემულია მონაკვეთი, რომლის გამოსახულება აირეკლება სარკეში. გრაფიკულად აჩვენეთ, რა კუთხით შეიძლება დაინახოს დამკვირვებელმა მონაკვეთის მთლიანი გამოსახულება (ნახ. 4).



ნახ. 4

უპირველეს ყოვლისა, ავაგოთ AB საგნის $A'B'$ გამოსახულება. დამკვირვებლისთვის საგნის წყაროა გამოსახულება $A'B'$. ამიტომ დამკვირვებლისთვის საგანი მოთავსებულია $A'A''$–სა და $B'B''$–ს შორის.

გამოსახულებათა რაოდენობა ორ სარკეში: ორი ბრტყელი სარკე AO და OB ქმნის $\alpha = 60°$ წახნაგოვან კუთხეს. მათ შორის სარკეებიდან თანაბარ მანძილზე მოთავსებულია სინათლის წერტილოვანი წყარო. იპოვეთ გამოსახულებათა რაოდენობა სარკეებში.

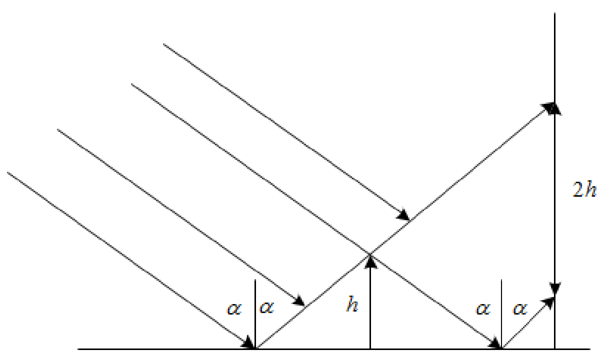


ნახ. 5

S წყაროს გამოსახულება AO სარკეში იქნება S_1', ხოლო BO სარკეში – S_1''. ორივე გამოსახულება ძევს წრეწირზე, რომლის ცენტრია O წერტილი, ხოლო რადიუსი - $AO = BO$ S წყაროდან $60°$ –იანი კუთხის შესაბამის წერტილებში. გამოსახულებები თვითონვე წარმოადგენს წარმოსახვით წყაროს, შესაბამისად, BO და AO სარკეებში. ამ უკანასკნელთა გამოსახულებები კი იქნება S_2' და S_2''. ისინი მდებრეობს იმავე წრეწირზე S წყაროდან $2 \times 60°$ კუთხის შესაბამის წერტილებში. შემდეგი გამოსახულებები ერთმანეთს დაემთხვევა S წყაროზე გამავალ

დიამეტრზე მის საპირისპიროდ. ამრიგად, მოცემულ ამოცანაში S წყაროს გამოსახულებათა რაოდენობა ტოლია 5, ანუ $2\pi/6 = 360/60 - 1 = 5$. დავსვათ კითხვა: რას უდრის გამოსახულებათა რაოდენობა, თუ სარკეები ქმნიან $2\pi/n$-თან კუთხეს? განვიხილოთ ლუწი n-ის შემთხვევა. თუ დავაკვირდებით, ადვილი მისახვედრია, რომ $n/2$-ის შესაბამისი შტრიხიანი და ორშტრიხიანი გამოსახულებები S წყაროზე გამავალ დიამეტრზე მის საპირისპიროდ ერთმანეთს დაემთხვევა, ამიტომ გამოსახულებათა რაოდენობა ტოლი იქნება $n - 1$. კენტი n-ის შემთხვევაში აღმოჩნდება, რომ $(n-1)/2$ შესაბამისი გამოსახულებები დაემთხვევა სარკის გაგრძელებებს და გამოსახულებათა რაოდენობა იქნება $2 \times (n-1)/2 = n - 1$. ამრიგად, ორივე შემთხვევაში გამოსახულებათა რაოდენობა სარკეებში ტოლია $n - 1$.

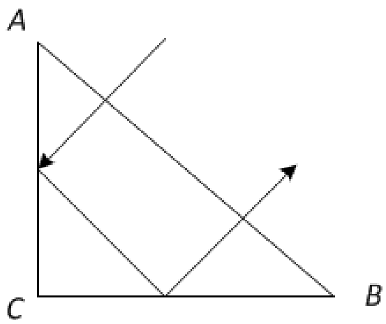
საგნის ჩრდილი კედელზე: ჰორიზონტალურ სარკეზე ვერტიკალურად მოთავსებულია საგანი, რომელსაც კუთხით ეცემა მზის სხივები. როგორი იქნება ჩრდილი ვერტიკალურ კედელზე?



ნახ. 6

ვთქვათ, კედელი საგნიდან L მანძილზეა ისე, რომ $L \geq h \tan\alpha$. მაშინ კედელზე გამოჩნდება საგნის ორი ურთიერთშებრუნებული ჩრდილი, რომლებიც ერთმანეთზეა გადაბმული საგნის ფუძის ჩრდილებით. ჩრდილის ზომა იქნება $2h$. ჩრდილი გამოჩნდება მზის პირდაპირი და არეკლილი სხივებით განათებული კედლის ფონზე. საგნიდან კედლამდე მანძილი $h\tan\alpha$–ზე ნაკლები რომ ყოფილიყო, ჩრდილი მაინც გაჩნდებოდა, მაგრამ მისი ზომა იქნებოდა $2h$-ზე ნაკლები და კედელზე დარჩებოდა ადგილები, რომლებიც არ იქნებოდა განათებული არც პირდაპირი და არც არეკლილი სხივებით.

სინათლის სხივი პრიზმაში: მოცემულია მართკუთხა პრიზმა, რომლის კვეთა წარმოადგენს ტოლფერდა სამკუთხედს (ნახ. 7). სინათლე მართობულად ეცემა AB წახნაგს. გარდატეხის მაჩვენებლის რა მნიშვნელობისთვის იქნება შესაძლებელი სხივების სვლა, რომელიც მოცემულია ნახაზზე?



ნახ. 7

ვინაიდან სინათლის სხივი AB წახნაგს ეცემა მართობულად, დაცემის კუთხე AC წახნაგზე შეადგენს $45°$–ს და სხივი, შესაბამისად, აირეკლება იმავე კუთხით. ამავე დროს, ნახაზის მიხედვით ადგილი აქვს სრულ შინაგან არეკვლას AC და CB წახნაგებზე, რომლებიც წარმოადგენს ჰაერისა და პრიზმის გამყოფ ზედაპირებს. იმისთვის, რომ მოხდეს სრული შინაგანი არეკვლა, სნელის კანონის თანახმად, უნდა შესრულდეს პირობა:

$$\sin\alpha > \frac{1}{n},$$

სადაც $\alpha = 45°$ არის AC წახნაგზე დაცემის კუთხე. ვინაიდან $\sin\alpha = 1/\sqrt{2}$, პრიზმის გარდატეხის მაჩვენებელი n უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$n > \sqrt{2} \approx 1.4.$$