

გაზომვა და ცდომილება

ფიზიკა, ისევე როგორც ნებისმიერი საბუნებისმეტყველო მეცნიერება, *ექსპერიმენტს* ემყარება. ექსპერიმენტს ფიზიკაში ორგვარი დანიშნულება აქვს:

- ახალი მონაცემების მიღება. ამაში შედის უკვე არსებული ინფორმაციის დაზუსტებაც;
- არსებული თეორიის შემოწმება;

ექსპერიმენტი შეიძლება ამ ორივე ამოცანას ერთდროულად აკეთებდეს; მაგალითად CERN-ში მიმდინარე ექსპერიმენტები, რომელთა მიზანია ე.წ. ჰიგსის ნაწილაკის აღმოჩენა და ამით არსებული თეორიის - სტანდარტული მოდელის შემოწმება. ჰიგსის ნაწილაკის აღმოჩენა კი გულისხმობს ასევე მისი მახასიათებლების გაზომვას, რაც დღეისათვის ცნობილი არაა. ნებისმიერი ფიზიკური თეორია ექსპერიმენტული შემოწმების გარეშე მეტ-ნაკლებად ლამაზ მათემატიკურ „თეორიად“ რჩება, რომელის ღირებულება მათემატიკის სავარჯიშოს დონისაა. მხოლოდ ექსპერიმენტში გამოცდის „ჩაბარების“ შემდეგ იქცევა ის მოქმედ ფიზიკურ თეორიად.

ფიზიკური ექსპერიმენტი და *გაზომვა* განუყრელი ცნებებია. ნებისმიერი გაზომვა საჭიროებს გაზომვამდე არსებულ ცოდნას (აპრიორი ცოდნას). გაზომვის შედეგად ცოდნის რაოდენობა და ხარისხი მატულობს.

გაზომვა ყოველთვის გულისხმობს გასაზომი A სიდიდის შედარებას იმავე გვარის B სიდიდესთან. ამ B სიდიდეს ეტალონი ეწოდება. ერთადერთი გაზომვის ტიპი, რომელიც შედარებას პირდაპირ არ გულისხმობს და შესაბამისად ეტალონს არ საჭიროებს, რაიმეს დათვლაა. ცხადია ეტალონი მუდმივი სიდიდე უნდა იყოს. სასურველია ასევე ეტალონის საყოველთაობა და აღწარმოებადობა.

გაზომვა ორი სახის შეიძლება იყოს - *პირდაპირი (უშუალო)* და *არაპირდაპირი (ირიბი)*.

- *პირდაპირი გაზომვის დროს გასაზომი სიდიდეს უშუალოდ ვადარებთ ეტალონს.*
- *ირიბი გაზომვის დროს გასაზომი სიდიდე გამოითვლება სხვა სიდიდეებიდან ცნობილი ფორმულების დახმარებით.*

პირდაპირი გაზომვის მაგალითია სიგრძის გაზომვა - გასაზომ სიგრძეს უშუალოდ ვადარებთ ეტალონად მიღებული სახაზავის სიგრძეს. გაზომვათა აბსოლიტური უმრავლესობა *ირიბი გაზომვებია!* მაგიდის ზედაპირის ფართობსაც კი არავინ ზომავს უშუალოდ - ზედაპირზე 1 მ2, ან 1სმ2 კვადრატების დადებით და მათი რაოდენობის დათვლით.

ნებისმიერი გაზომვა რაღაც სიზუსტით ტარდება. ყველაზე მარტივი გაზომვაც რომ ჩავატაროთ, ყველაზე ზუსტი მეთოდით და ხელსაწყოებით, შედეგი მაინც არ იქნება *აბსოლიტურად ზუსტი!* გაზომვის ამ სიზუსტეს *ცდომილებით* ახასიათებენ. ცდომილება *შეცდომა* არაა! შეცდომას გაზომვაში მოგვიანებით შევხებით.

ცდომილების გამომწვევი მიზეზი ძირითადად გაზომვის პროცესზე სხვა გაუთვალისწინებელი მოვლენების ზემოქმედებაა - ტემპერატურის, წნევის, ტენიანობის, ვიბრაციის და ა.შ.

ჩვეულებრივ ვგულისხმობთ, რომ გასაზომი სიდიდის ზუსტი მნიშვნელობა ბუნებაში არსებობს, თუმცა ეს ასე არაა. თვით სიდიდის არსი გამორიცხავს მისი ზუსტი მნიშვნელობის არსებობას; მაგალითად: საქართველოს მოსახლეობის სიცოცხლის ხანგრძლივობა, ან დროის განსაზღვრულ მცირე შუალედში ქალაქის ქუჩებში მოძრავი ავტომობილების რაოდენობა, ან რადიაქტიური ნივთიერების ნახევარდაშლის პერიოდი და ა.შ. ეს სიდიდეები თავისი არსით ალბათურები არიან და მათი გაზომვა მხოლოდ მიახლოებით - საშუალო მნიშვნელობას იძლევა.

ქვანტური მექანიკა კი საერთოდ „ჯვარს უსვამს“ სიდიდის აბსოლიტურად ზუსტ გაზომვას. სიგრძის გაზომვის შემთხვევაშიც კი საქმე გვაქვს რეალური ატომებით შედგენილ სიგრძესთან, ატომის „ზუსტი“ ზომები კი თვითონ ბუნებამაც „არ იცის“.

როგორც ვხედავთ გაზომილი სიდიდის მნიშვნელობას ყოველთვის თან უნდა ახლდეს მისი სიზუსტის დამახასიათებელი სიდიდე - ცდომილება. ამის გარეშე გაზომვის შედეგი პრაქტიკულად უსარგებლო ხდება. ცდომილება ყოველთვის გვეუბნება სიდიდის სანდოობის არეს. მაგალითად სიგრძის გაზომვის შედეგი (72 ± 2) მ ნიშნავს, რომ სიგრძე მეტი ალბათობაა იყოს 72 მ, მაგრამ 73,4 მეტრი, ან 70,8 მეტრიც ასევე შესაძლებელია. ცდომილება გაზომვის შედეგს ალბათურ ხასიათს აძლევს. თუ სიდიდე ცდომილების გარეშეა მოყვანილი, როგორც ეს ჩვეულებრივ ყოველდღიურობაში ხდება, მაშინ თვითონ ამ სიდიდის მნიშვნელობიდან მაინც შეგვიძლია მის ცდომილებაზე რაღაც დასკვნების გაკეთება. მაგალითად იგივე სიდიდე გვაქვს ოღონდ ცდომილების გარეშე - 72 მ; როგორ შევაფასებდით მის ცდომილებას? ჩვეულებრივ გაზომვებში ასეთი სიგრძე ნაკლებად მოსალოდნელია სანტიმეტრების სიზუსტით გაკეთებულიყო. დეციმეტრის რიგის სიზუსტეც ნაკლებად მოსალოდნელია - მაშინ მეტი ნიშნად ციფრებს მოიყვანდნენ, ვთქვათ 72,2 მ. აქ სიზუსტე არ უნდა იყოს მეტრზე გაცილებით დიდი - მაშინ ალბათ შედგეს 70 მეტრს დაწერდნენ. მოყვანილი ჩანაწერი გვეუბნება, რომ მისი ცდომილება 1 მეტრის რიგისაა - (72 ± 1) მ. აქედან ცხადი ხდება, რომ გაზომვის საბოლოო შედეგის ჩაწერისას გარკვეული წესების დაცვაა საჭირო:

გაზომვის საბოლოო შედეგის ბოლო ნიშნადი ციფრი იმავე რიგის უნდა იყოს რაც ცდომილებაა.

მაგალითად, 9.82 ± 0.3 უკეთესია ასე ჩავწეროთ - 9.8 ± 0.3 ; თუ ცდომილება 3-ის ტოლი იქნებოდა მაშინ შეიძლება ჩაგვეწერა ასე - 9.8 ± 0.3 , ან ასე - 9.10 ± 0.3 . გამოთვლებისთვის გამოყენებული რიცხვებში უმჯობესია ერთით მეტი ნიშნადი ციფრს შეიცავდეს, ვიდრე საბოლოო შედეგში მოყვანილი. არ უნდა დაგვაფიქედეს, რომ გაზომილი სიდიდეც და მისი ცდომილებაც ერთი გვარის სიდიდეებია - მათ ერთნაირი განზომილებები უნდა ჰქონდეთ. როცა სიდიდე ძალიან დიდია, ან ძალიან მცირე, მის ჩასაწერად მოხერხებულია ე. წ. „სამეცნირო“ ფორმა - $(1.61 \pm 0.005) 10^{-19}$ კ.

აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება

ვთქვათ გვაქვს ორი სხვადასხვა მასის გაზომვის შედეგები: (17 ± 2) გ და (79 ± 5) ; რომელი უფრო ზუსტი გაზომვაა? პირველი გაზომვის აბსოლუტური მნიშვნელობა ნაკლებია მეორეზე და თითქოს პირველი უკეთესადაა გაზომილი, მაგრამ თვითონ სიდიდეების მნიშვნელობებიც სხვადასხვაა! ამიტომ გაზომვის

სიზუსტის შესაფასებლად უკეთესია *ფარდობითი ცდომილება* გამოვიყენოთ - *ცდომილების სიდიდე შეფარდება გაზომილ სიდიდესთან გამოსახული პროცენტებში*. პირველი გაზომვის ფარდობითი ცდომილება 12% მეტია ვიდრე მეორე გაზომვის შესაბამისი სიდიდე ~6%. ცხადია მეორე გაზომვა უკეთესადაა ჩატარებული. თუ X გაზომილი სიდიდეა, ხოლო ΔX ცდომილება, მაშინ ΔX -ს *აბსოლიტური ცდომილება* ეწოდება, ხოლო ფარდობას ΔX/X *გამოსახულს პროცენტებში - ფარდობითი ცდომილება*.

შეკითხვები

1. რას ეწოდება ირიბი გაზომვა?

პასუხი: გაზომვას, როდესაც გასაზომი სიდიდე უშალოდ ეტალონს კი არ დარდება, არამედ გამოითვლება.

2. ჩაწერეთ სწორი ფორმით გაზომვის შედეგები: ა) 5.03±0.0433 ბ) 19.54±1

პასუხი: ა) 5.03±0.04 ბ) 19.5±1

3. ბრუნვის დროს ვზომავთ 0.1 წმ სიზუსტის მქონე წამზომით. ერთნაირი აბსოლიტური სიზუსტე ექნებათ თუა არ ამ წამზომით გაზომილ ერთი ბრუნის და 10 ბრუნის დროებს? რომლის ფარდობითი ცდომილება იქნება ნაკლები?

პასუხი: რადგან წამზომის სიზუსტე მუდმივია, მისით გაზომილ დროის ყველა შუალედს ერთნაირი აბსოლიტური ცდომილება ექნება, ხოლო ფარდობითი ცდომილება კი 10 ბრუნის შესაბამის დროს ცხადია 10-ჯერ ნაკლები ექნება.

ცდომილების ტიპები

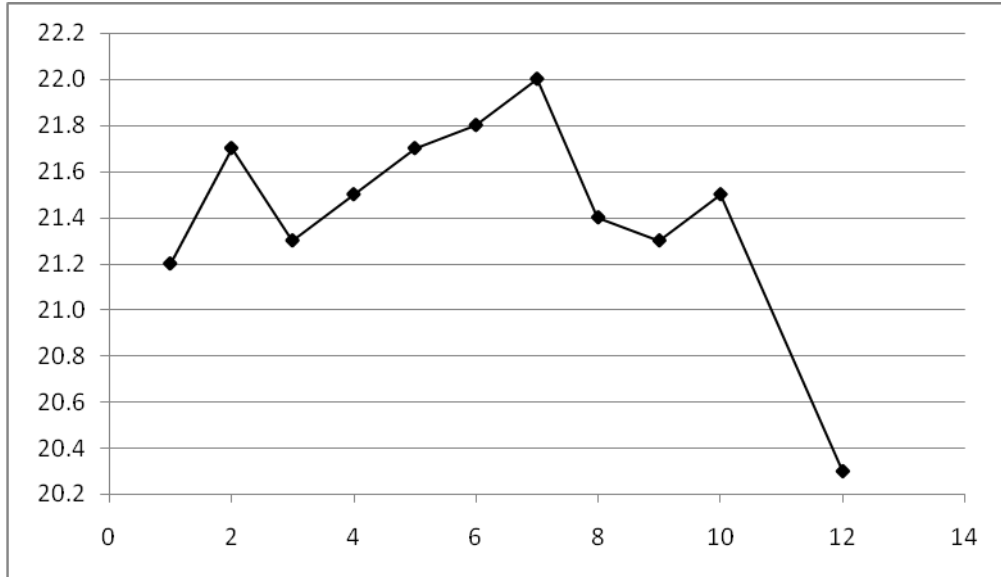
არსებობს სამი სახის ცდომილება: *სტატისტიკური (შემთხვევითი), სისტემატიკური და შეცდომა*. ცდომილების სახეებში გასარკვევად განვიხილოთ მარტივი გაზომვის მაგალითი; ვთქვათ ვზომავთ რაიმე სიგრძეს ჩვეულებრივი სახაზავით, რომლის *დანაყოფის ფასია 2 მმ*.

- *დანაყოფის ფასი* ახასიათებს ხელსაწყოს გაზომვის სიზუსტეს; მისი მნიშვნელობა ტოლია სკალაზე უმცირესი დანაყოფის სიდიდის ტოლია. ზოგჯერ ხელსაწყოზე პირდაპირაა მითითებული დანაყოფის ფასი. ციფრულ ხელსაწყოებში დანაყოფის ფასი ტოლია დისკრეტულობის ბიჯის. *ერთეული გაზომვის ცდომილება დანაყოფის ფასის ნახევარს უდრის*.

ჩვენს შემთხვევაში გაზომვის ცდომილება 1 მმ-ის რიგის იქნება. გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილში - ზედა სტრიქონში გაზომვის რიგითი ნომერი, ქვედაში კი გაზომვის შედეგი სანტიმეტრებში.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
სიგრძე სმ	21.2	21.7	21.3	21.5	21.7	21.8	22.0	21.4	21.3	21.5	20.3

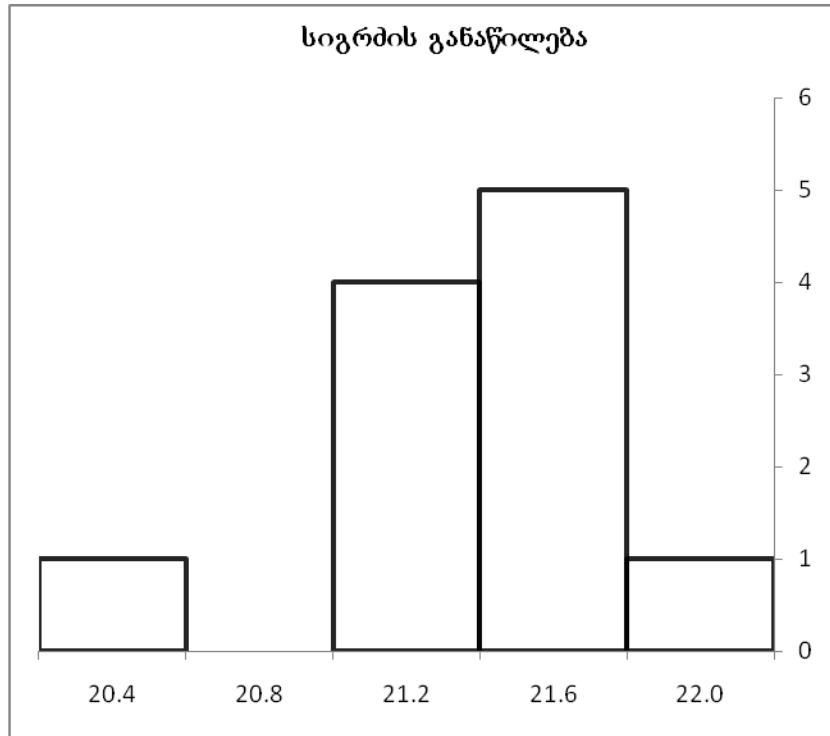
გაზომვის შედეგების ზემოთმოყვანილი ცხრილის სახით დატოვება ნაკლებად გამოსაყენებელია, თუმცა ის გაზომვის მთელ ინფორმაციას შეიცავს. როცა გაზომვების რაოდენობა 3-ზე მეტია ყოველთვის სჯობს მისი ვიზუალიზაცია - გრაფიკული სახით წარმოდგენა.



ამ მარტივ გრაფიკზე ჰორიზონტალურად გაზომვის რიგითი ნომერია ნაჩვენები, ვერტიკალურად კი სიგრძეა გადაზომილი. ადვილად შევამჩნევთ, რომ ბოლო გაზომილი წერტილი „საეჭვოდ“ გამოიყურება. თუ მონაცემებს რაიმე სახით დავაჯგუფებთ და მერე გრაფიკულად გამოვსახავთ, კანონზომიერებები უფრო ცხადად გამოჩნდება. დაჯგუფება ასე გავაკეთოთ:

შუალედი, მმ	20.2-19.8	21.0-20.6	21.4-21.0	21.8-21.4	22.2-21.8
რაოდენობა	1	0	4	5	1

ამ ცხრილში ქვედა სტრიქონის უჯრებში მოყვანილია გაზომვების ის რაოდენობა, რომელთა შედეგიც შესაბამის ზედა უჯრაში მითითებულ შუალედში მოხვდა. ასე დაჯგუფებულ სიდიდეებს *ჰისტოგრამა* ეწოდებათ, ხოლო შუალედებს *ბინი*. აქ ჩვენ გვაქვს *ერთგანზომილებიანი 5- ბინიანი ჰისტოგრამა*. მისი შესაბამისი გრაფიკი ასე გამოიყურება:



აქ ჰორიზონტალურ ღერძე გადაზომილია სიგრძე, ვერტიკალურზე კი შესაბამის ბინში მოხვედრილი შედეგების რაოდენობას. ამ ჰისტოგრამიდან ადვილია შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

- დამოუკიდებელი გაზომვის შედეგები ჩვეულებრივ განსხვავდებიან;
- გაზომილი სიდიდეები კლასტერებად ჯგუფდებიან;
- კლასტერიზაცია სტატისტიკური კანონზომიერებების მაჩვენებელია.

ამ გრაფიკებზე დაყრდნობით ცდომილების ტიპებში გარკვევა;

ცდომილებები საერთოდ რომ არ გვექნოდა (შეცდომა გამოვრიცხოთ), ყველა გაზომვის შედეგი სიდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობას დაემთხვეოდა და გრაფიკზე ერთი ვერტიკალური ხაზი იქნებოდა.

შეცდომა ორივე გრაფიკზე ადვილი შესამჩნევია ერთი გაზომვა, რომლის შედეგია 20,3 სმ. ცხადია, რომ ეს რაღაც *შეცდომის* შედეგია - არასწორი ანათვალის გაკეთება, შეცდომით ჩაწერა და ა. შ.

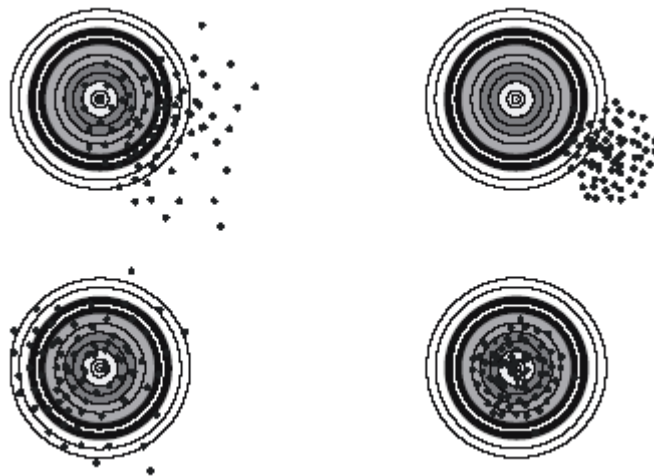
ასეთი ცდომილება გამოწვეულია ექსპერიმენტში დაშვებული რაღაც შეცდომით, ჩვეულებრივ ექსპერიმენტატორის უგულისყურობით. რთულ გაზომვებში შეცდომის აღმოჩენა საკმაოდ ძნელია. გულდასმითი ანალიზის შემდეგ შეცდომით გაზომილი სიდიდეები შემდგომი დამუშავებიდან უნდა გამოირიცხოს.

სტატისტიკური (შემთხვევითი) ცდომილება ჰისტოგრამიდან ჩანს, რომ გაზომილ სიდიდეთა უმეტესობა 21.0 – 21.8 სმ შუალედშია მოთავსებული. სიგრძის სამეზობლო მნიშვნელობაც ცხადია სადღაც ამ შუალედშია. ცდომილება, რომელიც სიდიდის ჭეშმარიტი მნიშვნელობის ირგვლივ „დაბნის“

მრავალჯერადი გაზომვის შედეგებს სტატისტიკურ ცდომილებას წარმოადგენს. მას შემთხვევითი ხასიათი აქვს და გაზომვიდან გაზომვამდე იცვლება. ამ სახის ცდომილების გამო არ ხერხდება გაზომვის გამეორებისას სიდიდის ზუსტად იგივე მნიშვნელობის მიღება. მისი შემცირების ყველაზე რადიკალური ხერხია უფრო ზუსტი გამზომი ხელსაწყო, ან დანადგარის გამოყენება. ყველაზე გავრცელებული კი - გაზომვის მრავალჯერ განმეორება და შედეგის სტატისტიკური მეთოდებით დამუშავება. ამ ტიპის ცდომილებას იწვევს უკონტროლო, დროში სწრაფად ცვლადი პროცესების ზემოქმედება, ან თვითონ გასაზომი სიდიდის შემთხვევითი ხასიათი. პიკის სიგანე ამ ცდომილების სიდიდეზეა დამოკიდებული.

სისტემატიკური ცდომილებაეს ცდომილება გაზომვის მთელი დროის განმავლობაში ან ძალიან ნელა, ან საერთოდ არ იცვლება. ის შემთხვევითი ცდომილებით გამოწვეული პიკს წანაცვლებს სიდიდის ჭეშმარიტი მნიშვნელობიდან. ამ ცდომილებას, როგორც წესი, იწვევს დროში ნელა ცვლადი პროცესების ზემოქმედება - ტემპერატურის ცვლა, წონით გამოწვეული დეფორმაცია, ხელსაწყოთა სკალის წანაცვლება და ა.შ. სისტემატიკური ცდომილება შემთხვევითზე (სტატისტიკურზე) არანაკლებ მნიშვნელოვანია, მაგრამ მისი გამოვლენა და შეფასება გაცილებით უფრო ძნელია. მათემატიკური მეთოდებით ამ სახის ცდომილების გამოვლენა თითქმის შეუძლებელია. ყველაზე ეფექტურია მეორე დამოუკიდებელი გაზომვის ჩატარება, სასურველია სხვა მეთოდით. ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია სისტემატიკური ცდომილების შემთხვევითში გადაყვანა და შემდეგ მისი დამუშავება მათემატიკური მეთოდებით. ეს ორი ცდომილება, როგორც წესი, სუსტადაა ერთმანეთთან დაკავშირებული - შემთხვევითი ცდომილების შემცირება ნაკლებად ცვლის სისტემატიკურს და პირიქით. ამიტომ გაზომვისას პირველ რიგში უნდა ვეცადოთ იმ სახის ცდომილების შემცირებას, რომელიც უფრო დიდია.

ქვემოთ მოყვანილი ნახაზე კარგად ჩანს ცდომილებების გავლენა ექსპერიმენტზე; აქ კონცენტრული წრეების ცენტრი სიდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობას შესაბამება, ხოლო წერტილები გაზომვის შედეგებს. ზედა სტრიქონი დიდი სისტემატიკური ცდომილებით ხასიათდება, ქვედა კი მცირეთი. მარცხენა სვეტს დიდი შემთხვევითი ცდომილება შეესაბამება, ხოლო მარჯვენას - მცირე. საუკეთესო გაზომვათა სერია წარმოდგენილია მარჯვენა სვეტის ქვედა სტრიქონში



საშუალო სიდიდის და ცდომილების გამოთვლა

დავუბრუნდეთ ზემოთმოყვანილ ცხრილს და ჰისტოგრამას, სადაც ერთიდაიგივე სიგრძის მრავალჯერადი გაზომვის შედეგებია მოყვანილი. ვცადოთ ამ სიგრძის ჭეშმარიტი მნიშვნელობის და ცდომილებების გამოთვლა. დანაყოფის ფასის მნიშვნელობაზე (1 მმ) და ჰისტოგრამაზე დაყრდნობით შეგვიძლია ბოლო გაზომილი სიდიდე 20.3 სმ შეცდომით ჩავთვალოთ და აღარ გავითვალისწინოთ. შემთხვევითი ცდომილების ხასიათიდან გამომდინარე, მისი „განეიტრალების“ ყველაზე ადვილი ხერხია საშუალო სიდიდის გამოთვლა;

რაიმე N რაოდენობა $A_1, A_2 \dots A_N$ რიცხვთა სიმრავლის საშუალო სიდიდე უდრის

$$A_{\text{სშ}} = (A_1 + A_2 + \dots + A_N) / N \quad (1)$$

ჩვენს შემთხვევაში $N=10$ და მარტივად მიიღებთ, რომ $A_{\text{სშ}} = 21,5$ სმ.

კიდევ ერთხელ გავიმეოროთ - მიღებული სიდიდე არაა სიგრძის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა! 21,5 სმ არის ჭეშმარიტი მნიშვნელობის საუკეთესო შეფასება, რომლის გაკეთებაც შეგვიძლია ამ 11 გაზომვის შედეგად. თუ რამდენად ახლოს შეიძლება იყოს მიღებული სიდიდე ჭეშმარიტ მნიშვნელობასთან, ამაზე პასუხს ცდომილება იძლევა.

გამოთვალეთ თითოეული გაზომვის გადახრა $A_{\text{სშ}}$ -დან - $\Delta_i = A_{\text{სშ}} - A_i$, მივიღებთ:

სიგრძე, სმ	21.2	21.7	21.3	21.5	21.7	21.8	22.0	21.4	21.3	21.5
გადახრა, სმ	0.3	-0.2	0.2	0.0	-0.2	-0.3	-0.5	0.1	0.2	0.0

ბოლო, გადაგდებული გაზომვის სიდიდე აქაც „გამორჩეული“ იქნებოდა 1.2 სმ გადახრით! შემთხვევითი ცდომილების შესაფასებლად გადახრათა საშუალოს გამოთვლა არ გამოდგება - საშუალოს განმარტებიდან გამომდინარე იგი ყოველთვის ნულის ტოლი იქნება. გადახრებს როგორმე ნიშანი უნდა მოვაცილოთ! შეგვეძლო გვეცადა გადახრის მოდულები გაგვესაშუალოებინა და ზოგჯერ ასეც იქცევინა, მაგრამ სტატისტიკური მათემატიკა გვეუბნება, რომ ჯობს გადახრის კვადრატები გავსაშუალოოთ - Δ_i^2 უნდა შევკრიბოთ და -ზე გავყოთ. ამ სიდიდესაც აქვს არსებითი ნაკლი - მას არა სიგრძის (სმ) განზომილება, არამედ ფართობის (სმ²) ექნება. ერთი გზაა დაგვრჩენია - ამ სიდიდიდან კვადრატული ფესვი უნდა ამოვიღოთ. მიღებულ სიდიდეს საშუალო კვადრატული გადახრა ეწოდება და ასე გამოითვლება:

$$S_{\text{სშ}} = \sqrt{[\sum (\Delta_i^2) / (N-1)]} \quad (2)$$

მნიშვნელში N -ს მაგივრად N-1 გამოიყენება შემდეგი მოსაზრებით ასაბუთებენ: როცა მარტო ერთი გაზომვაა ჩატარებული, მაშინ ამ ფორმილის გამოყენება მოგვცემს 0/0 სახის განუზღვრელობას, რაც სწორად ასახავს ცდომილებაზე ინფორმაციის არარსებობას. ჩვენს შემთხვევაში $S_{\text{სშ}} = 0.3$; ეს ცდომილება გვეუბნება რომ, მაგალითად მეორე გაზომილი სიდიდე შეიძლება ყოფილიყო 21.4-და 22.0 შუალედში ნებისმიერი რიცხვი. საშუალო კვადრატული გადახრა ახასიათებს ცალკეული გაზომვის

ცდომილებას. ცხადია საშუალო სიდიდე უფრო ნაკლები ცდომილებით უნდა ხასიათდებოდეს. სტატისტიკურ მათემატიკაში მტკიცდება, რომ საშუალო სიდიდის ცდომილების საუკეთესო შეფასებაა

$$\sigma_{\text{საშ}} = S_{\text{საშ}}/\sqrt{N} \quad (3)$$

სიდიდე, რომელსაც *საშუალოს სტანდარტული გადახრა*, ან უბრალოდ *სტანდარტული გადახრა* ეწოდება. საბოლოო გაზომვის შედეგი კი ასეთი სახით იწერება : $A_{\text{საშ}} \pm \sigma_{\text{საშ}}$. ჩვენს შემთხვევაში $\sigma = 0.3/3.16 \sim 0.1$ და საბოლოო პასუხი ასეთი იქნება - $(21.5 \pm 0,1)$ სმ.

უფრო დაწვრილებით გავაანალიზოთ ზემოთ მიღებული გამოსახულებები; იმავე აპარატურის გამოყენებით გაზომვების რაოდენობის გაზრდა საშუალო კვადრატულ გადახრას მნიშვნელოვნად აღარ შეცვლიდა, ხოლო სტანდარტული გადახრა მცირედ დაიკლებდა (N კვადრატული ფესვის ქვეშაა მნიშვნელში). აქედან ცხადია, რომ საბოლოო შედეგში ცდომილების რადიკალურად შესამცირებლად საჭიროა უფრო ზუსტი აპარატურა და გაზომვის მეთოდები.

კითხვები და ამოცანები.

4. ჩამოთვალეთ ცდომილების ტიპები.

პასუხი: სტატისტიკური და სისტემატიკური ცდომილება.

5. რომელი სახით მოყვანილი ცდომილებაა უგანზომილებო - ფარდობითი, თუ აბსოლიტური?

პასუხი: ფარდობითი.

6. რაღაც სიდიდის გაზომვის შედეგებია 5, 7, 9, 8 ; გამოთვალეთ სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა და სტანდარტული გადახრა.

პასუხი: (1) , (2) და (3) ფორმულების გამოყენებით მივიღებთ: $A_{\text{საშ}} = 7.2$, ხოლო $\sigma_{\text{საშ}} = 1,5$;

ირიბი გაზომვის ცდომილებები.

ირიბი გაზომვების დროს რამოდენიმე სიდიდე პირდაპირ იზომება , ხოლო საბოლოო შედეგი ფორმულით გამოითვლება. საბოლოო სიდიდის ცდომილებების გამოსათვლელად წინა ფორმულებს ვერ გამოვიყენებთ, რადგან ისინი პირდაპირი გაზომვებისთვისაა სამართლიანი; ქვემოთ დამტკიცების გარეშე მოყვანილი ირიბ გამოთვლებში გამოსადეგი ძირითადი ფორმულები. მათი კომბინირებით უფრო რთული დამოკიდებულებების ცდომილებათა გამოთვლაც შეიძლება. ვთქვათ პირდაპირ იზომება ორი სიდიდე X და Y ; მოითხოვება ამ გაზომვების ურთიერთდამოუკიდებლობა. თქვათ მათი საშუალო მნიშვნელობებია $X_{\text{საშ}}$ და $Y_{\text{საშ}}$, ხოლო ცდომილებები σ_x და σ_y . გვაქვს კიდევ მუდმივი C სიდიდე.

$A=C \pm X$	$A_{საშ} = C \pm X_{საშ}$	$\sigma_A = \sigma_x$
$A=C * X$	$A_{საშ} = C * X_{საშ}$	$\sigma_A = C * \sigma_x$
$A=X \pm Y$	$A_{საშ} = X_{საშ} \pm Y_{საშ}$	$\sigma_A = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$
$A=X * Y$	$A_{საშ} = X_{საშ} * Y_{საშ}$	

გასაზომი სიდიდის ხასიათიდან გამომდინარე (სიგრძე) წინასწარ შეგვიძლია ვცადოთ მოსალოდნელი სისტემატური ცდომილებების თავიდან აცილება, ან შეფასება (როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, გაზომვა შეუძლებელია აპრიორი ცოდნის გარეშე!):

სიგრძის ტემპერატურაზე და ტენიანობაზე დამოკიდებულება - როგორც გასაზომი ობიექტის, ასევე სახაზავისა. ლითონების შემთხვევაში ტემპერატურაზე დამოკიდებულება იქნება მთავარი, ხის მასალის შემთხვევაში კი - ტენიანობაზე. ცდომილების აბსოლუტური სიდიდე ასევე დამოკიდებული იქნება გასაზომ სიგრძეზე. ცხადია შესაძლებელია ამ სახის ცდომილების სიდიდის გამოთვლა და გაზომვის შედეგში შესაბამისი შესწორების შეტანა, თუ გაზომვას უცვლელ ტემპერატურაზე ჩავატარებთ. განხილული ცდომილება სისტემატური ხასიათისაა. თუ რაღაც მიზეზით არ შეგვიძლია ამ ცდომილების პირდაპირი გზით შეფასება (სიგრძე დიდია, ან არაა ცნობილი მასალის სითბური გაფართოების კოეფიციენტი), მაშინ უნდა ვცადოთ მისი „გადაყვანა“ შემთხვევით ცდომილებაში - *ცდომილების რანდომიზაცია!* ჩვენს შემთხვევაში ამისათვის გაზომვებს მიზანმიმართულად ვაკეთებთ სხვადასხვა ტემპერატურაზე, რათა საბოლოო შედეგში სხვადასხვა მიმართულებით გადახრებმა მაქსიმალურად გააბათილონ ერთმანეთი.

სახაზავის შკალის დასაწყისის (ნულის) წანაცვლება გასაზომი სიგრძის საწყისი წერტილის მიმართ, ან სახაზავის და გასაზომი საგნის მექანიკური დეფორმაცია.

შეცდომა მთლიანადაც რომ გამოვრიცხოთ, ამ ცდომილებებს მთლიანად მაინც ვერ მოვსპობთ. აქ ისევ რანდომიზაცია უნდა ვცადოთ - ერთი და იგივე აკურატულობით რამოდენიმეჯერ გაზომვა.

