

ფიზიკურ მოვლენებზე დაკვირვება ვირტუალური და რეალური ექსპერიმენტებით

მოზარდისთვის ფიზიკის შესწავლა მხოლოდ თეორიულ განხილვაზე დაყრდნობით ვერ იქნება სრულყოფილი. მისი არსი ემპირიულ გამოცდილებაშია. რეალური ცოდნა ყალიბდება მაშინ, როცა მოსწავლე თავად აკვირდება ექსპერიმენტს და აფასებს, როგორ მუშაობს თეორია პრაქტიკაში. სწავლა-სწავლების პროცესში ექსპერიმენტი ფიზიკის სიღრმისეული გააზრების დასაყრდენ კომპონენტს წარმოადგენს. ამყარებს თეორიულ ცოდნას, აღვივებს კოგნიტიურ ინტერესს და მოსწავლეს სამეცნიერო პროცესთან აკავშირებს.

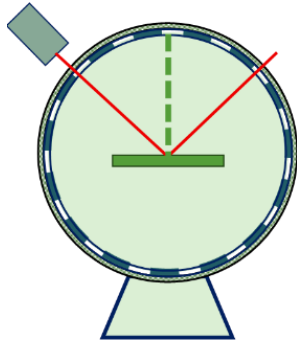
თანამედროვე საგანმანათლებლო გარემო მოითხოვს ისეთი სასწავლო რესურსების გამოყენებას, რომლებიც პედაგოგს პრაქტიკულ საქმიანობაში ეფექტურ მხარდაჭერას სთავაზობს. ექსპერიმენტების დაგეგმვისა და განხორციელების სასწავლო-მეთოდური პუბლიკაციები, ამარტივებს როგორც ტრადიციული ლაბორატორიული, ისე ციფრული სიმულაციური ექსპერიმენტების ზედმეტი ძალისხმევის გარეშე ჩატარებას. ხელს უწყობს მასწავლებლის პროფესიულ განვითარებას და არსებითად ამდიდრებს სასწავლო პროცესს.

ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების სწრაფად განვითარებად ეპოქაში, განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს რეალურ-ვირტუალური ექსპერიმენტების პარალელურად გამოყენება და მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი. ვირტუალური სიმულაცია გვაძლევს საშუალებას, ვიზუალური გავხადოთ ისეთი პროცესი, რომლის ჩვენება ჩვეულებრივ ლაბორატორიაში რთულია ან შეუძლებელი, ხოლო რეალური ექსპერიმენტი მოზარდს ხელშესახებ განცდასა და სიღრმისეულ ცოდნას სძენს. შესაძლებლობის შემთხვევაში, ორივე რესურსის ერთდროულად გამოყენება ქმნის ეფექტურ სასწავლო გარემოს, სადაც მოსწავლეები დასაკვირვებელ ფიზიკურ პროცესს მრავალმხრივ და შესაბამისად, სიღრმისეულად აღიქვამენ. რეალურ-ვირტუალური ექსპერიმენტების კომბინაცია ფიზიკის სწავლებას ცოცხალსა და დასამახსოვრებელს ხდის, სწავლა-სწავლების პროცესს ნამდვილ ეფექტურობას ანიჭებს.

წინამდებარე სტატიაში განვიხილავთ რამდენიმე ვირტუალურ და რეალურ ექსპერიმენტს გეომეტრიული ოპტიკის ძირითადი კანონების შესასწავლად. ამ ექსპერიმენტების ჩასატარებლად დაგვჭირდება მარტივი მოწყობილობა - ოპტიკური დისკო. პარალელურად, ამავე პროცესებს დავაკვირდებით ვირტუალური ლაბორატორიის საშუალებით.

გეომეტრიულ ოპტიკაში სინათლის გავრცელებას აკვირდებიან ხელსაწყოთი, რომელსაც **ოპტიკური დისკო** ჰქვია. ოპტიკური დისკო დაგრადუირებული თეთრი ფერის დისკოა, რომლის კიდეზე დამაგრებულია მოძრავი სინათლის წყარო. წყაროდან სინათლის ვიწრო კონა დისკოს ცენტრში დამაგრებულ სარკეს, მინის ფირფიტას, ან ლინზას ეცემა. ოპტიკური დისკოს დამზადება მარტივადაა

შესაძლებელი. ამისთვის საჭიროა ტრანსპორტირი, სინათლის წყარო (ლაზერის მაჩვენებელი), გაპრიალებული ლითონის ფირფიტა, ბრტყელი, ჩაზნექილი და ამოზნექილი სარკეები, მინის ფირფიტა და ლინზები.



უპირველესად, მოკლედ გავიხსენოთ სინათლის გავრცელების, არეკვლის და გარდატეხის კანონები.



- ერთგვაროვან გარემოში სინათლის სხივი **სწორხაზოვნად** ვრცელდება;
- ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე სხივი **იცვლის მიმართულებას**. სინათლის ნაწილი (ან მთლიანად) ბრუნდება ისევ პირველ გარემოში. ამ მოვლენას ეწოდება სინათლის **არეკვლა**;
- გარემოს შეცვლისას სინათლის ნაწილი იცვლის მიმართულებას და გავრცელებას შეცვლილი კუთხით აგრძელებს მეორე გარემოში. ამ მოვლენას სინათლის **გარდატეხა** ეწოდება;
- გამჭვირვალე გარემოში სინათლის გავრცელებას ახასიათებენ სიდიდით, რომელსაც უწოდებენ გარემოს **გარდატეხის აბსოლუტურ მაჩვენებელს**:

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

- გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი მოცემული გარემოსთვის მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებულია გარემოს ფიზიკურ მახასიათებლებზე - **ტემპერატურაზე, სიმკვრივესა და დრეკადობაზე**.
- გარემოს, რომლის გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი უფრო მეტია, **ოპტიკურად მეტად მკვრივს** უწოდებენ. ოპტიკური სიმკვრივის მატებასთან ერთად მცირდება სინათლის გავრცელების სიჩქარე.

გეომეტრიულ ოპტიკაში საჭირო ხდება სინათლის სამი სხივის განმარტების შემოტანა: **დაცემული სხივი, არეკლილი სხივი და გარდატეხილი სხივი**.

- დაცემულ სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის კუთხეს, **დაცემის კუთხე** ეწოდება;
- არეკლილ სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის კუთხეს, **არეკვლის კუთხე** ეწოდება;

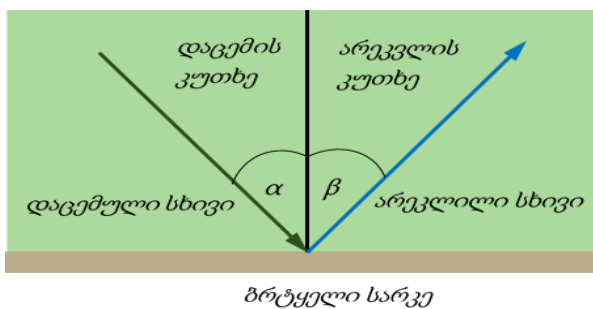
- გარდატეხილ სხივსა და ორი გარემოს გამყოფი საზღვრისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ მართობს შორის კუთხეს, გარდატეხის კუთხე ეწოდება.

არეკვლის კანონს არა მარტო სინათლე ემორჩილება, არამედ ნებისმიერი ელექტრომაგნიტური ტალღა – რადიო, ზემაღალი, რენტგენისა და სხვა სხივები, ზუსტად იმავენაირად იქცევიან. ამიტომ არის რადიოტელესკოპების უზარმაზარი ამრეკლი ლითონის სარკეები და თანამგზავრული ტელევიზიის „თეფშები“ ჩაზნექილი.

✚ სინათლის არეკვლის კანონი:

1. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე დაცემული სხივი, არეკლილი სხივი და დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს;
2. არეკვლის კუთხე დაცემის კუთხის ტოლია:

$$\alpha = \beta$$



განვიხილოთ, როგორ მიიღება **გამოსახულება ბრტყელ სარკეში**. სიმარტივისთვის ვისაუბროთ, როგორ მივიღოთ წერტილოვანი S წყაროს გამოსახულება. წერტილოვანი წყაროდან წამოსული სხივები ყველა მიმართულებით ერთნაირად ვრცელდება. მათი ნაწილი ეცემა სარკის ამრეკლ ზედაპირს. არეკვლის შემდეგ სხივები განშლადი კონის სახით ვრცელდება და ხვდება დამკვირვებლის თვალში. არეკლილი სხივების გაგრძელებები კი სარკის მეორე მხარეს ერთ წერტილში გადაიკვეთება (S').



დამკვირვებელი აღიქვამს, რომ განშლადი სხივები, რომლებიც მის თვალში ხვდება, S' წერტილიდან გამოდის და შედეგად, სინათლის წყაროს (S წერტილს) იმ ადგილას ხედავს, სადაც ის სინამდვილეში არ არის. ეს არის მხედველობის შეცდომა, მხედველობითი, ანუ **ოპტიკური ილუზია**.

S' წერტილი S წერტილის წარმოსახვითი გამოსახულებაა. S' წერტილში იკვეთება არა რეალური სხივები, არამედ მათი გაგრძელებები. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ **წარმოსახვით წერტილში სინათლის ენერგია არ მიდის**.

სარკეში მიღებული წარმოსახვითი წერტილების ერთობლიობა მთლიანობაში სხეულის წარმოსახვით გამოსახულებას ქმნის. ბრტყელ სარკეში გამოსახულების მისაღებად საკმარისია, რომ სხეულის ზოგიერთი წერტილი სარკის მიმართ სიმეტრიულად გადაიტანო.

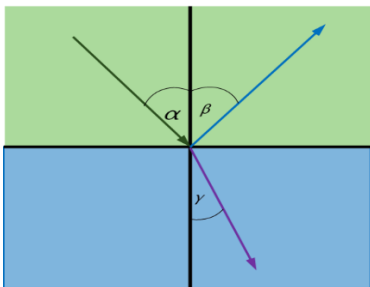
გეომეტრიული ოპტიკიდან ცნობილია, რომ ფორმულა $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$

სამართლიანია სფერული სარკის შემთხვევაშიც. სარკის ზედაპირის სიმრუდის

რადიუსი $R=2F$; აქედან $F = \frac{R}{2}$; $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$; $R = \frac{2df}{d+f}$



ერთი გამჭვირვალე გარემოდან მეორეში გადასვლისას სინათლის გავრცელების მიმართულების შეცვლას **სინათლის გარდატეხა ეწოდება**.



სინათლის გარდატეხის კანონი:

1. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე, დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და დაცემის წერტილში საზღვრისადმი აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობს;
2. დაცემის კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხის კუთხის სინუსთან მოცემული ორი გარემოსთვის მუდმივი სიდიდეა.

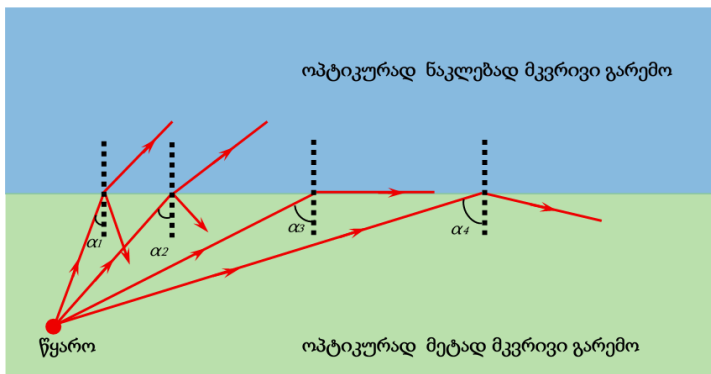
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$



სრული შინაგანი არეკვლა ეწოდება ორი გარემოს გამყოფი საზღვრიდან სინათლის სხივის პირველ გარემოში დაბრუნებას. დაცემის ზღვრულ კუთხეს, რომელსაც

90°-ის ტოლი გარდატეხის კუთხე შეესაბამება, სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე ეწოდება.

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90} = \frac{n_2}{n_1}; \quad \text{ე.ი.} \quad \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}; \quad \text{გამოდის, რომ} \quad \alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

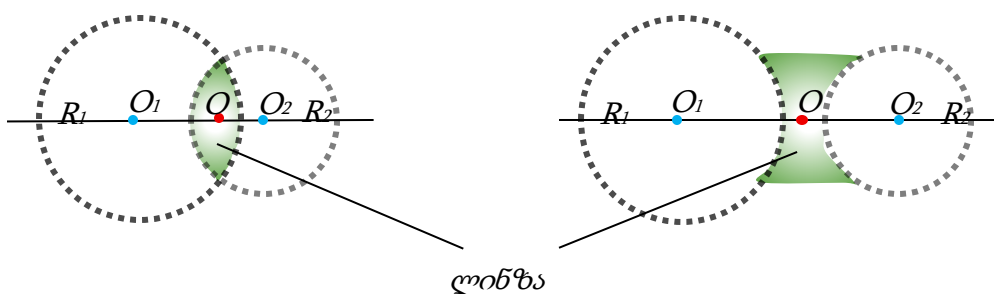


სრული შინაგანი არეკვლისთვის უნდა სრულდებოდეს შემდეგი პირობები:

1. სინათლე უნდა გადადიოდეს ოპტიკურად მეტად მკვრივი გარემოდან - ნაკლებად მკვრივ გარემოში;
2. ორი გარემოს გამყოფ საზღვარზე სხივის დაცემის კუთხე მეტი უნდა იყოს სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრულ კუთხეზე.



ლინზა გამჭვირვალე ერთგვაროვანი სხეულია, რომელიც ორივე მხრიდან სფერული ზედაპირებითაა შემოსაზღვრული. შესაძლებელია, ლინზა მხოლოდ ერთი მხრიდან იყოს შემოსაზღვრული სფერული ზედაპირით, ხოლო მეორე მხრიდან კი სიბრტყით. ლინზა შეიძლება იყოს ორმხრივ ამოზნექილი, ორმხრივ ჩაზნექილი, ბრტყელამოზნექილი, ბრტყელჩაზნექილი, ჩაზნექილ-ამოზნექილი.



თუ გამოვიყენებთ ფოკუსური მანძილის ცნებას (მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელური სხივები ლინზაში გავლის შემდეგ იკრიბება ფოკუსში), მაშინ F ფოკუსური მანძილის გამოყენებით თხელი ლინზის ფორმულა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (3)$$

ლინზის ოპტიკური ძალა ეწოდება ფოკუსური მანძილის შებრუნებულ სიდიდეს.

$$D = \frac{1}{F}; \text{ SI-ში მისი ერთეულია დიოპტრი.}$$

თუ მასალის, რომლისგანაც არის დამზადებული ლინზა, ფარდობითი მაჩვენებელი გარემოს მიმართ არის n , ხოლო ზედაპირის სიმრუდის რადიუსებია R_1 და R_2 , მაშინ თხელი ლინზისთვის სამართლიანია ფორმულა:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

ამ ფორმულის გამოყენებით შესაძლებელია ლინზის სიმრუდის რადიუსის გამოთვლა. ექსპერიმენტის გასამარტივებლად, გამოვიყენოთ ისეთი ლინზა, სადაც სიმრუდის რადიუსები ერთმანეთის ტოლი იქნება: $R = R_1 + R_2$, მაშინ მივიღებთ:

$$R = \frac{2(n-1)df}{d+f} \quad (4)$$

ბრტყელ-ამოზნექილი ლინზის შემთხვევაში: $R = R_1, \quad R_2 = \infty$

$$R = \frac{(n-1)df}{d+f} \quad (5)$$

ექსპერიმენტი N1.

სინათლის არეკვლის კანონების შესწავლა

სინათლის არეკვლის ექსპერიმენტული კანონების შემოწმებისთვის გამოვიყენოთ ოპტიკური დისკო.

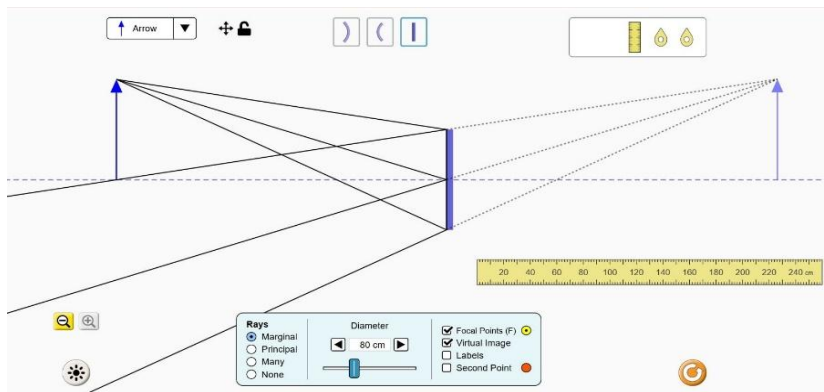
1. ოპტიკური დისკოს ცენტრში დაამაგრეთ ბრტყელი სარკე ან გაპრიალებული ლითონის ფირფიტა და ტრანსპორტირი;
2. ოპტიკურ დისკოზე მიმაგრებული ლაზერის გამანათებელი ამოდრავთ და სხვადასხვა დაცემის კუთხისთვის გაზომეთ არეკვლის კუთხე;
3. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში:

N	α	α'

მსგავსი ექსპერიმენტის ჩატარება შესაძლებელია შემდეგ ბმულებზე:

https://javalab.org/en/law_of_reflection_en/

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html



ექსპერიმენტი N2.

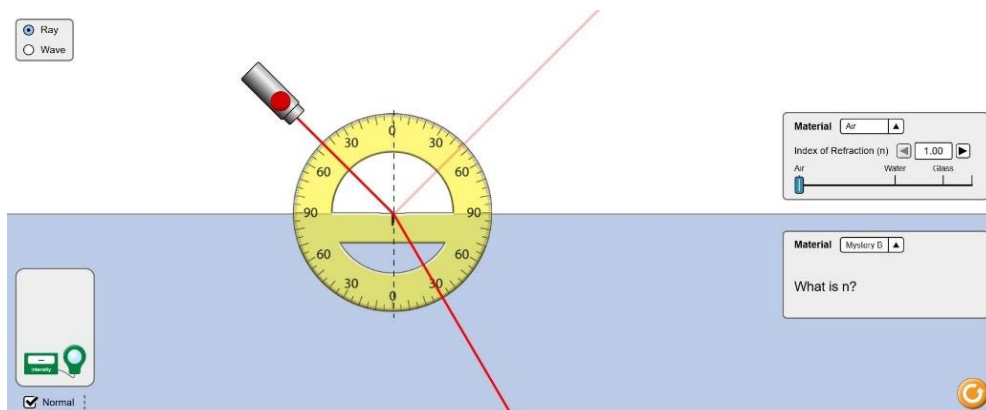
მინის გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრა

1. ოპტიკური დისკოს ცენტრში დაამაგრეთ მინის ნახევარცილინდრი ან ფირფიტა ისე, რომ სხივები ეცემოდეს მისი სწორი ზედაპირის ცენტრს;
2. ჩართეთ ლაზერის გამანათებელი და გაზომეთ შესაბამისი დაცემის და გარდატეხის კუთხეები;
3. ტრიგონომეტრიული ცხრილების გამოყენებით იპოვეთ შესაბამისი კუთხეების სინუსების მნიშვნელობები;
4. ფორმულით $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ გამოთვალეთ მინის გარდატეხის მაჩვენებელი;
5. ცდა გაიმეორეთ რამდენიმე დაცემის კუთხისთვის.

N	n_1	α	β	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	n_2

მსგავსი ექსპერიმენტის ჩატარება შესაძლებელია ვირტუალურ ლაბორატორიაში შემდეგ ბმულზე:

https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_all.html



ექსპერიმენტი N3

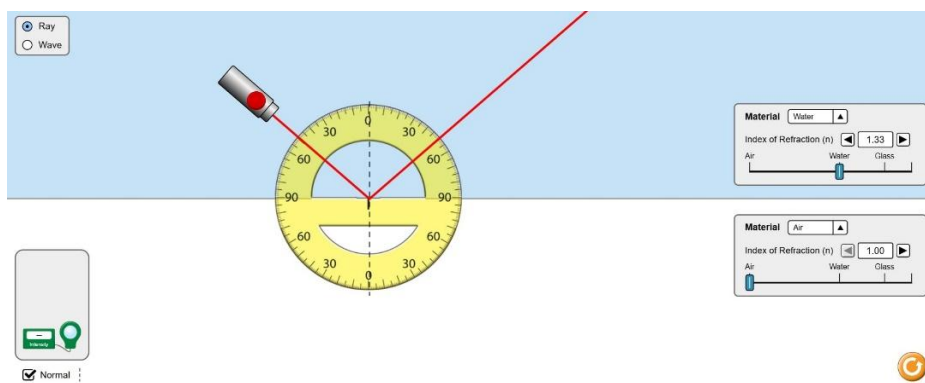
სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხის განსაზღვრა

- ოპტიკური დისკოს ცენტრში დაამაგრეთ მინის ფირფიტა ისე, რომ ლაზერის გამანათებელი მიაყრდენიოთ მას;
- ჩართეთ ლაზერის გამანათებელი და სინათლის სხივი მიმართეთ ისე, რომ დაეცეს ოპტიკური დისკოს ცენტრს;
- დაცემის კუთხე ზარდეთ თანდათანობით, ვიდრე სინათლის სხივი იგივე გარემოში არ დაბრუნდება;
- გაზომეთ დაცემის კუთხე;
- ტრიგონომეტრიული ცხრილების გამოყენებით იპოვეთ შესაბამისი კუთხის სინუსების მნიშვნელობა;
- ფორმულით $\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$ გამოთვალეთ მინის გარდატეხის მაჩვენებელი;
- ცდა გაიმეორეთ რამდენიმე დაცემის კუთხისთვის.

N	n_1	n_2	β	$\sin \beta$	α_0
			90°	1	

მსგავსი ექსპერიმენტის ჩატარება შესაძლებელია ვირტუალურ ლაბორატორიაში შემდეგ ბმულზე:

https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_all.html



ექსპერიმენტი N4

ლინზის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსის განსაზღვრა

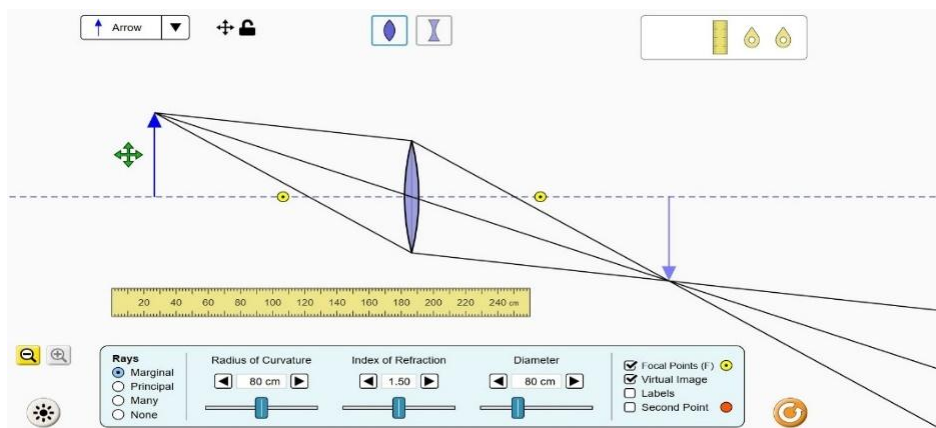
- მაგიდაზე მნათ საგანსა და ეკრანს შორის მოათავსეთ შემკრები ლინზა.
- ლინზის მოძრაობით ეკრანზე მიიღეთ საგნის მკაფიო გამოსახულება;

- სახაზავის საშუალებით გაზომეთ მანძილი საგნიდან ლინზამდე (d) და მანძილი ლინზიდან გამოსახულებამდე (f);
- მუდმივების ცხრილში მოიძიეთ მინის გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობა;
- ფორმულით $R = \frac{2(n-1)df}{d+f}$ გამოთვალეთ ლინზის სიმრუდის რადიუსი;
- ცვალეთ მანძილი მნათ საგანსა და ეკრანს შორის და ცდა გაიმეორეთ რამდენჯერმე;
- ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

N	N	d	f	R	$R_{საშ.}$

მსგავსი ექსპერიმენტის ჩატარება შესაძლებელია ვირტუალურ ლაბორატორიაში შემდეგ ბმულზე:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html



ექსპერიმენტი N5

თხელი ლინზის ფოკუსური მანძილისა და ოპტიკური ძალის განსაზღვრა

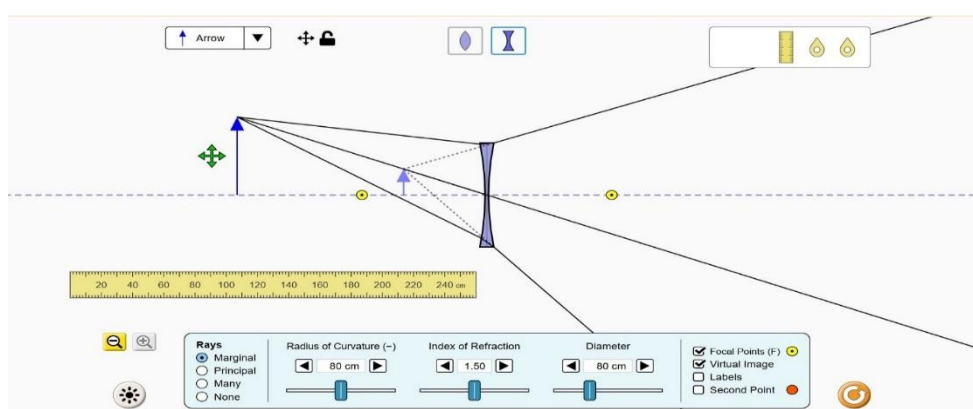
- ოპტიკურ მერხზე მნათ საგანსა და ეკრანს შორის მოათავსეთ შემკრები ლინზა.
- ლინზის მოძრაობით ეკრანზე მიიღეთ საგნის მკაფიო გამოსახულება;
- სახაზავის საშუალებით გაზომეთ მანძილი საგნიდან ლინზამდე (d) და მანძილი ლინზიდან გამოსახულებამდე (f);
- ფორმულით $F = \frac{df}{d+f}$ გამოთვალეთ ლინზის ფოკუსური მანძილი;
- $D = \frac{1}{F}$ ფორმულით გამოთვალეთ ლინზის ოპტიკური ძალა;

6. ცდა გაიმეორეთ რამდენჯერმე და მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

N	d	f	F	D

მსგავსი ექსპერიმენტის ჩატარება შესაძლებელია ვირტუალურ ლაბორატორიაში შემდეგ ბმულზე:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html



ექსპერიმენტი N6

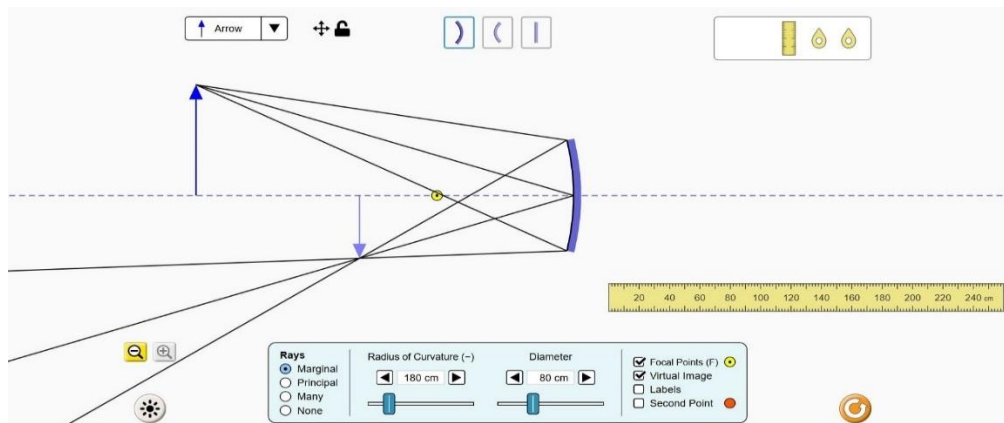
ჩაზნეცილი სფერული სარკის სიმრუდის რადიუსის განსაზღვრა

1. ჩაზნეცილ სფერულ სარკესა და ეკრანს შორის მოათავსეთ მნათი საგანი. მიაღწიეთ ერკანზე საგნის მკაფიო გამოსახულებას;
2. გაზომეთ მანძილი მნათი საგნიდან სარკემდე (d) და სარკიდან ეკრანამდე (f);
1. ფორმულით $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ გამოთვალეთ სარკის ფოკუსური მანძილი F ;
2. ფორმულით $R = \frac{2df}{d+f}$ გამოთვალეთ სარკის სიმრუდის რადიუსი R ;
3. ცდა გაიმეორეთ რამდენჯერმე და მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

N	d	f	F	R	$R_{საშ.}$

მსგავსი ექსპერიმენტის ჩატარება შესაძლებელია ვირტუალურ ლაბორატორიაში შემდეგ ბმულზე:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html



გამოყენებული რესურსები:

rebrand.ly/uariq1m

rebrand.ly/tc4u0o7

rebrand.ly/w1ks2a5

rebrand.ly/1862ae

rebrand.ly/d24212