

გამბნევი ღინზის ფოკუსური მანძილის ექსპერიმენტული განსაზღვრა

ავტორი [ნესტან მიქაძე](#)

ყოფა-ცხოვრებაში ხშირად გამოიყენება ოპტიკური ხელსაწყოები. ამ ხელსაწყოების ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილია ღინზები. საინტერესოა, გავარკვიოთ, რას წარმოადგენს ღინზა და რა ფიზიკური კანონზომიერებების გათვალისწინებით არის შესაძლებელი მისი საჭიროებისამებრ გამოყენება.

ღინზები მზადდება გამჭვირვალე მასალისგან, მინისგან ან პლასტმასისგან, რომელთა გარდატეხის მაჩვენებელი ჰაერის გარდატეხის მაჩვენებელზე მეტია. ღინზის ერთი მხარე მაინც არის სფეროს ნაწილი. ამოზნექილი ღინზა ცენტრში განიერია, კიდეებთან ვიწრო. ჩაზნექილი ღინზა პირიქით – ცენტრშია ვიწრო, კიდეებთან კი განიერი. ამოზნექილს შემკრებ ღინზას უწოდებენ, რადგან მასზე დაცემული სხივები გარდატეხის შემდეგ ღინზის ფოკუსში იკრიბება. შემკრები ღინზა გამადიდებელი ხელსაწყოების ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილია. მაგალითად, ის გვხვდება სათვალეებში, ტელესკოპებში, მიკროსკოპებში, ლუპებში, კამერებსა და სხვა საგნებში. ღინზის ფოკუსური მანძილის გამოთვლა სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია ყველა ოპტიკურ მოწყობილობაში, სათვალეებიდან დიდ ასტრონომიულ ტელესკოპებამდე. მისი შესაძლო ფოკუსური მანძილების დიაპაზონი ძალიან დიდია, რამდენიმე მილიმეტრიდან – 20 მეტრამდე.

ორმხრივ ამოზნექილ ღინზას ორივე მხარეს აქვს ფოკუსები (F). ღინზის მთავარი ფოკუსი ეწოდება წერტილს, სადაც მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელური სხივები იკვეთება. ამავე დროს აუცილებელია, მთავარ ოპტიკურ ღერძზე გამოვსახოთ ორი დამატებითი წერტილი, რომლებიც ორჯერ მეტია ფოკუსურ მანძილზე და ორმაგ ფოკუსს უწოდებენ (2F).

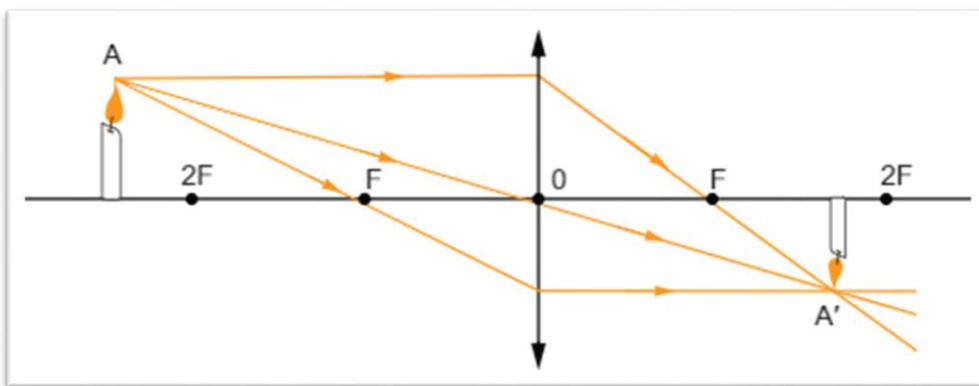
ნებისმიერი სხეული შეიძლება განვიხილოთ, როგორც უამრავი წერტილოვანი წყაროს ერთობლიობა, რომელთაგან თითოეული საკუთარ ან არეკლილ სხივებს ასხივებს. ამ სხივების ნაწილი ეცემა ღინზას. სხივები ღინზაში გარდატეხის შედეგად მიმართულებას იცვლის. გამოსახულების მისაღებად საკმარისია სინათლის ნებისმიერი ორი სხივის გარდატეხის კანონის ცოდნა. გამოსახულების აგება ღინზაში ყველაზე მეტად მოსახერხებელია შემდეგი სამი სხივის საშუალებით:

ღინზაში გავლისას არ გარდატეხდება ღინზის ცენტრში გამავალი სხივი (ოდნავ გადაიხრება თავისი მიმართულებიდან, თუმცა ამ უმნიშველო გადახრას უგულებელვყოფთ);

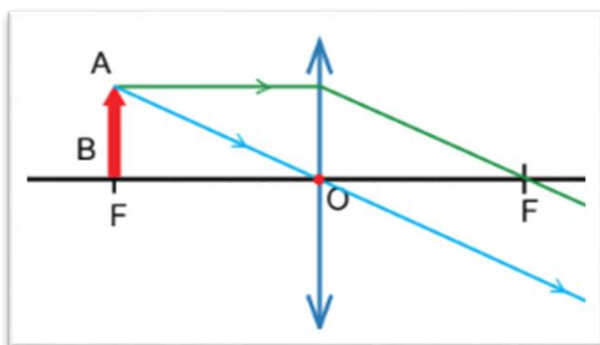
მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელური სხივი შემკრებ ღინზაზე დაცემისას გარდატეხდება და მთავარ ფოკუსში გაივლის;

თუ სხივი შემკრები ლინზის მთავარ ფოკუსში გაივლის, გარდატეხის შემდეგ მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად გავრცელდება.

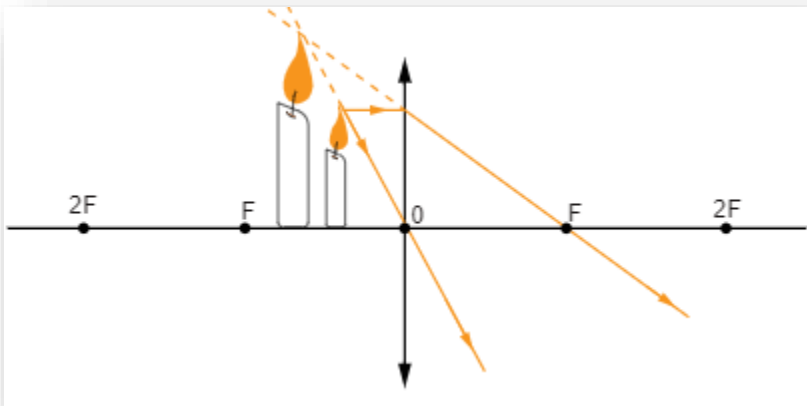
იმის მიხედვით, თუ სად მდებარეობს საგანი, შემკრებ ლინზაში შესაძლებელია მივიღოთ გადიდებული ან შემცირებული, შებრუნებული ან პირდაპირი, ნამდვილი ან წარმოსახვითი გამოსახულება. როდესაც ერთმანეთს კვეთს ლინზიდან გამოსული სხივები, გამოსახულების მიღების ადგილზე კონცენტრირდება სინათლის წყაროდან გამოსხივებული ენერგია. შესაბამისად, ასეთ შემთხვევაში მიღებული გამოსახულება ნამდვილია.



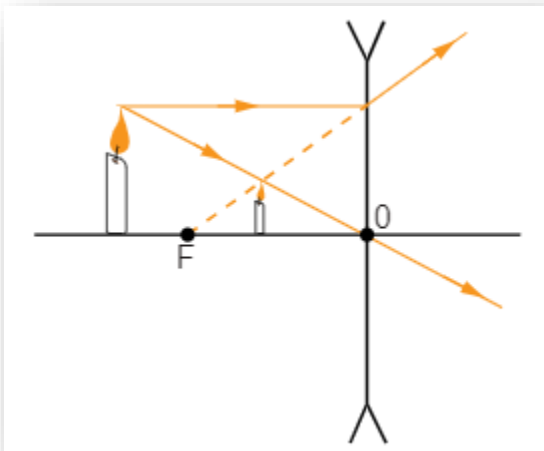
ლინზაში გამოსახულება არ მიიღება იმ შემთხვევაში, თუ საგანი მდებარეობს ფოკუსში. ამ დროს ლინზაში გარდატეხილი სხივები ერთმანეთის პარალელურად ვრცელდება და შესაბამისად, ერთმანეთს არ გადაკვეთენ.



გამოსახულება წარმოსახვითია მაშინ, როდესაც ერთმანეთს კვეთს არა სხივები, არამედ მათი გაგრძელებები. შემკრებ ლინზაში წარმოსახვითი გამოსახულება მიიღება მაშინ, როდესაც საგანი მოთავსებულია ფოკუსის შიგნით (ფოკუსსა და ლინზას შორის). ასეთ დროს გამოსახულება მიიღება იმავე მხარეს. გარდატეხილი სხივები ერთმანეთს შორდება და ისინი ვერ გადაკვეთენ ერთმანეთს. გამოსახულება მიიღება მათი გაგრძელებების გადაკვეთით, ამიტომ ის წარმოსახვითია. გამოსახულება მდებარეობს ფოკუსსა და ორმაგ ფოკუსს შორის, ის პირდაპირია და გადიდებული.



ჩაზნეილი ლინზა კი ყველა შემთხვევაში იწვევს სინათლის გაბნევას. ლინზისკენ მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად დაცემული სხივები ლინზაში გავლის შემდეგ ისე მიემართებიან, თითქოს ფოკუსიდან გამოდიოდნენ. გამბნევ ლინზაში გარდატეხილი სხივები ვერასდროს გადაკვეთს ერთმანეთს, ამიტომ ასეთ ლინზებში ნამდვილი გამოსახულება არ მიიღება. ორმხრივ ჩაზნეილ ლინზაში მიღებული ყველა გამოსახულება წარმოსახვითია. გამოსახულების აგება შესაძლებელია ორი სხივის გამოყენებით.



პირველი სხივი გამოდის ისრის წვერიდან, მიემართება ლინზისკენ მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად. გარდატეხილი სხივის გაგრძელება გაივლის ლინზის მარცხენა ფოკუსში. ის წყვეტილით არის გამოსახული, რადგან სხივი არ არის რეალური. მეორე სხივი გამოდის ისრის წვეროდან და გაივლის ფოკუსში. სურათზე ჩანს ამ სხივების გადაკვეთის წერტილი. გამოსახულება მიიღება ერთი რეალური და ერთი არარეალური სხივის გადაკვეთით. რადგან ერთი სხივი მაინც არის წარმოსახვითი, გამოსახულება ყოველთვის წარმოსახვითი იქნება. გამოსახულება პირდაპირია და შემცირებული.

გამბნევ და შემკრებ ლინზებს ერთი და იგივე ფორმულა და გამადიდებლობის მაჩვენებელი აქვთ.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

F>0, თუ ლინზა შემკრებია	F<0, თუ ლინზა გამბნევი
f>0, თუ გამოსახულება ნამდვილია	f<0, თუ გამოსახულება წარმოსახვითია
d>0, თუ სინათლის წყარო ნამდვილია	d<0, თუ სინათლის წყარო წარმოსახვითია (სინათლის წყარო იმ შემთხვევაშია წარმოსახვითი, როდესაც ლინზას ეცემა განშლად სხივთა კონა, რომელთა წარმოსახვითი გაგრძელებები ერთ წერტილში იკვეთება).

საინტერესოა სიმულაციები შემკრებ და გამბნევ ლინზებზე:

<https://www.geogebra.org/m/abjm5weg>

[https://simtest.ck12.org/simulations/physics/contact-](https://simtest.ck12.org/simulations/physics/contact-lens/app/index.html?lang=ge&referrer=ck12Launcher&backUrl=https://simtest.ck12.org/simulations/physics.html)

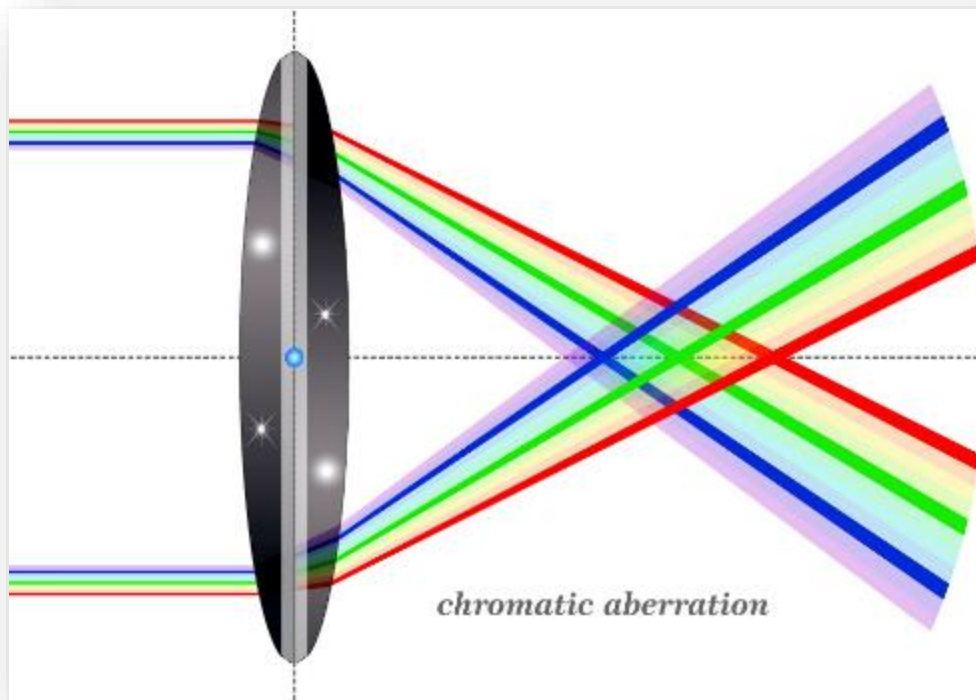
[lens/app/index.html?lang=ge&referrer=ck12Launcher&backUrl=https://simtest.ck12.org/simulations/physics.html](https://simtest.ck12.org/simulations/physics/contact-lens/app/index.html?lang=ge&referrer=ck12Launcher&backUrl=https://simtest.ck12.org/simulations/physics.html)

[https://simtest.ck12.org/simulations/physics/magnifying-](https://simtest.ck12.org/simulations/physics/magnifying-glass/app/index.html?lang=ge&referrer=ck12Launcher&backUrl=https://simtest.ck12.org/simulations/physics.html)

[glass/app/index.html?lang=ge&referrer=ck12Launcher&backUrl=https://simtest.ck12.org/simulations/physics.html](https://simtest.ck12.org/simulations/physics/magnifying-glass/app/index.html?lang=ge&referrer=ck12Launcher&backUrl=https://simtest.ck12.org/simulations/physics.html)

როგორც წესი, ერთი ლინზით შექმნილი გამოსახულება ხშირ შემთხვევაში არ არის საკმარისი. მაგ. ასტრონომიაში, ფოტოგრაფიაში, მიკროსკოპების გამოყენებისას. ტელესკოპებსა და მიკროსკოპებში ლინზათა სხვადასხვა სისტემას იყენებენ. მიკროსკოპში ობიექტივი მოკლეფოკუსიანი ლინზაა, ოკულარი კი გრძელფოკუსიანი. ტელესკოპებში კი პირიქითაა. ლინზათა სისტემების გამოყენებისას ხშირად წარმოიშობა აბერაცია. აბერაციას იწვევს ოპტიკურ სისტემაში სინათლის სხივების ირიბად გავლა. აბერაციები, ასტიგმატიზმი ხდება მაშინ, როდესაც ობიექტივი ვერ ახერხებს ერთსა და იმავე სიბრტყეში სხვადასხვა მიმართულებით მიმავალი გამოსახულების ხაზების ფოკუსირებას. თუ ოპტიკურ სისტემაში გავლისას სფერული ტალღა დეფორმაციას განიცდის და აღარაა სფერული, მაშინ ვიღებთ სინათლის რთულ კონას. ასეთ კონას ეწოდება ასტიგმატური, თვით მოვლენას კი — ასტიგმატიზმი.

აბერაციები იყოფა ორ კლასად: მონოქრომატული და ქრომატული. მონოქრომატული აბერაციები წარმოიქმნება როგორც სინათლის არეკვლისას, ასევე მისი გარდატეხის დროს. ისინი ჩნდებიან მაშინაც, როდესაც მონოქრომატულ შუქს იყენებენ.



ქრომატული აბერაციები გამოწვეულია დისპერსიით, ლინზის რეფრაქციული ინდექსის ტალღის სიგრძესთან ცვალებადობით. დისპერსიის გამო სინათლის სხვადასხვა ტალღის სიგრძე ფოკუსირებულია სხვადასხვა წერტილში. მონოქრომატული სინათლის გამოყენებისას არ ჩნდება ქრომატული აბერაცია. ოპტიკურ სისტემებში არაზუსტი გამოსახულების მიღება დაკავშირებულია აგრეთვე სინათლის ტალღურ ბუნებასთან და სინათლის დიფრაქციის შედეგად წარმოიშობა დიაფრაგმებზე, ლინზათა ბუდეებზე და ა.შ.

დისტორსიად წოდებული აბერაციისათვის დამახასიათებელია გამოსახულების მთელი არის ფარგლებში ხაზოვანი გადიდების არაერთგვაროვნება. ოპტიკურ სისტემას შეიძლება ერთდროულად ჰქონდეს აბერაციის რამდენიმე სახე.

აბერაციის გასწორება ხდება ოპტიკურ სისტემებში ლინზების შერჩევით და საკმაოდ რთულ ამოცანად მიიჩნევა.

მძლავრ ლინზებში მიღებული აბერაციების გამოსასწორებლად, ხშირად საჭიროა ლინზათა სისტემების გამოყენება, რომელთაგან ზოგი შეიძლება იყოს ამოზნექილი და ზოგი ჩაზნექილი. გამოყენებული ლინზები მზადდება მკვრივი, მაღალი ან დაბალი რეფრაქციული ან მაღალი დისპერსიული მინისგან. ტელესკოპებს, ბინოკლებს, მიკროსკოპებს, კამერებსა და სათვალეებს აქვთ ერთი ან მეტი ლინზა.

ლინზათა სისტემების გამოყენების შესასწავლად მნიშვნელოვანია, განვიხილოთ ექსპერიმენტი შემკრები და გამბნევი ლინზების გამოყენებით. უმარტივესია, განვიხილოთ ორი ლინზის კომბინაცია.

ჩაზნექილი ლინზა ყოველთვის გვაძლევს წარმოსახვით გამოსახულებას. ამიტომ, მისი ფოკუსური მანძილის გაზომვა ამოზნექილი ლინზის მსგავსად შეუძლებელია.

ჩაზნეილი ლინზის ფოკუსური მანძილის დასადგენად გამოიყენება არაპირდაპირი მეთოდი.

განვიხილოთ გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილის განსაზღვრის საინტერესო ექსპერიმენტი. ამ ექსპერიმენტში ვიყენებთ შემკრები (ამოზნეილი) და გამბნევი (ჩაზნეილი) ლინზების სისტემას. გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილის გასაზომად ჯერ გამოსახულება უნდა მივიღოთ მხოლოდ შემკრები ლინზის საშუალებით. ლინზების შერჩევისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ შემკრები ლინზის ფოკუსური მანძილი ნაკლები უნდა იყოს გამბნევი ლინზის ფოკუსურ მანძილზე.

ექსპერიმენტისთვის საჭირო რესურსები:

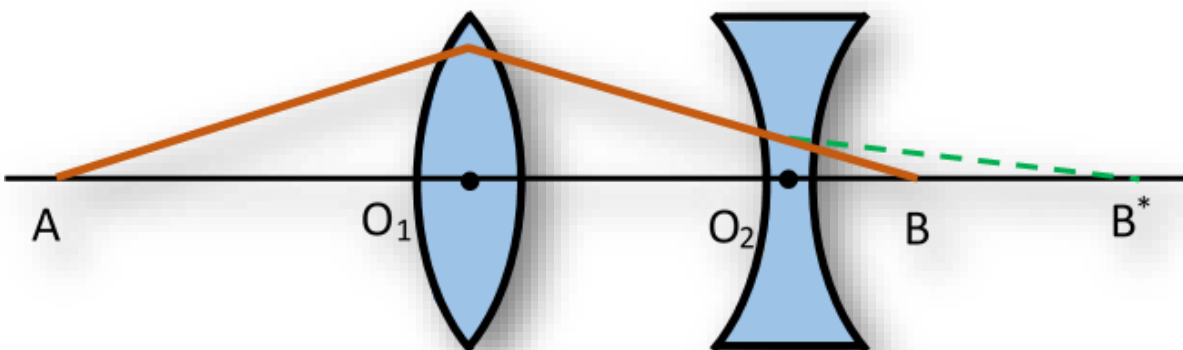
გამანათებელი მნათი საგნით;

ოპტიკური მერხი (შესაძლებელია გამოვიყენოთ სახაზავი);

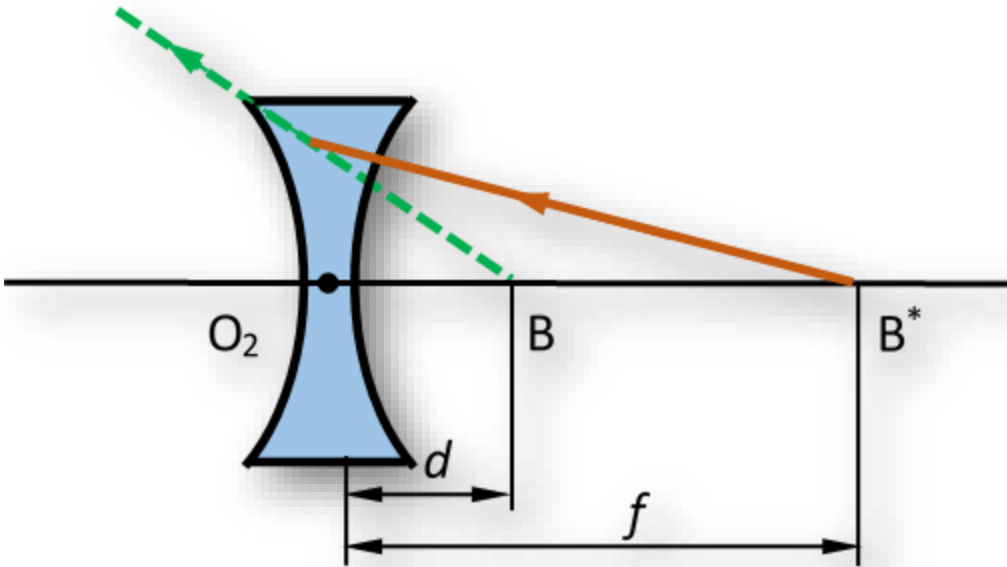
შემკრები და გამბნევი ლინზები;

ეკრანი.

ვთქვათ, შემკრები ლინზის საშუალებით მნათი A წერტილის გამოსახულება მიიღება B წერტილში. შემკრებ ლინზასა და ეკრანს შორის მოვათავსოთ გამბნევი ლინზა. შემკრები ლინზით მიღებული გამოსახულება გამბნევი ლინზისთვის წარმოადგენს სინათლის წყაროს. რადგან სხივები შორდებიან ოპტიკურ ღერძს, გამბნევი ლინზა გამოიწვევს გამოსახულების უფრო შორს გადატანას. შესაბამისად, მკაფიო გამოსახულების მისაღებად ეკრანი ლინზებს უნდა დავაშოროთ.



ამ ექსპერიმენტით მანძილი გამბნევი ლინზასა და ეკრანის თავდაპირველ მდებარეობას შორის შეიძლება განისაზღვროს, როგორც მანძილი სინათლის წყაროსა და ლინზას შორის ($O_2B = d$). ხოლო, ეკრანის გადაადგილებით, როდესაც მიიღება მკაფიო გამოსახულება, მანძილი გამბნევი ლინზასა და ეკრანს შორის უკვე განისაზღვრება, როგორც მანძილი ლინზასა და გამოსახულებას შორის ($O_2B^* = f$).



ექსპერიმენტში ვიყენებთ თხელი ლინზის გამოსათვლელ ფორმულას:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

გამბნევი ლინზის შემთხვევაში, $1/F$ -ის წინ იწერება ნიშანი „-“. რადგან გამბნევ ლინზაში გამოსახულება წარმოსახვითია, ამიტომ f -ის წინ უნდა დაიწეროს ნიშანი „-“.

ჩავატაროთ ექსპერიმენტი შემდეგი თანმიმდევრობით:

ოპტიკურ მერხზე მნათ საგანსა და ეკრანს შორის მოათავსეთ შემკრები ლინზა. ლინზის გადაადგილებით ეკრანზე მიიღეთ საგნის მკაფიო გამოსახულება. შემკრებ ლინზასა და ეკრანს შორის მოათავსეთ გამბნევი ლინზა. გაზომეთ გამბნევ ლინზასა და ეკრანს შორის ($O_2B = d$) მანძილი. ეკრანი გადაადგილეთ მანამ, სანამ კვლავ არ მიიღებთ საგნის მკაფიო გამოსახულებას. გაზომეთ გამბნევ ლინზასა და ეკრანს შორის ($O_2B^* = f$) მანძილი. შესაბამისი ფორმულით გამოთვალეთ გამოთვალეთ გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილი (F). ექსპერიმენტი გაიმეორეთ 3-4 ჯერ. გამოიანგარიშეთ ფოკუსური მანძილის საშუალო მნიშვნელობა. დაადგინეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილებები.

№	მანძილი გამზნევ ლინზასა და ეკრანს შორის		ლინზის ფოკუსურ ი მანძილი F (სმ).	ფოკუსური მანძილის საშუალო მნიშვნელობა $F_{საშ}$ (სმ)	აბსოლუტუ რი ცდომილება $ \Delta F_{საშ} - F $	ფარდობითი ცდომილება $\frac{\Delta F_{საშ}}{F_{საშ}} \cdot 100\%$
	ეკრანის პირველი მდებარეობა d (სმ).	ეკრანის მეორე მდებარეობა f (სმ).				
1.						
2.						
3.						
4.						

გამოყენებული ლიტერატურა:

ქუთაისის ტექნიკური უნივერსიტეტი –

„ლაბორატორიული პრაქტიკუმი ფიზიკაში – ოპტიკა“

რ. აკობიძე, თ. ბარდაველიძე, ნ. ჩხეიძე;

ფიზიკა XI კლასი. მოსწავლის წიგნი-

მ. ტულუში, თ. შენგელია, თ. შენგელია, ო. ღონღაძე;

ფიზიკა XI კლასი. მოსწავლის წიგნი –

ქ. ტატიშვილი;

<https://byjus.com/physics/to-find-focal-length-of-concave-lens-using-convex-lens/>

https://www.webassign.net/question_assets/tamucolphyseml1/lab_5/manual.html

[https://www.schoolphysics.co.uk/age16-](https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Optics/Refraction/text/Lenses_focal_length_measurement/index.html)

[19/Optics/Refraction/text/Lenses_focal_length_measurement/index.html](https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Optics/Refraction/text/Lenses_focal_length_measurement/index.html)

<https://www.britannica.com/technology/lens-optics>

<https://ck12.edu/ge/maswavleblebi/tinatin-zardiashvili/mecniereba-x-xi/>.