

ფორმალური პროცესების თ ე რ ი ა

სახელმძღვანელო პოლიტექნიკური ინსტიტუტის
პოლიგრაფიული მრეწველობის ტექნოლოგიის
შემსწავლელი სტუდენტებისათვის

თანაქედროვე პერიოდში ფოტოგრაფიის მნიშვნელობა დიდად გაიზარდა. ფოტოგრაფიასთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული მეცნიერების სხვადასხვა დარგი, მათ შორის პოლიგრაფიაც. პოლიგრაფიაში გამოყენებული საბეჭდი ფორმები უმთავრესად იქმნება ფოტოგრაფიული პროცესების საშუალებით. წინამდებარე შრომა „ფოტოგრაფიული პროცესების თეორია“ პირველია ქართულ ენაზე. იგი განკუთვნილია პოლიტექნიკური ინსტიტუტის პოლიგრაფიული მოეწველობის ტექნოლოგიის შემსწავლელი სტუდენტებისათვის. შრომა დაწერილია ადვილად გასაგები ენით. გარდა პოლიგრაფისტებისა, იგი გამოსადეგი იქნება ფოტოგრაფიის დარგში მომუშავე ყველა მუშაკისათვის.

1. ფოტოგრაფიის განვითარების ისტორია

ფოტოგრაფია და თანამედროვე ტექნიკა. ფოტოგრაფიული პროცესების განვითარება

ფოტოგრაფია არის ისეთი მეცნიერება, რომლითაც შეისწავლება თუ როგორ უნდა მივიღოთ საგანთა გამოსახულება, როდესაც სინათლის შუქი რომელიმე შუქმგრძობიარე ნივთიერებაზე ზოქმედებს.

სიტყვა ფოტოგრაფია წარმოშობილია ორი ბერძნული სიტყვისგან: „ფოტოს“ — შუქი, „გრაფოს“ — წერა, ე. ი. მივიღებ „შუქქერა“. ფოტოგრაფიამ დიდი გავრცელება მოიპოვა საზოგადოებრივ ცხოვრებაში, ხელი შეუწყო მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებას. ფოტოგრაფიის გარეშე წარმოუდგენელია მდინდების და კინოხელოვნების განვითარება, კოსმოსური სივრცის შესწავლა. ამავე დროს ფოტოგრაფია სამართლიანად ითვლება საბჭოთა ბექდვის თანაშენწედ. წიგნებში, ჟურნალებსა და გაზეთებში მოთავსებული ფოტოსურათები მკითხველებს აცნობს საბჭოთა ხალხის თავდადებულ შრომას და მაღალ კულტურას, საზღვარგარეთელი ხალხის ცხოვრებას. ამიტომაც არის, რომ საბჭოთა ქარხნები ყოველწლიურად უშვებენ მილიონობით ფოტოაპარატებს.

ფოტოაპარატების შექმნამდე მხატვრები გამოსახულებებს ქმნიდნენ ხის, ლითონისა და ქვის ზედაპირზე. მაგრამ არც ერთი გამოსახულება არ იძლეოდა საგნის სიზუსტეს, ასლი მუდამ განსხვავდებოდა ორიგინალისაგან. ამისათვის იყო, რომ ერთი საგნის ორი ასლი ყოველთვის განსხვავდებოდა ერთიმეორისაგან. გარდა ამისა, გრავიურის წესით დამზადებული გამოსახულებანი ძვიარი ჯდებოდა. ფოტოგრაფიულმა გადაღებებმა გააადვილა ქსილოგრაფებისა და ცინკოგრაფების მუშაობა; ფოტოწესით დამზადებული ხის ან ლითონის კლიშეები მეტ სიზუსტეს იძლევა და იაფი ჯდება.

ფოტოგრაფიის წარმოშობის იდეა უძველეს დროს მიეკუთვნება. ვერცხლის მარილების და მათი გაშავების თვისება პირველად აღმოჩენილიქნა დაახლოებით 1260 წელს. სახელგანთქმული იტალიელი მხატვარი ლეონარდო-და-ვინჩი (1452 — 1519 წწ) თავის ნაწერებში აღწერდა, თუ როგორ მიიღება გამოსახულება ფანჯრის დარბაზში ვაკეუბული პატარა ხკრელით, რომლის წინაც მოთავსებულია ქალაღლის თეთრი ფურცელი.

XVI საუკუნის შუა წლებში იტალიელმა ჯიოვანი ბაპტისტა დელა პორტამ პირველად გამოიყენა კამერა-ობსკურა მქრქალ მინაზე გამოსახულების მისაღებად. 1568 წელს ვენეციელმა დანიელ ბარბარომ კამერის მიღში მოათავსა ორმაგი ლინზა, რითაც მიიღო უფრო მკვეთრი გამოსახულება. ახლა დადგა საკითხი, რომ გამოსახულება გადასულიყო მქრქალი მინის მაგივრად აპარატში ჩასმულ შუქმგრძნობიარე ფენაგადაკრულ რომელიმე მასალის ფირფიტაზე. შუქმგრძნობიარე გამოსახულებათა თვისება აღმოჩენილ იქნა XVIII საუკუნეში ა. ბესტუჟევის მიერ; რკინის ტანგის მარილის გამოკვლევის დროს მან აღმოაჩინა, რომ მარილს აქვს თვისება უფერული გახდეს სინათლის მოქმედებით. ამავე პერიოდში გერმანელმა შულცემ აღმოაჩინა ქლორ-ვერცხლისა და აზოტმზავავერცხლის შუქმგრძნობელობის თვისებები.

ფოტოგრაფიის საბოლოო აღმოჩენა მოხდა 1839 წელს პარიზში ნიეპსის და დაგერის მუშაობის შედეგად. პირველ ხანებში ნიეპსი ცდებოდა აწარმოებდა თუთიის ფურცელზე; იგი თუთიის ზედაპირს ფარავდა მის მიერვე შექმნილი ხსნარით, ზედაპირზე ათავსებდა გამკვირვალ ნახატებს და მიქონდა ფანჯარასთან — შუქთან ახლოს; შუქის მოქმედებით გამოსახულება გადადიოდა თუთიის ფურცლის ზედაპირზე. ბეკლდის ასეთ წესს ნიეპსმა პირველად ჰელიოგრაფია უწოდა. შემდეგში ნიეპსმა ამავე დანიშნულებით გამოიყენა კამერა (ბნელი ყუთი), რომელსაც მოწყობილი ჰქონდა მოძრავი მილაკი და ქრომატული ლინზა. ამ გარემოების გამო ნიეპსმა თავის გამოგონებას სახელი შეუცვალა და მას ფოტოგრაფია უწოდა. რამდენიმე წლის შემდეგ ნიეპსი დაუმეგობრდა დაგერს, რომელსაც გააცნო თავისი გამოგონების შინაარსი. მათ გადაწყვიტეს შეექმნათ ამხანაგობა ფოტოგრაფიის მოსაწყობად. მალე ნიეპსი გარდაიცვალა. დაგერმა ნიეპსის გამოგონება რამდენადმე გააუმჯობესა და ფოტოგრაფიის ამ მეთოდს „დაგერეოტიპია“ უწოდა. დაგერმა შეძლო პრაქტიკულად მოეწყო ფოტოგრაფია. 1839 წელს პარიზის გაზეთებში მოთავსებული იყო სენსაციური ცნობები „შუქი-მხატვარის“ შესახებ.

XVIII საუკუნის შუა წლებში რუსმა ქიმიკოსმა კ. მანმა გამოაქვეყნა ცნობა პიროქსილინის — „ფეთქებადი ბამბის“ შესახებ, რომელიც ალკოჰოლისა და ეთერის ნარევეში გახსნილი იძლეოდა კოლოდიუმის ბსნარს. სველი კოლოდიუმის წესმა რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში შეცვალა დაგერეოტიპია.

რუსი კონსტრუქტორი დ. ეზუჩევსკი თავის დროზე ქმნიდა ფოტოკამერებს, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იყო სწრაფი ფოტოგრაფირება. დაგერეოტიპია თავის პირვანდელი სახით გამოუყენებელი აღმოჩნდა. დაგერეოტიპიის მეთოდის გამოყენების დროს კამერაში ათავსებ-

დნენ ვერცხლის გაკრიალებულ ფირფიტას, რომელსაც შუქმგრძობელობა მიღებული ჰქონდა იოდის ორთქლით. გამოსახულების გარჩევა ვერცხლის ფირფიტაზე ძნელდებოდა სარკისებური კრიალის გამო. ამასთან ერთად გამოსახულება ფირფიტაზე მკვიდრი არ იყო, ის მალე იშლებოდა. ამ საქმეში კარგ წარმატებებს მიაღწია 1840 წელს მოსკოველმა ა. გრეკოვმა. მან შეძლო გამოსახულებათა მიღება როგორც სპილენძზე, ისევე თითბერსა და სხვა ლითონებზე. ა. გრეკოვი იყო პირველი რუსი ფოტოგრაფი, რომელიც პირველ ხანებში იყენებდა დაგერეოტიპიას, შემდეგ მან ეს მეთოდი გააუმჯობესა და სრულყოფილი გახადა. ამასთან ერთად მან შეძლო საგრძობლად შეემციობინა სურათების დამზადების დრო.

რუსეთში ფოტოგრაფიის განვითარების საქმეში დიდი ღვაწლი მიუძღვის ს. ლევიცკის (1819 — 1898 წწ). იგი დიდი ინტერესით სწავლობდა ფიზიკასა და ქიმიას; შემდეგში კი გაღვანობლასტიკას და დაგერეოტიპიას. მან პეტერბურგში გახსნა ფოტოგრაფია, რამდენიმე წელიწადს მუშაობდა პარიზშიაც. 1866 წლიდან სამუდამოდ დასახლდა პეტერბურგში, სადაც მუშაობა გააგრძელა კარგად მოწყობილ საკუთარ ფოტოგრაფიაში. მან შექმნა ლიტერატურისა და ხელოვნების დარგში სახელოვანი რუსი მოღვაწეების საუკეთესო პორტრეტები. ლევიცკიმ პირველმა დაამზადა ფოტოაპარატის კამერა გამწვლავი ტყავით, შემოიღო დეკორაციული ფონები სურათების გადაღების დროს, გამოიყენა რბილი ფანქრის სანეგატივო რეტუში და სხვა. ლევიცკის დიდი დამსახურება ის არის, რომ თავისი მოღვაწეობის მეორე ნახევარში მან შეძლო ფოტოგრაფიული გადაღება ეწარმოებინა ელექტრული სინაზლის საშუალებით. ამ დროისათვის ლევიცკიმ ისარგებლა რუსეთის გამოჩენილი ფიზიკოსის ვ. პეტროვის გამოგონილი რკალით და პ. იაბლოჩკოვის მიერ შექმნილი „რუსული სინათლით“. ელექტრული რკალის გამოყენებით ლევიცკიმ შექმნა ექსპოზიციის დრო 10 — 15 წუთიდან შეემციობინა 10 — 15 წამამდე. ამგვარად, ლევიცკიმ დღის სინათლის და ელექტრული სინაზლის შეერთებით შეძლო ძლიერი ეფექტის მიღება. ლევიცკის მოღვაწეობა ცნობილი გახდა არა მარტო რუსეთის საზოგადოებისათვის, არამედ საზღვარგარეთის ქვეყნებისთვისაც. ამიტომ იყო, რომ ლევიცკის „ფოტოგრაფიის პატრიარქი“ უწოდეს. ფოტოგრაფიის განვითარების საქმეში მონაწილეობდა აგრეთვე კოზლოვსკი, რომელმაც პირველმა დაამზადა ფოტოკამერა ფერადი გადაღების საწარმოებლად. ამ კამერის საშუალებით ერთსა და იმავე დროს სამ ფირფიტაზე წარმოებდა სამი სხვადასხვა ფერის ერთდროული გადაღება შუქფილტრის საშუალებით. ინჟინერმა ტილემ რუსეთში შექმნა მრავალობიექტივიანი კამერა პონორამოგრაფი, რომელიც თანამედროვე მრავალობიექტივიანი აერო

ფოტოკამერების მსგავსია. ს. მაქსიმოვიჩმა და ს. პროკუდინ-გორსკიმ 1910 — 1914 წლებში დაამუშავეს ფერადი ფოტოს და კინოს პროცესი. მეცნიერები დიდ მუშაობას აწარმოებდნენ აგრეთვე ფოტოგრაფიული შუქმგარძნობიარობის გაზომვის მეთოდების შესასწავლად.

ფოტოკამერების საშუალებით მიღებული ნეგატივიდან გამოსახულების ქალაღზე სწორად დაბეჭდვის — პოზიტივის დამზადების საკითხი გადაწყვიტა ინგლისელმა ფ. ტალბოტმა.

პირველად მინის ფოტოფირფიტებს ფარავდნენ ალბუმინით, რომელსაც შუქმგარძნობელობას აძლევდნენ ვერცხლის მარილით. გასული საუკუნის შუა წლებში ალბუმინით გამოყენების მეთოდი შეცვალა სველი კოლოდიუმის მეთოდმა; ფოლადის ფირფიტის ზედაპირს ფარავდნენ იოდოვანი კოლოდიუმით, რომელსაც „შუქმგარძნობელობისათვის ურევდნენ აზოტმკაეავერცხლს. სველი კოლოდიუმის მეთოდი შეცვალა ე. წ. „მძრალმა“ მეთოდმა — ფირფიტებს ამზადებდნენ ბრომჟელატინისაგან. ასეთი ფირფიტების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა ფოტოგადაღება ეწარმოებოდათ ყველგან და ყოველთვის, სპეციალური ბნელი ლაბორატორიის გაქოყენების გარეშე. ტალბოტმა დაწვრილებით დაამუშავა ნეგატივური პროცესი. ამასთან ერთად მან დაადგინა, რომ ქრომჟელატინი შუქის მოქმედებით ითრიმლება, წყალში კარგავს გაჯირჯეების თვისებას. ამ მოვლენით 1853 წელს ისარგებლა ფრანგმა პუატვენმა, ლითოგრაფიული ქვის ზედაპირი დაფარა ქრომიანი ელატინით და გამოსახულების გადაღება აწარმოვა ფოტოგრაფიის საშუალებით. რამდენიმე ხნის შემდეგ ეს ახალი მეთოდი გამოყენებულ იქნა საილუსტრაციო ბეჭდვის საწარმოებლად ფოტოტიპისა და ჰელიოგრაფიურის წესით საბეჭდი ფორმების დამზადების დროს.

ფრანგმა ფ. ეილომ 1850 წელს თუთიის ფურცელზე გამოიყენა „ქიმიური გრაფიურის“ წესი, მკაეების მოქმედებით მოახდინა სახარვეზო აღგილების ჩაღრმავება. ეილომ თავის გამოგონებას უწოდა „პანიკოგრაფია“, რომელიც მალე უცინკოგრაფიად გადაიქცა. ეილოს მეთოდი მნიშვნელოვნად გააუმჯობესა რუსეთის ფოტოტექნიკოსმა, კავკასიის არმიის მთავარი შტაბის ფოტოგრაფმა პ. სიმონენკომ და რუსეთის პოლიგრაფისტმა გ. სკამონიმ. მათ მიერ მიღებული დასკვნები შემდეგში საფუძვლად დაედო ფოტოციკოგრაფიულ წარმოებას.

პირველი ქართველი ფოტოგრაფი იყო ალექსანდრე სოლომონისძე როინაშვილი (1848 — 1898 წწ), რომელმაც სამართლიანად დაინახურა საზოგადო მოღვაწის საპატიო სახელი. იგი დაიბადა ქ. დუშეთში. უწამოდ დარჩენილი აღზარდა დედამ. სწავლობდა ჯერ დუშეთში, შემდეგ აწანურში. დედამ შვილი მიაბარა კავკაეში ღვინით მოვაქრეს.

კავკავიდან ალექსანდრე გამოიპარა და თბილისში ჩამოვიდა. უპატრონო ბავშვი აიყვანა თბილისში მომუშავე ფოტოგრაფმა ხლამოვმა. ა. როინაშვილმა რამდენიმე წელიწადში კარგად აითვისა ფოტოგრაფიის საქმე და ცოტა ხნის შემდეგ გახსნა საკუთარი ფოტოგრაფია. ოჯახური მდგომარეობის გამო ერთ პერიოდში იგი მოცილდა თბილისს. 1889 წელს ხელახლა გახსნა ფოტოგრაფია თბილისში მოედანზე, ქარვასლის გვერდით. ა. როინაშვილმა თავის სახელსონოში ფოტოხელოვნება ასწავლა ბევრ ოპოლსა და ლარბ ბავშვს, დაეხმარა ეკონომიურად და მოამზადა დამოუკიდებელი ცხოვრებისათვის. ა. როინაშვილმა იმოგზაურა საქართველოში და გადაიღო ისტორიული ცეგლები, მცხოვრებლების, საზოგადო მოღვაწეების და მწერლების ფოტოსურათები. ა. როინაშვილი დაკრძალულია დიდუბის პანთეონში და დაღმწული აქვს ძეგლი. თავის დროზე ილია ჭავჭავაძე გამოეხმაურა ა. როინაშვილის გარდაცვალებას, დაწერა წერილი მისი მოღვაწეობის შესახებ, სადაც აღნიშნა: „...კვირ-ბოროტს ქვეყნისას წაუღია და წაუჭლია ვინ იცის რაოდენი ხალხი და აღ. როინაშვილმა კი სძლია ამ კვირ-ბოროტსა და თავისი უჩინარი სახელი და გვარი ღირს-სახსენებელი გახადა თავის ქვეყანაში“.

ფოტოგრაფიული წარმოება დიდად განვითარდა დიდი ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ. იქმნება საკუთარი ქარსნები ფოტოგრაფიულ მოწყობილობათა დასამზადებლად. ახლა მასობრივად მზადდება ფოტოილუსტრაციები გაზეთების, ჟურნალებისა და წიგნებისათვის. ფოტოგრაფიის გარეშე შეუძლებელია პოლიგრაფიული მრეწველობის განვითარება. ფოტოაროცესები უდევს საფუძვლად მაღალი, ბრტყელი და ღრმა ბეჭდვის ფორმების დამზადების ტექნიკას.

ლოხანის უკანასკნელ საერთაშორისო გამოფენაზე ნაჩვენები იყო რეპროდუქციული აპარატები, რომლებიც გამოიყენება თანამედროვე პოლიგრაფიულ მრეწველობაში. უკანასკნელ პერიოდში მეტი და მეტი მნიშვნელობა ენიჭება ოფსეტურსა და ღრმა ბეჭდვის გაზოცენებას. ფოტოგრაფიის გარეშე კი ბეჭდვის ამ სახეების განვითარება არ შეიძლება. ლოხანის გამოფენაზე ნაჩვენები იყო აპარატი „როლფილმი“, რომელსაც შეუძლია ფოტოგრაფიული გადაღება აწარმოოს დახვეული ფოტოგრაფიული ფირიდან. ხვეულიდან ფირი მიეწოდება პირდაპირ კასეტს, გადაიჭრება ზომაზე და გადაღების შემდეგ გადაიტანება ბნელ ოთახში. ამ აპარატით შეიძლება დავამზადოთ ერთფერიანი ტონოვანი და შტრიხოვანი ორიგინალები. განსაკუთრებით საინტერესოა ფოტოამპერები აპარატის კონსტრუქცია, რომლითაც შეიძლება ნეგატივების და ზოგადოების აკრება-მონტაჟი ოფსეტური და ღრმა ბეჭდვის საბეჭდი ფორმების დასამზადებლად. გამოფენაზე ნაჩვენები იყო აგრეთვე კონტაქტური რასტრი — შუქფილტრი „პავო“, რომელიც განიცხნება ფერადი ორიგინა-

ლების პირდაპირი გადაღებისათვის. გამოყენაზე დემონსტრირებული იყო ფოტოგრაფიული პროცესების ახალი კონსტრუქციის სანათურები, ელექტროსაგრაფიურო და ცინკოგრაფიული ამომკრელი მანქანები.

ქ. როჩესტერში შექმნეს ავტომატურად სამედიკინო მანქანა, რომელიც აწარმოებს ფირების გამომელაუნებას, ფიქსირებას და გარეცხვას. ნეგატივი მოძრაობს განუწყვეტლივ მოძრავე ლენტის საშუალებით. ერთ საათში შეიძლება გამოვაზელაინო 100 ფირი; მუშის შრომისნაყოფიერება იზრდება 70%-ით.

ფოტოპროცესების წარმოების დასაყრდენია ორი მეცნიერება — ოპტიკა და ქიმია. ფოტოკამერაში გამოსახულების მიღება ხდება ოპტიკის კანონების მიხედვით, ხოლო ქიმიური მოვლენებით შეისწავლება შექმგრძობიარე ზედაპირის შემადგენლობა და მიღებული გაოსახულების დამუშავების მეთოდები.

ფოტოგრაფიული გამოსახულების დამუშავება. ნეგატივის და პოზიტივის მიღება. ახალი ფოტოგრაფიული ტექნიკა

განათების წყაროდან წარმოშობილი სინათლის სხივები როდესაც გაივლის ობიექტივს, ფოტოფირფიტის ან ფოტოფირის შექმგრძობ ფენაზე წარმოშობს საგნის უხილაგანუ ფარულ გამოსახულებას; ქიმიური დამუშავების შემდეგ კი მიიღება ხილული გამოსახულება — ნეგატივი, ხოლო ნეგატივიდან შექმგრძობიარე ფოტოქალაღზე მზადდება ანაბეჭდი — პოზიტივი. ამგვარად, ფოტოგადაღების საწარმოებლად და ფოტოგამოსახულების მისაღებად საჭიროა ჩატარდეს თანმიმდევრობით სამი მთავარი პროცესი: 1) გადაღება, 2) ნეგატივის მიღება და 3) პოზიტივის დამზადება. გადაღების საწარმოებლად გამოიყენება ფოტოგრაფიული აპარატი, რომლის მთავარი ნაწილია კამერა ობიექტივით. თვით ფოტოკამერა შედგება ორი ნაწილისაგან; ეს ნაწილებია: 1) ობიექტივი დიაფრაგმით და საკეტით, 2) ფოტოკამერა მქრქალი მინით. ობიექტივის საშუალებით სინათლის სხივებით საგნის გამოსახულებას ვღებულობთ მქრქალ მინაზე შებრუნებულად. ობიექტივი უნდა ეპოძრაოთ მქრქალი მინის მიმართ მანამ, სანამ გადასაღები საგანი მკვეთრად არ გამოისახება — სანამ საგანი ფოკუსში არ მოხვდება. ფოტოკამერას თუ მქრქალი მინა არ აქვს, მაშინ ფოკუსზე დაყენება ხდება სკალეების საშუალებით. საკეტის მოქმედებით წარმოებს ობიექტივის გამავალი შუქის სინათლის გახსნა ან დაკეტვა, რომელაც გარდატეხის შედეგად გავლენას ახდენს კასეტის შექმგრძობ ფენაზე. ფოკუსის დაყენების დამთავრებისას მქრქალი მინის ნაცვლად ჩავუვამთ კასეტს, რომლის შიგნით მოთავსებულია მგრძობიარე ფირფიტა ან ფიოი. საკეტით გავხსნით ობიექტივს, მოვახდენთ ექსპონირება

ბას — ფოტოფირფიტის მგრძობიარე ფენაზე მოხვედრილი სინათლის სხივები ამ ფენაზე მოახდენს საგნის გამოსახულების გადაღებას. დროის შუალედს, რონელიც საჭიროა ფოტოფირფიტაზე გადაღებისათვის, ეწოდება დაჭერა ანუ ექსპოზიცია. დაჭერის ხანგრძლიობა იცვლება წამის ზეათასედიდან რაზდენიმე წუთამდე. ეს დრო განისაზღვრება ჯერ სპეციალური ცხრილებით, შემდეგ ფოტოგრაფის გამოცდილების მიხედვით. ფოტოგადაღების დასასრულს კასეტი ფოტოფირფიტით უნდა გადავიტანოთ ლაბორატორიაში — ბნელ ოთახში, სადაც ანთებული იქნება წითელი სინათლე და რომელიც გავლენას ვერ მოახდენს შუქმგრძობიარე ფენაზე. ფოტოფირფიტის გამომკვლავნების წინ, წითელსინათლიან ლაბორატორიაში გავხსნით კასეტს და ამოვიღებთ ფირფიტას. მის ზედაპირზე ვერ ვამჩნევთ გამოსახულებას, იგი ფარულად რჩება, მიუხედავად იმისა, რომ შუქის სხივების მოქმედებით ფოტოგრაფიული ფენა გადაღების დროს რაზდენიმედ შეიცვალა. ფარული გამოსახულება რომ გავხადოთ ხილული, საჭიროა ფოტოფირფიტა მოვათავსოთ აბაზანაში, სადაც წინასწარ ჩავასხამთ სამკვლავნ ხსნარს. ფოტოფირფიტა ადგილებზე გაშუქდება, მასზე გამოჩნდება გამოსახულება შავ-ნაცრისფრად, სხვადასხვა სიმკვრივით. რაც უფრო ძლიერია შუქის სხივების მოქმედება ფირფიტის ადგილებზე, მით მეტია ცვლილება ფირფიტაზე, რის გამოც სამკვლავნში ეს ადგილები უფრო გაშავდება. ფარული გამოსახულების ხილულად გადაქცევას გამომკვლავნება ეწოდება. გამომკვლავნებას სჭირდება 4—7 წუთამდე. გამომკვლავნება დასრულებულად შეიძლება ჩაითვალოს მაშინ, როცა გამოსახულება მკვეთრად გამოჩნდება. აკვარად დამუშავებული ფირფიტა ვარეთ სინათლეზე რომ გავიტანოთ, შუქის გავლენით გამოჩნდება ადგილები შეიცვლება. ეს რომ არ მოხდეს, საჭიროა გამოსახულება ფირფიტაზე დავანაგროთ — მოვახდინოთ ფიქსაცია. ფიქსაცია უნდა ვაწარმოოთ სპეციალური ქიმიური ხსნარით, რომელსაც სამაგრი ეწოდება. ამ ხსნარში ფირფიტას ვტოვებთ მანამ, სანამ სამკვლავნში შეუცვლელი ადგილი განჭვირვალე არ ვახდებთ. გამომკვლავნების დროს ბრომერცხლის ნაწილი აღდგება ლითონერცხლად იმ ადგილებში, სადაც სინათლემ იმოქმედა. ბრომერცხლი თითქმის 75% უცვლელი რჩება. ამიტომ ფირს გამომკვლავნების შემდეგ სინათლეზე ვახედვით შეგვიშნავთ მკირე გამოჭვირვალბას, რაც სისუსტის მაჩვენებელია. ამის გამო ბრომერცხლი სინათლის მოქმედებით დროთა განმავლობაში დაიშლება და გამოსახულება დაზიანდება. საჭიროა ფირს დარჩენილი ბრომერცხლი მოვაცილოთ. ასეთ პროცესს ასრულებს სამაგრი ნავთიერება; იგი შლის ბრომერცხლს და გამოსახულებას ხდის სინათლისადნე უგრძობიანს. დამაგობება გრძელდება 10 — 15 წუთს. ამის შემდეგ საჭიროა ფირფიტა ვავრცხოთ და ვავაშროთ. აკვარად გადაღებული საგნის

ნათელი ადგილები ბნელი გახდება, ხოლო ყველაზე ბნელი კი ნათელი დარჩება. ასეთ შეზღუდვებულ გამოსახულებას ნეგატივი ეწოდება, გამომგლავნების და გამამგრების პროცესს კი—ნეგატივური პროცესი. ნეგატივური გამოსახულების სახით ჩვენ ვღებულობთ საგნის შეზღუდვებულ გამოსახულებას, რომლის გადაღებაც ჩვენ ვაწარმოეთ. მაშასადამე, პირდაპირი გამოსახულების მისაღებად, რომელიც ზუსტი ასლი იქნება რომელიმე საგნისა, საჭიროა გამოვიყენოთ სინათლის მოქმედება და ფოტოქადალღზე მოვახდინოთ ბეჭდვა.

ფოტოანაბეჭდვის ანუ პოზიტივური გამოსახულების დანახება შეიძლება ორი სახით: 1) ფოტოქადალღზე შეგვიძლია მივიღოთ ისეთი გამოსახულება, რომელიც თავისი ზომით ნეგატივის თანასწორი იქნება; 2) ფოტოქადალღზე გამოსახულება გამაღიანებელი აპარატით უნდა დავაპროექტოთ და შეგვიძლია მივიღოთ ჩვენს ვის საქიოო ზოზა. პირველ შემთხვევაში ბეჭდვის დროს ნეგატივის ზედაპირი მჭიდროდ იქნება მიკრული ფოტოქადალღის ზედაპირთან, ე. ი. ნეგატივი და ფოტოქადალღი ურთიერთ შორის იქნება კონტაქტში. მეორე შემთხვევაში კი ოპტიკური მოწყობილობით ვახდენთ გამოსახულების პროექტირებას. ამისათვის პირველი სახით პოზიტივის დაზადებას კონტაქტური ბეჭდვა ეწოდება, ხოლო მეორე სახით — პროექციული ბეჭდვა. როცა პოზიტივს ვაზადებთ ფირფიტაზე ან ფირზე, ვღებულობთ ე. წ. დიაპოზიტივს.

ნეგატივური პროცესის დროს გამოიყენება შუქგარანობი ენჯლისის ფენა, რომელიც შედგება ბრომფერცხლისა და ელბატინისაგან. საპოზიტივო მასალა განსხვავებულია და დამუშავების მიხედვით გვხვდება ორი სახის შუქგარანობა ქადალღი: 1) სამელავნი ქადალღი, რომელზედაც გამოსახულება ბეჭდვის შემდეგ უხილავი (დაფარული) რჩება და გამოჩნდება მხოლოდ გამომგლავნების დამთარებისას; 2) დღის ქადალღი ხილული ბეჭდვით, რომელზედაც გამოსახულება გამოჩნდება პირდაპირ სინათლეზე. სამელავნი ქადალღის უპირატესობა ის არის, რომ მასზე შეიძლება ბეჭდვა ვაწარმოოთ არა მარტო კონტაქტური წესით, არამედ მოვახდინოთ გადიდებაც საჭირო ზომამდე. გამოსახულების გადიდებას კი ის მნიშვნელობა აქვს, რომ გადაღება შეგვიძლია ჩავატაროთ მცირე ზომის ფოტოკაპერებით და ამავე დროს შესაძლებლობა იქმნება გამოვასწოროთ ნეგატივის ნაკლოვანებანი, რომელიც გამოწვეულია ექსპოზიციის მეტი თუ ნაკლები ხანგრძლიობით. დღის ქადალღს აქვს მცირე მგრანობიარობა, რის გამოც მოითხოვს შედარებით დიდ ექსპოზიციას, რაც მოუხერხებელია მასობრივი ბეჭდვის დროს; დღის ქადალღზე აგრეთვე არ შეიძლება ვაწარმოოთ გადიდება. ყველაზე დიდი მგრანობიარობა აქვს ბრომფერცხლის საშლავნ ქადალღს. ამ ქადალღის ენჯლისის

შემადგენლობაში შედის ბრომფერცხლი, რომელიც ფოტოგრაფიული ფირ-
ფიტა-ფირის ემულსიისაგან განსხვავდება წვრილმარცვლოვანობით. დღის-
ქალაღის (არისტოტიპული, ცელიდინი) ემულსიის ფენა შეიცავს ქლორ-
ფერცხლს, რომელსაც მკირე მგრძობიარობა აქვს და მასზე დამზადებული
ანაბექტლიც დიდ ხანს არ ინახება. კონტაქტური ბექტდის ან გადიდების
შემთხვევაში ბრომფერცხლის ქალაღი ყველაზე უკეთესი მასალაა. იგი-
ჩქარა ექსპონირდება, იძლევა კარგ ტონებს და ნახევარტონებს, ქმნის
თანაზომიერ რბილ გადასვლებს შუქიდან ჩრდილზე. პოზიტივის გამოსა-
ხულების მიღება სამეღავენ ქალაღზე წარმოებს შემდეგი თანმიმდევრობით:
1) ექსპოზიციის განსაზღვრა და ბექტვა; 2) გამომეღავენება; 3) ფიქსირება;
4) გარეცხვა და გაშრობა.

ექსპოზიციაზე დიდად არის დამოკიდებული გამოსახულების ბარის-
ხი. ექსპოზიციის ცვლილება კი, თავის მხრივ, გამოწვეულია სხვადასხვა
ფაქტორით. ექსპოზიცია ბექტდის დროს მით უფრო ხანგრძლივია, რაც
უფრო მკვირვია ნევატივი, რაც უფრო სუსტია სინათლის წყაროს ძალა,
რაც უფრო მეტია მანძილი ნევატივიდან სინათლის წყარომდე და რაც
უფრო ნაკლებმგრძობიარეა ფოტოქალაღი. გამომეღავენების დროს
ქალაღის მგრძობიარე ზედაპირი უნდა დეფაროთ სამეღაენი ხსნა-
რით, წინააღმდეგ შემთხვევაში ანაბექტლზე წარმოიშეება ზოლები და
წერტილები. ნორმალურ პირობებში ხსნარში მყოფ ქალაღზე დაიწ-
ყება გამოსახულების გამოჩენა, ხოლო დაახლოებით 2 წუთის შემდეგ გამო-
სახულება სრულად გამომეღაენდება. გამომეღაენების დასასრულს სპე-
ციალურ ხსნარში უნდა ვაწარმოოთ ფიქსაცია, ბოლოს კი ქალაღი
გავრეცხოთ და გავაშროთ.

დიაპოზიტივი შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა ფოტოგრაფიულ ფირ-
ფიტაზე და ფირზე, მაგრამ ამ დანიშნულებით უმჯობესია გამოვიყენოთ
სპეციალური დიაპოზიტივის ფირფიტები. დიაპოზიტივის დასამუშავებ-
ლად იხმარება ფოტოქალაღის ჩვეულებრივი ხსნარები. დიაპოზიტივის
და პოზიტივის დამზადების პროცესი ერთნაირია.

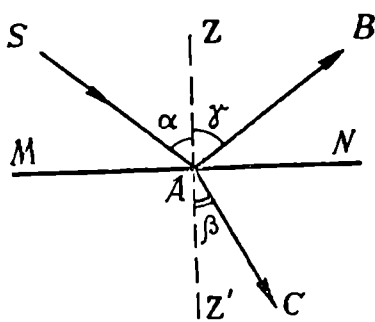
2. ოპტიკური გამოსახულების წარმოქმნის თეორია

ფოტოგრაფიული ოპტიკის ელემენტები

ფოტოგრაფიული კამერის მთავარი ნაწილი—ობიექტივი ოპტიკური სის-
ტემა და წარმოადგენს რამდენიმე ლინზის ერთობლიობას. ლინზები
ისეთი ოპტიკური ხელსაწყოებია, რომელთაც ერთ ან ორივე მხარეს აქვს
სფერული ზედაპირი. ლინზები არის შემკრები და გაშფანტავი. სინათლის
სხივების შეკრებას აწარმოებს ორმხრივამოზნექილი, ბრტყელამოზნექილი
და ჩაზნექილ-ამოზნექილი ლინზები, ხოლო სხივების გაშფანტვას კი ორ-

მხრივჩაზნეკილი. ბრტყელჩაზნეკილი და ამოზნეკილ-ჩაზნეკილი ლინზები შემკრები ლინზები ნაპირებისაკენ თხელია, ხოლო გამფანტავი კი შუა ადგილისაკენ თხელდება. ორმხრივამოზნეკილი ლინზა შეიძლება დაახლოებით წარმოვიდგინოთ როგორც პრიზმათა სისტემა.

მნათი სხეულისაგან გამოსული სინათლის სხივები ვრცელდება განსაზღვრული კანონებით. ეს კანონებია: 1) სხივების სწორხაზოვანი გავრცელება; 2) სხივების არეკვლა და 3) სხივების გარდატეხა. ერთგვარ არეში სინათლის სხივები ვრცელდება სწორხაზოვნად; რომელიმე სხვა არის ზედაპირზე მოხვედრის დროს კი სხივების ნაწილი ბრუნდება პირველ არეში, მეორე ნაწილი გადადის მეორე არეში და იცვლის მიმართულებას. პირველი მოვლენა სინათლის სხივების არეკვლით აიხსნება, ხოლო მეორე — სინათლის სხივების გარდატეხით. სინათლის სხივების არეკვლა ბრტყელი სარკიდან განისაზღვრება ორი კანონით: 1) დაცემული სხივი, ანარეკლი სხივი და დაცემის წერტილში სარკისადმი აგებული პერპენდიკულარი ერთ სიბრტყეში იმყოფება; 2) დაცემის კუთხე უდრის არეკვლის კუთხეს (ნახ. 1). სინათლის სხივების გარდატეხის მიზეზი ის არის, რომ სინათ-



ნახ. 1.

ლის სიჩქარე სხვადასხვა არეში ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. სინათლის სხივების გარდატეხაც ემორჩილება ორ კანონს: 1) დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და არეთა გამოყოფი ზედაპირისადმი დაცემის წერტილში აგებული პერპენდიკულარი ერთ სიბრტყეში იმყოფება; 2) დაცემისა და გარდატეხის კუთხეთა სინუსების შეფარდება მუდმივი სიდიდესა და ეწოდება გარდატეხის მაჩვენებელი.

გარდატეხის მაჩვენებლის სიდიდე ასე გამოიანგარიშება

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

სადაც α არის დაცემის კუთხე;

β — გარდატეხის კუთხე. გარდატეხის მაჩვენებლის სიდიდე ასეც განისაზღვრება

$$n = \frac{v_1}{v_2},$$

სადაც v_1 არის სინათლის სხივის მოძრაობის სიჩქარე პირველ არეში,

ხოლო v_2 — სინათლის სიჩქარე მეორე არეში. ამის მიხედვით სინათლის სხივის გარდატეხის კანონი შეიძლება ასე დავწეროთ

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} .$$

როდესაც მეორე არე ოპტიკურად უფრო მკვრივია პირველზე, დაცემის კუთხე უფრო მეტია გარდატეხის კუთხეზე, ე. ი. $\sin \alpha > \sin \beta$, ანუ $\alpha > \beta$.

აქ მოცემული გარდატეხის მაჩვენებელი ფ ა რ დ ო ბ ი თ ი ა, რომელიც წარმოადგენს მეორე არის გარდატეხის მაჩვენებელს პირველი არის მიმართ. რომელიმე არის ა ბ ს ო ლ უ ტ უ რ ი გარდატეხის მაჩვენებელი ეწოდება ამ არის გარდატეხის მაჩვენებელს სიციარიელის მიმართ. თუ სინათლის სხივის სიჩქარე სიციარიელში არის c , ხოლო პირველ არეში v_1 , მაშინ პირველი არის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელი

$$n_1 = \frac{c}{v_1} ;$$

მეორე არის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელი იქნება

$$n_2 = \frac{c}{v_2} .$$

თუ n_2 სიდიდეს შევაფარდებთ n_1 სიდიდესთან, მივიღებთ

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{cv_1}{cv_2} = \frac{v_1}{v_2} ;$$

აქედან

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} ;$$

$$n = \frac{n_2}{n_1} .$$

მაშასადამე, მეორე არის გარდატეხის მაჩვენებელი პირველი არის მიმართ ეთანასწორება მეორე არის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებლის შეფარდებას პირველი არის აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელთან.

როდესაც სინათლის სხივი ერთი არიდან გადადის ოპტიკურად უფრო მკვრივ მეორე არეში, გარდატეხის კუთხე β უფრო მცირე იქნება შესაბამის α კუთხეზე. დაცემის კუთხის თანდათანობითი ზრდით იზრდება გარდატეხის კუთხეც. უდიდესი გარდატეხის კუთხე $\beta_0 = \beta$, იმ შემთხვევისათვის, როცა $\alpha = \alpha_0 = 90^\circ$. ეს მდგომარეობა ასე გამოისახება

$$n = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \beta_0} ;$$

რადგანაც $\sin 90^\circ = 1$, ამისათვის $n = \frac{1}{\sin \beta_0}$;

აქედან

$$n \sin \beta_0 = 1,$$

$$\sin \beta_0 = \frac{1}{n}.$$

განვიხილოთ საწინააღმდეგო მდგომარეობა, როდესაც სინათლის სხივი ოპტიკურად უფრო მკვრივი მეორე არიდან გადადის პირველ არეში. სინათლის სხივი პირველ არეში გადავა იმ შემთხვევაში, როცა დაცემის კუთხე β არ აღემატება β_0 -ს. β კუთხის თანდათანობითი გაზრდით α კუთხეც გაიზრდება; თუ $\beta = \beta_0$, მაშინ $\alpha = 90^\circ$ და გარდატეხის სხივი თითქმის შეეხება არეთა გამყოფ ზედაპირს. თუ β კუთხე მეტია β_0 -ზე, მაშინ გარდატეხის α კუთხე 90° მეტი უნდა იყოს, რაც შეუძლებელია. ამისათვის გარდატეხას ადგილი არ ექნება — არეთა გამყოფ ზედაპირზე დაცემული სხივი მთლიანად აირეკლება იმავე არეში და დაცემის კუთხე არეველის კუთხის თანასწორი იქნება. ასეთ მოვლენას სრული შინაგანი არეკვლა ეწოდება.

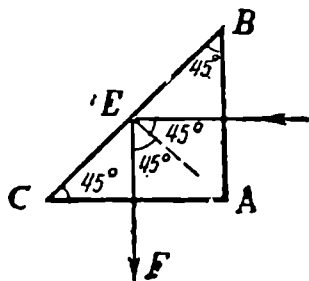
ზღვრული კუთხის β_0 სიდიდე მინისათვის უნდა გამოვიანგარიშოთ გარდატეხის მაჩვენებლის მიხედვით. მინისათვის $n = \frac{3}{2}$, რის გამოც

$$\sin \beta_0 = \frac{1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} = 0,67;$$

აქედან

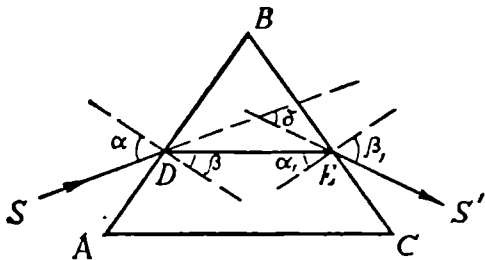
$$\beta_0 = 42^\circ.$$

თუ სინათლის სხივი უნდა გადავიდეს მინიდან ჰაერში და დაცემის კუთხე $\alpha > 42^\circ$, მაშინ იგი ვერ გადავა ჰაერში და მოხდება მისი სრული არეკვლა. ასეთი მოვლენა აღინიშნება მინის სწორკუთხოვან პრიზმაში (ნახ. 2), თუ სინათლის სხივი პერპენდიკულარული იქნება AB და AC წახნაგისადმი. სინათლის სხივი SD შედის მინის პრიზმაში, ისე რომ არ განიცდის გარდატეხას, რადგანაც იგი პერპენდიკულარულია AB -ს მიმართ და ეცემა CB ზედაპირზე. დაცემის კუთხე $\beta = 45^\circ$ მეტია ზღვრულ კუთხეზე, რომელიც მინისათვის უდრის 42° . ამის გამო მოხდება სინათლის სხივის სრული შინაგანი არეკვლა; არეკვლის კუთხე $\alpha = \beta = 45^\circ$. დაცემის DE სხივსა და EF სხივს შორის მოთავსებული კუთხე იქნება 90° .



ნახ. 2.

ობიექტივების მოქმედების გასაგებად მნიშვნელოვანია ის მოვლენა, რომელიც წარმოიშობა შინის სამწახნაგოვან პრიზმაში სინათლის სხივების გავლის დროს, როცა გარდატეხა ხდება ორწახნაგოვანი კუთხის წარმოშეცნელ ზედაპირზე. თუქსინათლის SD სხივი ეცემა სანწახნაგოვან შინის პრიზმაზე (ნახ. 3), რომლის კვეთით წარმოადგენს ABC სამკუთხედს, D წერტილთან სინათლის სხივი ჰაერიდან გადადის შინაში. წარმოშობილი გარდატეხის β კუთხე ნაკლებია დაცენის α კუთხეზე. პრიზმის F წერტილთან სინათლის სხივი ოპტიკურად მკვრივი გარემოდან გადადის ჰაერში, რის გამოც გარდატეხის β_1 კუთხე მეტია დაცემის α_1 კუთხეზე: ამ დროს პრიზმა სინათლის სხივებს ხრის თავის ფუძის მიმართ. იმ კუთხეს, რომელსაც პრიზმიდან გამოსული სხივი ქმნის საწყის მიმართულებასთან, გადახრის კუთხე ეწოდება.



ნახ. 3.

შინის სხივის პრიზმაში გავლის დროს სხივის გარდატეხასთან ერთად წარმოიქმნება სპექტრი — თეთრი სხივი დაიშლება შემადგენელ ფერად სხივებად. სპექტრში ფერები განლაგდება შემდეგი წესით: წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, მწვანე, ცისფერი, ლურჯი და იისფერი. ასეთი სპექტრას წარმოშობის მიზეზია სხვადასხვა ფერის სხივების სხვადასხვა გარდატეხილობა. ყველაზე ძლიერად გარდატეხდება იისფერი სხივები, ყველაზე სუსტად კი — წითელი სხივები. სხივების სხვადასხვა გარდატეხილობა გამოწვეულია იმით, რომ სიცარიელეში მათი მოძრაობის სიჩქარე ერთნაირია, ხოლო შეუარებთ მკვრივ არეებში — სხვადასხვა. სხივის გარდატეხის n მაჩვენებელი ამ შეცთხვევისათვის განისაზღვრება

$$n = \frac{v_0}{v}$$

სადაც v_0 არის სინათლის სიჩქარე სიცარიელეში, v კი სინათლის სიჩქარე როცელივე გარემოში.

რადგანაც v სიდიდე სხვადასხვა ფერას სხივებისათვის სხვადასხვაა, ასევე იქმნება გარდატეხის მაჩვენებელიც და ამავე მიზეზით ხდება თეთრი სხივის დაქლა სხვადასხვა ფერის სხივებად. თეთრი სხივის შემადგენელ ფერად სხივებად დაშლის მოვლენას დისპერსია ეწოდება. სინათლის სხივის დისპერსია პირველად ი. ნიუტონმა შეისწავლა. მანვე დაამ-

ტიკა აგრეთვე, რომ სპექტრის ფერების ერთმანეთში შერევიტ ისევ თეთრი სხივი მიიღება.

სპექტროსკოპის საშუალებით აღმოჩენილ იქნა, რომ არსებობს გამოსხივების და შთანთქმის სპექტრი. გამოსხივების სპექტრი მიიღება გაფარვარებული მყარი, თხევადი და გაზოვანი ნივთიერებებისაგან. ასეთი სპექტრი შეიძლება იყოს უწყვეტი, ხაზოვანი და ზოლოვანი. შთანთქმის სპექტრი კი წარმოიშვება, თუ თეთრ სხივებს გავატარებთ რომელიმე არეში, რომელიც შთანთქავს სხივების ნაწილს; შთანთქმული სხივების ადგილზე მივიღებთ ბნელ ხაზებს. მზის სპექტრი წარმოადგენს შთანთქმის სპექტრს, აქაც სხვადასხვა ადგილზე მიიღება ბნელი ხაზები. მზის სპექტრში აღმოჩენილ იქნა რამდენიმე ათასი ასეთი ბნელი ხაზი, რომელთაგან შესანიშნავია წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, მწვანე, ცისფერი, ლურჯი და იისფერი ხაზები. ხაზების საშუალებით შესაძლებელი ხდება გამოვარკვიოთ, თუ როგორი ნივთიერებანი არსებობს მზეზე.

თუ სინათლის სხივი გადის მინის ბრტყელ-პარალელურ ფირფიტაში, რომლის ორივე ზედაპირი ჰაერს ესაზღვრება, მაშინ სხივი ორჯერ გადატყდება, — ჰაერიდან მინაში და მინიდან ჰაერში გადასვლის დროს. ასეთ პირობებში სხივი ინარჩუნებს თავის მიმართულებას, მხო-

ლოდ განიცდის გვერდით გადანაცვლებას (ნახ. 4). გარდატეხის კანონის თანახმად, მივიღებთ

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

$$\frac{\sin \alpha'}{\sin \beta'} = \frac{v_2}{v_1},$$

სადაც v_1 არის სინათლის სიჩქარე ჰაერში, ხოლო v_2 — სინათლის სიჩქარე მინაში.

ამ ფორმულების გადაამრავლებით მივიღებთ

$$\frac{\sin \alpha \cdot \sin \alpha'}{\sin \beta \cdot \sin \beta'} = 1;$$

$\angle \beta = \angle \beta'$, როგორც შინაგანი ჯვარედინად მდებარე კუთხეები, ამის გამო გვექნება

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 1;$$

აქედან

$$\sin \alpha = \sin \beta;$$

მაშასადამე

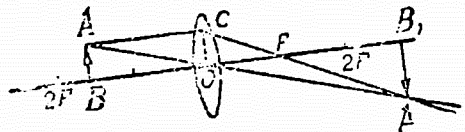
$$\alpha = \beta'.$$

ამ კუთხეების ტოლობიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მინიდან გამოსული BC სხივი პარალელურია დაცემული SA სხივისა; ასეთი დამოკიდებულება გამოწვეულია შემდეგით: როცა სინათლის სხივი 'შედის მინის ფირფიტაში, უახლოვდება პერპენდიკულარს, მინის ფირფიტიდან გამოსვლის დროს კი იმდენადვე შორდება პერპენდიკულარს და ამისათვის საწყისი მიმართულების პარალელური ხდება. პარალელურ სხივებს შორის მანძილი მით უფრო მცირდება, რაც თხელია მინის ფირფიტა. ძლიერ თხელი ფირფიტის შემთხვევაში მასში გასული სხივი ოთქმის გაყვება საწყის მიმართულებას.

ლინზების ოპტიკური ნაკლვანება

ორმხრივ ამოხნილ ლინზას თუ დავაყენებთ განათებული საგნის წინ, ლინზის მეორე მხარეზე, ფოკუსში, მივიღებთ საგნის შემცირებულ და შებრუნებულ გამოსახულებას. საგნის ლინზასთან მიახლოებით გამოსახულება ლინზას დაცილდება და გადიდება. როცა საგანი ორმაგი საფოკუსო მანძილით იქნება დაშორებული, მისი გამოსახულებაც ორმაგი საფოკუსო მანძილით იქნება დაცილებული მეორე მხარეზე; ამ დროს გამოსახულების სიდიდე საგნის სიდიდის თანასწორი იქნება. როცა საგანი ლინზის მთავარ ფოკუსში იმყოფება, მაშინ ლინზაში გაელილი სხივები ერთმანეთის პარალელური იქნება და გამოსახულებაც არ წარმოიქმნება.

ორმხრივ ამოხნილი ლინზა გადიდებულ გამოსახულებას იძლევა აგრეთვე მაშინ, როდესაც სხეული მოთავსებულია ლინზის მთავარ ფოკუსსა და ორმაგ ფოკუსს შორის. ჩვეულებრივ საგნის გამოსახულებას ვღებულობთ ლინზის მეორე მხარეზე გადიდებულს, შებრუნებულს და ნამდვილს (ნახ. 5). თუ AB საგანი პერპენდიკულარულია მთავარი ოპტიკური ღერძისადმი, მაშინ A_1B_1 გამოსახულებაც პერპენდიკულარული იქნება ამავე ღერძისადმი. O ოპტიკური ცენტრიდან გავავლოთ OC სწორი ხაზი, პერპენდიკულარული ოპტიკური ღერძისადმი; მაშინ $AB = OC$, რის გამოც ლინზის გადიდება შეიძლება ასე გამოვსახოთ



ნახ. 5.

$$g = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{A_1 C_1}{OC}$$

$\angle FB_1 = \angle OFC$, როგორც ვერტიკალურს კუთხეები: ამისათვის ორჯერაღიანი საკუთხედები $A_1 B_1 F$ და OCF მსგავსია. ამ სამკუთხედებს მსგავსებიდან ვაიზომდინარე

$$\frac{A_1 B_1}{OC} = \frac{FB_1}{OF};$$

$$FB_1 = GB_1 \quad OF = f \quad F,$$

სადაც f არის ფაქოსსტელის ფოკუსური მანძილი, ხოლო F — მთავარი ფოკუსური მანძილი.

აიხსენებოთ

$$\frac{A_1 B_1}{OC} = \frac{f - F}{F} = \frac{f}{F} - 1,$$

ლინზის გაზადიღებლობა განისაზღვრება

$$g = \frac{A_1 B_1}{OC} = \frac{f}{F} - 1;$$

შიახლოებით შეიძლება დავწეროთ

$$g = \frac{f}{F};$$

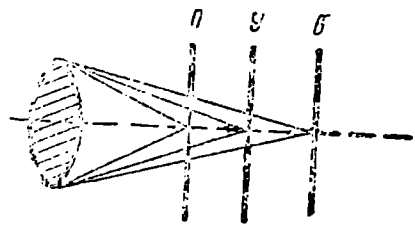
შეშასადავ, ორმხრივ ამოზნექილ ლინზაში გამოსახულების გადიდებული სიდიდე ეთანასწორება გამოსახულების ფოკუსური მანძილის შეფარდებას მთავარ ფოკუსურ მანძილთან.

შეშკრები ლინზა საკმაოდ გარკვეულ გამოსახულებას გვაძლევს, მაგრამ მას შიანც აქვს მთელი რიგი ნაკლოვანებებისა. ამ ნაკლოვანებათა შედეგად ვღებულობთ არასაკმარისად მკვეთრ და დამახინჯებულ გამოსახულებას.

ლინზის ნაკლოვანებებს მიეკუთვნება: ქრომატული აბერაცია, სფერული აბერაცია, კომა, გამოსახულების არის გამრუდება, დისტორსია.

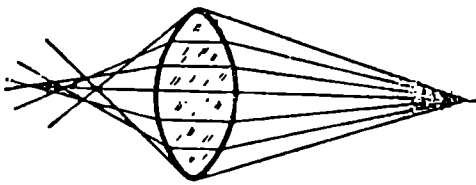
ქრომატული აბერაცია გამოწვეულია დისპერსიით — თეთრი სხივების ფერად სხივებად დაშლის მოვლენით. ლინზაში გავლილი სხივები მეტნაკლებად დაიხრება; ყველაზე მკირედ დაიხრება წითელი სხივები, ყველაზე მეტად — იისფერი, დანარჩენი ფერის სხივების დახრილობა მათ შუა იქნება მოთავსებული. ამ მიზეზის გამო ლინზაში გარდატეხილი სხივები ერთ წერტილში არ მოიყრის თავს, თეთრი სხივი გაიყოფა შეზადგენელ ფერად სხივებად, რომელთა ფოკუსები ერთმანეთიდან დაცი-

ღებულის აღმოჩენდება (ნახ. 6). ამ სახით წარმოიშვება გამოსახულების არასაკმარისი სიმკვეთრე. ქრომატული აბერაციის შეშლვა შეიძლება ობიექტივის ნახევრების დიაფრაგმის დაბატარაობით, რაც განიხილვის სხივების შედარებით მცირე გაფანტულობას. ასეთი აბერაციის თავიდან აცილება შეიძლება აგრეთვე ობიექტივში ორი — შემკრები და გამფანტავი ლინზის შეერთებით. ასეთ ორმაგ შეკრულ ლინზას ეწოდება ლანდშაფტური ანუ აქრომატული ლინზა.



ნახ. 6.

სფერული აბერაცია წარმოიშვება იმის გამო, რომ ლინზის ნაპირთან გავლილი სხივები უფრო ძლიერ გადატყდება, ვიდრე ოპტიკურ ღერძთან ახლოს გავლილი სხივები (ნახ. 7). ამის გამოც მიიღება არასაკმარისი სიმკვეთრის გამოსახულება. სფერული აბერაციის წარმოქმნის მიზეზი ის არის, რომ ლინზის ნაპირებში მინის სიმრუდე შეტია, სხივების გარდატეხაც ძლიერად ხდება, ვიდრე ლინზის ნაკლებად მრუდე ადგილებში. ამისათვის გარდატეხილი სხივების ოპტიკურ ღერძთან გადაკვეთის წერტილები უფრო ახლოს იქნება ლინზასთან, ვიდრე ლინზის შუა ადგილებში გავლილი სხივების გადაკვეთის წერტილები. სფერული აბერაციის საწინააღმდეგოდაც საჭიროა შევავართოთ შემკრები და გამფანტავი ლინზები.



ნახ. 7.

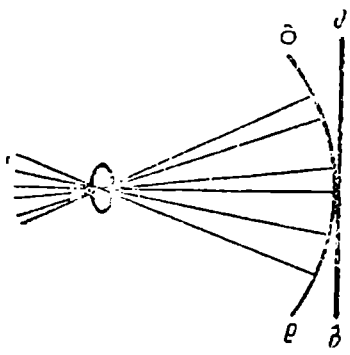
კომა სფერული აბერაციის მსგავსი მოვლენაა. იგი წარმოიშვება იმ სხივებისაგან, რომლებიც მიმართულია ოპტიკური ღერძის არაპარალელურად და რომელთა გარდატეხაც ოპტიკური ღერძის არეში არ ხდება.

ასეთ შემთხვევაში მკრქალ მინაზე მიიღება ლაქა, რომელსაც სასვენი ნიშნის — მძიმის (,) ფორმა ექნება; ლათინურად მძიმეს ეწოდება „კომა“.

გამოსახულების არის სიმრუდე გამოწვეულია იმით, რომ ლინზები წარმოადგენს სფერული სხეულების ერთ ნაწილს, რის გამოც გამოსახულება მიიღება არა ერთ სიბრტყეში და განაწილდება განსაზღვრული მრუდი ხაზით (ნახ. 8). ეს იმ დროს, როცა მინის ფირფიტას და ფოტოფირს აქვს ბრტყელი ზედაპირი. ამ მიზეზით შუქმგოდნობ ფირ-

ფიტაზე მიღებული გამოსახულება მკვეთრი არ იქნება. ეს ნაკლოვანება არ სწორდება მაღალხარისბოვან ობიექტივებშიაც კი.

ასტიგმატიზმი ძლიერ მავნე და ძნელად გამოსასწორებელი ნაკლოვანებაა. ასტიგმატიზმის დროს შეუძლებელია მივიღოთ ფოტოფირზე რომელიმე საგნის თანაბრად მკვეთრი პორიზონტალური და ვერტიკალური ხაზები, მკვეთრი იქნება პორიზონტალური ან ვერტიკალური ხაზები. ამ მოვლენის საწინააღმდეგოდ ხზარობენ „ანასტიგმატ“ ობიექტივებს, რომელთა სხვადასხვა ხასიათის ლინზა აგრეთვე შეკრულ-შეწყებებულია.



ნახ. 3.

დისტორიის მოვლენა წარმოიშობება დიაფრაგმის გამოყენების დროს. ლინზების ზოგიერთი ნაკლოვანების გამოსწორება ხდება დიაფრაგმის საშუალებით, მაგრამ თვით დიაფრაგმის ხზარება იწვევს ახალ ნაკლოვანებას, რაც გამოსახება ხაზების გამრუდებაში.

ეს უარყოფითი თვისება უფრო საგრძნობი ხდება გამოსახულების ნაპირებზე და პირდაპირი ხაზების გადაღების დროს. დისტორიის მოსპობა შეიძლება, თუ

ერთგვარ მანძილზე დაცილებულ ორ ლინზას შორის მოვათავსებთ დიაფრაგმას. ასეთი გადაღების შემთხვევაში გამრუდებას ადვილი აღარ ექნება.

ფოტოგრაფიული ობიექტივები

ფოტოგრაფიული აპარატის ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილი ობიექტივია. ეს ოპტიკური მოწყობილობა შედგენილია ლინზებისაგან. თანამედროვე ფოტოგრაფიული აპარატების ობიექტივები შედგება 3—8 ლინზისაგან. ლინზები ერთმანეთზე დაკრულია სპეციალური წებოთი ან მათ შუა იმყოფება ჰაერი.

ობიექტივისაც აქვს მთავარი ფოკუსური მანძილი, რომლის სიდიდე განისაზღვრება მანძილით მქრქალ მინასა და ობიექტივის ოპტიკურ ცენტრს შორის. მქრქალი მინის სიბრტყის გადაკვეთის ადგილი ოპტიკურ ღერძთან ქმნის მთავარ ფოკუსს. ობიექტივისა და ლინზისათვის მთავარი ფოკუსური მანძილი მუდმივია, გამოსახება სანტიმეტრობით ან მილიმეტრობით და აღნიშნულია ობიექტივის ჩარჩოზე. ნორმალური ფოკუსური მანძილად ჩაივლება: 9×12 სმ ფორმატიანი ნეგატივისათვის — 13, 5 სმ; 6×9 სმ ნეგატივისათვის — 11 სმ; 6×6 სმ ნეგატივისათვის — 7,5 სმ; 24×36 მმ სტირეტოგრამატიანი ნეგატივისათვის — 5 სმ.

ფოკუსური მანძილის გამოსაანგარიშებლად ჩვეულებრივად გამოიყენება ორმხრივ ამოზნექილი ლინზის ფორმულა

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

სადაც d არის მანძილი საგნიდან ლინზამდე, f — მანძილი გამოსახულებიდან ლინზამდე, F — მთავარი ფოკუსური მანძილი.

ამ ფორმულიდან შეიძლება დაეწიროთ

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f};$$

მაშასადამე, ფოკუსური მანძილის შეცვლით, პოპორციულად იცვლება გამოსახულების სიდიდეც.

ობიექტივები შეირჩევა ფოკუსური მანძილის მიხედვით, ნეგატივის ზომასთან შეფარდებით. მაგალითად, პორტრეტული გადაღებისათვის უნდა ვიხმართ გრძელფოკუსურ მანძილიანი ობიექტივები; ასეთ შემთხვევაში უმეტესად შეიძლება გამოვიყენოთ ობიექტივი ისეთი ფოკუსური მანძილით, რომელიც მიღებული ნეგატივის დიაგონალის ორმაგი სიგრძის ტოლია.

ფოკუსური მანძილით განისაზღვრება ექსპოზიციის დროც. რეპროდუქციული გადაღების შემთხვევაში მიღებულია, რომ ორიგინალიდან შუქმგრძობ ფენამდეს L მანძილი 4—7-ჯერ მეტი იყოს ობიექტივის F ფოკუსურ მანძილზე. შუქმგრძობი ფენის Ec განათებულობა პირდაპირპროპორციულია ორიგინალის Eo განათებულობისა და უკუპროპორციულია ორიგინალსა და შუქმგრძობ ფენას შორის მანძილის კვადრატისა

$$\frac{Ec_1}{Ec_2} = \frac{L_1^2}{L_2^2} = \frac{F_2^2}{F_1^2} = \frac{t_2}{t_1},$$

სადაც Ec_1 , L_1 , t_1 არის შუქმგრძობი ფენის განათებულობა, დაცილება ორიგინალიდან შუქმგრძობ ფენამდე და ექსპოზიცია F_1 ფოკუსური მანძილის დროს;

Ec_2 , L_2 , t_2 იგივე სიდიდეებია F_2 ფოკუსური მანძილის შემთხვევაში. ამ განტოლებიდან გამომდინარეობს

$$t_2 = t_1 \frac{F_2^2}{F_1^2}.$$

მაგალითად, თუ გადაღებას ვაწარმოებთ 50×60 სმ ფირფიტაზე, 60×60 სმ ფოტოაპარატით, რომლის ობიექტივის ფოკუსური მანძილი $F_1 = 60$ სმ, ექსპოზიცია $t_1 = 3$ წუთს. ანალოგიურ შემთხვევაში

120 × 120 სმ ფოტოაპარატის გამოყენებისას, რომლის ობიექტივის ფოკუსური მანძილი $F_2 = 50$ სმ, ექსპოზიცია იქნება

$$t_2 = 3 \cdot \frac{90^3}{60^2} = 6,75 \text{ წუთი.}$$

წექმგრძნობიარე ფენის გამოსახულების რომელიმე წერტილის E_x განათებულობა განისაზღვრება ცენტრალური წერტილის E_0 განათებულობის მიხედვით

$$E_x = E_0 \cos^2 \alpha,$$

სადაც α არის კუთხე, რომელიც მოთავსებულია ობიექტივის ოპტიკურ ღერძსა და x წერტილზე დაცემულ სხივებს შორის;

$\alpha = \beta$ — ობიექტივის მხედველობითი კუთხის ნახევარი.

გამოსახულების ნაპირა ადგილების განათებულობა გამოიანგარიშება: „ინდუსტარი“ და „აპოტესარი“ ობიექტივებისათვის $\beta = 20^\circ$. ამ შემთხვევაში

$$E_x = 0,78 E_0.$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ ნაპირებზე განათებულობის დანაკარგი შეადგენს 22%. ასეთი დანაკარგი იცვლება ფოკუსური მანძილის მიხედვით; მაგალითად, როცა $F = 60$ სმ, განათებულობის დანაკარგი იქნება 19%; როცა $F = 75$ სმ, დანაკარგია 13%, ხოლო როცა $F = 90$ სმ, დანაკარგი აღწევს მხოლოდ 10%.

ობიექტივის შუქძალა ეწოდება ობიექტივის უნარს, მოგვცეს გამოსახულება გარკვეული სიკაშკაშით ფოტოგრაფიულ ფირფიტაზე ან ფოტოფირზე. ობიექტივის შუქძალა იძლევა ფოტოფენის სხვადასხვა სიძლიერის განათებულობას. რაც უფრო ძლიერია შუქძალა, მით უფრო მკირე ექსპოზიციაა საჭირო სურათის გადაღების დროს. შუქძალის სიდიდე უშუალოდ დამოკიდებულია ობიექტივის ნახვრეტზე. რაც უფრო დიდია ეს ნახვრეტი, შუქძალის მოქმედებაც მატულობს. ობიექტივის ზომას ცვლის დიაფრაგმა. ობიექტივის შუქძალის მოქმედების უნარის შესამოწმებლად გამოიყენება ფორმულა

$$d = \frac{D}{F},$$

სადაც d არის ობიექტივის ნახვრეტის შეფარდებითი დიამეტრი, D — ობიექტივის დიამეტრი, F — ობიექტივის ფოკუსური მანძილი.

ობიექტივის ნახვრეტის შეფარდებითი სიდიდით განისაზღვრება ობიექტივის შუქძალის სიდიდე. წექძლიერი ობიექტივების დიამეტრი უფრო მეტია, ვიდრე მათი ფოკუსური მანძილი. ობიექტივების დიამეტრს საერთოდ თვლიან ერთეულად; ამის გამო შეფარდებითი ნახვრეტის სიდიდეს

აღნიშნავენ ობიექტივის ჩარჩოზე, მაგალითად 1:4. თანაბრობე ფოტოპარატებისათვის იხსარება ობიექტივები, რომელთა სწავარდნაიანი ნახერტის სიდიდეა 1:1,5; 1:2; 1:2,8; 1:3,5; 1:4; 1:4,5; 1:6,3. ეს იმას ნიშნავს, რომ ასეთი ობიექტივების სუქშალის წესაბანისი სიდიდეებია: 1,5; 2; 2,8; 3,5; 4; 4,5; 6,3. ორი ობიექტივას სწავარდნითი სუქშალის გამოსაანგარიშებლად საჭიროა სუქშალის სიდიდეები სწავარდნითი ერთმანეთთან და ავიჯვანოთ კვადრატში. მაგალითად, სწავარდნით ერთმანეთს 4,5 და 1,5 სუქშალიანი ორი ობიექტივი; მივიღებთ

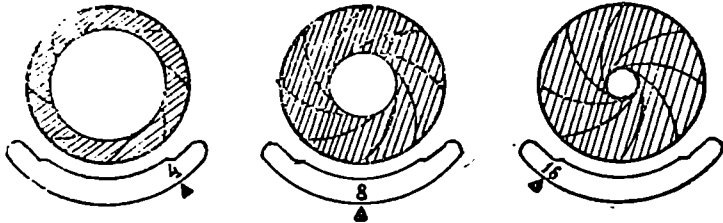
$$(4,5 : 1,5)^2 = 3^2 = 9.$$

მაშასადამე, ნეორე ობიექტივი 9-ჯერ სუქშლიერია, ვიდრე პირველი ობიექტივი. ანისათვის გადაღების ერთნაირ პირობებში სწავარდნითი ობიექტივის სმარების დროს დავერა 9-ჯერ ნაკლებია საჭირო პირველ ობიექტივთან შედარებით. დაახლოებით, ნეორე ობიექტივის გამოყენებისას, თუ საჭიროა ექსპოზიცია $\frac{1}{100}$ წამი, პირველის სემთხვევანი საჭირო იქნება $\frac{1}{10}$ წამი.

ამგვარად, სუსტი განათების დროს მოკლე ექსპოზიციით გადაღებისათვის საჭიროა გეკონდეს ფოტოგრაფიული ობიექტივი დიდი სუქშალით.

ობიექტივის ზედაპირზე დაცეული სინათლის სხივების მცირე ნაწილი შთაინთქება, მნიშვნელოვანი ნაწილი აირეკლება, უმთავრესი ნაწილი კი გარდატეხილი სხივების სახით მივა ფოტოფირამდე. როცა ობიექტივი შედგენილია 6—8 ლინზისაგან. სინათლის სხივების დანაკარგი არეკვლის გამო აღწევს 30% და მეტს. სინათლის სხივების ასეთი დანაკარგის შესამცირებლად ამ ბოლო დროს გამოყენებულია ე. წ. „ცისფერი ოპტიკა“. ასეთი ოპტიკის გამოყენების აზრი იმასი მდგომარეობს, რომ ლინზის ზედაპირზე მოათავსებენ განსაზღვრული სისქის და სემადგენლობის მოლურჯო გამჭვირვალე ფირის ფენას. ფენის სისქე აღწევს კინოფირის ფენის სისქის ერთ ზეათედს. ასეთი ფირი ძლიერ აბსორბენს სინათლის სხივების არეკვლილ დანაკარგს. ასეთი საშუალებით ობიექტივი ბევრად უფრო სუქილიერო ხდება. ობიექტივის ნახერტის ზომის შესაცვლელად დიდი მნიშვნელობა აქვს დიაფრაგმის კონსტრუქციას. დიაფრაგმა სამი სახისაა: 1) ირისული, 2) ჩასადგენელი და 3) მბრუნავი. თანამედროვე ფოტოგრაფიაში იხსარება ირისული დიაფრაგმა, რომელიც ყველაზე უკეთესი კონსტრუქციისაა. ირისული დიაფრაგმა შედგება ნამგლისებური თხელი ფირფიტებისაგან, რომელთა საშუალებით წარმოებს ობიექტივის ნახერტის შემცირება სხვადასხვა ზომაზე (ნახ. 9). დიაფრაგმის ამოძრავება წარმოებს სპეციალური რგოლის მოძრუნებით.

დიაფრაგმის დახმარებით შეგვიძლია აგრეთვე გამოსახულების სიმკვეთრის ან ფოკუსის სიღრმის შეცვლა, ე. ი. რამდენიმე თანაბარი სიწვევითი შივილოთ ახალმდებარე და დაშორებული საგნები. მაგრამ არ შეიძლება დიაფრაგმის ნახვრეტის ძლიერ შემცირება, რადგანაც ამ დროს ხდება სხივების გადახრა ოპტიკური ღერძის პარალელნიდან და გამოსახულების ხარისხი უარესდება.



ნახ. 9.

გამოსახულების სიმკვეთრის სიღრმე მით უფრო მეტია, რაც უფრო მცირეა ნახვრეტი, რაც უფრო მცირეა ფოკუსური მანძილი და რაც უფრო დაშორებულია გადასალევი საგანი ობიექტივიდან.

დიაფრაგმის ნახვრეტის ზომის მიხედვით განისაზღვრება ექსპოზიციის სიდიდეც. ამის შესახებ განმარტებას იძლევა ქვემოთ მოყვანილი პარველი ცხრილი.

ცხრილი 1

დიაფრაგმა	1, 4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22	32	36
ექპოზიცია	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	640

ცხრილიდან ჩანს, რომ 32 დიაფრაგმისათვის ექსპოზიცია დაახლოებით 60-ჯერ უფრო ხანგრძლივია, ვიდრე 4 დიაფრაგმისათვის, ხოლო 500-ჯერ მეტია, ვიდრე 1,4 დიაფრაგმისათვის. ობიექტივს თუ აქვს შუქქალა — 2, დიაფრაგმა — 5,6, მაშინ ექსპოზიცია იქნება $16:2=8$, ე. ი. დაქერა უნდა გავზარდოთ 8-ჯერ. ასეთივე ანგარიში შეგვიძლია ვაწარმოოთ სხვა შემთხვევებშიც.

ფოტოგრაფიულ აპარატში მყოფ ყოველ ობიექტივს აქვს მოქმედების კუთხე, რომელსაც გამოსახულების გამოსაყენებელი კუთხე ეწოდება. ეს კუთხე შექმნილია სწორი ხაზებიდან, რომლებიც გამოდიან ობიექტივიდან და გაივლიან ფირის ნაპირებზე; ხაზების მეორე საწინააღმდეგო ნიშართულებით გაგრძელების შუა მოთავსებული იქნება გადასალევი საგანი. ობიექტივების გამოსახულების კუთხის სიდიდე ცვალებადია.

ბალია. ამ სიდიდის გამოსახულებად შეიძლება გამოვიყენოთ ფორმულა

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{0,5L}{F},$$

სადაც ω არის განოახულების კუთხის ნახევარი. ნეგატივის სიგრძის, სიგანის ან დიაგონალის მიხედვით;

L — ნეგატივის სიგრძე, სიგანე ან დიაგონალი;

F — ობიექტივის ფოკუსური მანძილი.

თუ $L = 3,6$ სმ, $F = 5$ სმ, მაშინ

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{0,5 \cdot 3,6}{5} = 0,36,$$

აქედან

$$\omega = 20^\circ;$$

გამოსახულების კუთხის სიდიდე იქნება

$$20^\circ \cdot 2 = 40^\circ.$$

მცირე ზომის ნეგატივების სიგრძე 1,5-ჯერ მეტია სიგანეზე, ამისათვის, როდესაც ფოკუსური მანძილი 5 სმ, სიგრძეზე გადაღების დროს გამოსახულებით კუთხე აღწევს 40° , სიგანეზე გადაღებისას კი— 27° .

ფოტოგრაფიაში იხმარება მარტივი და რთული ობიექტივები. მარტივს მიეკუთვნება მონოკლები და აქრომატული ლინზები; რთულს კი აპლანატები, პერისკოპები, ანასტიგმატები, ტელეობიექტივები და ფართოკუთხიანი ობიექტივები.

მონოკლი ყველაზე მარტივი ობიექტივია, ხშირად გამოიყენება პორტრეტული გადაღებებისათვის, წარმოადგენს ორმხრივ ამოხნილილ ან ჩაზნექილ-ამოხნილილ ლინზას.

აქრომატული ლინზა უმეტესად გამოიყენება ლანდშაფტების გადასაღებად. იგი შედგება ორმხრივამოხნილი და ორმხრივჩაზნექილი მინისაგან, რის გამოც ქრომატულად გაშრულებულია და ეწოდება „აქრომატი“. აქრომატული ლინზით ხდება სფერული და ქრომატული აბერაციის გამოსწორება.

აპლანატი სიმეტრიული ობიექტივია, რომელიც შედგება ორი ნაწილისაგან — აქრომატული ლინზებისაგან.

პერისკოპიც სიმეტრიული ორმაგი აქრომატული ობიექტივია. მისი ლინზები დამზადებულია სასათვალე მინისაგან.

ანასტიგმატი ეწოდება ასტიგმატიზმისაგან განთავისუფლებულ ობიექტივს. თანამედროვე ობიექტივების უმრავლესობა სიმეტრიული და არასიმეტრიული ანასტიგმატებია. ლინზების წვერთების მიხედვით

ანასტიგმატები არის შეწებებული, ნახევარშეწებებული და შეუწყნავი. შეწებებული ანასტიგმატი შედგენილია 4 — 8 ლინზისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია კანალის ბალზამით. ლინზების ასეთი შეკავშირებით შეიქმნება ახალი რთული ლინზები. ნახევრად შეწებებული ობიექტივი წარმოადგენს შეწებებული და შეუწყნავი ლინზების ერთობლიობას. შეუწყნავი ლინზების დამახასიათებელი ის არის, რომ ობიექტივის ლინზების შუაზე მოთავსებულია ჰაერი. რითაც იქნება მინებისა და ჰაერის კომბინაცია. ანასტიგმატით თითქმის აცილებულია ყველა ნაკლოვანება, გარდა ე. წ. „რეფლექსებისა“. რეფლექსი წარმოიშვება ჰაერთან აბლომყოფი გაკრიალებულზედაპირიანი ლინზებიდან სხივების არეკვლით. რეფლექსის მოსპობას კი ვალწვეთ „ცისფერი ოპტიკით“. ასეთი ლონისტივების ჩატარებით ობიექტივები ხდება სრულყოფილი და საშუალება გვეძლევა გადაღება ვაწარმოთ ყოველგვარ პირობებში.

ტელეობიექტივს აქვს დიდი ფოკუსური მანძილი, რაც საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოთ დაშორებული საგნების გადაღება. ასეთ შემთხვევაში გადაღება თუ ვაწარმოთ ჩვეულებრივი ობიექტივით, საგნის გამოსახულება შეტად მცირე ზომის გამოდის. ტელეობიექტივი საუკეთესო შედეგებს იძლევა ცოცხალი ბუნებისა და დიდი ზომის პორტრეტული გადაღებისათვის. ტელეობიექტივს აქვს შედარებით მცირე სიმკვეთრის სიღრმე, რის გამოც პორტრეტული გამოსახულება გამოდის პლასტიკური რბილი ფონით. სამაგიეროდ ტელეობიექტივი გამოუსადეგარია ტექნიკური გადაღებებისათვის.

ფართოკუთხიანი ობიექტივის დანახასიათებელია მცირე ფოკუსური მანძილი, აქვს დიდი თვალთახედვის კუთხე — აღწევს 80°. ამის გამო ფართოკუთხიანი ობიექტივი ისწარება აბლომყოფი და სივანეზე გაშლილი საგნების გადასაღებად. აქვს შედარებით დიდი სიმკვეთრის სიღრმე და არ გამოიყენება პორტრეტული გადაღებებისათვის. ობიექტივის ფოკუსური მანძილის შესაცვლელად შეიძლება გამოვიყენოთ დამატებითი ე. წ. ჩამოსაცმელი ლინზა. ასეთი ლინზის გამოყენებით ჩვეულებრივი ობიექტივი შეგვიძლია ვაქციოთ ფართოკუთხიან ობიექტივად. ასეთივე ჩამოსაცმელი ლინზა შეგვიძლია ვიხმაროთ ობიექტივის ფოკუსური მანძილის გასაღიღებლად, როცა გვჭირდება საგნის გამოსახულების გაღიღება და პორტრეტული გადაღება.

საბჭოთა კავშირის ქარხნებში მზადდება სხვადასხვა სახის ობიექტივები, რომელთაგან ყველაზე უფრო გავრცელებულია:

„ორტოგონი“ — სიმეტრიული ანასტიგმატი, შეუწყნავი ოთხი ლინზით; ფოკუსური მანძილია 13,5 სმ; შუქძალა — 1 : 4,5; თვალთხედვის კუთხე — 58°; გამოყენებულია „ფოტოკორის“ ფოტოკამერებისათვის.

„ინდუსტარ-4“ — არასიმეტრიული ანასტიგმატი; ფოკუსური მანძილია — 21 სმ; შუქძალა — 1:4,5; გამოყენებულია სადგამიანი კანერებისათვის.

„ინდუსტარ-7“ — არასიმეტრიული ანასტიგმატი; შედგება ოთხი ლინზისაგან, რომელთაგან ორი შეწყებებულია; ფოკუსური მანძილია 10,5 სმ; შუქძალა — 1:3,5; თვალთახედვის კუთხე — 55

„ინდუსტარ-10“ მსგავსია „ინდუსტარ-7“ ანასტიგმატის; ფოკუსური მანძილია 5 სმ; შუქძალა — 1:3,5; თვალთახედვის კუთხე — 48°.

„ინდუსტარ-11“ თავისი თვისებებით უაზლოდგება „ინდუსტარ-10“.

„ტრიპლეტი“ — სამლინზიანი ანასტიგმატი; ფოკუსური მანძილია 5 სმ; შუქძალა — 1:6,3.

ჩვეულებრივი „ფედი“ — არასიმეტრიული სამლინზიანი ანასტიგმატი; ფოკუსური მანძილია 5 სმ; შუქძალა — 1:3,5.

შუქძლიერი „ფედი“ — სიმეტრიული ანასტიგმატი; შედგება ოთხი ლინზისაგან, რომელთაგან ორი შეწყებებულია; ფოკუსური მანძილია 5 სმ; შუქძალა 1:2.

ფართოკუთხიანი „ფედი“ — სიმეტრიული ანასტიგმატი; ფოკუსური მანძილია 2,8 სმ; შუქძალა — 1:4,5, არის აგრეთვე — 1:3,5 და 1:2; თვალთახედვის კუთხე — 80°. გამოშვებულია აგრეთვე „ფედის“ დიდი შუქძალის ტელეობიექტივები.

„ინდუსტარ-23“ ოთხლინზიანია; ფოკუსური მანძილი 11 სმ; შუქძალა — 1:4,5; თვალთახედვის კუთხე — 52°. გამოიყენება ფოტოკამერისათვის „მოსკოვი-1“. ასეთივე „ცისფერი“ ობიექტივი გამოიყენება „მოსკოვი-2“ ფოტოკამერისათვის. თანამედროვე საბჭოთა ფოტოობიექტივების უმრავლესობა „ცისფერი“ ობიექტივებია, რის გამოც გაზრდილია განოსახულების კონტრასტი, ექსპოზიცია შემცირებულია 30%, შემცირებულია ე. წ. შარავანდი, იძლევა უფრო სუფთა გამოსახულებას.

ფოტოგრაფიული კამერის ტიპები

საბჭოთა კავშირში დამზადებული ფოტოკამერები შეიძლება დავეყოთ სამ ჯგუფად:

1. ფირფიტიანი — „ფოტოკორი“, „მოსკოვი-3“, სადგამიანი კამერები.

2. ფართოფირიანი — „ლიუბიტელი“, „მოსკოვი-2“.

3. მცირეზომისკინოფირიანი — „ფედი“, „ზორკი“, „კიევი“, „ზენიტი“, „სმენა“.

ფირფიტიანი ფოტოკამერებს უკანა მხარეს აქვს მჭრქალი მინა, რომლის საშუალებით წარმოებს საგნის გამოსახულების

სიმკვეთრით დაყენება. გამოსახულება მიიღება შებრუნებული, ხოლო ზოცით და სიმკვეთრით ისეთივე, როგორც გვექნება ნეგატივზე. მისი დადებითი მხარე ის არის, რომ მქრქალი მინა წარმოდგენას გვაძლევს, თუ როგორი გამოსახულება მიიღება. აქვს ნაკლიც — ყოველი გადაღების შემდეგ საჭიროა შევცვალოთ კასეტი. ფირფიტის ფოტოკამერები უმთავრესად იხმარება ტექნიკური ხასიათის და ჯგუფური გადაღებებისათვის.

„ფოტოკორის“ გადაღების ზომაა 9×12 სმ. ეს არის პირველად მასობრივად გამოშვებული აპარატი. 1941 წლიდან მისი გამოშვება შეწყვეტილია. ფოტოკამერის კორპუსი მთლიანი ლითონისგანაა დამზადებული და გარედან შემოკრული აქვს დერმანტინი. აქვს მქრქალი მინა. ობიექტივად გამოყენებულია ოთხლინზიანი ანასტიგმატი „ორტოგოზი“, რომლის შუქძალაა $1:4,5$; ფოკუსური მანძილი კი— $13,5$ სმ. ამ ფოტოკამერის უარყოფითი მხარე ის არის, რომ მას აქვს $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{50}$ და $\frac{1}{100}$ წამიანი დაჭერა, რაც გამოუსადეგარია ნელი 1-წამიანი დაჭერისათვის ფენობაში წარმოებული გადაღებების დროს.

„მოსკოვი-3“, ზომით $6,5 \times 9$ სმ. აქვს მქრქალი მინა, საერთოდ იგი „ფოტოკორის“ მსგავსია; განსხვავება მდგომარეობს შემდეგში:

1) გადაღება შეიძლება ვაწარმოოთ არა უახლოეს 1,5 მ, არ შეიძლება წვრილი საგნების დიდი პლანით გადაღება;

2) აქვს ოთხლინზიანი ანასტიგმატი „ინდუსტარ-23“, შუქძალით — $1:4,5$; ფოკუსური მანძილით 11 სმ;

3) აქვს გაუმჯობესებული საკეტი, რომლითაც შეიძლება ვაწარმოოთ რვა დაჭერა: $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{5}, \frac{1}{10}, \frac{1}{25}, \frac{1}{50}, \frac{1}{100}$ და $\frac{1}{250}$ წამი;

4) აპარატი მოწყობილია იმგვარად, რომ სწრაფად შეიძლება მომზადება გადაღებისათვის;

5) აპარატს აქვს 6 კასეტი, რომლებიც ბუდეში კი არ მოძრაობენ, არამედ პირდაპირ ეჯარებიან კამერას.

სადგამიანი კამერის გადაღების ზომაა 13×18 სმ, 18×24 სმ. იგი წარმოადგენს კვადრატული ფორმის ხის ყუთს მქრქალი მინით. ყუთი გადაღების დროს მაგრდება სადგამზე. გამოიყენება დიდი ფორმატის ნეგატივების დასამზადებლად, როცა წარმოებს პორტრეტების, ჯგუფების, პეიზაჟების. წარმოების პროცესებისა და რეპროდუქციის გადაღება. 13×18 სმ-იან ფოტოკამერას აქვს ოთხლინზიანი ანასტიგმატი „ინდუსტარ-51“, რომლის შუქძალა არის $1:4,5$; ფოკუსური მანძილი კი 21 სმ. 18×24 სმ-იან ფოტოკამერას აქვს ობიექტივი „ინდუს-

ტარ-13“, შუქძალით 1:4,5; ფოკუსური მანძილია 30 სმ. სადგამიანი ფოტოკამერა ტლანქია, ძნელადსახმარი.

ფართოფირიანი ფოტოკამერების დამზადებისათვის ის არის, რომ მას აქვს ორი კოჭი ფირისათვის. სურათის გადაღების დროს ფირი ერთი კოჭიდან გადადის მეორე კოჭზე. კოჭის ჩადგმა და ამოღება ფოტოკამერიდან შეიძლება ჩვეულებრივ თეთრ სინათლეზე.

„ლიუბიტელის“ გადაღების ზომაა 6×6 სმ. შეიძლება ვაწარმოოთ 12 გადაღება. აქვს ყუთისმაგვარი ფორმა, რომელშიც ჩადგმულია ორი ობიექტივი. ქვედა ობიექტივი იხმარება გადაღებისათვის, ზედა უფრო მარტივი ობიექტივი კი სიმკვეთრეზე დასაყენებლად. „ლიუბიტელის“ გადამღები ობიექტივი წარმოადგენს სამლინზიან ანასტიგმატ „T-22“, რომლის შუქძალია არის 1:4,5 და ფოკუსური მანძილი 7,5 სმ.

შეიძლება ვაწარმოოთ ხუთი დაქერა: $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$ და $\frac{1}{200}$

წამი. უმცირესი მანძილი გადასაღებ საგნამდე უნდა იყოს 1,3 მ. მარტივი აპარატია, რის გამოც გამოიყენება ფოტომოყვარულთათვის. მარტივი და ასეთივე დანიშნულებისაა „კომსოზოლეცი“. აქვს სამლინზიანი ანასტიგმატი „T-21“, შუქძალით — 1:6,3; ფოკუსური მანძილია 6 სმ.

მუშაობს სამი დაქერით: $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{50}$ და $\frac{1}{100}$ წამი. კამერის ზომაა 6×6 სმ.

გვადლენს გარკვეულ, კარგ ანაბეჭდს კონტაქტური ბეჭდვის დროს, ხოლო გადაღების შემთხვევაში გამოსახულების სიმკვეთრე შესაძინევად არ მცირდება.

„მოსკოვი-2“ უფრო დიდი ზომისაა — 6×9 სმ. აპარატის დამუხტვა შეიძლება 8 გადაღებისათვის. კონსტრუქციით წააგავს „მოსკოვი-3“-ს იმ განსხვავებით, რომ აქვს უფრო გრძელი კორპუსი. ფოტოკამერა გამოდგება თითქმის ყველა სახის გადაღებებისათვის. აქვს ოთხლინზიანი ობიექტივი ანასტიგმატი „ინდუსტარ-23“, შუქძალით — 1:4,5; ფოკუსური მანძილია — 11 სმ. მისი ობიექტივი „ცისფერია“. აქვს რვა დაქერა:

1 , $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$ და $\frac{1}{250}$ წამი. ობიექტივს აქვს

სკალა სიმკვეთრის სიღრმისათვის. ამ სკალის მიხედვით შეგვიძლია განვსაზღვროთ, თუ რა მანძილის ფარგლებში იქნება საგნები საკმარისი სიმკვეთრით რომელიმე გადაღების დროს. წინათ გამოდიოდა აპარატი „მოსკოვი-1“; რადგანაც იგი არ იყო სრულყოფილი, მას ამ ბოლო დროს აღარ უშვებენ.

კინოფირის მცირეფორმატიანი ფოტოკამერებში დაცულია დიდი სიზუსტე ფოტოგრაფიული გადაღების დროს. მცირე ზომის ნეგატივებიდან ამზადებენ დიდი ზომის პოზიტივებს. მაგალითად,

24 × 36 მმ ნეგატივიდან მიიღება 13 × 18 სმ დაჯგუფილი ღია ბარათები. ამ აპარატებით დაუმუშავებლად შეიძლება გაწარმოოთ 36 გადაღება. ცელინდრული კასეტი 135 სმ კინოფირიანი ლენტით იმუხტება სინენლემი. აპარატის დამუხტვა და განმუხტვა კასეტით წარმოებს აეთერ სინალუმზე, ობიექტივებს აქვს დიდი შუქძალა, მცირე ფოკუსური მანძილი (5 სმ) და დიდი სიმკვეთრის სიღრმე. გადაღებული კადრების რაოდენობა მექანიკურად აღინიშნება აღმრიცხველის საშუალებით.

„ფედო“ უძველესი აპარატია. პირველად იგი დამზადებულ იქნა საბჭოთა კავშირში 1934 წელს. იგი მსუბუქი და მცირე მოცულობისაა. მისი ობიექტივი ოთხლინზიანია „ცისფერი“ ანასტიგმატია („ინდუსტარ 10“). ობიექტივის შუქძალა არის 1:3,5. მისი დიაფრაგმა იყოფა არასტანდარტულად: 3,5 — 4,5 — 6,3 — 9 — 12,5 — 18. ამ აპარატის დაჭერა შეიძლება და ისიც არასტანდარტული: $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{40}$, $\frac{1}{60}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$

და $\frac{1}{500}$ წამი. გადაღების მანძილი, დამატებითი ოპტიკური მოწყობილობის გარეშე, 1 მეტრია.

„ზორკი“ თითქმის ისეთივე კამერაა, როგორც „ფედო“. განსხვავება ის არის, რომ „ზორკის“ კამერის კორპუსი უფრო გამძლეა, ექსპოზიცია უფრო ზუსტია. „ზორკის“ კამერას აქვს ოთხლინზიანი „ცისფერი“ ანასტიგმატი „ინდუსტარ 22“, შუქძალით — 1:3,5. დიაფრაგმის სკალის დანაყოფები სტანდარტულია: 3,5 — 4 — 5,6 — 8 — 11 — 16. გადაღების უმცირესი მანძილია 1 მეტრი.

„ზორკი 3“ უფრო გაუმჯობესებული აპარატია. მისი ობიექტივი ექვსლინზიანი „ცისფერი“ ანასტიგმატია („იუბიტერი 8“), შუქძალა არის 1:2. მისი დაჭერა ათამდე აღწევს და იცვლება $1 - \frac{1}{1000}$ წამამდე.

„კიევის“ ობიექტივი იგივეა, რაც „ზორკი 3“. დაჭერა აღწევს ცხრამდე და იცვლება $\frac{1}{2} - \frac{1}{1250}$ წამამდე. გადაღების უმცირესი მანძილია 90 სმ.

„კიევი-3“ იმით განსხვავდება „კიევი“-საგან, რომ მას დამატებით მოწყობილი აქვს ფოტოლექტრული მოწყობილობა ექსპოზიციის დასადგენად. ეს მოწყობილობა შედგება ფოტოვლემენტის, გალვანომეტრის, რეოსტატის და მექანიკური აღმრიცხველისაგან.

„ზენიტი“ დამზადებულია „ზორკის“ კონსტრუქციის მიხედვით. მისი ობიექტივი წარმოადგენს „ინდუსტარ 22“, შუქძალით — 1:3,5. დაჭერა წარმოებს ხუთამდე, $\frac{1}{25} - \frac{1}{500}$ წამამდე.

„ფოტოთოფის“ კონსტრუქცია „ზენიტის“ მსგავსია. აქვს გრძელფო-

კუსიანი ობიექტები, რომლის ფოკუსური მანძილი 20 — 40 სმ. ამ აპარატით შეიძლება სურათი გადავიღოთ შორი მანძილიდან — 50 — 100 მ და-
ცილებით. მას სასაღვთის მაგიერ აქვს ბერკეტი, რომელსაც სურათის
გადაღების დროს ხელი უნდა ვამოგვრათ. „ფოტოაპარტი“ იმსარება ფრან-
ველებსა და ცხოველების შორი მანძილიდან სურათის გადასაღებად.

„სმენას“ ობიექტივი სამლინიანი ანასტიგმატია, რომლის მუქძალა
1:4,5 და ფოკუსური მანძილი — 4 სმ. დიაფრაჟმა იყოფა: 4,5 — 5,6 —
8 11 — 16 — 22. დაქერა ხუთამდე, $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{250}$ შპდე. ობიექტივს
დამატება არ აქვს. მას ხშირად იყენებენ ფოტოზოციალურები.

ფოტოკამერის მნიშვნელოვანი ნაწილია საკეტი. საკეტის საშუალებით
წარმოებს ობიექტივის გახსნა განსაზღვრული დროის განმავლობაში.
ნარტივ მოწყობილობას, რომელიც ექსპოზიციისათვის საკეტის დანიშ-
ნულებას ასრულებს, წარმოადგენს სახურავი. სურათის გადაღების დროს
სახურავი ხელით უნდა მოვხსნათ და დავხუროთ. ბოლო სანებში განა-
იყენება მექანიკური საკეტი, რომელიც ავტომატურად ხსნის და ხურავს
ობიექტივის ექსპოზიციის დროს. არსებობს საკეტის რამდენიმე სახე: ფარ-
დიანი, ცენტრალური და ჭუჭრუტანა.

ფარდიანი საკეტი ჩამოცმულია ობიექტივის წინა რგოლზე,
რომელიც შეგვიძლია მოქმედებაში მოვიყვანოთ ბერკეტის დასაშვებზე
დაწოლით.

ცენტრალური საკეტი მოწყობილია ობიექტივის ლინზების შიგ-
ნით. იგი დამზადებულია თხელი ებონიტის ან გაშავებული ფოლადისაგან.
საკეტის ჩარჩო ასრულებს ობიექტივის ჩარჩოს მოვალეობასაც. არსებობს
ცენტრალური საკეტის რამდენიმე ტიპი. პირველი ტიპის საკეტი მუშა-
ობს დასაშვებ ბერკეტზე დაწოლით. მეორე ტიპის საკეტში საჭიროა სა-
მუშაო ზამბარების წინასწარი მომართვა. ცენტრალური საკეტის ერთ-ერთ
გავრცელებულ სახეს წარმოადგენს „საკეტი“, რომელიც გაკეთებული
აქვს ფოტოაპარატ „მოსკოვს“. საკეტის გახსნის წინ საჭიროა მოვებრუ-
ნოთ სპეციალური რეგულატორი იმგვარად, რომ ასო *D* დადგეს საკე-
ტის ზედა ისრის პირდაპირ. დასაშვებ ბერკეტზე დაწოლით საკეტი გა-
იღება. განმეორებით დაწოლის გამო საკეტი დაიხურება და მქრქალი
მინაც დაბნელდება. საკეტი ამგვარად უნდა ვამოქმედოთ იმ შემთხვევაში,
როცა დაქერა არის 5 წამის ზევით. თუ ისარს გავუსწორობთ *B* ასოს,
მაშინ დაქერა იქნება 1—5 წამამდე, ხოლო თუ ისარს დავაყენებთ რო-
მელიმე ციფრზე (1—250), რომელიც აქვს რეგულატორის სკალას, მაშინ
დაქერა უნდა ვაწარმოოთ განსაზღვრულ მონაკვეთში 1-დან $\frac{1}{250}$ წამამდე.

ჭუჭრუტანა საკეტი მოთავსებულია ფირის წინ, რომლის რეგუ-

ლაცია ხდება კუქურუტანის სივანით და ფარდის ზოდრობით. ფარდის მოძრაობას იწვევს ზამბარის მოქმედება, რომელიც აიძულებს ფარდას გადაეხვიოს ერთი ლილვაკიდან მეორე ლილვაკს. ზამბარის დაქინზულობაზე დამოკიდებულია ექსპოზიციის დრო. ასეთი საკეტით შეგვიძლია მეტად ხანმოკლე ექსპოზიცია, მაგალითად, $\frac{1}{1000}$ წამანდღე და უფრო ნაკლებიც.

ანიხათვის ასეთი საკეტებიანი ფოტოკამერები გამოიყენება სწრაფადმოძრავე საგნების გადასაღებად, როგორცაა სასპორტო გადაღებები და სხვ. ასეთი საკეტი მოწყობილი აქვს „ფედის“ ფოტოაპარატს.

არსებობს აგრეთვე საკეტი ავტომშვები. ასეთი საკეტით გადაღებს შეუძლია გარეშე პირის დაუხმარებლად მოახდინოს თავისი თავის ფოტოგრაფირება. ავტომშვები მცირე ზომისაა. მისი კორპუსის შიგნით მოთავსებულია საათის მექანიზმი, რომლის რეგულაცია წარმოებს სპეციალური დისკოთი; დისკოს აქვს წამების გამომსახველი ციფრები 1-დან 10-მდე. გადაღების წინ საჭიროა ავტომშვები მოვარგოთ ფოტოკამერაზე, ისე რომ მისი წახნაგი ფოტოკამერის წახნაგის პარალელური გახდეს. ფოტოკამერის საკეტს ვუკავშირებთ ავტომშვებს. იგი პირველად 10 წამის განმავლობაში უქმნად მუშაობს; ამ დროსი ფოტოსურათის გადამღები ასწორებს აპარატის წინ დადგომას და საჭირო პოზის მიღებას. ავტომშვები ამოქნედებს საკეტს და განსაზღვრულ დროში გახსნის ფოტოკამერას, შემდეგ ისევ ავტომატურად დახურავს საკეტის დახმარებით.

ფოტოკამერებს ზოგჯერ მოწყობილი აქვთ სამიზნებლები. ჩარჩოიანი სამიზნებელი, რომელსაც „იკონომეტრს“ უწოდებენ, მაგრდება ფოტოკამერის წინა ნაწილზე გვერდიდან ან ზემოდან. ჩარჩო წარმოდგენას გეაძლევს განოსახულების საზღვრებზე, რომელსაც ობიექტივი იძლევა. ნიუტონის სამიზნებელი წარმოადგენს ჩახნეილ ლინზას, რომელზედაც ჯვარია დახაზული. ეს ლინზა მოთავსებულია ჩარჩოში, რომლის პირდაპირ იმყოფება დიოპტრი დაკვირვებისათვის. არსებობს ისეთი სამიზნებელიც, რომელსაც ზემოდან და წინიდან აქვს შემკრები ლინზა და გეაძლევს შებრუნებულ მცირე გამოსახულებას. პრაქტიკაში უმეტესად იყენებენ ისეთ სამიზნებელს, რომელიც გამოსახულებას ფირფიტის ან ფირის ფორმატის ზომით გვიჩვენებს.

ნუქქალმინიანი ფოტოკამერის კასეტი წარმოადგენს ბრტყელ ყუთს, რომელშიაც სინათლე არ უნდა შედიოდეს; შუქნგრძობი ფირფიტა მასში უნდა ჩადგვათ ბნელ ოთახში. ზოგიერთ კასეტში შეიძლება მოვთავსოთ ერთი ფირფიტა, ზოგიერთში კი — ორი. ორფირფიტიანი, ორმაგი კასეტი განიხილვინება დიდი ზომის ფოტოკამერებისათვის, რომლებსაც ფოტოატელიეგაი ხმარობენ. ფოტოკამერა „ფედის“ და სხვათა კასეტი ცილინდრული ფორმის ყუთია, რომელსაც მთელ სიგრძეზე აქვს ხერელი ფირი-

სათვის. ყუთის შიგნით გამოკრულია პლუმში, რომელიც კასეტში სინათლის სხივებს არ უშვებს. კასეტის დამუხტვა უნდა ვაწარმოოთ სიბნელეში. კასეტის კოქაზე ფირი ისე უნდა დავახვიოთ, რომ ემულსიანი ზედაპირი მოხვდეს შიგნით. ფირიანი კოქის კასეტის ხერელში ჩასმა ზოგჯერ ძნელდება, უფრო მეტად სრულ სიბნელეში ნუშაობის დროს; ფირი სწორად ედება პლუმს და აზიანებს მას. ამისათვის საჭირო არის კასეტის დამუხტვა მოვახდინოთ კუთხეებჩამოკრილი ფირით ან დამუხტვანდ ჩვეულებრივ სინათლეზე ხერელში შეუწყველად მოვათავსოთ ფირის ორი ერთმანეთზე დადებული ნაჭერი, გადავლუნოთ და შემდეგ სიბნელეში ვაწარმოოთ კასეტის დამუხტვა.

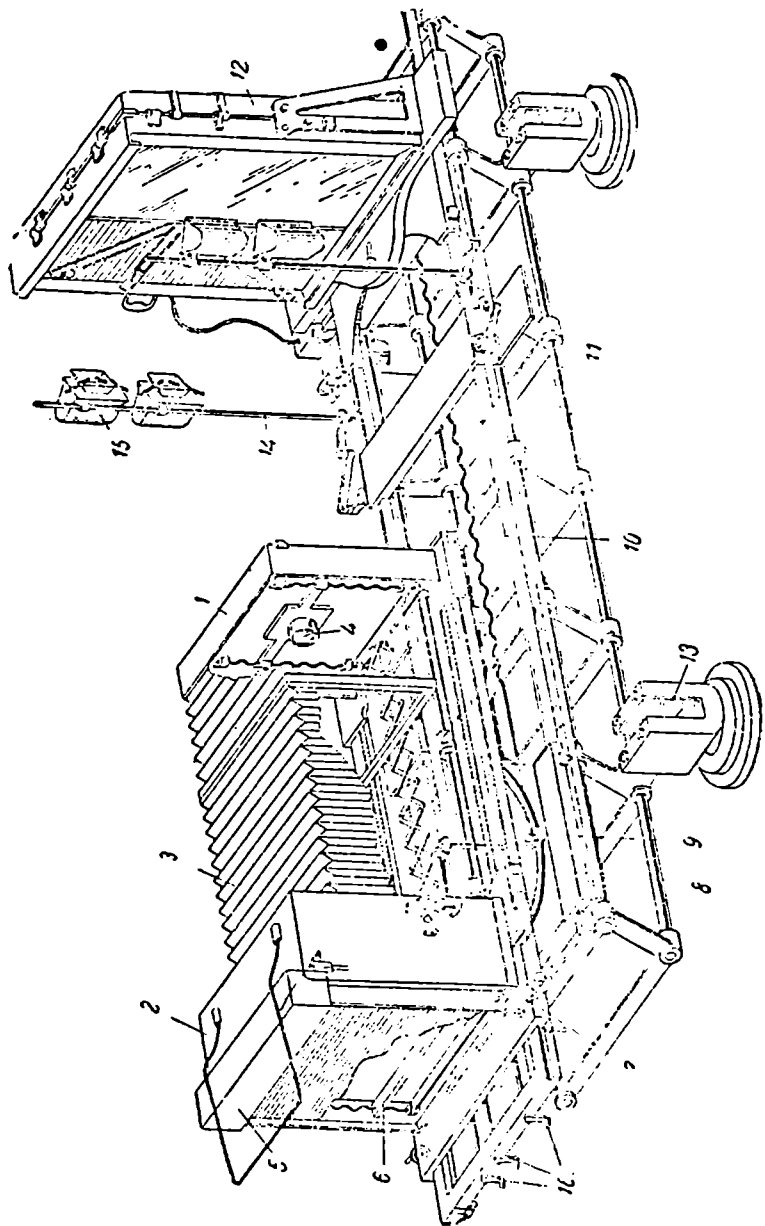
ფოტოაპარატები და ობიექტები ყოველთვის უნდა დავიცვათ გარეშე დარტყმებისაგან, ქუჩყისა და მტერისაგან, სინოტივისაგან, სწრაფი ტემპერატურული ცვლილებისაგან. ფოტოაპარატი და ობიექტივი, როცა გადაღებას არ ვაწარმოებთ, უნდა იყოს დახურული, მზის სხივებს მოცილებული. აპარატის შესანახად უნდა გამოვიყენოთ მშრალი ადგილი, ოთახის ტემპერატურით. პერიოდულად აპარატის კორპუსი უნდა გავწმინდოთ მაუდის ან ხავერდის ნაჭრით და ფუნჯებით. ობიექტივების ზედაპირი ძალიან მგრძობიარეა. ამისათვის ობიექტივების გაწმენდა უნდა ვაწარმოოთ რბილი ფუნჯით, სუფთა ტილოს რბილი ჩვრით ან სუფთა ბამბით; უმჯობესია მტერის მოცილება მოვახდინოთ ჰაერის ქავლით. ცხიმოვანი ლაქების და სხვა სახის ქუჩყის მოსაცილებლად შეიძლება გამოვიყენოთ ეთერი, სპირტი ან ნარევი სითხე, რომელშიაც შედის: ეთერი 85%, სპირტი 15%. ლინზების გაწმენდა უნდა ვაწარმოოთ მცირე დაწოლით და ბრუნვითი მოძრაობით; გაწმენდისთანავე უნდა გავამშრალოთ. გასაწმენდი სითხე არ უნდა ჩავიდეს ლინზებს შორის, რადგანაც მას შეუძლია დაშალოს ლინზების შენაწებებელი ნივთიერება და გამოიწვიოს ობიექტივის დაშლა. ობიექტივის დაშლას იწვევს აგრეთვე სინოტივე და ნჯღრევა. ლინზების ზედაპირი წმენდის დროს არ უნდა გავკაწროთ, თითებით არ უნდა შევესაოთ. ფოტოკამერიდან ობიექტივის ლინზები უნდა მოვხსნათ და ჩავდგათ დიდი სიფრთხილით, ყოველგვარი ძალდატანების გარეშე.

რეპროდუქციული ფოტოგრაფიული აპარატები

რეპროდუქციული ფოტოგრაფიული აპარატები გამოიყენება მაღალი, ბრტყელი და ღრმა ბექედის ფორმების ფოტომექანიკური წესით დასამზადებლად. ასეთი ფორმების დამზადების დროს საჭიროა ფოტოგადაღება და ნეგატივების დამზადება დიდი ზომის სურათების, გეოგრაფიული რუკების, პლაკატების და სხვ; ამ მიზნით რეპროდუქციული ფოტოაპარატები მზადდება განსაკუთრებული ზომის: 30×40, 40×40, 50×50, 60×60, 3. მ. ვეხვაძე

80×80, 100×100, 125×125 სმ. ყველაზე უფრო გავრცელებულია აპარატები, რომელთა ზომაა: 40×40 სმ-დან 60×60 სმ-მდე. რეპროდუქციული აპარატებით შესაძლებელია გადაღება ნატურალური სიდიდით, ან ზომა შევამციროთ ერთ მეხუთედამდე, ან გაავადილოთ ორჯერ. ეს პირობები განსაზღვრავს აპარატის ობიექტივის თავისებურებას. ობიექტივი უნდა იყოს გრძელი ფოკუსური მანძილით, იძლეოდეს მკვეთრ მალახვარისხოვან გამოსახულებას. ფოტოგრაფირების დროს ორიგინალი უნდა მოვათავსოთ მკიდროდ სპეციალურ დამკერზე, რომელსაც ეკრანი ეწოდება: ეკრანი უნდა იყოს ზუსტად პარალელური ან განსაკუთრებულ შემთხვევაში განსაზღვრული კუთხით განხრილი, შუქმგრძობიარე ფირფიტისაღმი. ფოტოგადაღების წარმოება რომ შეიძლებოდეს ყოველგვარ პირობებში, აპარატს მოწყობილი აქვს ხელოვნური ძლიერი განათების მოწყობილობა. რეპროდუქციული ფოტოგრაფიული აპარატები ორი სახისაა: ჰორიზონტალური და ვერტიკალური.

ჰორიზონტალურ რეპროდუქციულ ფოტოგრაფიულ აპარატს აქვს (ნახ. 10): კამერა ობიექტივის ყუთით (1) და მქრქალი მინის ყუთით (2), რომლებიც შეერთებულია დანაოქებული შუქგაუვალი მასალით (3). კამერის წინა მხარეზე ყუთში მოთავსებულია ობიექტივი (4), უკანა მხარეზე კი მქრქალი მინა, რომელიც შეიძლება შეიცვალოს კასეტით (5). კასეტი წარმოადგენს ბრტყელ თხელ ყუთს, შუქმგრძობი ფირფიტის დამკერით (6). კამერა დადგმულია ურიკის (7) ზედაპირზე, ისე რომ ურიკის გასწვრივ ჭიანჭრის მქრქანობით შეიძლებოდეს კამერის გადაადგილება. მოსაბრუნებელი მოწყობილობის (8) საშუალებით ურიკის ზედა ნაწილი კამერასთან ერთად შეიძლება მოვაბრუნოთ 90° ან 45° საწყისი მდგომარეობიდან. ურიკის ქვედა ნაწილი (9) საჭიროების დროს შეიძლება გადაადგილდეს საგლუვით (10) ჰორიზონტალურ გრძელ სადგარზე (11). ურიკის კამერით გადაადგილება უმთავრესად წარმოებს ხელის საშუალებით, მაგრამ თანამედროვე დიდი ზომის აპარატებში გამოყენებულია ელექტრული დენით ამძრავი. სადგარზე მოთავსებულია აგრეთვე ეკრანი ორიგინალისათვის, ე. წ. ორიგინალდამკერი (12). ორიგინალი ეკრანზე მიკრულია მინიანი ჩარჩოთი. თანამედროვე დიდი ზომის ფოტოაპარატებს მოწყობილი აქვთ პნევმატური ეკრანი, სადაც ვაკუუმური სივრცის შექმნის გამო ორიგინალი მკიდროდ ეკვრება ეკრანს. სადგარს, იატაკის ვიბრაციის საწინააღმდეგოდ, გვერდებზე დადგმული აქვს ზამბარებიანი ამორტიზატორი (13). რადგანაც კამერა და ეკრანი მოთავსებულია ერთსა და იმავე სადგარზე, აპარატის რქვეა გავლენას ვერ ახდენს გამოსახულების სიმკვეთრეზე, განსაკუთრებით ხანგრძლივი ექსპოზიციის დროს, როცა გამოყენებულია ნაკლებად შუქმგრძობიარე ფოტოფირები. ეკრანის წინ ბრჯენებზე (14) ჩამოკიდებულია გამნათებლები (15), ჩვეულებრივ თითოეულ მბრჯენზე ორ-



5sb. 10.

ორი ცალი. გამნათებლებად უმეტეს შემთხვევაში ხმარობენ რკალურ ნათურებს. აპარატის სამართავად, ჯამერისა და მისი სხვა ნაწილების გადასადგილებლად გამოყენებულია სახელურები (16). წინა პერიოდში ფოტოაპარატის კამერა და სადგარი მზადდებოდა ხის მასალისაგან, უკანასკნელ დროს კი — ლითონისაგან.

გადაღების შემდეგ ჩვეულებრივ ნეგატივი მიიღება შებრუნებული. როცა საჭიროა გამოსახულება მივიღოთ ნეგატივზე პირდაპირი სახით, მაშინ ობიექტივთან უნდა მივყავით მინის სამწახნაგოვანი პრიზმა, რომელიც ეკრანის მიმართ განხრილი იქნება 45°. ამ შემთხვევაში ობიექტივში გატარებული სინათლის სხივები მინის პრიზმაში გადატყდება მეორეჯერ და შექმვრძნობ ფირფიტაზე ორიგინალის გამოსახულება მიიღება შებრუნებულად.

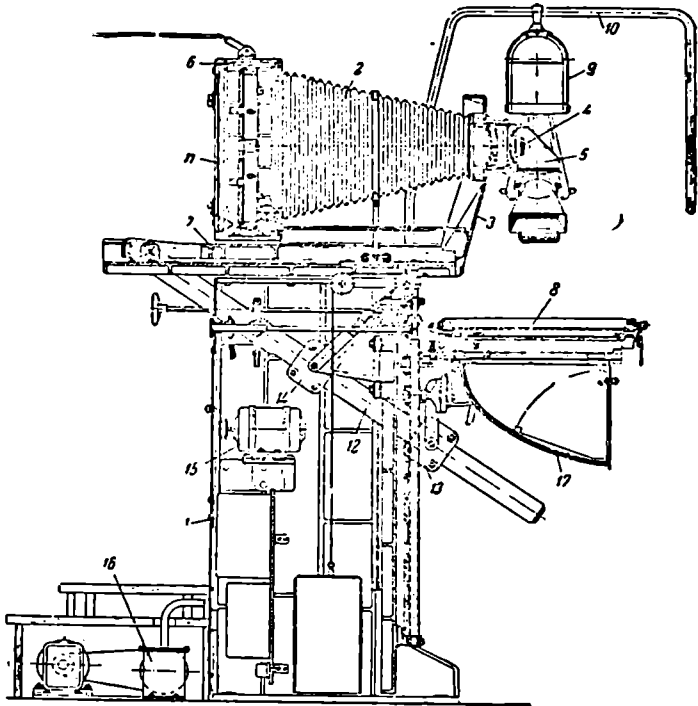
თანდათანობით უფრო მეტი რაოდენობით გამოიყენება ვერტიკალური რეპროდუქციული აპარატები.

ვერტიკალური რეპროდუქციული ფოტოგრაფიული აპარატის (ნახ. 11) სადგარი წარმოადგენს მასიურ ბოქციენტს (1), რომელიც უმეტეს შემთხვევაში დამზადებულია ლითონისაგან. ბოქციენტის ზემოდან გამართულია მოძრავი კამერა (2), კამერის წინა კედელი (3) ობიექტივით (4) და სამწახნაგოვანი პრიზმა (5) უძრავია. კამერის უკანა კედელი (6) დადგმულია ურიკაზე (7) და შესადლებელია მისი გადაადგილება ურიკასთან ერთად ჰორიზონტალურ სიბრტყეში. ეკრანი (8) აპარატის სადგარზე მიმაგრებულია ჰორიზონტალურად, რომლის გაანათებაც წარმოებს ბრუნებზე (10) მოწყობილი რკალური ნათურებით (9). ეკრანის სიბრტყის პერპენდიკულარულად კამერაში მოთავსებულია მქრქალი მინა (11). ეკრანი ურიკასთან (7) დაკავშირებულია სალტეებში (13, 14) გამავალი ბერკეტით (12). ეკრანის გადაადგილების დროს ბერკეტი ავტომატურად ახდენს კამერის უკანა ყუთის გადანაცვლებას. ეს პროცესი სრულდება ელექტროძრავის (15) საშუალებით, იშვიათად კი ხელით. პნევმატური ეკრანის ამოქმედებისათვის აპარატს მოწყობილი აქვს ვაკუუმტუმბო (16), ცალკე ამწრავით. დიაპოზიტივების დამზადების დროს საჭიროა ნეგატივი მოვთავსოთ ეკრანზე დამკერით, გავხსნათ სახურავი (17), ძირს დავუშვათ ნათურები და მეორე მხრიდან გავანათოთ ნეგატივი.

რეპროდუქციული ვერტიკალური ფოტოაპარატებით შეიძლება ვაწარმოოთ მცირეფორმატიანი გადაღებები — 40×40 და 50×50 სმ, რადგანაც დიდი ფორმატების შემთხვევაში საჭიროა გრძელი სადგარის გამოყენება, რაც მუშაობის დროს უხერხულობას უქმნის მომსახურე პერსონალს. ვერტიკალური აპარატების დიდი ღირსება ისაა, რომ წარმოებაში იკავებს მცირე ადგილს, გადაღების დროს მუდამ გამოიყენება პრიზმა

და ნეგატივი ყოველთვის მიიღება პირდაპირი. ვერტიკალურ აპარატებში მაქსიმალური გადიდება შეიძლება ვაწარმოოთ 1,5:1; მაქსიმალური შემცირება კი — 1:3; ჰორიზონტალურ აპარატებში მაქსიმალური გადიდება წარმოებს 2:1, ხოლო შემცირება — 1:5.

დიდი ზომის გადაღებების (100 × 100 სმ და ზევით) საწარმოებლად გამოყენებულია ჩამოსაკიდი რეპროდუქციული ჰორიზონტალური ფოტოაპარატები. ამ შემთხვევაში ფოტოკამერის საყრდენი ჩამოკიდებულია ჭერზე ან დამაგრებულია მალალ ბრჯენებზე. ასეთი აპარატებით დიდი ფორმატების დაწბადება უფრო მოსახერხებელია, ვიდრე ჩვეულებრივი რეპროდუქციული ჰორიზონტალური ფოტოაპარატებით.



ნახ. 11.

საბჭოთა პოლიგრაფიული მანქანათმშენებლობის ქარხნები ამჟამად უშვებენ რამდენიმე ტიპის რეპროდუქციულ ფოტოაპარატს:

1. ვერტიკალური ფოტოაპარატი „ФВ“, რომლითაც შეიძლება გადაღებულ იქნეს მაქსიმალური ფორმატის გამოსახულებანი შტრიხ.

ხოვანი ორიგინალების შემთხვევაში 40×40 სმ, ნახევარტონოვანი ორიგინალების გადაღების დროს — სწორკუთხოვანი რასტრით 30×40 სმ და მრგვალი რასტრით 24×32 სმ. აპარატის ობიექტივი წარმოადგენს „ინდუსტარ-11“, რომლის ფოკუსური მანძილია 36 სმ, ხოლო შუქძალა 1:9. ასეთი აპარატები გამოიყენება საგაზეთო და საწიგნო სტამბებში, სადაც მზადდება მცირე ზომის კლიშეები. აპარატის მართვა შეიძლება კომბინირებულად — ელექტრომობტორით და ხელითაც.

2. **ჰორიზონტალური აპარატი „ΦΓ-2“.** მაქსიმალური ფორმატი სწორკუთხოვანი რასტრის დროს არის 60×60 სმ, ხოლო მრგვალი რასტრის დროს 36×48 სმ. ამ აპარატის დამახასიათებელი ის არის, რომ კამერა არ მოძრაობს სადგარზე; აპარატის დასაყენებლად ხდება კამერის წინა ყუთის ან ეკრანის გადაადგილება. აპარატის ასეთი კონსტრუქცია იძლევა იმის საშუალებას, რომ იგი მოვათავსოთ ორ ოთახში; ამ შემთხვევაში კამერის უკანა ყუთი მოთავსდება იმ ოთახში, სადაც ბნელი ლაბორატორიაა მოწყობილი და სადაც წარმოებს კასეტის დამუხტვა, ფირფიტების და ფირების დამუშავება. ფოტოაპარატის ასეთი დადგმულობა ამარტივებს ფოტოგრაფის მუშაობას. აპარატის ობიექტივი „ინდუსტარ-11“ ტიპისაა, რომლის ფოკუსური მანძილია 60 და 75 სმ, შუქძალა კი—1:9. ასეთი აპარატები იხმარება ფოტოციკლოგრაფიებში, ბრტყელი და ღრმა ბექედვის ფორმების დამამზადებელ საამქროებში.

3. **ჰორიზონტალური აპარატი „ΦΓ-3“.** მაქსიმალური ფორმატი: სწორკუთხოვანი რასტრისათვის 80×80 სმ, მრგვალი რასტრისათვის კი 48×68 სმ. სპეციალური მისადგმელით შესაძლებელია დავამზადოთ დიდი ზომის ნეგატივები — 110—125 სმ. მასვე აქვს მისადგმელი დიაპოზიტივის დასამზადებლად. ამ აპარატის გადაღების მაქსიმალური მასშტაბია — 2:1 და 1:5. აქაც ობიექტივად გამოყენებულია „ინდუსტარ-11“, რომლის ფოკუსური მანძილია 75 და 90 სმ, ხოლო შუქძალა — 1:9. ასეთი აპარატები იხმარება ისეთ წარმოებებში, სადაც იბეჭდება დიდფორმატიანი მრავალსაღებავიანი პროდუქცია — პლაკატები, თვალსაჩინო სურათები, გეოგრაფიული რუკები და სხვა.

უკანასკნელ პერიოდში საბჭოთა პოლიგრაფიული მანქანათმშენებლობის ქარხნებში შეიქმნა ახალი ტიპის ორი ჰორიზონტალური აპარატი — „PΦΓ-4“ და „PΦΓ-5“, რომლებიც შესაბამისად ცვლის ხმარებაში მყოფ აპარატებს „ΦΓ-2“ და „ΦΓ-3“. განსაკუთრებული კონსტრუქციული განსხვავება მდგომარეობს შემდეგში: შეცვლილია სადგარის კონსტრუქცია, რის გამოც შემცირებულია აპარატის ზომები და წონა; ორიგინალის დამჭერის ურიკის გადაადგილება წარმოებს სადგარის გასწვრივ ელექტროძრავის საშუალებით; აპარატის სიმკვეთრის სიღრმეზე დაყენებაც ხდება ავტომატურად ელექტრული ინვენსორის საშუალებით;

ავტომატიზებულია აგრეთვე გადაღების ექსპოზიცია, რისთვისაც გამოყენებულია დამატებითი მოწყობილობა — ფოტოლექტრული ექსპოზიმეტრი; გარდა ამისა გასანათებლად გამოყენებულია დიდი ძალის ინტენსიური რკალური ნათურები. ყველა საბჭოთა რეპროდუქციული ფოტოაპარატი დამზადებულია ძირითადად ლითონისაგან.

რეპროდუქციული აპარატების ერთ-ერთი დამატებითი ოპტიკური ხელსაწყოა უჯრედებად დაყოფილი ბადისებური მინა — რასტრი. რასტრი გამოიყენება ტონოვანი და ნახევარტონოვანი ორიგინალების გადაღებისას ნახევარტონოვანი გამოსახულების საბეჭდ ელემენტებად გადაქცევისათვის. რასტრის დასამზადებლად იხმარება გლუვზედაპირიანი მინა, რომლის სისქეა 2,5—3 მმ და მისი ზედაპირი დაფარულია ჰეავას გამძლე ფენით; ეს ფენა სპეციალური საგრაეიურო მანქანით და აღმასით დიაგონალური პარალელური ხაზების გავლენით დაიყოფა თანაბარ ნაწილებად. აღმასი ამ დროს მინას აკლის თხელ ფენას. ასეთივე წესით მზადდება მეორე მინაც, რომლის ხაზები პირველი მინის პერპენდიკულარულად იქნება გავლებული. ამგვარად დამზადებული ფირფიტები უნდა შეიწამლოს ფლუორწყალბადოვანი მცავათი, რის გამოც მინის ზედაპირზე გავლებული ხაზები რამდენიმედ ჩაღრმავდება. ამის შემდეგ უნდა მოვაცილოთ მჟავას საწინააღმდეგო ფენა, ხოლო ჩაღრმავებული ხაზები შეეავსოთ სპეციალური შავი მასით; ამ სახით მინის ზედაპირზე შეიქმნება პარალელური შავი ხაზები. თითოეული ხაზის სისქე ეთანასწორება ხაზებს შორის დარჩენილ მანძილს. მინის ორ ფირფიტას ერთმანეთზე ვაკრავთ სპეციალური გამჭვირვალე წებოთი იმგვარად, რომ ხაზები ერთმანეთს კვეთდნენ პერპენდიკულარულად — ურთიერთ შორის ქმნიდნენ სწორ კუთხეს. ამგვარად დაკრული მინის ფირფიტები უნდა ჩავსვათ ლითონის ჩარჩოში. რასტრები შეიძლება დამზადდეს ფოტომექანიკური მეთოდითაც: მინის ფირფიტის ზედაპირზე ვათავსებთ შუქმგრძნობ ფენას, რომელსაც შუქის მოქმედებით ვაძლევთ წყალში უხსნადობის თვისებას. მინის ფირფიტის ასეთ ზედაპირზე გადავიტანთ პარალელურხაზებიან რასტრს, ასლს ვამჟღავნებთ და ხაზებს ვაშვებთ. ამგვარად მომზადებულ ორ მინის ფირფიტას ვაკრავთ ერთმანეთზე. რასტრის დამზადების ეს ახალი ფოტომექანიკური მეთოდი დამუშავებულ იქნა მ. დი რ ლ უ გ ი ა ნ ი ს მიერ საბჭოთა კავშირის პოლიგრაფიული მრეწველობისა და ტექნიკის სამეცნიერო-საკვლევ ინსტიტუტში.

ტონოვანი ორიგინალების გადაღების დროს რასტრი უნდა მოვათავსოთ კამერაში შუქმგრძნობი ზედაპირის წინ. ორიგინალიდან არეკლილი და ობიექტივში გატარებული შუქის სხივები შეხვდება რასტრის შავ ხაზებს. ფოტოფირფიტის შუქმგრძნობ ფენაზე იმოქმედებს რასტრის გამჭვირვალე ადგილებში გავლილი შუქის სხივები. ნეგატივის დამზადების დროს გა-

გამოსახულება გამოვა განსხვავებული სიმკვეთრით, ორიგინალის ტონალობის მიხედვით.

რასტრის გამოყენების დროს ტონოვანებას იძლევა ორიგინალის ზედაპირიდან სხვადასხვა ძალით არეკლილი და რასტრის ღია უჯრედებში გავლილი სხივები, რომლებიც, შესაბამისად, ქმნიან დიდ და მცირე შავ წერტილებს — რასტრულ წერტილებს. ამგვარად, რასტრის საშუალებით წარმოებს ტონოვანი გამოსახულების უწვრილეს წერტილებად დაშლა.

რუსეთში რასტრი პირველად გამოიყენა ე. ბურიანსკიმ 1884 წელს. შემდეგში რასტრულ პროცესებზე დაკვირვებას აწარმოებდა მ. რუდომეტოვი. რასტრის გამოყენების საკითხი დაწვრილებით შესწავლილ იქნა საბჭოთა მკვლევარების მიერ 1933-35 წლებში. ყველაზე დასრულებული გამორკვევა აწარმოვა ს. მიკლაშევსკიმ, რომელმაც თავისი დასკვნები მოგვცა შრომაში: „რასტრული პროცესების ნორმალიზაცია“.

3. სინათლის სხივური ენერჯიის მოქმედების თეორია ფოტოგრაფიულ ფენაზე

სინათლის ბუნება

სინათლის ბუნების შესწავლა დიდი ხნის განმავლობაში იპყრობდა მეცნიერებისა და სწავლულების ყურადღებას. ბერძნები ფიქრობდნენ, რომ სინათლე შედგება ნაწილების ნაკადისაგან, ზოგიერთების აზრით ეს ნაკადი ვრცელდებოდა სინათლის წყაროდან, ზოგიერთების აზრით კი — თვლებიდან. სინათლის ბუნება უფრო დაწვრილებით იქნა შესწავლილი XVII საუკუნეში სხვადასხვა ექსპერიმენტის საფუძველზე. ამ პერიოდში აღმოჩენილ იქნა სინათლის მოვლენები: ინტერფერენცია, დიფრაქცია, სხივის ორმაგი გარდატეხა და პოლარიზაცია. ჰიუგენსმა 1690 წელს აღმოაჩინა ის, რომ სინათლის არეკლილი და გარდატეხილი სხივები ვრცელდება გრძივ ტალღებად, ბგერის გავრცელების მსგავსად. ფრენელმა 1850 წელს დაამტკიცა, რომ სინათლის სხივის გავრცელების სიჩქარე რაიმე ნივთიერებაში ყოველთვის ნაკლებია, ვიდრე სივარცხელში. ფრადეის და ჰენრის მიერ 1873 წლისათვის შესწავლილ იქნა ელექტრომაგნიტური მოვლენები, რამაც ხელი შეუწყო სინათლის თვისებების შესწავლას. ჰერცმა 1888 წელს დაამტკიცა, რომ ელექტრომაგნიტური მოვლენები ბევრ რამეში ემსგავსება სინათლის ბუნებას. XIX საუკუნის ბოლო წლებში სტოლეთოვის და ტომსონის მიერ გამორკვეულ იქნა ის მოვლენა, რომ სინათლის სხივების მოქმედება ზოგიერთ ლითონზე წარმოშობს ელექტრულ დენს. ლითონში აღძრული ელექტრონების გამოვლენის ინტენსიობა უშუალოდ დამოკიდებულია სინათლის ენერჯიის სიმძლავრეზე. მაგრამ სინათლის მოქმედება არ წარმოებს თანაბრად თავისი

ტალღური გავრცელების ფრონტზე, არამედ ხდება მოქმედების კონცენტრაცია განსაზღვრულ წერტილებში. XX საუკუნის დასაწყისში პლანკის და ეინშტეინის მიერ გამოკვეთულ იქნა ის, რომ სინათლის სხივური ენერგია ვრცელდება პორციებად ანუ ქვანტებად. სინათლის სხივური ენერგიის ტალღური და ქვანტებად გავრცელების თეორიის მიხედვით შეისწავლება სინათლის ბუნება.

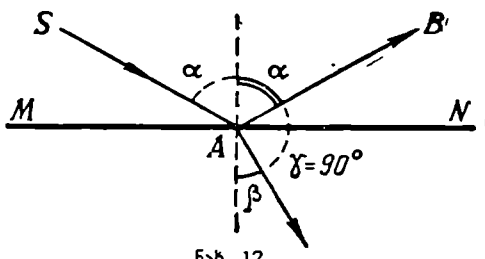
სინათლის სხივური ენერგიის ტალღური გავრცელების დამახასიათებელია სინათლის ინტერფერენცია. თუ ორი ტალღის პერიოდები თანასწორია, მაშინ ასეთი ტალღების ერთმანეთზე მოქმედების დროს წარმოიშვება სინათლის ინტერფერენცია; ეს იმას ნიშნავს, რომ ასეთი ტალღები გააძლიერებენ ან შეასუსტებენ ერთმანეთს. გაძლიერება მოხდება მაშინ, როცა ტალღების ცვლათა სხვაობა უდრის ნახევარი ტალღების წყვილ რიცხვს. ამ დროს ხდება ამპლიტუდების შეჯამება, ხოლო შესუსტება კი — როცა სხვაობა ეთანასწორება ნახევარტალღათა კენტ რიცხვს, ამ დროს მიიღება ამპლიტუდების სხვაობა; უკანასკნელ შემთხვევაში, თუ ტალღების ამპლიტუდები თანასწორია, ტალღები სპობენ ერთმანეთს. ინტერფერენციას არ განიცდის ორი მნათი წერტილიდან გამოსული სინათლის სხივები, რადგანაც ორი სინათლის წყარო ასხივებს ისეთ ტალღებს, რომელთა ამპლიტუდები და რხევების მიმართულება მუდამ იცვლება უწყსრივად. ასევე ინტერფერენცია არ წარმოიშვება ერთი მნათი სხეულიდანაც, რადგანაც ტალღური გავრცელება ხდება რადიუსების მიხედვით. ფრენელმა სინათლის ინტერფერენციის თვისებების შესწავლა მოახდინა მნათი წერტილიდან გამოსული სინათლის სხივების ორი სარკით არეკვლით, სინათლის ტალღების გაძლიერებით და შესუსტებით; ასეთი გაძლიერება ან შესუსტება ეკრანზე იძლევა ბნელ და წითელ ზოლებს, რომელთაც ინტერფერენციული ზოლები ეწოდება.

ერთგვარ გარემოში სინათლის სხივი ვრცელდება სწორხაზოვნად. მცირე წინააღმდეგობის გამო ერთგვარ გარემოშიაც შეიძლება სხივმა შეიცვალოს მიმართულება, რაც გამოწვეულია სინათლის სხივის გაუმჟვირვალე მცირე სხეულების გარშემო შემოვლით, ან მცირე ზომის ხვრეტილში სხივის გავლით. ერთ გარემოში სინათლის სხივის გარდატეხას სწორხაზოვანი მიმართულებიდან სინათლის დიფრაქცია ეწოდება. სინათლის დიფრაქციის დამახასიათებელია: თუ ხვრეტილის განაპირა სხივების სვლათა სხვაობა უდრის ნახევარტალღების წყვილ რიცხვს, მაშინ ამ მიმართულებით მივიღებთ სიბნელეს; თუ განაპირა სხივების ცვლათა სხვაობა უდრის ნახევარტალღების კენტ რიცხვს ან ნულს, მაშინ ამ მიმართულებით მივიღებთ სინათლეს. ამ მიზეზით განსაზ-

ღერულ წერტილში ყოველმხრივ წარმოიშვება ბნელი და ნათელი ზოლები, რომელთაც დიფრაქციული ზოლები ეწოდება.

სინათლის ინტერფერენცია და დიფრაქცია სინათლის ტალღური მოძრაობის დამახასიათებელია; მაგრამ, თუ როგორია ეს ტალღები, განვიხილოთ გრძელი, ამის შესახებ წარმოდგენას გვაძლევს სინათლის პოლარიზაციის მოვლენა. ბუნებრივი სხივი ხასიათდება იმით, რომ გავრცელების დროს იგი ირხევა სხვადასხვა სიბრტყეში. როცა სხივი ერთ სიბრტყეში არ ირხევა, მას დაპოლარებული სხივი ეწოდება. სხივის დაპოლარება ხდება არეკვლის დროს, მარტივი ან ორმაგი გარდატეხის დროს. თუ გამჭვირვალე MN სხეულის ზედაპირზე (ნახ. 12) ეცემა SA ბუნებრივი სხივი, მისი AB ნაწილი აირეკლება, ხოლო SA ნაწილი კი გარდატეხდება. ორი სხივი დაპოლარებულია ურთიერთპერპენდიკულარულ სიბრტყეში. გარდატეხილი სხივი არის ნაწილობრივად დაპოლარებული, რადგანაც იგი ხან ძლიერდება და ხან სუსტდება, სავსებით კი არ ისპობა. არეკვლილი სხივიც ნაწილობრივ დაპოლარებულია, მხოლოდ არსებობს გარკვეული დაცემის კუთხე, როცა არეკვლილი სხივი იქნება

სრულიად დაპოლარებული; ამ კუთხეს ეწოდება სრული პოლარიზაციის კუთხე. სრული პოლარიზაციის კუთხე განისაზღვრება ამგვარად: არეკვლის დროს სრული პოლარიზაცია მოხდება მაშინ. როცა დაცემის კუთხის ტანგენსი უდრის იმ გარემო გარდატეხის მაჩვენებელს,



ნახ. 12.

რომელზედაც სხივი ეცემა; იგი ასე დაიწერება

$$\operatorname{tg} \alpha = n,$$

სადაც n არის გარდატეხის მაჩვენებელი, საიდანაც ხდება სხივის არეკვლა. მიღებული მნიშვნელობა შეიძლება ასე გამოისახოს

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = n;$$

აქედან

$$\sin \alpha = n \cos \alpha;$$

მეორენაირად

$$\sin \alpha = n \sin (90^\circ - \alpha).$$

თავისთავად გარდატეხის მაჩვენებელი განისაზღვრება

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta};$$

აქედან

$$\sin \alpha = n \sin \beta.$$

აღნიშნულიდან გამომდინარეობს

$$n \sin (90^\circ - \alpha) = n \sin \beta,$$

ანუ

$$\sin (90^\circ - \alpha) = \sin \beta;$$

აქედან

$$90^\circ - \alpha = \beta;$$

$$\alpha + \beta = 90^\circ;$$

მაგრამ

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ,$$

სადაც γ არის კუთხე არეკვლილ და გარდატეხის სხივებს შორის. უკანასკნელი ორი ტოლობიდან გამომდინარეობს

$$\gamma = 90^\circ.$$

ამგვარად ვღებულობთ, რომ არეკვლილი და გარდატეხილი სხივი სწორკუთხედს წარმოადგენს, ე. ი. სრული პოლარიზაციის დროს არეკვლილი და გარდატეხილი სხივები ურთიერთპერპენდიკულარულია.

ბევრ კრისტალს ახასიათებს ის თვისება, რომ მასში სხივის გავლის დროს სხივი იშლება ორ სხივად, მიიღება სხივის ორმაგი გარდატეხა. ერთი სხივი ემორჩილება გარდატეხის კანონებს და მას ჩვეულებრივი სხივი ეწოდება; მეორე სხივი არ ემორჩილება გარდატეხის კანონებს და მას არაჩვეულებრივი სხივი ეწოდება. ორივე სხივი დაპოლარებულია ურთიერთპერპენდიკულარულ სიბრტყეებში. ჩვეულებრივი სხივის გარდატეხის მაჩვენებელი მუდმივი სიდიდეა, ე. ი. ამ სხივის სიჩქარე რომელიმე ნივთიერებაში მუდმივი სიდიდეა. არაჩვეულებრივი სხივის მაჩვენებელი იცვლება დაცემის სიბრტყესთან ერთად, ე. ი. არაჩვეულებრივი სხივის სიჩქარე ნივთიერებაში ერთნაირი არ არის. ასეთია სხივის ორმაგი გარდატეხის კანონი.

ფოტოგრაფიული გამოსახულების მიღება ძირითადად დამყარებულია სინათლის მოქმედების შედეგად მიღებულ თვისებებზე. ფოტოგრაფიული გამოსახულება მიიღება შუქმგრძნობ ფენაზე, ფირფიტის ან ფირის ზედაპირზე. ამ შემთხვევაში სინათლის სხივების სამოქმედო უბანია შუქმგრძნობი ფენა. ფოტოგამოსახულების მიღებამდე კი სინათლის სხივები განიცდის მრავალგვარ ცვლილებას, რაც გამომდინარეობს სინათლის ბუნებიდან.

სინათლის სხივური ენერჯიის სპექტრი

სინათლის „თეთრი სხივი“ შეიცავს ხილულ სპექტრს, რომელშიაც შედის ძირითადი ფერები: წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, მწვანე, ლურჯი და იისფერი. გარდა ამისა არსებობს ჩვენი თვალებისათვის უხილავი სხივები, რომელიც იმყოფება სპექტრის წითელისა და იისფერის დაბოლოებებზე; პირველს ეწოდება ინფრაწითელი, ხოლო მეორეს — ულტრაიისფერი სხივები.

ელექტრომაგნიტური თეორიის წინხედვით სხივური ენერჯია ვრცელდება რხევის საშუალებით. სხივის ტალღის სიგრძე ეწოდება მანძილს, რახედაც ვრცელდება რხევა ერთი პერიოდის განმავლობაში, ე. ი. იმ დროში, რაც სჭარდება ერთ სრულ რხევას. სხივის ტალღის სიგრძე აღვნიშნოთ λ , რხევათა რიცხვი წამში, ე. ი. რხევის სიხშირე ν ასოთი, ხოლო მანძილი, რომელსაც გაივლის რხევითი მოძრაობის დროს ერთ წამში, ე. ი. რხევის გავრცელების სიჩქარე c -თი, მაშინ ამ სიდიდეთა განსაზღვრა შეიძლება ამგვარად

$$c = \lambda \nu;$$

აქედან

$$\lambda = \frac{c}{\nu};$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

ეს სიდიდეები იცვლება სხივების სახეობათა მიხედვით, რის შესახებაც წარმოდგენას გვაძლევს მე-2 ცხრილი.

ცხრილი 2

სინათლის სხივები	ტალღის სიგრძე	რხევის სიხშირე
ხელოვნური ელექტრომაგნიტური ტალღები	30 კმ — 0,1 მმ	$10^8 - 3 \cdot 10^{12}$
ინფრაწითელი სხივები	0,3 მმ — 0,75 მკ	$10^{12} - 4 \cdot 10^{14}$
ხილული სხივები	750 მმკ — 400 მმკ	$4 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$
ულტრაიისფერი სხივები	400 მმკ — 10 მმკ	$7,5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$
რენტგენის სხივები	10 მმკ — 0,01 მმკ	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{18}$
გამა სხივები	0,1 მმკ — 0,001 მმკ	$3 \cdot 10^{18} - 3 \cdot 10^{20}$
კოსმიური სხივები	0,6 X — 0,4 X	$5 \cdot 10^{21} - 7,4 \cdot 10^{21}$

ცხრილში მოცემული აღნიშვნები უნდა წავიკითხოთ ასე: მკ — მიკრონი, რომელიც შეიცავს მილიმეტრის მეათასედს; მმკ — მილიმიკრონი, რომელიც მიკრონის მეათასედი ნაწილია; X არის მილიმიკრონის მეათათასედი ნაწილი. გარდა ამისა ტალღების სიგრძის გასაზომად გამოი-

ყენება საზომი ერთეული ანგსტრემი, რომელიც აღინიშნება Å და ეთანასწორება მმკ მეათედ ნაწილს.

აქ ნაჩვენებია ცხრილის მიხედვით მიედივართ იმ დასკვნამდე, რომ სპექტრის ხილული ნაწილის სხივების ტალღების სიგრძე იცვლება 750 — 400 მმკ; ამ სხივებს ესაზღვრება ერთი მხრივ ინფრაწითელი სხივები, რომელთა ტალღის სიგრძე 750 მმკ მეტია. მეორე მხრივ ულტრაიისფერი სხივები, რომელთა ტალღის სიგრძე 400 მმკ ნაკლებია. ხილული სხივების შიგნით, სპექტრის მუქი წითელი ფერიდან იისფერამდე, ტალღების სიგრძე თანდათანობით მცირდება. ამის შესახებ წარმოდგენას გვაძლევს ქვემოთ მოყვანილი მე-3 ცხრილი.

ც ხ რ ი ლ ი 3

ფერის დასახელება	ტალღის სიგრძე მმკ	ფერის დასახელება	ტალღის სიგრძე მმკ
წითელი	750—620	ციისფერი	500—470
ნარინჯისფერი	620—590	ლურჯი	470—430
ყვითელი	590—530	იისფერი	430—390
მწვანე	530—500		

სხივური ენერგიის დამახასიათებელი ის არის, რომ სხივების სხვადასხვა ნივთიერებაში გავლის დროს იცვლება ტალღის სიგრძე და რხევითა გავრცელების სიჩქარე, რხევის სიჩქარე კი მუდმივი რჩება. ამის გამო, თუ ერთი ნივთიერებისათვის

$$v = \frac{C_1}{\lambda_1},$$

მაშინ მეორე ნივთიერებისათვის

$$v = \frac{C_2}{\lambda_2}.$$

ბოლო დროს გამოსხივების დასახასიათებლად არკვევენ ტალღების რაოდენობას, რომელიც განისაზღვრება ტალღების რაოდენობით 1 სმ უპაერო სივრცეში. თუ ტალღის სიგრძე λ სიციარიელში გაიზომება ანგსტრემებში, მაშინ ტალღების რაოდენობა ეთანასწორება $\frac{10^2}{\lambda}$.

გამოსხივება

სხივადი ენერგიის რომელიმე საგანზე დაცემის დროს ამ ენერგიის ნაწილი აირეკლება, ნაწილი გაივლის საგანში და ნაწილი კი შთანთქმდება. ამის გამო არსებობს გამოსხივებისა და შთანთქმის სპექტრი. გამოსხივების სპექტრს ეკუთვნის სპექტრის რამდენიმე სახეობა: 1) უწყვეტი — როცა სპექტრი წარმოდგენს უწყვეტ ნათელ ზოლს და შეიცავს

უველა ფერის სხივს, რომელსაც იძლევა გავარვარებული მყარი სხეულები, სითხეები და დიდი წნევის ქვეშ მყოფი გაზები და ორთქლები; 2) ხაზოვანი — როცა სპექტრი შედგება რამდენიმე ნათელი ხაზისაგან და თეთო-ეული ხაზის ფერი ისეთია, როგორი ფერის სხივიც იქნებოდა ამ ხაზის ადგილზე — იძლევა გავარვარებული გაზების და ორთქლების ატომები; 3) ზოლოვანი — როცა სპექტრი შედგება ნათელი, ფართო ზოლები-საგან, ძლიერი დისპერსიის დროს სპექტრი იშლება მრავალრიცხოვან ნათელ ხაზებად — იძლევა გავარვარებული გაზებისა და ორთქლების მოლე-კულები.

ამგვარად, გამოსხივებას ძირითადად იძლევა გახურებული სხეულები. სხეულთა ტემპერატურის მიხედვით იცვლება სინათლის სხივების ფერიც. მაგალითად, რკინის გახურების დროს ვამჩნევთ: განსაზღვრული ტემპე-რატურის შემთხვევაში რკინას აქვს მუქი წითელი სინათლე, ტემპერა-ტურის შემდეგი მატებისას მივიღებთ ნარინჯისფერს, შემდეგი მატები-სას — ყვითელ ფერს, ხოლო ბოლოს — თეთრ ფერს. მზის სინათლის ენერგია წარმოშობილია მზის მასის მალალი ტემპერატურით. მზის სპექტრი წარ-მოადგენს უწყვეტ სპექტრს, რომელსაც სხვადასხვა ადგილზე ბნელი ხა-ზები აქვს. კირხჰოფმა გამოარკვია, რომ მზის სპექტრში ბნელი ხა-ზების წარმოშობა წარმოადგენს სპექტრის შებრუნების კერძო შემთხვე-ვას. სპექტრების შებრუნება მდგომარეობს შემდეგში: თუ გავარვარებული გაზი ან ორთქლი იძლევა ხაზოვან სპექტრს და მასში გვაატარებთ მა-ლალი ტემპერატურის მყარი სხეულის თეთრ სხივებს, მივიღებთ უწყვეტ სპექტრს შავი ხაზებით იმ ადგილებზე, სადაც გაზის ან ორთქლის ნათელი ხაზები იყო. სპექტრების ასეთი შებრუნება ემორჩილება კირხჰოფის კა-ნონს: ყოველი სხეული შთანთქავს იმ სხივებს, რომლე-ბსაც იმავე ტემპერატურაზე თვითონ გამოასხივებს. სხეულის ზედაპირის ერთი კვადრატული სანტიმეტრიდან ერთ წამში გამოსხივების ენერგიას სხეულის გამოსხივების უნარიანობა ეწოდება. კირხჰოფმა გამოსხივების და შთანთქმის უნარიანობას შორის აღმოაჩინა შემდეგი კავშირი: გამოსხივების უნარიანობა e ფუნქციაა λ ტალღის სიგრძისა და T ტემპერატურისა; ეს ფუნქციონალური დამოკი-დებულება გამოისახება ასე

$$e = e(\lambda, T).$$

აბსოლუტურად შავი სხეულისათვის გამოსხივების უნარიანობა აღინი-შნება $E(\lambda, T)$ ან E -თი. სხვადასხვა სხეულის გამოსხივებისა და შთანთქმის უნარიანობათა შორის არსებობს ასეთი დამოკიდებულება

$$\frac{e(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = \frac{e_1(\lambda, T)}{a_1(\lambda, T)} = \frac{e_2(\lambda, T)}{a_2(\lambda, T)} = \dots = \frac{E(\lambda, T)}{A(\lambda, T)} ;$$

იგი მარტივად ასე გამოისახება

$$\frac{e}{a} = \frac{e_1}{a_1} = \frac{e_2}{a_2} = \dots = \frac{E}{A},$$

სადაც e, e_1, e_2, \dots და a, a_1, a_2, \dots არის სხვადასხვა სხეულის გამოსხივების უნარიანობა;

E — აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების უნარიანობა;

a, a_1, a_2, \dots და a . შ. იმავე სხეულების შესაბამისი შთანთქმის უნარიანობა,

A — აბსოლუტურად შავი სხეულის შთანთქმის უნარიანობა.

აბსოლუტურად შავი სხეულის შთანთქმის უნარიანობა $A = 1$, რის გამოც

$$\frac{e}{a} = \frac{e_1}{a_1} = \frac{e_2}{a_2} = \dots = E.$$

გამოსხივებისა და შთანთქმის უნარიანობათა შორის ასეთი დამოკიდებულება: გამოსხივებისა და შთანთქმის უნარიანობათა ფარდობა ყველა სხეულისათვის მუდმივი სიდიდეა და ეთანასწორება აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების უნარიანობას. კირხჰოფის ძირითადი კანონის მიხედვით შევიძლია დაეწეროთ

$$\frac{e}{a} = E;$$

აქედან ვღებულობთ

$$e = aE.$$

ყველა სხეულისათვის $a < 1$, ამისათვის $e < E$ ანუ $E > e$; ეს იმას ნიშნავს, რომ აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივება უდიდესია სხვა სხეულების გამოსხივებაზე.

უბრუნდეთ შემთხვევაში სინათლის გამოსხივება სხეულებიდან წარმოებს მაღალი ტემპერატურის გავლენით, როცა სითბური ენერგიის ნაწილი იქცევა სინათლის ენერგიად.

გარდა ამისა, არსებობს ისეთი შემთხვევები, როცა სხეული გამოასხივებს სხვადასხვა მიზეზის გამო. სინათლის ასეთ გამოსხივებას ლუმინისცენცია ეწოდება. ლუმინისცენციას წარმოშობს წინასწარი განათება, ქიმიური მოქმედება, ელექტროდენის გავლენა და სხვ.

წინასწარი განათებით გამოწვეულ სინათლის გამოსხივებას ფოტოლუმინისცენცია ეწოდება; მისი სახეებია ფოსფორესცენცია და ფლუორესცენცია. ფოსფორესცენცია გამოწვეულია ისეთი შემთხვევით, როდესაც სინათლის გამოსხივება გრძელდება მისი გამომწვევი

მიზეზის მოსპობის შემდეგაც. მაგალითად, ფოსფორესცენციის მოვლენა წარმოიშევა გოგირდის შეერთებით კალციუმთან, სტრონციუმთან, ბარიუმთან ან თუთიასთან. ფლუორესცენცია გრძელდება სხეულის განათების დასასრულამდე; ამ მოვლენას განიცდის ნაეთი, გოგირდმეფავაქინაქინი, საღებავი ეოზინი და ფლუორიტი; აქედან წარმოსდგა თვით მოვლენის სახელწოდება.

ქიმიური ლუმიინისცენცია წარმოიშევა ქიმიური რეაქციების დროს, მაგალითად, ფოსფორის დაეანგვით ჰაერზე. ელექტროლუმიინისცენციას ადგილი აქვს გაზების ელექტრული განმუხტვის დროს. ბიოლუმიინისცენციის მოვლენა აიხსნება ზოგიერთი ცოცხალი ორგანიზმის ნათებით, კრისტალოლუმიინისცენცია — ზოგიერთი მსნარის კრისტალიზაციით, ტრიბოლუმიინისცენცია კი — ზოგიერთ სხეულში დაწოლით და ხახუნით.

ტემპერატურული გამოსხივება. სხივადი ენერჯიის ძვანტი

სხივების გატარების კარგი თვისება აქვს გამკვირვალე სხეულებს, მაგალითად, უფერო მინას. სამაგიეროდ შთანთქმის დიდი უნარი აქვს შავ სხეულებს; მაგალითად, ქვარტლის რამდენიმე მილიმეტრის ფენა მთლიანად შთანთქავს მის ზედაპირზე მოხვედრილ სინათლის სხივებს. თუ წარმოვიდგენთ ისეთ სხეულს, რომელიც მთლიანად შთანთქავს მის ზედაპირზე მოხვედრილ სხივად ენერჯიას ყოველგვარი სიგრძის ტალღებით, ასეთ სხეულს შეიძლება ვუწოდოთ აბსოლუტურად შავი სხეული.

გასული საუკუნის დასაწყისში ფიზიკოსებმა აღმოაჩინეს სხეულთა ერთი შესანიშნავი თვისება: ადვილად ხურდება ის სხეულები, რომლებიც მეტ სხივად ენერჯიას შთანთქავენ; მაგალითად, თუ გაზის უფერო ალში შევიტანთ ნახშირის და ცარცის ნაქერს და გავახურებთ ერთნაირი ტემპერატურით, ნახშირის განათებულობა იქნება ბევრად მეტი, ვიდრე ცარცის. ამ მოვლენასთან დაკავშირებით კირხჰოფმა გამოიტანა ასეთი დასკვნა: აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივება ითვლება მაქსიმალურად, შედარებით სხვა სხეულების გამოსხივებასთან, ერთნაირი და მუდმივი ტემპერატურის დროს.

დაკვირვების შედეგად ჩამოყალიბდა ტემპერატურული გამოსხივების კანონები, რომელთაგან ცნობილია:

1. სტეფან-ბოლცმანის კანონი. 1878 წელს სტეფანმა დაკვირვების ჩატარების შედეგად, 1884 წელს ბოლცმანმა თეორიული მონაცემების მიხედვით, გამოიყვანეს კანონი:

აბსოლუტურად შავი სხეულის სრული გამოსხივება პირდაპირპროპორციულია აბსოლუტური ტემპერატურის

რის მეოთხე ხარისხისა. ეს კანონი ფორმულით ასე გამოისახება

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

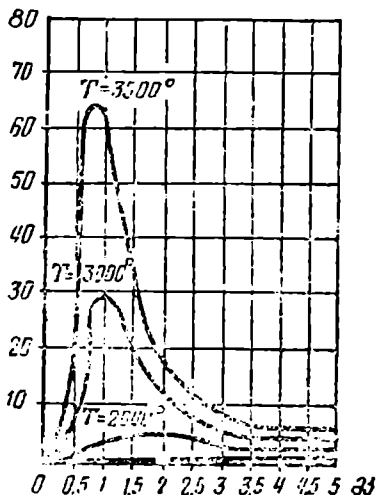
სადაც E არის აბსოლუტურად შავი სხეულის სრული გამოსხივება; T —აბსოლუტური ტემპერატურა;

σ — პროპორციულობის მუდმივი კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება შავი სხეულის შთანთქმის ენერგიით 1 სმ^2 1 წანში და რომლის სიდიდე განისაზღვრება $5,72 \cdot 10^{-8}$ ერგით. გამოსხივებასა და ტემპერატურას შორის დამოკიდებულება შეიძლება გამოვსახოთ გრაფიკულად (ნახ. 13). აქ ჰორიზონტალური ღერძი გამოსახავს ტალღის სიგრძეს, ვერტიკალური ღერძი კი — სხივად ენერგიას. ამ გრაფიკიდან ჩანს, რომ განსაზღვრულ ტემპერატურას შეესაბამება თავისი მრუდი. ტემპერატურის გაზრდით იზრდება სხივადი ენერგია და მისი სპექტრის ყველა სხივის ტალღის სიგრძე.

2. ვინის კანონი. რკინის ნაპერზე წარმოებულ ცდა გვარწმუნებს, რომ ტემპერატურის მატებით მარტო ნათების სიძლიერე კი არ იზრდება, არამედ ნათების ფერიც, მუქი წითლიდან გათეთრებამდე. მაასაღამე, ტემპერატურული ზრდა სხივადი ენერგიის ცვლილებასთან ერთად იწვევს სპექტრალურ ცვლილებასაც. ამასთან ერთად აბსოლუტურად შავი სხეულის განოსხივების სპექტრში ენერგია უთანაბროდაა განაწილებული. ასეთი განაწილების შესახებ ვინმა თეორიული გამოანგარიშებით მიიღო: აბსოლუტურად შავი სხეულის განოსხივების სპექტრში უდიდესი ენერგიის მქონე ტალღის სიგრძე აბსოლუტური ტემპერატურის უკუპროპორციულია, ე. ი. უდიდესი ტალღის სიგრძისა და აბსოლუტური ტემპერატურის ნაწარმოები მუდმივი სიდიდეა. ეს დამოკიდებულება ამგვარად გამოისახება

$$\lambda_{max} \cdot T = \text{Const.}$$

1899 წელს ვინის კანონი ცდების საშუალებით შემოწმებულ იქნა ლუმერიისა და პრინგსჰეიმის მიერ, რომლებმაც დაამტკიცეს, რომ ეს კანონი ვარგისია ტემპერატურათა დიდ ფარგლებში. მათვე გამოიანგარიშეს მუდმივი სიდიდის მნიშვნელობაც; მაგალითად, აბსოლუტურად



ნახ. 13.

შავი სხეულებისათვის ეს სიდიდე განისაზღვრება 2940, თუ ტალღის სიგრძე გამოსახულია მიკრონებით. ამის მიხედვით

$$\lambda_{max} \cdot T = 2940;$$

აქედან შეიძლება დაიწეროს

$$\lambda_{max} = \frac{2940}{T};$$

$$T = \frac{2940}{\lambda_{max}}.$$

ვინის კანონის მიხედვით ტემპერატურის აწვევა იწვევს ტალღის სიგრძის შემცირებას, ე. ი. ენერგიის მაქსიმუმი მოკლე ტალღებს იძლევა.

3. პლანკის კანონი. ვინის განმარტების მიხედვით ვლდებულობთ, რომ აბსოლუტურად შავი სხეულების გამოსხივების მთელი ენერგია ტემპერატურის მატებით იზრდება, მხოლოდ ეს ზრდა სხივების ტალღების სხვადასხვა სიგრძისადმი არ არის ერთნაირი. ეს მოსაზრება შეიძლება გამოითქვას ასეც: აბსოლუტურად შავი სხეულების ენერგიის განაწილება სპექტრში ტემპერატურის მატებით არ იქნება ერთნაირი.

ამ საკითხის შესწავლას სხვადასხვა დროს ყურადღებას აქცევდნენ გამოჩენილი ფიზიკოსები. 1900 წელს პლანკმა მიაღწია ამ საკითხის გადაწყვეტას მის მიერ შექმნილი ქვანტთა თეორიის საშუალებით. ამ თეორიის თანახმად: ენერგიის გამოსხივება ყოველგვარი სხეულიდან წარმოებს არა განუწყვეტელი, არამედ განსაზღვრული სიდიდის პორციებად. ამ ცალკეულ პორციებს ანუ ნაწილებს უწოდეს „პლანკის ქვანტი“. ენერგიის ქვანტი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ენერგიის ატომი. ქვანტის სიდიდე განისაზღვრება

$$\varepsilon = h \cdot \nu,$$

სადაც ε გამოსახავს ქვანტის სიდიდეს; ν — რხევის სიხშირეს; h — პოპორციულობის კოეფიციენტს, რომელსაც ეწოდება „პლანკის მუდმივა“ და მისი სიდიდე დამოკიდებულია იმაზე, თუ ქვანტის საზომად რა ერთეულს ავირჩევთ; ჩვეულებრივად ერგებით გაზომვის შემთხვევაში $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$ ერგი წამი. ამ ფორმულიდან ვლდებულობთ, რომ დიდ სიხშირეს შეესაბამება დიდი ქვანტი, მცირე სიხშირეს კი მცირე ქვანტი, ე. ი. ქვანტის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია გამოსხივების რხევათა სიხშირისა.

ვიციტ, რომ რხევათა სიხშირე განისაზღვრება

$$\nu = \frac{c}{\lambda};$$

ამის მიხედვით

$$\epsilon = h \cdot \frac{c}{\lambda}.$$

ამგვარად, ქვანტის ქსიდიდე უკუპროპორციულია ტალღის სიგრძისა.

ხვალსონმა გამოარკვია, რომ ქვანტის სიდიდე იცვლება გამოსხივების მიხედვით. მაგალითად, წითელი სინათლის ნაკადი შეიძლება შევადაროთ ტყვიის საფანტის მოძრაობას, ულტრაიისფერი სინათლის ნაკადი — თოფის ტყვიის მოძრაობას, ხოლო რენტგენის სინათლისა — ქვემეხის ყუმბარისას.

აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების სპექტრში ენერჯიის დამოკიდებულება ტალღის სიგრძესთან, ქვანტთა თეორიის მიხედვით, პლანკმა გამოსახა შემდეგი ფორმულით

$$E(\lambda, T) d\lambda = \frac{2\pi c^2 h d\lambda}{\lambda^5 \left[e^{\frac{ch}{k\lambda T}} - 1 \right]},$$

სადაც $E(\lambda, T)$ არის T ტემპერატურაზე გამოსხივებული ენერჯია, დაპოლარებული მონოქრომატული ტალღის მიერ, რომლის სიგრძე არის λ , ე. წ. „ხვედრითი ინტენსივობა“;

$E(\lambda, T) d\lambda$ — სპექტრის $d\lambda$ ნაწილზე გამოსხივებული ენერჯია;

c — სინათლის სიჩქარე, ეთანასწორება $3 \cdot 10^{10}$ სმ/წამს;

e — ნეპერის რიცხვი;

k — ბოლცმანის უნივერსალური მუდმივი კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე არის $1,371 \cdot 10^{-16}$ ერგი/გრადუსი;

h — პლანკის მუდმივი კოეფიციენტი.

პლანკის ფორმულა ბევრჯერ შეუმოწმებიათ. 1921—1922 წლებში იგი ზუსტი გაზომვებით შემოწმებულ იქნა რუბენსის მიერ გრძელი ტალღების დროს, როცა ტალღის სიგრძე აღწევდა 52,2 მკ-მდე და მაღალი ტემპერატურის შემთხვევაში — 170°-დან + 1558°-მდე.

პლანკის ფორმულიდან შეიძლება მივიღოთ სტეფან-ბოლცმანისა და ვინის კანონები, როგორც ამ ფორმულის შედეგები.

შემალი ტემპერატურა

ჩვენ განვიხილეთ აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების კანონები. ამავე კანონებს ემორჩილება ღია ფერის სხეულების გამოსხივებაც. რომელიმე სხვა ფერის სხეულის ენერჯიის გამოსხივების დროს სპექტრში უნდა მოვძებნოთ ისეთი ტემპერატურა, რომელიც შეეფარდება აბსოლუტურად შავი სხეულის ენერჯიის გამოსხივების დროს წარმოშობილ

გამოსხივების ტემპერატურას. მაგალითად, ნავთის სანათურებში ასეთი მდგომარეობა შეიქმნება მაშინ, როცა $T=2045$. ვინის კანონის თანახმად მივიღებთ

$$\lambda_{გრ} = \frac{2940}{T} = \frac{2940}{2045} = 1,44 \text{ მკ.}$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ ნავთის სანათურის ენერგიის ყველაზე დიდი გამო-სხივება მიიღება, როდესაც ტალღის სიგრძეა 1,44 მკ ანუ 1440 მმკ. ასეთი ტალღების სიგრძე ახასიათებს უხილავ ინფრაწითელ სხივებს. ამ წესით შესაძლებელი ხდება სხვა სხეულების სინათლის წყაროს ენერგიის გამო-სხივება დავიყვანოთ აბსოლუტურად შავი სხეულის სინათლის წყაროს სპექტრალური ენერგიის გამოსხივებამდე. იმ ტემპერატურას, რომელსაც იძლევა სინათლის წყარო და შეეფარდება აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების ტემპერატურას, ფერადი ტემპერატურა ეწოდება. სინათლის წყაროს ფერადი ტემპერატურა შეიძლება გამოვსახოთ გრადუ-სებით, აბსოლუტურად შავი სხეულის ტემპერატურის აბსოლუტური სკა-ლის ნიხედვით. რომელიც შეესაბამება ამ სხეულის განსაზღვრული ნაწილის სიკაშკაშეს. მნიშვნელოვან სინათლის წყაროთა ფერად ტემპერატურაზე წარმოდგენას იძლევა მე-4 ცხრილი.

ცხრილი 4

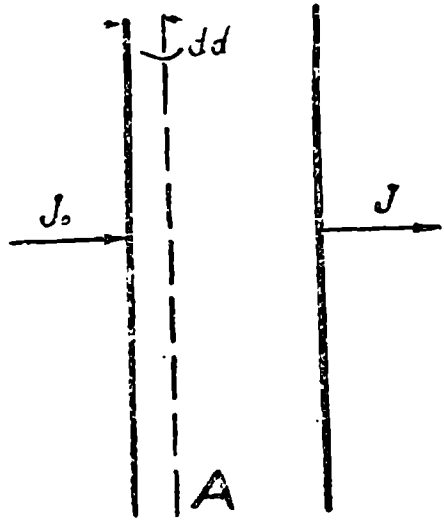
სინათლის წყარო	ფერადი ტემპერატურა, გრად.
გეფნერის ნათურა	1875
პარაფინის სანთელი	1920
ნავთის ნათურა ბრტყელი პატრუქით	2055
აცეტილენი	2360
ელექტრონათურა ნაწილის ძაფებით	2070
ელექტრონათურა ვოლფრამის ძაფებით	2450
რკალური ნათურა	3780
მთვარის სინათლე	4125
დღის საშუალო სინათლე	5000
ზღის პირდაპირი სინათლე დედამიწის ზედაპირზე	
ზაფხულზე. შეადღისას	5300 — 5600

სინათლის შთანთქმა

ფოტოქიმიური პროცესებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს სინათლის შთანთქმულ სიძველეს, რომლებიც სხეულზე დაცემული სხივადი ენერგიის ნაწილს წარმოადგენს. თუ სხეულზე დაცემული სინათლის ენერგიის არე-კვლილ ნაწილს აღვნიშნავთ R -ით, სხეულში გავლილ ნაწილს D -თი და შთანთქმულ ნაწილს A -თი, შეგვიძლია დავწეროთ

$$R + D + A = 1.$$

მაშასადამე, არეკვლილი, გატარებული და შთანთქმული სინათლის სხივები ცალ-ცალკე ერთეულს არ აღემატება, ხოლო მათი ჯამი შეადგენს ერთ ერთეულს. ამ სხივების სიდიდე დამოკიდებულია სხეულის ბუნებრივ შემადგენლობასა და სისქეზე, სინათლის ტალღის სიგრძეზე. როდესაც სხეული სხივადი ენერგიის დიდ ნაწილს გაატარებს და მცირე ნაწილს შთანთქავს, მაშინ იგი გამჭვირვალეა; თუ $D = 0$, ან მცირეა, მაშინ სუელი იქნება გაუმჭვირი. სხივების კარგი გატარების თვისება აქვს ისეთ სხეულს, როგორცაა მინა; შთანთქმის დიდი უნარი აქვს შავ სხეულებს, მაგალითად, ქვარტლს. ხილული სხივებისათვის მრავალი გამჭვირვალე სხეული (მინა, ყინული, შავი) გაუმჭვირია ინფრაწითელი სხივებისათვის. არსებობს ისეთი სხეულები, რომლებიც გაუმჭვირია ხილული სხივებისათვის და გამჭვირვალეა ინფრაწითელი სხივებისათვის (ებონიტი, იოდის ხსნარი გოგირდნახშირბადში). ამგვარად, სხეულთა გამჭვირვალობა ან გაუმჭვირობა განისაზღვრება ნაოლოდ და მხოლოდ მოცემული სხივებისათვის, რაც უშუალოდ დამოკიდებულია სხეულის შემადგენლობასა და სინათლის ტალღის სიგრძეზე. ერთგვაროვან ფენაში სინათლის შთანთქმის საკითხი 1760 წლისათვის დაამუშავა ლამბერტმა. დაუშვათ,



ნახ. 14.

რომ ერთგვაროვანი სხეულის ზედაპირზე ეცემა მონოქრომატული, ე. ი. განსაზღვრული სიგრძის ტალღების მქონე სინათლის სხივები, რომელთა ინტენსივობა არის I_0 (ნახ. 14). საერთო სისქის მქონე სხეული შეიძლება წარმოდგენილ დაფკოთ ელემენტარულ dd ფენებად. სხეულში და ამასთან ერთად სხეულის ფენებში გავლილი სინათლის სხივები დაკარგავს ინტენსივობას და სხეულიდან გასვლისას ექნება ნაკლები I ინტენსივობა. ელემენტარულ dd ფენაში გავლის დროს სინათლის სხივების ინტენსივობა შემცირდება სიდიდით

$$- dI = k' \cdot I \cdot dd;$$

აქედან

$$\frac{dI}{I} = -k' \cdot dd;$$

უკანასკნელი ტოლობის გაინტეგრირებით მივიღებთ

$$\ln I = -k'd + c;$$

როდესაც $d=0$, მაშინ მუდმივი სიდიდე $c = \ln I_0$ და შეიძლება დაიწეროს

$$\ln I = -k'd + \ln I_0;$$

$$\ln I - \ln I_0 = -k'd;$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -k'd;$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-k'd};$$

$$I = I_0 e^{-k'd}.$$

ეს უკანასკნელი გამოსახულება იძლევა განმარტებას ლამბერტის კანონის შესახებ. რადგანაც ეს კანონი ეხება მონოქრომატულ სინათლის სხივებს, სადაც ტალღის სიგრძეა λ , ეს ფორმულა შეიძლება ასე გამოისახოს

$$I_\lambda = I_{\lambda_0} e^{-k'\lambda d}.$$

თუ სინათლის სხივების ტალღის სიგრძე იქნება λ^1 , მაშინ

$$I_{\lambda^1} = I_{\lambda_0^1} e^{-k'\lambda^1 d}.$$

ლამბერტის მიერ გამოყვანილ ფორმულაში სინათლის სხივების შთანთქმის რიცხობრივი სიდიდის განმსაზღვრელია ნამრავლი $k'd$ და კერძოდ სიდიდე k' , რის გამოც მას შთანთქმის კოეფიციენტი ეწოდება. 1857 წელს ბუნზენმა e ნატურალური ლოგარითმის სიდიდე შეცვალა ათობითი ლოგარითმული სიდიდით, რის გამოც ლამბერტის ფორმულამაც შეიცვალა თავისი სახე:

$$I = I_0 \cdot 10^{-kd},$$

სადაც

$$k = k' \lg e = k' \cdot 0,4343.$$

k' კოეფიციენტისაგან განსხვავებით, k კოეფიციენტს ათობითი შთანთქმის კოეფიციენტი ეწოდება.

ასეთი ცვლილების შეტანის შემდეგ სინათლის სხივების შთანთქმის გამომსახველი ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-kd};$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{10^{kd}};$$

როდესაც

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{10},$$

მაშინ

$$kd = 1,$$

საიდანაც

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

როდესაც სხეულში გავლილი სინათლის სხივების ინტენსივობა მცირდება 10-ჯერ, მაშინ ათობითი შთანთქმის კოეფიციენტი რიცხობრივად ეთანანსწორება სხეულის ფენის სისქის შებრუნებულ სიდიდეს, გამოსახულს სანტიმეტრებით.

აღნიშნული ფორმულები მისაღებია ისეთი სხეულებისათვის, რომელთა შემადგენლობა ერთგვარია. მაგრამ ისეთ სხეულებში, როგორცაა გაზები და ხსნარები, შთანთქმის ეფექტიანობა დამოკიდებულია აგრეთვე სხეულების ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე. ეს საკითხი 1852 წლისათვის შესწავლილ იქნა ბერიის მიერ. მან აღმოაჩინა დამოკიდებულება ნივთიერების კონცენტრაციასა და ფენის სისქეს შორის

$$c_1 d_1 = c_2 d_2 = \dots = c_n d_n,$$

სადაც c არის ნივთიერების კონცენტრაცია;

d — ნივთიერების ფენის სისქე.

ბერმა დაამტკიცა, რომ გაზებსა და ხსნარებში, სხვა ფაქტორებთან ერთად, სინათლის სხივების შთანთქმის უნარიანობის განმსაზღვრელია ნივთიერების კონცენტრაცია და ფენის სისქე. ასეთი დასკვნის შედეგად მიღებულ იქნა ახალი კანონი, რომელსაც ლამბერტ-ბერიის კანონი ეწოდა. ამ კანონის თანახმად

$$I = I_0 e^{-k'cd};$$

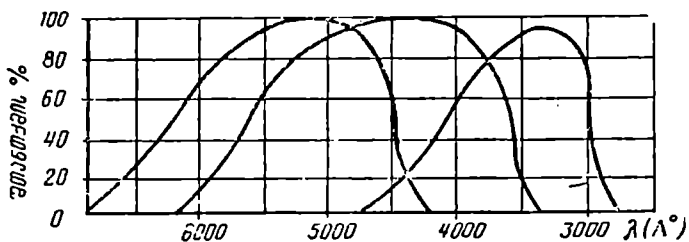
მეორენაირად

$$I = I_0 10^{-kd}.$$

ამ გამოსახულებებში k' და k სიდიდეებს შესაბამისად შთანთქმის მოლეკულარული კოეფიციენტი და ათობითი შთანთქმის მოლეკულარული კოეფიციენტი ეწოდა. კონცენტრაციის სიდიდე შთანთქმელ ნივთიერებაში განისაზღვრება გრამმოლეკულების რაოდენობით ლიტრში.

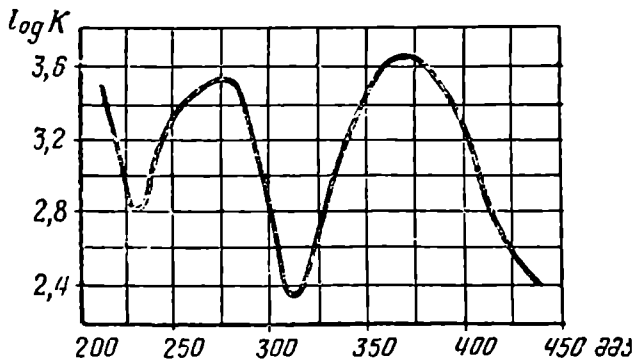
სინათლის სხივების შთანთქმის მოვლენა შეიძლება გამოვსახოთ გრაფიკულადაც. აბსცისთა ღერძზე უნდა გადავზომოთ ტალღის სიგრძეები, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — შთანთქმის კოეფიციენტის სიდიდეები

(ნახ. 15 და 16). მიღებული მრუდები გვიჩვენებს სინათლის სხივების ნივთიერებათა მიერ შთანთქმის ხასიათს. ასეთ მრუდებს ეწოდება შთანთქმის მრუდები ანუ აბსორბციის მრუდები. პირველ ნახაზზე (ნახ. 15) მოცემულია ჰალოგენური ნივთიერების — $0,01 N$ და ოთხმაგი



ნახ. 15.

ქლორნახშირბადის ხსნარის შთანთქმის მრუდი. მეორე ნახაზზე ნაჩვენებია $K_2 C_2 O_4$, $0,5N$ და KOH ხსნარის შთანთქმის მრუდი. პირველ შემთხვევაში ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია პროცენტობით გამოსახული შთანთქმის სიდიდეები, ხოლო მეორე შემთხვევაში — ათობით ლოგარითმებით გამოსახული შთანთქმის სიდიდეები. მრუდების გამოსახულებანი გვიჩვენებს, რომ თითოეული ნივთიერების მიერ სინათლის სხივების შთანთქმა სპექტრის განსაზღვრული უბნისათვის განსაკუთრებულად ხა-



ნახ. 16.

სიათდება. ამისათვის სპექტრის ამ უბნებს შთანთქმის ზოლები ეწოდება. რომელიმე ნივთიერების შთანთქმის ზოლების დასახასიათებლად საჭიროა მოცემულ იქნეს შთანთქმის კოეფიციენტის სიდიდე, რითაც განისაზღვრება სპექტრის მდგომარეობა, ანუ სპექტრის სიღრმე. სინათლის სხივების შთანთქმის სპექტრის შესწავლით საშუალება გვეძლევა გავერკვეთ ნივთიერებათა ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებში, კერძოდ ნივ-

თიერებათა მოლეკულარულ აგებულებაში. k' მოლეკულარული კოეფიციენტი და k ათობითი მოლეკულარული კოეფიციენტი წარმოდგენას გვაძლევს ამა თუ იმ ნივთიერების შეუსწავლელი კონცენტრაციის შესახებ. ლამბერტ-ბერის კანონის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-kcd},$$

საიდანაც

$$\frac{I_0}{I} = 10^{kcd},$$

$$\lg \frac{I_0}{I} = kcd,$$

$$c = \frac{1}{kd} \lg \frac{I_0}{I}.$$

ამ სახით შეიძლება შევამოწმოთ რომელიმე ნივთიერების კონცენტრაცია და ნივთიერების სისქე უნდა გამოვსახოთ სანტიმეტრებით.

ზოგიერთ შემთხვევაში ხსნარებში სინათლის შთანთქმის მოვლენები არ ემორჩილება ლამბერტ-ბერის კანონს, რადგანაც ამ კანონით მოლეკულარული კოეფიციენტების სიდიდეები არ არის დამოკიდებული ხსნარის კონცენტრაციაზე. არსებობს ისეთი ხსნარები. როცა მათი კონცენტრაციის შეცვლა იწვევს მოლეკულარული კოეფიციენტების შეცვლასაც. ხსნარებში სინათლის სხივების შთანთქმა წარმოებს ნივთიერების მოლეკულების ან ელექტროლიტების — იონების საშუალებით. ხსნარების კონცენტრაციის შეცვლა შეიძლება ვაწარმოოთ ორგვარად: შთანთქმელი ნივთიერების ნაწილების რაოდენობრივი ცვლილებით ან ამ ნაწილების შემადგენლობის ცვლილებით. კოლოიდურ ხსნარებში გავლილი სინათლის სხივები არა მარტო შთანთქმება, არამედ დიფუზიურადაც გაიფანტება. დიფუზიური მოვლენა ჩვეულებრივ იწყება სინათლის სხივების ნივთიერების ზედაპირზე შესებისთანავე. ეს მოვლენა ნივთიერებებში შესამჩნევი ხდება იმ შემთხვევაში, როცა ნივთიერების დისპერსიული ნაწილების ხაზოვანი ზომები ნაკლებია ნივთიერებაში გამავალი სინათლის სხივების ტალღების სიგრძეზე.

რელემ ფორმულით გამოიყვანა დამოკიდებულება სხივების დიფუზიურ გაფანტულობასა და ნივთიერებაზე დაცემული სხივების ინტენსივობას შორის

$$I_s = I_0 \cdot \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + 2n_2^2} \cdot \frac{k \nu \nu^2}{\lambda^4} (1 + \cos^2 \varphi)',$$

სადაც I_r არის სინათლის სხივების დიფუზიური გაფანტულობის ინტენსივობა;

I_0 — დაცემული სინათლის სხივების ინტენსივობა;

n_1 და n_2 — დისპერსიული ნაწილების სხივების გარდატეხის მაჩვენებელი;

ν — ნაწილების რაოდენობა მოცულობის ერთეულში, რომელსაც ნაწილობრივი კონცენტრაცია ეწოდება;

ν — ნაწილების მოცულობა;

λ — სინათლის ტალღის სიგრძე;

k — ათობითი მოლეკულური კოეფიციენტი;

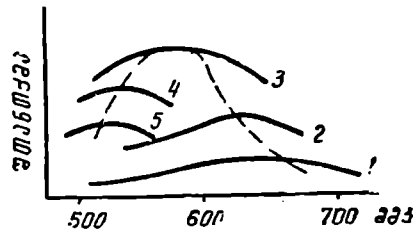
β — დაცემული სინათლის სხივის და დიფუზიური გაფანტულობის მიმართულებას შორის წარმოშობილი კუთხე.

რეკლეს კანონიდან გამომდინარეობს, რომ სინათლის სხივების დიფუზიური გაფანტულობის ინტენსივობა უკუპროპორციულია ნივთიერების ზედაპირზე დაცემული სინათლის სხივების ტალღის სიგრძისა მეოთხე ხარისხში და პირდაპირპროპორციულია დიფუზიური გაფანტულობის ნაწილების მოცულობის კვადრატისა. ამისათვის, სინათლის სხივების დიფუზიური გაფანტულობა სხვადასხვა სიგრძის მქონე ტალღებისათვის იქნება სხვადასხვა სიდიდის. მაგალითად, კოლოიდურ ხსნარში თეთრი სინათლის მოკლელტალღიანი სხივები — ულტრაიისფერი, იისფერი და ლურჯი — კოლოიდურ ნაწილებში გაიფანტება უფრო ძლიერად, ვიდრე გრძელტალღიანი სხივები — წითელი და ინფრაწითელი. ამის გამო უფრო კოლოიდურ ხსნარში გატარებული თეთრი სხივები მოგვცემს ერთგვარ შეფერადებას და წარმოიშვება ე. წ. სინათლის ფიქტიური აბსორბცია.

კოლოიდურ ხსნარებში სინათლის შთანთქმა უშუალოდ დაკავშირებულია კოლოიდური ნაწილების დისპერსიულ საფეხურებთან. მაგალითად, ოქროს კოლოიდურ ხსნარში, ოქროს ნაწილების დისპერსიულობის გამო, მიიღება სხვადასხვა შეფერადება: წითელი, შავწითელი, იისფერი, ლურჯი, მწვანე, შავი. კოლოიდური ნაწილების სიდიდის ყოველგვარი ცვლილება გავლენას ახდენს კოლოიდური ხსნარის შეფერილობაზე. კოლოიდური ნაწილების სიდიდე კი განისაზღვრება შთანთქმის სპექტრის მდგომარეობით და შთანთქმის ზოლების სიღრმით. კოლოიდური ხსნარის ერთგვარ ნივთიერებაში შთანთქმის მრუდები გრაფიკულად გამოისახება ნაწილების დისპერსიული საფეხურების მიხედვით (ნახ. 17). აქ აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია სხივის ტალღის სიგრძეები, ორდინატთა ღერძზე კი — შთანთქმის სიდიდეები. შთანთქმის დისპერსიულობის მაქსიმუმს შეესაბამება მოკლე ტალღები; ეს მაქსიმუმი პირველად თანდათანობით იზრდება (1, 2 და 3 მრუდი), შემდეგ თანდათანობით მც-

რდება (4, 5 მრუდი). ამგვარად, ნახაზზე გვაქვს ერთგვაროვანი ნივთიერების, ერთმანეთისაგან განსხვავებული შთანთქმის მრუდები. 1 მრუდით ხასიათდება ტლანქი დისპერსიულიობა, 5 მრუდით კი — მაღალი დისპერსიულიობა.

დიფუზიური გაფანტულობის ნაწილების დიამეტრი უნდა იყოს მოქმედი სინათლის სხივების ტალღების ნახევარზე ნაკლები. საერთოდ დიფუზიური გაფანტულობით სინათლის სხივების ინტენსივობის შემცირება უმნიშვნელო სიდიდეა. მიუხედავად ამისა, ეს მოვლენა ზოგიერთ ნივთიერებაში გარკვეულ გველენას ახდენს და იწვევს ლამბერტბერის კანონიდან გადახვევას.



ნახ. 17.

სინათლის შთანთქმელი გარემოს გამჭვირვალობა, გაუმჭვირვალობა და ოპტიკური სიმკვრივე

სინათლის შთანთქმელი გარემოს რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის საჭიროა ვაწარმოოთ სხეულების გამჭვირვალობის, გაუმჭვირობისა და ოპტიკური სიმკვრივის თვისებათა გამორკვევა. ნივთიერებათა ამ თვისებების გამორკვევა განსაკუთრებით საჭიროა ფოტოგრაფიის შესწავლის საქმეში, ხილული სხივების მოქმედებასთან დაკავშირებით.

სხეულის განსაზღვრული სისქის ფენას თუ ეცემა F_0 სიდიდის სინათლის სხივების ნაკადი, სხეულის ფენაში გავლის შემდეგ შთანთქმის მოვლენით სხივების ნაკადის ინტენსივობა შემცირდება და სხეულიდან გამოვა F სიდიდის სინათლის სხივების ნაკადი. გამოსული სხივების სიდიდეს თუ შევუფარდებთ დაცემული სხივების სიდიდეს, მივიღებთ

$$\frac{F}{F_0} = T,$$

სადაც T არის გატარების კოეფიციენტი ანუ სხეულის ფენის გამჭვირვალობა. გამჭვირვალობის რიცხობრივი სიდიდე გამოისახება წესიერი წილადით; ზოგიერთ შემთხვევაში კი, როცა სრულ შთანთქმას აქვს ადგილი, $T = 0$, ხოლო სხეულის სრული გამჭვირვალობის დროს $T = 1$.

თუ მოვახდენთ სინათლის სხივების სიდიდეთა შებრუნებულ შეფარდებას, მივიღებთ

$$\frac{F_0}{F} = 0.$$

ეს შეფარდება გამოსახავს სხეულის ფენის გაუმჭვირობას. გაუმჭვირობის რიცხობრივი სიდიდე ერთზე მეტია, ხოლო სხეულის სრული გამჭვირვალობის შემთხვევაში ერთის ტოლია. როდესაც დაცემული სინათლის ნაკადის ინტენსივობა შემცირდება 10-ჯერ, გამჭვირვალობა ასე გამოისახება

$$T = \frac{F}{F_0} = \frac{1}{10};$$

გაუმჭვირობა კი

$$0 = \frac{F_0}{F} = 10;$$

დაცემული სინათლის ნაკადის 100-ჯერ შემცირებით, ანალოგიურად, მივიღებთ

$$T = \frac{F}{F_0} = \frac{1}{100};$$

$$0 = \frac{F_0}{F} = 100.$$

სხეულის ფენის ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდის გამოსარკვევად უნდა გამოვიყენოთ ათობითი ლოგარითმი გაუმჭვირობის სიდიდის მიმართ ან შებრუნებული ათობითი ლოგარითმი გამჭვირვალობის სიდიდის მიმართ; მივიღებთ

$$D = \lg 0 = \lg \frac{F_0}{F};$$

$$D = -\lg T = -\lg \frac{F}{F_0}.$$

აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ ოპტიკური სიმკვრივის ერთეულად ითვლება ისეთი სიმკვრივე, რომელიც 10-ჯერ ამცირებს გავლილი სინათლის ნაკადს.

ეს მდგომარეობა შეიძლება ასე გამოვსახოთ

$$0 = \frac{F_0}{F} = 10$$

$$\lg 0 = \frac{F_0}{F} = \lg 10 = 1.$$

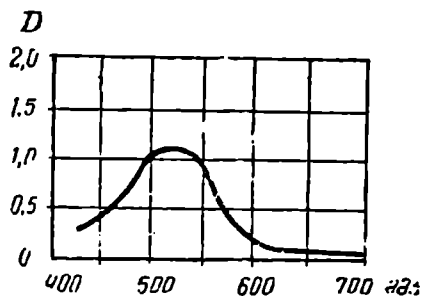
თუ $D=2$, მაშინ სხეულის ფენა სინათლის ნაკადს ამცირებს 100-ჯერ; თუ $D=3$, მაშინ შემცირება ხდება 1000-ჯერ და ა. შ.

პრაქტიკულად, ზოგჯერ გვაქვს სხეულის რამდენიმე ფენა, თითოეულ ფენას აქვს თავისი სიმკვრივე; სხეულის საერთო ოპტიკური სიმკვრივე

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n = \sum D_i.$$

სხეულის ფენის სიმკვრივის და სინათლის ტალღის სიგრძის ურთიერთ დამოკიდებულება შეიძლება გამოვსახოთ გრაფიკულადაც. მიღებული მრუდები სხვადასხვა ნივთიერებისათვის სხვადასხვაგვარია. ასეთი

მრუდი რომ ავაგოთ, მაგალითად, ფუქსინის ხსნარისათვის, საჭიროა ანსცისტა ლერძი გამოვიყენოთ ტალღებისათვის, ხოლო ორდინატა ლერძი კი—სიმკვრივისათვის (ნახ. 18). ეს მრუდი გამოსახავს მოცემული ნივთიერების კონცენტრაციას, რომელიც აზავე დროს სინათლის სხივების შთაშენებლობის დანახასიათებელია.



ნახ. 18.

ლაზერტ-ბერის კანონის თანახმად

$$I = I_0 \cdot 10^{-k \cdot d},$$

საიდანაც

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-k \cdot d};$$

მეორეხარისხად

$$\frac{I_0}{I} = 10^{k \cdot d},$$

$$\lg \frac{I_0}{I} = k \cdot d$$

მაგრამ

$$\lg \frac{I_0}{I} = D;$$

ანგვარად

$$D = k \cdot d.$$

მანასადანე, ოპტიკური სინკვრივე პირდაპირპროპორციულია შთაშენებელი ფენის კონცენტრაციისა და სისქის.

სინათლის სხივების შთანთქმის მოვლენების გარჩევის დროს ფიქსირებული იმას, რომ რომელიმე გარემოდან გამოსული სინათლის სხივები სრული რაოდენობით ეცემოდა სხეულის ზედაპირს. მაგრამ სინამდვილეში, სინათლის სხივებს, სანამ სხეულის ზედაპირამდე მივიდოდეს, აქვს დანაკარგი, რომელიც გამოწვეულია გარემოში გავლის დროს სხივების არეკვლით და სხივების დაცემის განხრილობით. ფოტოგადაღების დროს სხივების დაცემის კუთხე თითქმის ყოველთვის ერთნაირია, რად-

განაც მონოკრომატული სხივები პერპენდიკულარულად ეცემა მოსაზღვრე გარემოს ზედაპირს. სხივების არეკვლით წარმოშობილი დანაკარგის გამოსაანგარიშებლად ფ რ ე ნ ე ლ მ ა გამოიყენა ფორმულა

$$\frac{I_v}{I_0} = \left[\frac{n_2 - 1}{n_1} \right]^2 = \left(\frac{\mu - 1}{\mu + 1} \right)^2,$$

საიდანაც

$$I_v = I_0 \left(\frac{\mu - 1}{\mu + 1} \right)^2,$$

სადაც I_0 არის სინათლის სხივების ინტენსივობა, რომელიც მიიღება სხივების n_1 გარდატეხისმაჩვენებლიანი გარემოდან გამოსვლისას n_2 გარდატეხისმაჩვენებლიან გარემომდე მისასვლელად; I_v არის სინათლის სხივების ინტენსივობა, რომელიც მიიღება სხვადასხვა გარემოში სხივების არეკვლის შედეგად.

მეორე გარემოში გატარებული სინათლის სხივების ინტენსივობა ასე გამოიანგარიშება

$$I_a = I_0 - I_v = I_0 - I_0 \left(\frac{\mu - 1}{\mu + 1} \right)^2 = I_0 \left[1 - \left(\frac{\mu - 1}{\mu + 1} \right)^2 \right].$$

დანაკარგი სხივების არეკვლაზე იზრდება მაშინ, როცა n_1 ან n_2 მაჩვენებელთა სიდიდეები ერთმანეთისაგან საგრძნობლად განსხვავებულია. ასეთ განსხვავებას ადგილი აქვს, როდესაც ჰაერიდან გამოსული სხივები ეცემა მინის, ელათინის ან კოლოდიუმის ზედაპირს. ჰაერიდან მინის ზედაპირზე სინათლის სხივების გადასვლის დროს გარემოთა გარდატეხის საშუალო მაჩვენებელი დაახლოებით 1,5 ეთანასწორება. ამის საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{I_v}{I_0} = \left(\frac{1,5 - 1}{1,5 + 1} \right)^2 = \left(\frac{0,5}{2,5} \right)^2 = \frac{0,25}{6,25} = \frac{1}{25};$$

$$I_v = \frac{1}{25} I_0.$$

ამ სახით გამოიანგარიშება სინათლის სხივების არეკვლის შედეგად მიღებული დანაკარგი, რითაც მცირდება სხეულებში შთანთქმული სინათლის სხივების ინტენსივობა.

შთანთქმული სინათლის ძვანატური გუნება

ლამპერტ-ბერის კანონი წარმოდგენას იძლევა სხეულზე დაცემული სინათლის სხივების და სხეულში შთანთქმული სინათლის სხივების ინტენსივობის რაოდენობრივი დამოკიდებულების შესახებ. თუ რო-

გორ წარმოიშეება შთანთქმული სინათლე, ამ საკითხზე განმარტებას იძლევა პლანკის თეორია სხივადი ენერჯიის შთანთქმული სინათლის ქვანტური ბუნების შესახებ. ამ თეორიის მიხედვით სინათლის სხივადი ენერჯიის გამოსხივება წარმოებს ცალკეულ პორციებად—ქვანტებად. ქვანტის სიდიდე განისაზღვრება

$$\varepsilon = h\nu,$$

სადაც ν არის რხევის სიხშირე;

h — ქვანტის მუდმივა, რომელიც რიცხობრივად ეთანასწორება $6,62 \cdot 10^{-27}$ ერგს წამში.

პლანკის თეორია 1905 წელს გააღრმავა ეინშტეინმა. ეინშტეინის დებულების მიხედვით, რომელსაც შემდეგში ეინშტეინის პოსტულატი ეწოდა, სხივადი ენერჯია საერთოდ არსებობს ქვანტების სახით და ყველა შემთხვევისათვის ენერჯეტიკულ ცვლილებაში მონაწილეობს მთელი ქვანტები.

ეინშტეინს მიაჩნია, რომ ქვანტის სიდიდე უნდა განისაზღვროს პლანკის გამოანგარიშების მიხედვით— $\varepsilon = h\nu$. რადგანაც ეინშტეინის თეორია იძლევა სრულ წარმოდგენას სინათლის ბუნების შესახებ, მას უწოდეს სინათლის ქვანტების თეორია.

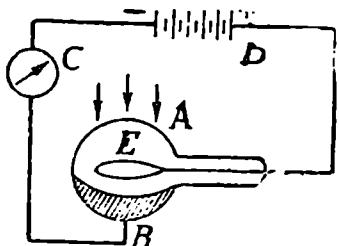
მე-5 ცხრილში მოცემულია რიცხობრივი მნიშვნელობა სპექტრის სხვადასხვა სხივისათვის.

ცხრილი 5

ტალღების სიგრძე	სპექტრის სხივები	ε ერგ.	ტალღების სიგრძე λ	სპექტრის სხივები	ε ერგ.
10000	მოკლე ინფრაწითელი	$1,965 \cdot 10^{-12}$	4200	იისფერი	$4,68 \cdot 10^{-12}$
7000	წითელი	$2,81 \cdot 10^{-12}$	3000	ულტრაიისფერი	$6,55 \cdot 10^{-12}$
6200	წარინჯი	$3,17 \cdot 10^{-12}$	2900	"	$9,83 \cdot 10^{-12}$
5800	ყვითელი	$3,39 \cdot 10^{-12}$	3200	რენტგენის	$6,55 \cdot 10^{-11}$
5300	მწვანე	$3,71 \cdot 10^{-12}$			

სინათლის ქვანტების თეორიის საშუალებით შეიძლება განვსაზღვროთ სინათლის შთანთქმის უნარიანობა. ამ თეორიის თანახმად სინათლის შთანთქმა უშუალოდ დამოკიდებულია: 1) ქვანტების რაოდენობაზე, რომელიც ეცემა სხეულის ზედაპირს; 2) სინათლის შთანთქმელი სხეულის მოლეკულებზე; 3) სინათლის შთანთქმის მოლეკულარულ კოეფიციენტზე. სინათლის ქვანტების თეორიის საშუალებით შესაძლებელი ხდება შთანთქმული სინათლის მოქმედებით გამოვარკვიოთ ნივთიერებაში მომხდარი ფიზიკური და ქიმიური მოვლენები.

ფოტოელექტრული მოვლენა პირველად აღმოჩენილი იყო 1887 წ. გერტციის მიერ. 1888 წლისათვის ეს მოვლენა დაწვრილებით შესწავლა მოსკოველმა ფიზიკოსმა ა. სტოლეტოვმა, უფრო გვიან, 1868 წელს, დაშატებიითი შესწავლა მოახდინა ლენარდომ და სხვებმა. ფოტოელექტრო მოვლენის აღმოჩენამ დიდად შეუწყო ხელი სინათლის ქვანტების თეორიის შესწავლას და პირიქით. ამ მოვლენის შინაარსი მდგომარეობს შემდეგში: როდესაც გამტარის ზედაპირზე ეცემა სინათლის სხივები, მაშინ ამ სხეულის ზედაპირიდან გამოდის ელექტრონები და ამის გამო თვითონ სხეული დადებითად იმუხტება. ფოტოელექტრული მოვლენის შესწავლა შეიძლება ელსტერის და გეიტელის ხელსაწყოთი—ფოტოელემენტით (ნახ. 19). *A* მინის ჭურჭლის ზედაპირი დაფარულია სარკისებური



ნახ. 19.

ლითონის ფენით, რომელიც *B* პლატინის ნაწილით დაკავშირებულია *C* გალვანომეტრთან და *D* ბატარეასთან; ჭურჭლის შიგნით მოთავსებულია პლატინის მავთულის *E* რგოლი, რომელიც აგრეთვე დაკავშირებულია *D* ბატარეასთან. სარკისებური ლითონის ფენის განათებით შეკრულ წრედში მოძრაობას დაიწყებს ელექტრული დენი; ამგვარად წარმოშობილ ელექტრულ დენს ეწოდება ფოტოელექტრული

დენი, ხოლო მოვლენას — ფოტოელექტრული ეფექტი. დენის სიდიდე განისაზღვრება 1 სმ² ფართობის 1 წამის განმავლობაში ნათების დროს წარმოშობილი ელექტრონების რაოდენობით. ეინშტეინის თეორიის თანახმად, შთანთქმული სინათლის ϵ ქვანტის სიდიდე წარმოადგენს სხივადი ენერგიის მიერ შესრულებულ μ მუშაობას და კინეტიკური ენერგიის ჯამს. ასეთი დამოკიდებულება გამოწვეულია იმით, რომ სხეულის ზედაპირზე დაკუმული სხივადი ენერგიის ϵ ქვანტის μ ნაწილი იხარჯება ატომიდან იონის ამოგლეჯაზე. ე. წ. იონიზაციაზე და იმ ძალების დაძლევაზე, რომელიც მოქმედებს ელექტრონზე სხეულის ზედაპირიდან გამოსვლის დროს. მეორე მხრივ, დარჩენილი ენერგიის ნაწილი გადადის კინეტიკურ ენერგიად — $\frac{mv^2}{2}$, სადაც m არის ელექტრონის მასა, ხოლო v — მასის მოძრაობის სიჩქარე. ასეთი დასკვნების მიხედვით ეინშტეინმა შეადგინა ტოლობა

$$\epsilon = h \cdot \nu = p + \frac{mv^2}{2};$$

აქედან შეგვიძლია მივიღოთ

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - p.$$

დავუწვათ, რომ ν_0 არის უმცირესი სიხშირე, რომელსაც შეესაბამება უმცირესი $h\nu_0$ ქვანტი, რომელიც ამოადგებს ელექტრონის გამტარის ზედაპირიდან, მაგრამ ვერ მიანიჭებს მას კინეტიკურ ენერგიას; ეს იმისათვის, რომ კინეტიკური ენერგია და მისი სიჩქარეც ნულის ტოლია. ამ შენთხვევაში

$$0 = h\nu_0 - p;$$

აქედან

$$h\nu_0 = p.$$

მაშასადამე, ქვანტის ენერგია ელექტრონის მუშაობის ტოლია. მაგრამ მიღებული ელექტრონის ენერგია ნულზე მეტია

$$h\nu_0 - p > 0, \text{ ე. ი. } h\nu > p.$$

რადგანაც

$$h\nu_0 = p,$$

მივიღებთ

$$h\nu > h\nu_0;$$

აქედან

$$\nu > \nu_0.$$

ამგვარად, ფოტოელექტრულ ეფექტს ადგილი ექნება მხოლოდ მაშინ, თუ ამ მოვლენის გამომწვევი ν სხივების სიხშირე მეტია გარკვეულ ν_0 სიდიდეზე. ν_0 სიხშირის ზღვარი დამოკიდებულია იმ სხეულზე, რომლიდანაც ელექტრონები განოდის.

სხივადი ენერგიის $h\nu$ ქვანტი ელექტრონის ამოგლეჯას ახდენს იმ შენთხვევაში, როცა ეს სიდიდე მეტია p მუშაობაზე, ე. ი. ქვანტს შესწევს საკმარისი უნარი ელექტრონის ამოსავლევად; ამ შენთხვევაში თითო ქვანტი ამოგლეჯს თითო ელექტრონს. მაშასადამე, მიღებული ელექტრონების რიცხვი იზრდება დაცემული ქვანტების რიცხვის პროპორციულად. სტოლეტოვმა დაამტკიცა, რომ გამტარის ზედაპირიდან გამოსული ელექტრონების რიცხვი პროპორციულია ამ სხეულზე დაცემული სხივების ენერგიისა.

ელექტრული ეფექტის ძირითადი ტოლობიდან ჩანს, რომ ელექტრონის x სიჩქარე მით მეტია, რაც უფრო მეტია რხევის ν სიხშირე, ე. ი. რაც უფრო მცირეა λ ტალღის სიგრძე. მაშასადამე, ფოტოელექტრონების სიჩქარე პირდაპირპროპორციულია რხევის სიხშირისა და უკუპროპორციული — ტალღის სიგრძისა.

ფოტოელექტრული ეფექტის მიხედვით მილიკენმა აწარმოა ცდები და განსაზღვრა h მუდმივას რიცხობრივი მნიშვნელობა. ორი სიხშირის მქონე სინათლის სხივების მოქმედება მოგვეცემს ორ ტოლობას, რის გამოც მივიღებთ

$$h\nu_1 = \frac{mv_1^2}{2} + p;$$

$$h\nu_2 = \frac{mv_2^2}{2} + p.$$

კინეტიკური ენერჯის გამომსახველი სიდიდეები თავის მხრივ შეიძლება გამოვსახოთ პოტენციალური ენერჯიით

$$\frac{mv_1}{2} = v_1 \cdot e;$$

$$\frac{mv_2}{2} = v_2 \cdot e,$$

სადაც e არის ელექტრონების მუხტი. ამის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ

$$h\nu_1 = v_1 e + p;$$

$$h\nu_2 = v_2 e + p.$$

თუ ერთ ტოლობას გამოვაკლებთ მეორეს, მივიღებთ

$$h(\nu_1 - \nu_2) = e(v_1 - v_2),$$

საიდანაც

$$h = \frac{e(v_1 - v_2)}{\nu_1 - \nu_2}.$$

სათანადო გამოანგარიშებით საერთოდ სხმული ლითონისათვის

$$h = 6,55 \cdot 10^{-27} \text{ ერგი წამში.}$$

სხვადასხვა ლითონისათვის h მუდმივას სიდიდე ასეთია:

ნატრიუმისათვის .	$6,58 \cdot 10^{-27};$
მაგნიუმისათვის	$6,45 \cdot 10^{-27};$
ალუმინისათვის	$6,41 \cdot 10^{-27};$
სპილენძისათვის	$6,68 \cdot 10^{-27};$

მილიკენის მიერ გამოანგარიშების შედეგად მიღებული h მუდმივას მნიშვნელობა ძლიერ უახლოვდება პლანკის მიერ მოცემული მუდმივას სიდიდეს.

შემდეგში ცნობილი გახდა, რომ ქვანტების მოქმედებით ნივთიერე-

ბაში ხდება არამარტო ელექტრონების ამოგლეჯა და გამოგდება, არამედ განთავისუფლებული ელექტრონების ნაწილი რჩება თვით ნივთიერებაში. ამ მოვლენას ეწოდება შიგა ფოტოელექტრული ეფექტი.

შიგაფოტოელექტრული ეფექტი 1920 წლისათვის შესწავლილი იყო გუდენის და პოლეს მიერ. შესწავლის შედეგად გამოიჩვენა, რომ აქაც ერთი ქვანტიის მოქმედება ათავისუფლებს ერთ ელექტრონს. ამასთან ერთად შიგაელექტრული ეფექტის დროს ნივთიერების გარდატეხის კოეფიციენტი $\eta > 2$.

ფოტოლუმინესცენცია და სენსიტივიზირებული ფლოუორესცენცია

ფოტოელექტრული მოვლენის დროს მოლეკულის შთანთქმული სინათლის ენერჯიის ქვანტი იხარჯება ელექტრონის გასათავისუფლებლად, რის შედეგადაც მოლეკულა გარდაიქმნება იონად, ე. ი. მოხდება მოლეკულის ან ატომის იონიზაცია. მარტივ ფორმებში ხდება ატომის იონიზაცია, ხოლო რამდენიმე ატომიან მოლეკულაში იონიზაცია უფრო რთულად წარმოგვიდგება. ატომში ან მოლეკულაში იონიზაციით აღმართული მოქმედება გარკვეულ დროში უცვლელი რჩება, ეს დრო განასაზღვრება 10^{-9} წამით. ფოტოლუმინესცენციის მოვლენის დროს ზოგიერთ ერთატომიან მოლეკულაში წარმოიშვება რეზონანსული გამოსხივება. ეს მოვლენა შეიძლება გამოვსახოთ ასე

$$A + h\nu \rightarrow A',$$

$$A' \rightarrow A + h\nu,$$

სადაც A არის ნორმალური მოლეკულა, A' კი — ქვანტით აღძრული მოლეკულა. რეზონანსული გამოსხივების დროს აღძრულ სინათლეს აქვს იგივე სიხშირე და მაშასადამე იგივე ტალღის სიგრძეც, რაც აღმძვრელ სინათლეს. ქვანტით აღძრული მოვლენის დროს ელექტრონი ნორმალური ორბიტიდან იცვლის მოძრაობის მიმართულებას და გადანაცვლება რაც შეიძლება უახლოეს ადგილებში. როცა ელექტრონი დაუბრუნდება ნორმალურ ორბიტა მაშინ ატომიც პირვანდელ მდგომარეობაში აღმოჩნდება.

ფოტოლუმინესცენციის რეზონანსული მოვლენა ხშირად არ წარმოიშვება; ამგვარად წარმოშობილი მოვლენებია ფლოუორესცენცია და ფოსფორესცენცია. ფლოუორესცენცია ემორჩილება სტოქსის კანონს, რომელიც მან ჩამოაყალიბა 1852 წელს. როდესაც სინათლის სიგრძის ტალღის λ ქვანტი ეცემა სხეულის ზედაპირს, ამ ქვანტის ნაწილი გადადის სითბოდ ან ენერჯიის სხვა სახედ, ენერჯიის ნაწილს კი სხეული ასხივებს შედარებით მცირე λ_1 ქვანტის სახით, ე. ი. $\lambda_1 < \lambda$. მაგარამ

$$\epsilon_1 = h\nu_1,$$

$$\epsilon = h\nu;$$

ამის გამო

$$h\nu_1 < h\nu;$$

აქედან

$$\nu_1 < \nu;$$

ანუ

$$\lambda_1 > \lambda.$$

ამ სახით სტოკსმა შემდეგი დასკვნა გამოიტანა:

ფლუორესცენციის დროს გამოსხივებული სხივების საშუალო ტალღის სიგრძე მეტია ფლუორესცენციის გამომწვევი სხივების საშუალო ტალღის სიგრძეზე. შესაძლოა იყოს ისეთი შემთხვევა, როცა სხეულზე დაცემული სინათლის ენერჯის ქვანტი მთლიანად გამოსხივდება. ამ შემთხვევაში

$$\varepsilon_1 = \varepsilon;$$

ანუ

$$h\nu_1 = h\nu;$$

$$\nu_1 = \nu;$$

$$\lambda_1 = \lambda.$$

მაშასადამე, გამოსხივებული სხივების ტალღის სიგრძე ზოგჯერ ეთანასწორება გამომწვევი სხივების სიგრძეს. მაგრამ გამოსხივებული საშუალო ტალღის სიგრძე ყოველთვის მეტია გამომწვევი საშუალო ტალღის სიგრძეზე.

თუ ჩვენ გვაქვს ენერჯის $h\nu_0$ ქვანტი, რომელიც შთანთქმულია ფლუორესცენციური ატომის ან მოლეკულის მიერ, ყოველთვის არ გამოსხივდება მთლიანი სახით, არამედ მივიღებთ $h\nu$, დანარჩენი A ნაწილი დაინარჯება სხვა პროცესებზე; ეს პირობა შეიძლება ასე გამოვსახოთ

$$h\nu_0 = h\nu + A;$$

აქედან

$$h\nu < h\nu_0;$$

$$\lambda > \lambda_0.$$

თავის მხრივ, თუ $h\nu_0$ ქვანტი წარმოადგენს $h\nu$ შთანთქმული ქვანტის გამოსხივებას, გვექნება

$$h\nu_1 = h\nu_0 + A;$$

$$h\nu_1 > h\nu_0;$$

$$\lambda_1 < \lambda_0.$$

როგორც ვიცი, ფლუორესცენციის დამახასიათებელი ის არის, რომ იგი არსებობს განათების წარმოების დროს, ხოლო განათების შეწყვეტისთანავე ფლუორესცენციის მოვლენაც პრაქტიკულად წყდება.

დამატებითი ცდების ჩატარებით გამოიჩვენა, რომ ფლუორესცენციის მოვლენა განათების შეწყვეტის შემდეგაც ნაწილობრივ გრძელდება დროის ძლიერ მცირე მონაკვეთში; მაგალითად, იოდის ორთქლისათვის ეს დრო განისაზღვრება $\tau = 1 \cdot 10^{-8}$ წამით, ეოზინისა და წყლის ხსნარისათვის — $\tau = 1,9 \cdot 10^{-9}$ წამით, სპირტის ხსნარისათვის — $\tau = 5 \cdot 10^{-9}$ წამით და ა. შ. ფლუორესცენციის ასეთი ნაწილობრივი გაგრძელება გამოწვეულია ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების აღძრული მდგომარეობით.

ფოსფორესცენცია წარმოიშვება პირველადი განათების შემდეგ. ეფექტურ ფოსფორესცენციას ადგილი აქვს გოგირდოვან ფოსფორში და აგრეთვე ზოგიერთ გოგირდოვან ლითონში, მაგალითად, გოგირდოვან თუთიაში. ასეთ ნივთიერებებში მცირე რაოდენობით შედის სხვადასხვა მინარევი, რომლებიც გავლენას ახდენენ ფოსფორესცენციაზე და ანავე დროს განსაზღვრულ ფერს აძლევენ ნათებას. ფოსფორესცენციის ხანგრძლიობა სხვადასხვა ნივთიერებანი სხვადასხვაა, იცვლება წანის მეთასედი ნაწილიდან რამდენიმე საათამდე. ფოსფორესცენციის მოვლენის ხანგრძლიობაზე გავლენას ახდენს არა მარტო ნივთიერების თვისება, არამედ ტემპერატურაც.

რადგანაც ფლუორესცენცია ნაწილობრივ გრძელდება განათების შეწყვეტის შემდეგაც, ფოსფორესცენცია კი მხოლოდ განათების შემდეგ წარმოიწვება. ამ ორ მოვლენას შორის არსებობს მკიდრო კავშირი და ფლუორესცენცია გარკვეულ მონაკვეთზე წარმოგვიდგება როგორც ფოსფორესცენცია. ამ მოსაზრებას ადასტურებს ისიც, რომ ზოგიერთ ხსნარში ფლუორესცენციის და ფოსფორესცენციის მოვლენები ერთსა და იმავე დროს წარმოიშვება, ერთმანეთს ეთავსება. ამგვარად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ფოსფორესცენცია ფლუორესცენციის ერთ-ერთი განსაკუთრებული სახეა.

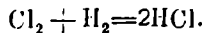
ფრანკომ და კარიომ 1923 წელს აღმოაჩინეს სენსიბილური ფლუორესცენციის მოვლენა, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: თუ ვერცხლისწყლის ცივ ორთქლს გავანათებთ მონოქრომატული სინათლით, რომლის ტალღის სიგრძეა $\lambda = 2536 \text{ \AA}$, ორთქლის ატომები და მოლეკულები შთანთქავენ სინათლეს რეზონანსული მოვლენით. მაგრამ ვერცხლისწყლის ორთქლს თუ შევურევთ ნატრიუმის ორთქლს და გავანათებთ იმავე ტალღის სიგრძის მქონე მონოქრომატული სინათლით, ნათებას დაიწყებს ორივე ორთქლი, მხოლოდ შთანთქმული სინათლის გამოსხივების ტალღის სიგრძე სხვადასხვა იქნება: ვერცხლისწყლისათვის — $\lambda = 2536 \text{ \AA}$, ნატრიუმისათვის — $\lambda = 5890 \text{ \AA} - 5896 \text{ \AA}$. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ვერცხლისწყლის ატომებისაგან განსხვავებით, ნატრიუმის ატომებში სინათლის შთანთქმის დროს არ აღიძვრება ტალღები, რომელთა სიგრძე არის $\lambda = 2536 \text{ \AA}$; ნატრიუმის ორთქლში აღიძვრება ვე-

რცხლისწყლის ორთქლის ცალკეული ატომები ნატრიუმის ორთქლის ატომებთან შეჯახების დროს; ასეთი შეჯახებისას წარმოიშვება ატომების ან მოლეკულების დამრტყმელი ძალა, რომელიც ნატრიუმის ორთქლში შექმნის განსხვავებული ტალღის სხივის გამოსხივებას. ასეთ სენსიბილური ფლუორესცენციის მოვლენას ადგილი აქვს ვერცხლისწყლისა და ვერცხლის ორთქლებში, ვერცხლისწყლისა და ტყვიის ორთქლებში და სხვა. ასეთივე მოვლენა თავს იჩენს ფოტოქიმიური პროცესების დროს. ნატრიუმის ატომებში აღძრული სინათლის შთანთქმული ენერგია მთლიანად არ გამოსხივდება, არამედ მისი დანარჩენი ნაწილი ხმარდება ატომების სითბურ მოძრაობას ანუ კინეტიკურ ენერგიას. ამიტომაც არის, რომ „სინათლე არა მარტო ანათებს, არამედ აცხელებს კიდეც“. როცა გამოსხივების გარეშე წარმოიშვება ასეთი სითბური მოძრაობა, ეს გამოწვეულია ახალი სახის დამრტყმელი ძალით. ნატრიუმის ორთქლში შექმნილი გამოსხივება პირველი სახის დარტყმის შედეგია, ხოლო სითბურ მოძრაობას ანუ კინეტიკურ ენერგიას ქმნის მეორე სახის დარტყმა.

სინათლის ქიმიური მოქმედება. ეინშტაინის ფოტოქიმიური მკვიპალეზი

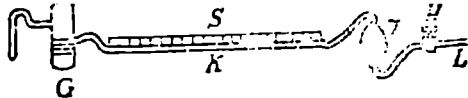
სინათლის სხივების შთანთქმული ენერგიის დამახასიათებელი ის არის, რომ შთანთქმულ ნივთიერებაში იგი ახდენს ქიმიურ გარდაქმნებს, რომელსაც ფოტოქიმიური რეაქციები ეწოდება. სინათლის სხივების მოქმედების გამო გამოწვეული ცვლილებანი მცენარეებში და ზოგიერთ ნივთიერებაში — ტყავში, საღებავში, ქაღალდში და სხვა, წინათაც იყო ცნობილი. უკანასკნელ პერიოდამდე ფოტოქიმიური რეაქციების მხოლოდ მცირე ნაწილი იყო შესწავლილი; ბოლო დროს კი ამ საკითხების შესწავლას დიდი ყურადღება მიექცა, შეიქმნა ახალი მეცნიერება, რომელსაც ფოტოქიმიის ეწოდება. წინა პერიოდში, XIX საუკუნეში, ფოტოქიმიის საკითხები შესწავლილი იყო ბოტანიკ-ფიზიოლოგი მეცნიერების მიერ. უფრო გვიან, 1819 წელს გროტჰუსმა პირველად ჩამოაყალიბა შთანთქმული სინათლის ფოტოქიმიური გარდაქმნის პირველი კანონი: ნივთიერების ქიმიურ გარდაქმნას ახდენს მხოლოდ ის სხივები, რომლებიც შთანთქმება ამ ნივთიერების მიერ. მაშასადამე, ნივთიერების ფოტოქიმიური გარდაქმნისათვის საჭიროა სინათლის სხივები განუწყვეტლოვ ეცემოდეს ამ ნივთიერებას და ამავე დროს წარმოებდეს სინათლის სხივების შთანთქმა ამ ნივთიერების მიერ. ეს კანონი ვრცელდება სპექტრის ყველა სხივზე; არ არის სპექტრის ისეთი სხივი, რომელიც არ იწვევდეს ნივთიერების ქიმიურ გარდაქმნას. შემდეგში ეს კანონი დამოუკიდებლად აღმოჩენილი

იქნა: გრემელის მიერ 1842 წელს, დრეპერის მიერ 1843 წელს და ამიტომაც ფოტოქიმიის ამ ძირითად კანონს ზოგჯერ უწოდებენ გროტუს-დრეშელ-დრეპერის კანონს. ფოტოქიმიის ძირითადი კანონი გარკვეულ წარმოდგენას იძლევა ნივთიერების ხარისხობრივი ქიმიური გარდაქმნის შესახებ. ასეთი გარდაქმნის რაოდენობრივი თვისების შემოწმება მოახდინა ბუნზენმა და როსკომ; 1855 წელს მათ შრომებში გამოქვეყნებული იყო შემოწმების შედეგები. რის გამოც ფოტოქიმიის მეცნიერება კიდევ უფრო განვითარდა. ბუნზენმა და როსკომ დაკვირვება მოახდინეს ქლორისა და წყალბადის შერთავებაზე. ქლორი და წყალბადი სიბნელეში შერთების დროს იძლევა გამძლე ნარევის; მცირე განათება საკმარისია იმისათვის, რომ ნარევი მყოფი ნივთიერებანი ერთმანეთზე ახდენდეს ქიმიურ გავლენას, რის გამოც ვლელბულომ რეაქცია



სინათლის გაძლიერებით იზრდება რეაქციის სიჩქარე, რომელსაც ბოლოს ეძლევა აფეთქების ხასიათი. ბუნზენისა და როსკოს საცდელი ხელსაწყო წარმოადგენს (ნახ. 20) ორ *G* და *J* ჭურჭელს, რომლებიც შერთებულია *K* კაპილარული მილით; *I*, მილს აქვს *H* ონკანი, საიდანაც შეიძლება მარილმკვას ელექტროლიზის შედეგად მიღებული ქლორისა და წყალბადის გაზისებური ხსნარის გატარება. *J* ჭურჭლის განათებით წარმოიშვება რეაქცია და მიიღება ქლორი ან წყალბადი, რომელიც მილიდან გადადის წყალში და იხსნება თანდათანობით. ხელსაწყო *S* სკალის საშუალებით შესაძლებელი ხდება

გამოყოფილი ქლოროვანი წყალბადის რაოდენობის შემოწმება. ამ ხელსაწყოს საშუალებით ბუნზენმა და როსკომ დაამტკიცეს, რომ ფო-



ნახ. 20.

ტოქიმიური ეფექტი უშუალოდ დამოკიდებულია სინათლის რაოდენობაზე. სინათლის რაოდენობას კი განსაზღვრავს სინათლის ინტენსივობისა და სინათლის მოქმედების დროის ნამრავლი — *I.t*. მაგრამ სინათლის რაოდენობის სიდიდე არ შეიცვლება, თუ ამ ნამრავლიდან ერთ სიდიდეს გავზრდით და მეორეს შევამცირებთ, ან პირიქით

$$I_1 t_1 = I_2 t_2 = \dots = I_n t_n = \text{Const.}$$

ამგვარად, ფოტოქიმიური გარდაქმნა განისაზღვრება სინათლის ინტენსივობის და მისი მოქმედების დროის ნაწარმოებით; ამასთან, ფოტოქიმიური ეფექტი არ შეიცვლება, თუ ეს ნაწარმოები იქნება მუდმივი სიდიდე.

შემდეგში სხვადასხვა ნივთიერებაში ჩატარებულმა ცდებმა ბუნზენისა

და როსკოს მოსაზრებათა სისწორე უფრო განამტკიცა. ვანტპოფმა 1904 წლისათვის მიიღო ასეთი დასკვნა: ფოტოქიმიური გარდაქმნა განისაზღვრება განათების მიერ შთანთქმული სინათლის რაოდენობით. ამ სახით ვანტპოფმა თითქოს შეაჯამა გროტჰუსის, ბუნზენისა და როსკოს მოსაზრებანი. ამის გამო სხვადასხვა მეცნიერმა წამოაყენა წინადადება ვანტპოფის მოსაზრება მიღებული ყოფილიყო ფოტოქიმიური გარდაქმნის ძირითად კანონად. მაგრამ შემდეგი გამოკვევებით ვანტპოფის მოსაზრების საწინააღმდეგოდ მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ ფოტოქიმიური გარდაქმნა ყოველთვის არ ემორჩილება ვანტპოფის კანონს, შთანთქმული სინათლე ყოველთვის მთლიანად არ იხარჯება ფოტოქიმიური გარდაქმნის პროცესებზე.

ვანტპოფი იძლევა განმარტებას ფოტოქიმიური გარდაქმნის შესახებ, ნივთიერების მიერ მთლიანად შთანთქმული სინათლის მოქმედების დროს. ეინშტეინი ამის საწინააღმდეგოდ იყენებს ქვანტურ თეორიას და აღნიშნავს, რომ შთანთქმელ ნივთიერებაში სხივადი ენერჯიის ქვანტი ასდენს რეაქციას ამ ნივთიერების თითოეულ მოლეკულაზე. ქვანტების რიცხვი განისაზღვრება ქიმიურად გარდაქმნილი მოლეკულების რაოდენობით. ნივთიერების მიერ შთანთქმულ სინათლის ენერჯიას თუ აღვნიშნავთ E -თი, მაშინ ამ ნივთიერების მოლეკულათა რაოდენობა

$$n = \frac{E}{\varepsilon} = \frac{E}{h\nu}.$$

რადგანაც ეინშტეინის ასეთი განმარტება წარმოდგენას იძლევა ფოტოქიმიური ნივთიერების გარდაქმნის რაოდენობრიობის შესახებ, ამისათვის მას უწოდეს ფოტოქიმიური ექვივალენტის კანონი.

სინათლის სხივების შთანთქმელი ნივთიერება თუ შეიცავს წონით G გრამს, რომელსაც აქვს M მოლეკულარული წონა, მაშინ მოლეკულათა რაოდენობა ასე გამოიანგარიშება

$$n_1 = \frac{G}{M} \cdot N,$$

სადაც N არის ერთ გრამმოლეკულაში მოთავსებული მოლეკულების რაოდენობა, რომლის სიდიდეა $6,06 \cdot 10^{23}$.

ეინშტეინის მოსაზრების სისწორე იმითაც მტკიცდება, რომ n_1 მნიშვნელობა გამოანგარიშებით ეთანასწორება ფოტოქიმიური ექვივალენტის კანონით მიღებულ n სიდიდეს. ეს საკითხი შეისწავლა ვარბურგმა 1912 — 18 წლებში.

ნივთიერების ქიმიურად გარდაქმნილ მოლეკულათა რაოდენობას თუ აღვნიშნავთ φ -თი, ხოლო სინათლის შთანთქმული ენერჯიის ქვანტების

რაოდენობას p -თი, შეგვეძლება ამ სიდიდეთა დამოკიდებულება გამოვსახოთ ამგვარად

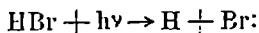
$$\gamma = \frac{\varphi}{p}$$

γ სიდიდე წარმოდგენას იძლევა შთანთქმული სხივადი ენერჯიის ქვანტის ერთეულზე ნივთიერების რამდენი მოლეკულა გარდაიქმნება ქიმიურად; ამ სიდიდეს ფოტოქიმიური რეაქციის ქვანტური გამოსავალი ეწოდება. ეინშტეინის დებულების თანახმად

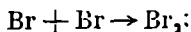
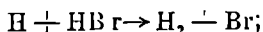
$$\gamma = \frac{\varphi}{p} = 1,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ ფოტოქიმიური რეაქციის დროს ქვანტური გამოსავალი უნდა ეთანასწორებოდეს ერთს. ფოტოქიმიური გარდაქმნების სირთულის გამო პრაქტიკულად ეს პირობა იშვიათად სრულდება; უმეტეს შემთხვევაში $\gamma > 1$ ან $\gamma < 1$. ფოტოქიმიური გარდაქმნის გართულებას იწვევს სხვადასხვა მეორეხარისხოვანი არამთავარი ქიმიური პროცესები, რომელთაგან შეიძლება დაეასახელოთ რამდენიმე ტიპიური რეაქცია.

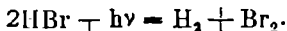
პირველი: ბრომწყალბადი ულტრაიისფერი მონოქრომატული სინათლის სიხვეების ($\lambda = 207$ მმკ და $\lambda = 253,6$ მმკ) მოქმედებით დაიშლება ბრომად და წყალბადად. ვარტურგის გამოკვლევით ასეთი რეაქციის დროს ქვანტური გამოსავალი $\gamma = 2$. პირველადი რეაქციის --- დისოციაციის დროს დატულია ეინშტეინის კანონი



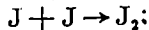
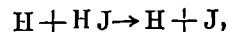
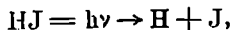
მაგრამ ამის შემდეგ რეაქცია გრძელდება ამ სახით



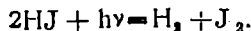
საბოლოოდ რეაქცია დებულობს ასეთ სახეს



ანალოგიურ მდგომარეობას აქვს ადგილი იოდწყალბადში, როცა ამ ნივთიერებაზე მოქმედებს ულტრაიისფერი მონოქრომატული სხივები ($\lambda = 207$ მმკ, $\lambda = 253,6$ მმკ და $\lambda = 282$ მმკ); აქაც ქვანტური გამოსავალი $\lambda = 2$. ქიმიური რეაქცია წარიმართება ამგვარად

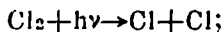


საბოლოოდ

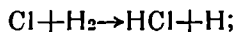
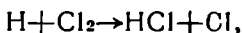
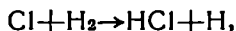


მაშასადამე, დაშატებითი ქიმიური პროცესის გამო ამ რეაქციებში ფოტოქიმიური გამოსავალი $\gamma > 1$, რითაც ირღვევა ეინშტეინის კანონი.

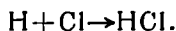
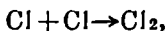
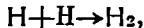
მეორე: ბოლენშტეინის და სხვათა გამორკვევით ფოტოქიმიური გარდაქმნა სინათლის მოქმედებით წარმოებს პროცესის დასაწყისში, რომელიც საერთო ჯაჭვისებური რეაქციის დასაწყისის რგოლს წარმოადგენს, შემდეგ კი პროცესი ვითარდება სინათლის მოქმედებისაგან დამოუკიდებლად. ნერნსტის მოსაზრებით ქლორისა და წყალბადის შეერთება წარმოებს ასეთი ჯაჭვისებური რეაქციით; რეაქციის დასაწყისში სინათლის გავლენით ქლორის მოლეკულა იყოფა ატომებად



ამის შემდეგ ქიმიური რეაქცია გრძელდება ატომურ ნივთიერებებში სინათლის მოქმედების გარეშე, რის გამოც ჯაჭვის ამ ნაწილს „ბნელი“ ეწოდება



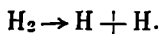
ეს პროცესი ასე გაგრძელდება, სანამ არ „გაწყდება“ ჯაჭვი მოლეკულების ორი ატომის მოქმედებისაგან



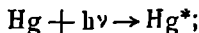
ბნელი რეაქციის პროცესი მეორადია, რაც გავლენას ახდენს ქვანტურ გამოსავალზე და მისი სიდიდე ერთზე მეტი ხდება.

მესამე: მეორად პროცესში განსაკუთრებული ადგილი უკავია სენსიბილურ ფოტოქიმიურ რეაქციას. ფოტელმა დაამტკიცა, რომ ბრომვერცხლი და ქლორვერცხლი, რომლებიც ფოტოფენის ნაწილებია და სინათლის მგრძობიანობის მატარებელია, შეიძლება მეტად სინათლის მგრძობიანობის სენსიბილური გავხადოთ სინათლის სპექტრის – მწვანე-ყვითელი და წითელი სინათლის გრძელი ტალღების საშუალებით. ამისათვის ფოტოგრაფიულ ფენაში შეაქვთ ზოგიერთი მღებავი ნივთიერება — ოპტიკური სენსიბილიზატორი, რომელთა საშუალებით ხდება სხივადი ენერჯიის „შერჩევითი“ შთანთქმა. სენსიბილური რეაქციის დამახასიათებელ მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ფოტოქიმიური რეაქცია, რომელსაც ადგილი აქვს მოლეკულური წყალბადის ვერცხლისწყლის ორთქლის მოქმედებით დისოციაციის დროს; წყალბადის და ვერცხლისწყლის ორთქლის ნარევის მონოქრომატული სინათლის ($\lambda = 253.6$ მმკ)

განათების დროს, წყალბადის მოლეკულები არ შთანთქმავს სინათლეს (შთანთქმას აწარმოებს მხოლოდ ვერცხლისწყლის ატომები) და განიცდის დისოციაციას



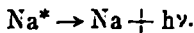
ობტიკურ სენსიბილიზაციას ადგილი აქვს სენსიბილური ფლუორესცენციის დროსაც, როცა ნატრიუმისა და ვერცხლისწყლის ორთქლებში ზონა-ქრომატული სინათლის შთანთქმით წარმოიწვება ატომების აგზნება



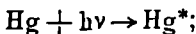
ვერცხლისწყლის აგზნებული ატომების ენერგია მეორე რიგის დარტყმის გამო გადაეცემა ნატრიუმის ატომებს



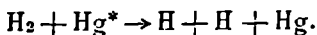
რომლებიც შემდეგში მოახდენენ გამოსხივებას



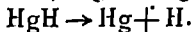
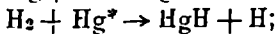
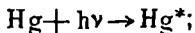
შსგავსადვე მოლეკულარულ წყალბადსა და ვერცხლის ორთქლის ნარევი-შიც ობტიკური სენსიბილიზაციის დროს გვექნება ვერცხლისწყლის ატომების პირველადი პროცესი — აგზნება



ამის შემდეგ ვერცხლისწყლის აგზნებული ატომების ენერგია მეორადი დარტყმის შედეგად მოახდენს წყალბადის მოლეკულების დისოციაციას



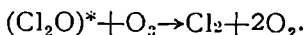
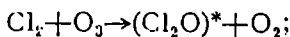
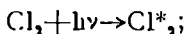
დამტკიცებულ იქნა, რომ ვერცხლისწყლის აგზნებული ატომების აქტიური მოქმედება იწვევს სუსტად დაკავნირებული ვერცხლისწყლის ჰიდრიდის HgH გაჩენას, რომელიც შემდეგში ისევ იშლება; მთლიანი ქიმიური პროცესი გამოისახება ამგვარად



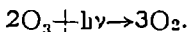
მაშასადამე, წყალბადის მოლეკულები ფოტოქიმიური გარდაქმნის პროცესში, ვერცხლისწყლის ორთქლის ატომების სინათლის აქტიური მოქმედებით, ქიმიური რეაქციის დროს ქმნის სუსტად შეკავშირებულ ქიმიურ შენაერთს.

ასეთივე მოვლენას აქვს ადგილი, როცა ქლორის მოლეკულაზე სინათ-

ლესთან ერთად მოქმედებს ოზონი, როგორც ოპტიკური სენსიბილიზატორი; ამ შემთხვევაში ფოტოქიმიური რეაქციის მიმდინარეობა ასეთია



ასეთი ნაწილობრივი ქიმიური გარდაქმნის შემდეგ ვღებულობთ



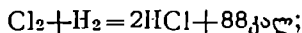
ეს იმას ნიშნავს, რომ ყოველ შთანთქმულ ქვანტს შეესაბამება ოზონის ორი მოლეკულა, ე. ი. ქვანტური გამოსავალი $\gamma=2$.

ამგვარად, ფოტოქიმიური გარდაქმნების დროს წარმოშობილი მეორადი რეაქციების შესწავლა საშუალებას გვაძლევს პრაქტიკულად გამოვიყენოთ ეინშტეინის კანონი ქვანტური გამოსავლის შესახებ, რომელიც თანამედროვე ფოტოქიმიის საფუძველს წარმოადგენს.

ფოტოქიმიური რეაქციები და ამ რეაქციების თავისებურებანი

ფოტოქიმიური რეაქციები მეტად მრავალფეროვანია. ქიმიური გარდაქმნის სახეობათა მიხედვით შეიძლება დავყოთ შეერთების, დაშლის, ჩანაცვლებისა და იზომერულ რეაქციებად. ფოტოქიმიური რეაქციების დაყოფა შესაძლოა აგრეთვე ენერჯიის ხასიათის მიხედვით:

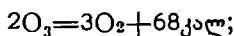
1. არის შემთხვევა, როცა ქიმიური პროცესის მიმდინარეობის დროს სინათლე აჩქარებს ამ პროცესს, ე. ი. ასრულებს ფოტოკატალიზატორის დანიშნულებას. ასეთი რეაქციების დროს გამოიყოფა სითბოს განსაზღვრული რაოდენობა. ქლორისა და წყალბადის შეერთებით მიიღება ქლორწყალბადი



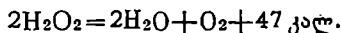
ქლორისა და ნახშირბადის ჟანგის შეერთება წარმოშობს ფოსგენს



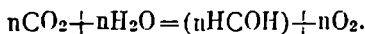
ოზონის დაშლით მივიღებთ



წყალბადის ზეჟანგის დაშლით კი

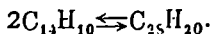


2. ცნობილია აგრეთვე ენდოთერმული ფოტოქიმიური რეაქციები, როცა ნივთიერებაში გავლილი სინათლის მოქმედებით ხდება ენერჯიის დაგროვება. ამგვარი რეაქციის დამახასიათებელია ისეთი ქიმიური პროცესი, რომელსაც ადგილი აქვს მცენარეებში ნახშირბადის გარდაქმნისა და მზის ენერჯიის დაგროვების დროს



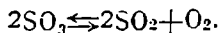
მსგავსივე რეაქციები წარმოიშევა აგრეთვე ულტრაიისფერი სინათლის მოქმედებით მტკიცედ შეერთებულ ნივთიერებებში, როგორცაა: H_2O , CO_2 და HCl .

ენდოთერმული ფოტოქიმიური რეაქციის დამახასიათებელი ის არის, რომ სინათლის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ნივთიერება აღდგება ისევ პირვანდელ მდგომარეობაში. მაგალითად, ანტრაცენიდან მიიღება დიანტრაცენი, ან პირიქით

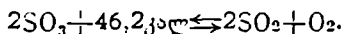


ამ რეაქციაში ერთი მიმართულებით, ანტრაცენიდან დიანტრაცენის მიღება წარმოებს სინათლის მოქმედებით, ხოლო დიანტრაცენიდან ანტრაცენის მიღება კი „ბნელი“ პროცესით. რეაქციის ასეთი ცვლილების დროს არსებობს სრული წონასწორობა.

ასეთი ფოტოქიმიური რეაქცია მიიღება აგრეთვე გოგირდის ანჰიდრიდზე ულტრაიისფერი სინათლით, სათანადო წონასწორობის დაცვით. თუ გოგირდის ანჰიდრიდზე მოქმედი სინათლე ამ ნივთიერებას მიანიჭებს 50° ტემპერატურას, მაშინ რეაქციაში შეიქმნება ტემპერატურული წონასწორობა. ასეთივე ფოტოქიმიური რეაქცია მიიღება აგრეთვე გოგირდის ანჰიდრიდზე ულტრაიისფერი სინათლის მოქმედებით



თუ სინათლე ამ ნივთიერებას მიანიჭებს 50° ტემპერატურას, რეაქციაში შეიქმნება ტემპერატურული წონასწორობა



ფოტოქიმიური რეაქციის ეფექტიანობას ვამოწმებთ რეაქციის მსვლელობის სიჩქარით, რაც განსაზღვრულ გავლენას ახდენს ნივთიერების კონცენტრაციაზე. რეაქციის მსვლელობის საშუალო სიჩქარის სიდიდე გამოიანგარიშება

$$v = \frac{c_1 - c_2}{t_2 - t_1},$$

სადაც t_1 არის რეაქციის საწყისი დრო; t_2 — რეაქციის საშუალო დრო; C_1 და C_2 — ნივთიერების შესაბამისი კონცენტრაციები. როდესაც დროის მონაკვეთი $\Delta t \rightarrow 0$, მივიღებთ რეაქციის ნამდვილ სიჩქარეს ამ მომენტი-სათვის

$$v = \lim \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{dc}{dt}.$$

ქიმიური რეაქციის მსვლელობის დროს თუ ნივთიერება იქმნება, მაშინ

$$v = \frac{dc}{dt};$$

ნივთიერების მოსპობის შემთხვევაში კი

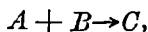
$$v = -\frac{dc}{dt}.$$

ფოტოქიმიური რეაქციის დროს A ნივთიერება გარდაიქმნება B ნივთი-ერებად, ე. ი. $A \rightarrow B$. ამ შემთხვევისათვის

$$\frac{dc}{dt} = K \cdot C_A$$

სადაც K არის სიჩქარის კოეფიციენტი.

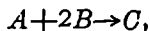
როდესაც რეაქციის მსვლელობაში ერთსა და იმავე დროს მონაწი-ლეობს ორი ნივთიერება, მაშინ



ამის მიხედვით

$$\frac{dc}{dt} = K' \cdot C_A \cdot C_B;$$

თუ რეაქციაში ნივთიერებანი არსებობს განსაკუთრებულ დამოკიდებუ-ლებაში, კერძოდ



შესაბამისად მივიღებთ

$$\frac{dc}{dt} = K'' \cdot C_A \cdot C_B \cdot C_B = K'' \cdot C_A \cdot C_B^2,$$

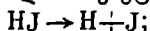
სადაც K' და K'' არის რეაქციათა შესაბამისი სიჩქარის კოეფიციენტე-ბი. სიჩქარეთა კოეფიციენტებს მეორენაირად ამა თუ იმ რეაქციის სი-ჩქარის მუდმივები ეწოდება.

ამგვარად, ქიმიური რეაქციის მსვლელობის დროს სიჩქარის სიდიდე განისაზღვრება ნივთიერებათა კონცენტრაციის მიხედვით

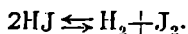
$$\frac{dc}{dt} = K \cdot C;$$

$$\frac{dc}{dt} = K' \cdot C_1 \cdot C_2^n.$$

თუ ერთსა და იმავე ნივთიერებაში ქიმიური გარდაქმნა წარმოებს თითოეულ მოლეკულაში, მაშინ ეს იქნება პირველი რიგის რეაქცია, ხოლო როცა ასეთ გარდაქმნაში მონაწილეობას ლეზულობს ნივთიერების ორი მოლეკულა, გვექნება მეორე რიგის რეაქცია. იოდწყალბადის ერთი მოლეკულის დაშლის რეაქცია პირველი რიგისაა



იგივე ნივთიერების ორი მოლეკულის დაშლის დროს კი გვექნება მეორე რიგის რეაქცია



საერთოდ, ფოტოქიმიური რეაქცია რთული პროცესია. ამ პროცესიდან თავისი სიმარტივით გამოიყოფა პირველი რიგის რეაქცია, როცა შუქმგრძნობი ნივთიერების ცალკეულ მოლეკულაზე გავლენას ახდენს თითოეული შთანთქმული ქვანტი.

„ბნელი“ ქიმიური რეაქციის მსვლელობის სიჩქარე დიდად არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე. ამ დამოკიდებულებას განსაზღვრავს ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტის სიდიდე, თუ ყოველი 10° ტემპერატურის მატება რა სიჩქარეს მიანიჭებს რეაქციას. რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტის სიდიდე განისაზღვრება

$$\tau = \frac{K_t + 10^\circ}{K_t},$$

სადაც K_t არის სიჩქარის მუდმივა.

„ბნელი“ რეაქციებისათვის ტემპერატურული კოეფიციენტის რიცხობრივი სიდიდე იცვლება 2 და 3 შუა, ე. ი. ტემპერატურის 10° მატება 2 — 3-ჯერ ზრდის რეაქციების სიჩქარეს. საზოგადოდ, „ბნელი“ ქიმიური რეაქციებისაგან განსხვავებით, ფოტოქიმიური რეაქციების ტემპერატურული კოეფიციენტის სიდიდე უმეტეს შემთხვევაში უახლოვდება ერთს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ასეთი რეაქციების მსვლელობის სიჩქარეზე საგრძნობ გავლენას ვერ ახდენს ტემპერატურა. მე-ნ ცხრილში ნაჩვენებია ტემპერატურული კოეფიციენტის

სიდიდეები „ბნელი“ რეაქციებისათვის, ხოლო მე-7 ცხრილში კი ფოტო-ქიმიური რეაქციებისათვის.

ც ხ რ ი ლ ი 6

რეაქციების დასახელება	ტემპერატურული მოქმედების არე, გრადუსებში	სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი
ციანიანი (კოლოიდურ ფირზე) +O ₂	76—112	3.30
პინაქრომი +O ₂	76—112	3.30
პინავერდოლი +O ₂	79—111	3.30
პინაცანოლი +O ₂	79—111	3.30
ლეპიდინციანიანი „ +O ₂	85—113	3.00
ხინალციანიანი „ +O ₂	86—116	3.30
HJ+O ₂ (წყალში გახსნილი)	5— 50	2,07
CHJ ₂ +O ₂ (ბენზოლში გახსნილი)	6— 51	2,61
H ₂ C ₂ O ₄ +FeCl ₂ (წყალში გახსნილი)	3— 44	1,02
იგივე	21— 61	1,01
ციანიანი (კოლოიდურ ფირზე) +O ₂	20— 80	1,07
პინაქრომი „ „ +O ₂	20— 80	1,07
პინავერდოლი „ „ +O ₂	20— 80	1,07
პინაცანოლი „ „ +O ₂	20— 80	1,04
ლეპიდინციანიანი „ „ +O ₂	20— 80	1,04
გოგირდნევაქინინი+CrO ₃ (წყალში გახსნილი)	20— 70	1,04
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇ +C ₂ H ₅ OH	20— 30	1,00
C ₁₄ H ₁₀ →C ₁₈ H ₂₀	32— 90	1,04
იგივე	154—167	1,21
HgCl ₂ +FeCl ₂ (წყალში გახსნილი)	20— 60	1,04
O ₂ →O ₂ (Cl ₂ მონაწილეობით)	15— 25	1,17
H ₂ C ₂ O ₄ +HgCl ₂ (წყალში გახსნილი)	0— 60	1,19
H ₂ +Cl ₂	11— 16	1,21
SO ₂ +O ₂	50—160	1,20
HJ+O ₂ (წყალში გახსნილი)	5— 50	1,39
CHJ ₂ +O ₂ (სპირტში გახსნილი)	3— 51	1,42
CH ₂ J ₂ +O ₂ (ბენზოლში გახსნილი)	3— 51	1,42

ფოტოქიმიური გარდაქმნების პროცესში მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის მდგომარეობა, რომ პირველად რეაქციაზე ტემპერატურული მოქმედების მცირე არეში ტემპერატურა გავლენას ვერ ახდენს. ტემპერატურული გავლენა მნიშვნელოვანია მეორადი „ბნელი“ რეაქციის დროს, რის გამოც გამოანგარიშებათა შემთხვევაში, რეაქციების მიხედვით, ყურადღება უნდა მივაქციოთ სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტის სიდიდეს.

ფოტოქიმიური რეაქციების გარჩევის შემდეგ საჭიროა გავეცნოთ თანამედროვე ფოტოფირფიტებში. ფოტოფირფიტებსა და ფოტოქალაღებში გამოყენებულ შუქმგრძობიარე ფენების თვისებებს, თუ სინათლის მოქმედებით ამ ფენებში როგორი სახის მოვლენებს აქვს ადგილი. შუქმგრძობიარე ნივთიერებად შეიძლება გამოვიყენოთ ვერცხლის, რკინის, ქრომის ზოგიერთი მარილი და ზოგიერთი ორგანული შეერთება. ფოტოგრაფიაში ხშირად იხმარება ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილები, რადგანაც ეს ნივთიერებანი ყველაზე მეტად შუქმგრძობიარეა. რკინის, ქრომის მარილები და ორგანული შეერთებანი უმეტესად გამოიყენება შუქგადაღების დროს. ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილებიდან შუქმგრძობიარეა: ბრომვერცხლი— $AgBr$, იოდვერცხლი— AgI და ქლორვერცხლი— $AgCl$; ფთორვერცხლს — AgF კი არ აქვს შუქმგრძობიარობა და არც იხმარება. შუქმგრძობიარე ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილებშიც არის განსხვავება: ბრომვერცხლს ახასიათებს დიდი შუქმგრძობიარობა, რის გამოც ამ ნივთიერებისაგან ამზადებენ სანეგატივო ფოტო ფირფიტებს და ფოტოფირფიტებს, ნაწილობრივ ამავე დანიშნულებით გამოიყენება იოდვერცხლი; „ჩქარი“ ფოტოგრაფიული ქალაღის, პოზიტიური ტიპის ნივთიერების დასამზადებლად, რომელიც არ მოითხოვს ძლიერ შუქმგრძობიარობას, ბრომვერცხლსა და იოდვერცხლთან ერთად იხმარება ქლორვერცხლი; „ნელი“ ფოტოგრაფიული ქალაღისათვის. რომელიც გამოიყენება დღის სინათლეზე ხილული მუქგადაღების დროს, იხმარება ქლორვერცხლი.

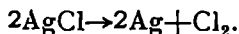
ფოტოსურათის გადაღების დროს ფოტოფენაზე დაცემული სინათლის ნაკადი წარმოშობს გადასაღები საგნის უხილავ, ფარულ გამოსახულებას. ფოტოფენაში ეს გამოსახულება არ ჩანს იმისათვის, რომ იგი ძლიერ სუსტია; ჩვენ რომ შეგვეძლოს ეს გამოსახულება მივიღოთ 10000-ჯერ ძლიერი, მაშინ მას გარკვევით დავინახავდით. გამომჟღავნებული ნივთიერება ჰალოგენიან ვერცხლის მიკროსკოპულ კრისტალებზე ახდენს გავლენას, შლის მას ჰალოგენად და ვერცხლად. ჰალოგენებს სამჟღავნის ხსნარში გადააქვს ლითონვერცხლის წვრილი ნაწილები—მარცვლები, რომელთაც აქვთ მუქი, თითქმის შავი ფერი, და ასეთი პროცესის შემდეგ იძლევა ხილულ გამოსახულებას. ჰალოგენიანი ვერცხლის ისეთ მიკროკრისტალებზე, რომლებზედაც სინათლეს არ უმოქმედნია, სამჟღავნი არ ახდენს გავლენას და ინარჩუნებს მოყვითალო-რძისებურ ფერს; შემდეგში მათი გახსნა წარმოებს სამაგრი ხსნარის საშუალებით.

ჰალოგენიანი ვერცხლის მარცვლების ზომა იცვლება მილიმეტრის მეათასედლიდან მეათათასედამდე. ნეგატივის შუქმგრძობიარე ფენაში მარც-

ვლები დიამეტრის საშუალო ზომა არის 1,30—1,35 მკ. პოზიტივის ფენაში კი მარცვლების დიამეტრის ზომა თითქმის ორჯერ მცირდება და საშუალოდ აღწევს 0,7 მკ. ერთსა და იმავე ფოტოგრაფიულ ფენაში მარცვლების სიდიდე წლიერ ცვალებადია; მაგალითად, ნეგატივის შუქმგრძნობ ფენაში ან ცვლილების საზღვრებია $\frac{1}{10}$ —5 მკ. ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილების კრისტალებს აქვს კუბიკური ფორმა—ისეთივე კრისტალური სწორი სისტემა, როგორც ქვამარილებს.

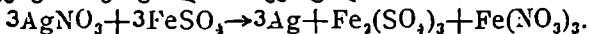
ჰალოგენიანი ვერცხლის მარცვლების ერთმანეთთან და ქვესადებთან (მინა, ცელულოზი, აცეტილცელულოზა, ქალაღი) დასაკავშირებლად თითქმის ყოველთვის უკანასკნელ დროს იხმარება ეელატინი. ჰალოგენიანი ვერცხლის მარცვლები განაწილებულია ეელატინის ფენაში. ასეთი შუქმგრძნობიარე ფენის სისქე სხვადასხვაა; ნეგატივის ფოტოფირფიტებში—0,016—0,024 მმ, პოზიტივის ფირებში—0,010—0,012 მმ, ფოტოქალაღებში კი—0,006—0,012 მმ. ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილების მარცვლები ეელატინის ფენაში განაწილებულია ერთმანეთისა და ქვესადების პარალელურად. შუქმგრძნობიარე ფენას თუ გავჭრით და მარცვლების განლაგებას შევამოწმებთ მიკროსკოპის საშუალებით, ფენის სისქეში დავინახავთ მარცვლების 20—40 პარალელურ რიგს.

ჰალოგენიანი ვერცხლის ფენები სინათლის მოქმედებით სხვადასხვაგვარად იცვლება: უფერო ქლორვერცხლი ღებულობს მონაცრისფრო, ლურჯ ან იისფერს, ბრომვერცხლი—ყავისფერს ან იისფერს, ხოლო იოდვერცხლი ჯერ გარკვეულ ლურჯ და შემდეგ იისფერს. ასეთი სხვადასხვაობა გამოწვეულია ჰალოგენიანი ვერცხლის ერთმანეთისაგან განსხვავებული თვისებებით. მაგრამ ფოტოპროცესებში მონაწილე ყველა ჰალოგენიან ვერცხლს აქვს ერთნაირი დამახასიათებელი თვისება: ფოტოფირფიტის ექსპოზიციის დროს შუქმგრძნობიარე ფენაზე მიიღება ფარული გამოსახულება, რომელიც ხილული გახდება გამომჟღავნების შემდეგ ლითონვერცხლის აღდგენის გამო. ფარული გამოსახულების მიღების დროს ჰალოგენიან ვერცხლს მოცილდება (მოგვება) ლითონვერცხლი და ცალკე დარჩება ჰალოგენი:



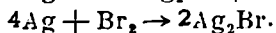
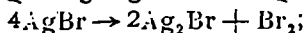
გამოსახულების ხილულად გახდომა დაკავშირებულია ლითონვერცხლის გაშავებასთან; გაშავება კი გამოწვეულია ლითონების ერთი თვისების გამო: ლითონებს კრიალება აქვს კომპაქტურობის, მარცვლების შეკავშირების შემთხვევაში; როდესაც ლითონები დანაწილებულია უწვრილმარცვლებად, ეძლევა შ ა ვ ი ფ ე რ ი. ლითონვერცხლის ასეთი გამოყოფა შეიძლება მოხდეს არა მარტო ჰალოგენიანი ვერცხლის დაშლით, არამედ სამჟღავნის მოქმედებით. თუ სამჟღავნად გამოყენებულია აზოტს

მევავერცხლი და გოგირდმევაერკინის ქვეანგის ხსნარი, რეაქციის დროს ცალკე გამოიყოფა ლითონვერცხლი:

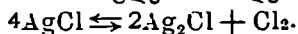


სამეღაენი ხსნარი ლითონვერცხლის გამოყოფას მოახდენს ფოტოფირფიტის ან ფოტოფირის იმ ადგილებში, სადაც მოქმედებდა სინათლე, ე. ი. სადაც წარმოშობილი იყო ფარული გამოსახულება.

ასეთი „თვითმბადი“ თეორიის საწინააღმდეგოდ 1899 წლიდან შეიქმნა ახალი—სუბპალოგენური თეორია. ლუტერმა ჩაატარა ასეთი ცდა: მინის მილის შენითა ერთი ნაწილი დაფარა ბრომვერცხლით, მეორე ნაწილი კი ლითონვერცხლით და მოაქცია დღის სინათლის მოქმედების ქვეშ. მან შენიშნა, რომ გამუქდა როგორც ბრომვერცხლი, ისე ლითონვერცხლი. ლუტერის მოსაზრებით ამის მიზეზი ისაა, რომ ორივე ნივთიერებაში რეაქციის წედგად წარმოიშვება ერთი და იგივე ნივთიერება—ნახეარბრომვერცხლი ანუ სუბბრომიდი:



პირველ რეაქციაში სუბბრომიდი მიიღება ბრომვერცხლის დაშლით, მეორე რეაქციაში კი—გამოყოფილი ბრომის შეერთებით ლითონვერცხლთან. ლუტერმა მსგავსი მოვლენა აღმოაჩინა ქლორვერცხლის განათების დროს: ნათების პროცესში გამოიყოფა ქლორი, სინენლეში ქიმიური რეაქცია საწინააღმდეგო მიმართულებას მიიღებს



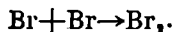
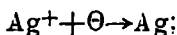
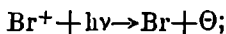
სუბპალოგენური მოვლენების დასახასიათებლად ედერმა შექმნა საერთო ქიმიური ფორმულა



სადაც m და n ცვალებადი სიდიდეებია. სუბპალოგენურ მოვლენებს შემდეგში ფოტოპალოგენური უწოდეს. სუბპალოგენურმა თეორიამ ფართო გავრცელება მოიპოვა თვითმბადი თეორიის საწინააღმდეგოდ; ამ თეორიის საკითხები შეტანილ იქნა ფიზიკისა და ქიმიის სახელმძღვანელოებში. 1907 წლიდან არსებული სუბპალოგენური თეორია შეცვალა კოლოიდურმა თეორიამ, რომელიც ძირითადად ემთხვევა თვითმბად თეორიას. ლუპო-კრამერმა აღნიშნა, რომ სინათლის მოქმედებით პალოგენიან ვერცხლში წარმოიშვება პირველადი პროდუქტი—ელემენტარული ვერცხლი, რომელიც გავლენას ახდენს სამეღაენი ნივთიერების მოქმედებაზე. ფარული გამოსახულების ელემენტარული ვერცხლი უკავშირდება უცვლელ პალოგენიან ვერცხლს და ქმნის ადსორბციულ ნაერთს; ასეთი მეორადი წარმოშობის ნაერთი თავისთავად წარმოადგენს სუბპალოგენს. იგი გამყარებამდე მისული ხსნარია, რომელშიაც შექმნილია

კრისტალები. ქლორნატრიუმში და ქლორვერცხლი წყალში ყოფნის დროს ამჟღავნებს სხვადასხვა თვისებას: პირველი მათგანი იხსნება, ხოლო მეორე უხსნადია. ამ ნივთიერებათა კრისტალების ერთმანეთში არევის შემდეგ წყალში გაიხსნება ქლორნატრიუმის მხოლოდ განსაზღვრული ნაწილი. ასევე ხდება ზოგიერთ სხვა ნივთიერებაშიაც. ფოტოფენებში ფარული გამოსახულება შეიქმნება კოლოიდური ვერცხლის მოქმედებით პირველ სტადიაში, პარალელურად ფოტოპალოგენურ ნივთიერებაში შევა კოლოიდური ვერცხლი და ქმნის ადსორბციულ ჩვეულებრივ პალოგენიან მარილს. ფოტოპალოგენური მეორადი ნივთიერება განსაკუთრებულ გავლენას არ ახდენს ფოტოპროცესებზე.

შეპარდის და სხვათა გამოკვევით ვერცხლის დადებითი იონი დაკავშირებულია პალოგენის უარყოფით იონთან ელექტრომუხტების მიზიდულობით. ფოტოლიზის დროს პალოგენზე მოქმედი სინათლის ქვანტი მოგვეცემს ნეიტრალურ პალოგენს და განთავისუფლებულ ელექტრონს, რომელიც იმოქმედებს ვერცხლის იონზე და გაანეიტრალებს მას. ბრომვერცხლში ეს პროცესი ჩატარდება ამგვარად:



ეს პროცესი ბრომვერცხლის შიგა ფოტოელექტრული ეფექტის მაჩვენებელია.

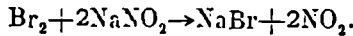
ბრომვერცხლის ფოტოგრაფიულ ფენაში, როგორც ცნობილია, გაშუქებას ქმნის ისეთი სინათლის ტალღები, რომელთა სიგრძე აღწევს $\lambda = 460$ მკმ-მდე.

ფოტოგრაფიულ ფენაში შთანთქმული სინათლის რაოდენობისა და ელექტონის ნივთიერებაში შთანთქმული სინათლის რაოდენობის შედარებიდან ირკვევა, რომ სუფთა ბრომვერცხლი მთანთქავს საერთო მთანთქმული სინათლის მხოლოდ 19—22%. ექსპოზიციის შემდეგ ფოტოფენაში გაპოიყოფა განსაზღვრული რაოდენობის ლითონვერცხლი. სინათლის ქვანტების რიცხვისა და ფოტონივთიერების მოლეკულების ქიმიური გარდაქმნის მიხედვით შეიძლება გამოანგარიშებულ იქნეს ქვანტური გამოსავლის სიდიდე. მიღებულ სიდიდეთა შორის დამოკიდებულება ჩანს მე-7 ცხრილში.

ამ ცხრილიდან ირკვევა, რომ ფოტოგრაფიული ფენის მცირე ნათების დროს, სინათლის მოქმედების პირველ სტადიაში, ბრომვერცხლის ფოტოქიმიური პროცესის ქვანტური გამოსავალი უახლოვდება ერთს; ნათების გაძლიერების დროს ქვანტური გამოსავლის სიდიდე თანდათანობით მცირ-

ტალის სიგრძე მმ	დაცემული ქვანტების ოცევი 1სმ ²	ბრომვერცხლის შთანთქმის %	ელემენტარული ველოცხლის ატომების რაოდენობა 1სმ ²	ქვანტური გამოსავლის სიდიდე
435,8	1,30 . 10 ¹⁶	22	0,28 . 10 ¹⁶	0,96
	17,00 . 10 ¹⁶	22	1,85 . 10 ¹⁶	0,50
405 .	0,28 . 10 ¹⁶	21	0,17 . 10 ¹⁶	1,00
	1,68 . 10 ¹⁶	21	0,32 . 10 ¹⁶	0,92
365 .	1,40 . 10 ¹⁶	19	0,25 . 10 ¹⁶	0,93
	8,05 . 10 ¹⁶	19	1,01 . 10 ¹⁶	0,66

დება. ამგვარად, სინათლის მოქმედების პირველ სტადიაში წარმოებს ფოტოფენის ბრომვერცხლის პირველადი მარტივი გარდაქმნა, სინათლის გაზრდით კი ფოტოფენაში წარმოიშევა მეორადი პროცესები. რადგანაც მეორადი პროცესის დროს მცირდება ქვანტური გამოსავლის სიდიდე, ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰალოგენის იონისაგან ელექტრონის გამოყოფა და ვერცხლის ნეიტრალური ატომის შექმნა წარმოებს ბრომვერცხლის პირველადი გარდაქმნის დროს. ბრომვერცხლისაგან გამოყოფილ თავისუფალ ბრომზე თუ ვიმოქმედებთ ნატრიუმის ნიტრატით, მივიღებთ შემდეგი სახის რეაქციას



ასეთი რეაქციის დამახასიათებელი ის არის, რომ მკვეთრად იზრდება ვერცხლის ატომების რაოდენობა, მაგრამ მცირდება ქვანტური გამოსავლის სიდიდე.

ფოტოქიმიური პროცესის ჰალოგენიანი ტუტე მარილების და ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილების კრისტალურში

ფოტოქიმიური პროცესების უფრო დაწვრილებითი შესწავლისათვის შეზღვევაში ლაბორატორიებში ცდებს აწარმოებდნენ ჰალოგენიანი ვერცხლის კრისტალებში, შემთავანირებელი ნივთიერების გელატინის გარეშე. ამით შესაძლებელი გახდა მიგველო შედარებით ზუსტი ცნობები ჰალოგენიან ვერცხლში მომხდარი ცვლილების შესახებ. ამავე მიზნით შესწავლილ იქნა ფოტოქიმიური პროცესები ჰალოგენიანი ტუტე მარილების კრისტალებში. ჯერ კიდევ აღრიხდელ პერიოდში, მე-19 საუკუნის ბოლო წლებში, შენიშნულ იქნა ჰალოგენიანი ტუტე ლითონების მარილების ფერის შეცვლა სინათლის მოქმედებით. მაგალითად, რენტგენის და ულტ-

რაიისფერი სინათლის გავლენით ქლორნატრიუმში მიიღებს ყვითელ-ყავისფერს, ბრომქალიუმში—ლურჯს, ქლორქალიუმში—იისფერს და ა. შ. ამ მარილების ფერის შეცვლა ანალოგიურია სინათლის სხივებით ჰალოგენიანი ვერცხლის შეფერადების გამუქებისა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ჰალოგენიანი ტუტე მარილების და ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილების კრისტალების მოლეკულარულ-ატომური აღნაგობა ერთნაირია; თითოეული ნივთიერების მოლეკულა შედგება დადებითი ვერცხლის ან ნატრიუმის, კალიუმის, უარყოფითი ქლორისა და ბრომის იონებისაგან.

ჰალოგენიანი ტუტე მარილების ფენებში შთანთქმული სინათლის ძალის შემოწმება მოახდინეს ყველაზე მგრანობიარე ფოტომეტრის საშუალებით.

ფოტომეტრით შეგვიძლია გამოვარკვიოთ ჰალოგენიანი ტუტე ვერცხლის მარილის კრისტალზე დაცემული I_0 სინათლის წყაროსა და ამ კრისტალიდან გასული I სინათლის წყაროს ინტენსივობა. ამავე დროს, თუ ცნობილია კრისტალის d სისქე, λ ტალღის სიგრძის მქონე სინათლის შთანთქმის კოეფიციენტის სიდიდე იქნება

$$K_\lambda = \frac{1}{d} \lg \frac{I_0}{I}$$

ჰალოგენიან ტუტე ლითონურ მარილებში შთანთქმება სინათლის სპექტრის ულტრაიისფერი სხივები. მე-8 ცხრილში ნაჩვენებია შთანთქმული ულტრაიისფერი სხივების ტალღების სასაზღვრო სიდიდეები ცალკეული ნივთიერების კრისტალების მიხედვით.

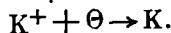
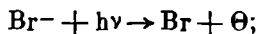
ცხრილი 8

ნივთიერების კრისტალები	ტალღის სიგრძე, მმკ	ნივთიერების კრისტალები	ტალღის სიგრძე, მმკ	ნივთიერების კრისტალები	ტალღის სიგრძე, მმკ
LiF	108	KCl	175	KJ	235
NaF	132	Rb	184	RbJ	240
NaCl	170	NaBr	206	NaJ	248

ჰალოგენიანი ტუტე ლითონური მარილების შთანთქმული სინათლის სხივების ტალღების სიგრძე იწყება საშუალოდ 200 მმკ.

ჰალოგენიან ბრომტუტე ლითონურ მარილებში (LiBr, NaBr, KBr, RbBr და CsBr) შთანთქმული სინათლის მრუდები თითქმის ერთნაირია (ნახ. 21). ეს მოვლენა იმით აიხსნება, რომ ელემენტთა ერთ ჯგუფში შემავალ ნივთიერებათა მოლეკულებზე ბრომიონი ახდენს ერთნაირ გავლენას. ბრომტუტე მარილებში ფოტოქიმიური პროცესი ვითარდება ჩვეულებრივი სქე-

მის მიხედვით



ამ ნივთიერებაშიაც ფერის შეცვლა უშუალოდ დაკავშირებულია ბრომ-კალიუმის გარდაქმნასთან, როცა წარმოიშვება ატომური კალიუმი.

პოლის და გილ შის გამორკვევით დადგენილ იქნა ფოტოქიმიური პროცესის ე. წ. ენერგეტული ბალანსი

$$h\nu = E + Q - I,$$

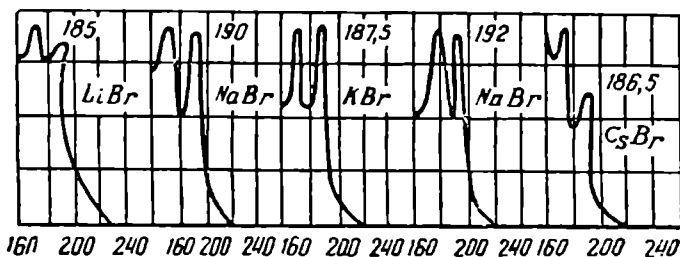
სადაც $h\nu$ არის შთანთქმული სინათლის ქვანტი;

E — განსაზღვრული ნიშნის მოძრავი ელექტრონები;

Q — კრისტალებში დარჩენილი ელექტროსტატიკური ენერგიის ნაწილი;

I — იონიზაციის პროცესში მყოფი ენერგიის ნაწილი.

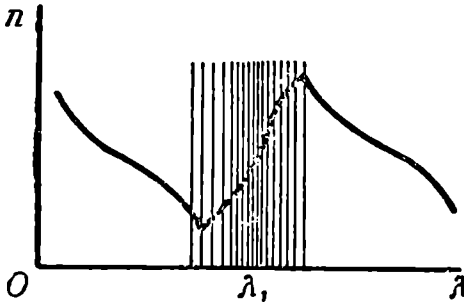
შთანთქმული სინათლის ქვანტი იხარჯება ელექტრონებად ჰალოგენის გასანეიტრალებლად, მისი ნაწილი რჩება კრისტალებში ელექტროსტატიკურ ენერგიად და თან ათავისუფლებს ლითონური ატომის იონიზაციის



ნახ. 21.

ენერგიას. ჰალოგენიანი ტუტე ლითონური მარილების კრისტალების შეღებვა შეიძლება აგრეთვე კრისტალების გაცხელების წესითაც: თუ რომელიმე ტუტე მარილის გაცხელებულ კრისტალს მოვათავსებთ ამ მარილში შემავალ ორთქლში და შემდეგ გავაცივებთ 15 - 20°-მდე, კრისტალი შეიღებება. რადგანაც კრისტალის ფერის შეცვლა ამ შემთხვევაში დამოკიდებულია სითბური ენერგიის გამოყენებასთან, კრისტალების შეღებვის მეთოდს ეწოდება ა დ ი ტ ი უ რ ი. ამ მეთოდისაგან განსხვავებით ფოტოქიმიური პროცესების დროს კრისტალების შეღებვის მეთოდს ეწოდება ს უ ბ ტ რ ა ქ ტ ი უ ლ ი. ჰალოგენიანი ტუტე მარილები, რომლებიც შეღებილია ადიციური მეთოდით, ამჟღავნებს ოპტიკურ და ელექტრულ მოვლენებს, ისევე როგორც ფოტოქიმიური-მეთოდით შეღებილი მარილები.

სინათლის ნორმალური დისპერსიის დამახასიათებელი ის არის, რომ დაწყებული წითელი ფერის სხივებიდან გარდატეხა თანდათან მატულობს და იისფერი სხივებისათვის გარდატეხის მაჩვენებელი ყველაზე დიდია. ზოგჯერ ფერადი სხივების გარდატეხა ანომალურია: ნივთიერებაში გავლის დროს წითელი სხივების გარდატეხა უფრო მეტია, ვიდრე ლურჯი სხივებისა და ა. შ. შთანთქმული სინათლის სხივებიც ანომალურად გადატყდება: იზრდება წითელი სხივების მხრივ და მცირდება იისფერი სხივების მხრივ. ეს დამოკიდებულება შეიძლება გამოვსახოთ გრაფიკულად, თუ აბსცისთა ღერძზე გადავზომავთ ტალღის სიგრძის სიდიდეებს, ხოლო ორდინატთა ღერძზე გარდატეხის მაჩვენებლის პროპორციულ შესაბამის სიდიდეებს (ნახ. 22). ჰალოგენიან ტუტე მარილებში შთანთქმული სინათ-



ნახ. 22.

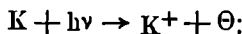
ლის სხივების გარდატეხაც ანომალურია. ამასთან ერთად სინათლის დისპერსიის თეორიის თანახმად ნივთიერების კონცენტრაციაში შეიძლება განისაზღვროს მღებავი ცენტრები. ნივთიერების 1 სმ³ ასეთი ცენტრის რაოდენობა იქნება

$$N = \alpha K H,$$

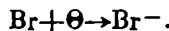
- სადაც K არის შთანთქმის მაქსიმალური ზოლების მაჩვენებელი;
 N — შთანთქმის მაქსიმალური ზოლის ნახევრის სიგანე;
 α — ჰალოგენიანი ტუტე მარილების ერთი და იმავე მნიშვნელობის მუდმივი სიდიდე.

ჰალოგენიან ტუტე მარილებში მღებავ ცენტრებად ითვლება ლითონების ატომები. ოპტიკური დაკვირვებით შეიძლება იმის დადგენა, თუ რამდენი ცენტრი და ლითონის რამდენი ნეიტრალური ატომია. ასეთი ნეიტრალური ატომების და სინათლის ქვანტების რაოდენობის მიხედვით შესაძლებელია განვსაზღვროთ ქვანტური გამოსავლის სიდიდე.

ბრომკალიუმის შედეგილ კრისტალზე სინათლის მოქმედება გამოიწვევს კალიუმის ატომიდან ელექტრონის მოგლეჯას და კალიუმი გარდაიქმნება კათიონად



ამ მიზეზით მღებავი ცენტრები გაქრება, თავისუფალი ელექტრონები გადავა ბრომის ატომზე და გარდაქმნის ანიონად.



შოსპობილი მღებავი ცენტრების რაოდენობა შეიძლება ასე გამოვიანგა-
რიშოთ

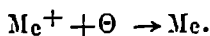
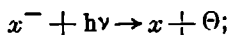
$$n = \frac{Q}{e},$$

სადაც Q არის გატარებული ელექტრობის რაოდენობა;

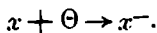
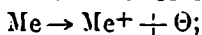
e — ელექტრონის მუხტი.

მღებავი ცენტრების რაოდენობისა და სინათლის ქვანტების რაოდენობის მიხედვითაც შეიძლება გავიგოთ ქვანტური გამოსავლის სიდიდე.

ჰალოგენიან ტუტე ლითონურ მარილებში ფოტოლიზის მოვლენა დასაწყის სტადიაში შეიძლება ზოგადად ასე გამოვსახოთ



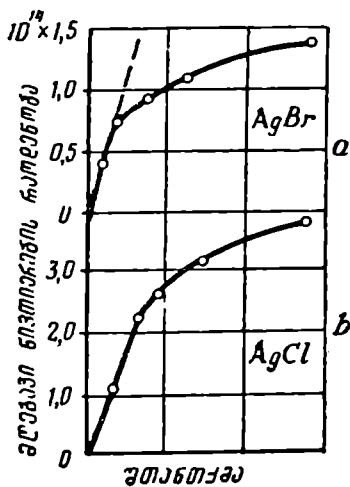
შემდეგში სინათლის ქვანტების მატება არ იწვევს ლითონური ატომების გაჩენას, ქვანტებით იქმნება ნაჯერი მდგომარეობა, კრისტალებში მყოფი ლითონური და ჰალოგენური ატომების რაოდენობა რჩება მუდმივი, კრისტალები ხდება სტაბილური. ნივთიერებაში კონცენტრაციის გაზრდით ლითონური ატომი, რომელიც გარშემორტყმულია ჰალოგენური ატომებით, კარგავს სუსტად დაკავშირებულ ელექტრონს; თავისუფალი ელექტრონი აღადგენს ჰალოგენურ ეონს. ამ სახით მივიღებთ ატომური ლითონებისა და ჰალოგენების რეკომბინაციას



1930 წელს ფოტოლიზის მოვლენების ახსნაში დამატებითი მოსაზრებანი შეიტანა მ. სავოსტიანოვმა. ნან გამორკვევები აწარმოვა მარილების კრისტალების მღებავი ცენტრების შესახებ და მიიღო ასეთი დასკვნა: ჰალოგენიანი ტუტე მარილების კრისტალებში ფოტოქიმიური პროცესის დროს ნორმალური ტემპერატურის შემთხვევაში შეიქმნება ატომური ლითონი, როგორც მარილის პროდუქტი, მხოლოდ დისპერსიულობის პირობების შეცვლასთან დაკავშირებით კრისტალებში აღმოჩნდება კოლოიდური ლითონი. სავოსტიანოვი ამ მოსაზრებამდე მივიდა იმისათვის, რომ თუ ნივთიერებაში (მაგალითად, ქლორნატრიუმში) უნდა შენიშნულიყო მხოლოდ ყვითელ-ყავისფერი, ზოგჯერ გამოჩნდა ლურჯი და იისფერი. ყვითელ-ყავისფერი დამახასიათებელია ატომური ლითონისა, ხოლო ლურჯი და იისფერი — კოლოიდური დისპერსიული ლითონისა.

სავოსტიანოვის და სხვების მიერ გამორკვეულ იქნა აგრეთვე ის მდგომარეობა

რობა, რომ ბრომვერცხლის ან ქლორვერცხლის კრისტალებს და ჰალოგენიან ტუტე მარილების კრისტალებს შორის არსებობს ძალიან დიდი მსგავსება; ამასთან ერთად არსებობს არსებითი განსხვავება. თხელ ფოტოფირფიტებში შემოწმებული იყო ბრომვერცხლისა და ქლორვერცხლის კრისტალებში შთანთქმული სინათლის მოქმედება. აღმოჩნდა, რომ ასეთ მარილებში შთანთქმულ სინათლეს ახასიათებს ნათების დიდი ზოლები, რომელიც მოთავსებულია ულტრაიისფერ და ნაწილობრივ ხილული სპექტრის ნაწილში. ბრომვერცხლში სინათლის შთანთქმა შეინიშნება, როცა $\lambda = 475$ მკ, სინათლის შთანთქმა მნიშვნელოვანი იქნება — $\lambda = 400$ მკ, ამ დროს კრისტალების ფენის ზედაპირი 2 მკ სისქეზე შთანთქავს დაცემული სხივების 99%; ქლორვერცხლის მაქსიმალური ზოლები მოთავსებულია $\lambda = 550$ ნმკ, ხოლო ბრომვერცხლის მაქსიმალური ზოლები — $\lambda = 650$ მკ ფარგლებში. ისე როგორც ჰალოგენიან ტუტე მარილებში, აქაც ნათების დასაწყისის სტადიაში წარმოიშვება მარტივი პროპორციულობა შთანთქმულ ქვანტებსა და შექმნილ ლითონვერცხლის ატომებს შორის (ნახ. 23). შემდეგი ნათება აღარ იწვევს ლითონვერცხლის ატომების რაოდენობის



ნახ. 23.

გაზრდას ნაჯერობის გამო. ქვანტური გამოსავლის სიდიდე ფოტოლიზის დასაწყის სტადიაში ბრომვერცხლისათვის 0,4-ია, ქლორვერცხლისათვის კი — 0,33; ეს სიდიდე ორივე შემთხვევაში ნაკლებია ჰალოგენიან ტუტე მარილების ქვანტურ სიდიდესთან შედარებით. ლიოლის გამორკვევით ბრომვერცხლის კრისტალებში მღებავი ნივთიერების სტაბილიზაცია უფრო ადვილად ხდება, ე. ი. სჭირდება უფრო მცირე ნათება, ვიდრე სუფთა ვერცხლის კრისტალებს. ამგვარად, სავესებით სუფთა ვერცხლის კრისტალები სინათლის მოქმედებით არ იცვლის ფერს და გამოყენებულია ფოტოგრაფიისათვის. ლიოლის დასკვნით, ჰალოგენიან ვერცხლის მარილებში ფოტოლიზის სტაბილიზაცია

აზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ტემპერატურის ცვლილება. მაგალითად, ბრომვერცხლი ჰაერის გათხევადების ტემპერატურის დროს ხანგრძლივი ნათების შემთხვევაშიც არ იცვლის ფერს; დიდი ტემპერატურის დროს კი, თუნდაც მცირე ნათების ქვეშ იმყოფებოდეს, იგი ფერს შეიცვლის ისევე, როგორც ძლიერი ნათებით ჩვეულებრივი ტემპერატურის დროს.

მთელი რიგი გამორკვევების შემდეგ დაადგინეს: ჰალოგენიანი ტუტე მარილების და ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილების ფოტოლიზის დროს წარმოიშვება პირველადი პროდუქციის სახით ატომური ვერცხლი; ჰალოგენიანი ვერცხლის შეღებვილი კრისტალების ზოგიერთი ოპტიკური თვისება გვიჩვენებს, რომ კრისტალების შეღებვა არ არის შექმნილი ატომურობის მიზეზით, არამედ ლითონვერცხლის კოლოიდური განაწილებით.

ფოტოქიმიურ პროცესებზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც დამოკიდებულია კლიმატზე. კლიმატი იცვლება გეოგრაფიული ადგილმდებარეობისა და წლის დროთა მიხედვით, რადგანაც მზის სხივები სხვადასხვა პირობებში სხვადასხვაგვარად გამოსხივდება და შთაინთქმება. დედამიწის გეოგრაფიული განედის მიხედვით წლის საშუალო ტემპერატურული განსხვავება ასეთია:

განედი $0^{\circ} 10^{\circ} 20^{\circ} 30^{\circ} 40^{\circ} 50^{\circ} 60^{\circ} 70^{\circ} 80^{\circ} 90^{\circ}$; ტემპერატურა $+33^{\circ} +32^{\circ} +28^{\circ} +22^{\circ} +14^{\circ} +3^{\circ} -11^{\circ} -24^{\circ} -32^{\circ} -35^{\circ}$.

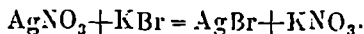
მიღებული ტემპერატურული განსხვავებანი მხედველობაში უნდა მივიღოთ ფოტოგრაფიული პროცესების წარმოების დროს.

4. ფოტოგრაფიული პროცესების ქიმიური საფუძვლები

ფოტოგრაფიული ემულსიის მიღება

ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილების კრისტალები ერთმანეთთან დაკავშირებულია გელატინით. გელატინი ფოტოგრაფიულ ფენას ამაგრებს აგრეთვე ქვესადებ მასალაზე; ასეთ მასალად გამოყენებულია მინა, ქალაღლი, ცელულოზის ფირი და სხვა. გელატინის ამ დანიშნულებით ხმარების შესახებ პირველად წინადადება წამოაყენა მედკოსმა 1871 წელს. ფოტოგრაფიაში ხმარებული გელატინი უნდა იყოს სუფთა, მაღალი ხარისხის. იგი მიიღება ხბოს ახალი ტყავის ტყავეკეშა კანის ნარჩენების და რქიანი საკონლის მსხვილი ძვლების დამუშავებით. წინასწარ საჭიროა მოვამზადოთ გელატინის ხსნარი. ამისათვის გელატინი უნდა გაეხსნათ წყალში, ამ ხსნარს დაეუმატოთ ჰალოგენიანი მარილების გამხსნელი ბრომკალიუმი, ბრომნატრიუმი ან ბრომპრონიუმი. ამ სახით მიიღება გელატინის და ბრომიდების ხსნარი. ცალკე უნდა დავამზადოთ აზოტ-მჟავავერცხლის ხსნარი; ამ პროცესს ემულსიფიკაცია ეწოდება. ეს ორი ხსნარი ერთმანეთში უნდა ავურიოთ ნელ-ნელა. ამისათვის საჭიროა გელატინის და ბრომიდების ხსნარი კურკლით მოვათავსოთ ბნელ

ოთახში წითელ სინათლეზე წყლის ვარცლში, რომელსაც ექნება მაღალი ტემპერატურა, დაახლოებით 40—60° და ასეთ მდგომარეობაში ხსნარს დაუმატოთ მცირე რაოდენობით აზოტმჟავავერცხლის ხსნარი. ამ დროს მოხდება გაცვლის რეაქცია, რომლის შედეგად წარმოიწვება ბრომვერცხლის კრისტალები



ეს რეაქცია რომ წარმოებდეს წყლის ხსნარებში ჯელატინის გარეშე, მივიღებდით წყალში უხსნად ბრომვერცხლს, რომელიც ჭურჭლის ძირზე დაილექებოდა. ჯელატინი კი არ აძლევს დალექვის საშუალებას და ბრომვერცხლის კრისტალებს განაწილებული სახით ითავსებს მასის შიგნით.

წყალში გახსნილ ჯელატინს, რომელიც შეიცავს დისპერსიულ ქალოგენიან ვერცხლს, ეწოდება ფოტოგრაფიული ემულსია. ჯელატინის გარდა, ბრომვერცხლის დალექვის საწინააღმდეგოდ შეიძლება ვიხმართ აგრეთვე ზოგიერთი კოლოიდური ნივთიერება: კვერცხის ცილა, გუმიარაბიკი, სახამებელი. რადგანაც ჯელატინი უკეთესად ამჟავნებს მარილების დალექვის საწინააღმდეგო თვისებას, ამისათვის ფოტოგრაფიული ემულსიის დასაზადებლად უფრო ხშირად ჯელატინი იხმარება.

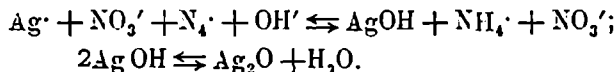
ამ სახით დაზადებულ ბრომვერცხლ-ჯელატინის ემულსიას არ აქვს საკმარისი შუქმგრძობელობა; ფოტოგრაფიულ ფენას ესაჭიროება ასიათასჯერ მეტი შუქმგრძობელობა. ამ მიზნით საჭიროა ბრომვერცხლის ემულსია 2—4 საათის განმავლობაში გავაჩეროთ გაზრდილ 40—60° ტემპერატურაზე. ამნაირად ვღებულობთ ე. წ. მონწიფებულ ანუ დასრულებულ ემულსიას. დასრულებული ემულსია გაცივების შენდევლად იქცევა, როელიც უნდა გავრცხოთ მდინარ წყალში ხსნადი აზოტმჟავაკალიუმის მარილების მოცილების მიზნით. გარეცხილი ემულსია ისევ უნდა გავაცხელოთ და ვაქციოთ სითხედ, შემდეგ დავასხათ წინის ფირფიტების ან ცელულოიდის თხელი ფირფიტის ზედაპირზე და გავაშროთ. ემულსიის მეორეჯერ გაღნობა უნდა ვაწარმოოთ უფრო დაბალ ტემპერატურაზე 38—42°. ემულსიის დასრულების პროცესში ბრომვერცხლი შუქმგრძობიარობასთან ერთად განიცდის გარეგნულ ცვლილებასაც; ემულსიაში მყოფი ბრომვერცხლის მიკროსკოპითაც შეუმჩნეველი მარცვლები იზრდება და იქცევა კრისტალურ მარცვლებად, რომელთა დიამეტრის საშუალო სიდიდე ეთანასწორება 1,5—2,5 მკ. ემულსიის დასრულების პროცესი უფრო დაჩქარდება (ინტენსიური გახდება), თუ ემულსიას მიეუმატებთ ამონიაკის განსაზღვრულ რაოდენობას; ამ შემთხვევაში გაცხელების ტემპერატურა შეიძლება უფრო დაბალიც იყოს. ემულსიის მსხვილმარცვლო-

ვნება არ არის სასურველი სანეგატივო მასალის დამზადების დროს, რის გამოც საჭიროა გამოვიყენოთ მსხვილმარცვლოვანების შესაძვირებელი ლონისძიებანი. ამგვარად, ემულსიის დამზადების სქემა ასეთია: ჯელატინის და ბრომკალიუმის ხსნარის შიღება, აზოტმეფავერცხლის მიღება ანუ ემულსიფიკაცია, ემულსიის გალაბება ანუ პირველი დასრულება, მეორედ გადნობა ანუ მეორედ დასრულება და ქვედადების ზედაპირზე ემულსიის თხელი ფენის დასხნა; ანავე დროს კარგ შედეგს იძლევა ემულსიის ხსნარში ამონიაკის დამატება. ემულსიის მიღებისას ზოგჯერ წარმოიქმნება ისეთი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ემულსიის თავისებურებებზე. ასეთად შეიძლება დაეასახელოთ რამდენიმე ფაქტორი.

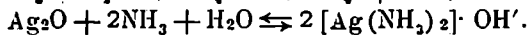
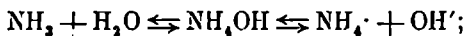
პირველი: ჯელატინის დანიზნულება ის არის, რომ ერთმანეთთან დააკავშიროს შექმგრძობი პალოგენიანი ვერცხლის მარცვლები და დასრულების პროცესში დაიცვას ეს მარცვლები. მაგრამ ჯელატინი თავის მხრივ გავლენას ახდენს ემულსიის შექმგრძობებლობაზე. ამ საკითხის შესასწავლად 1925 წელს შეპარდმა ჩაატარა დაკვირვება ოახი სხვადასხვა სახის ჯელატინზე ერთნაირ პირობებში. ერთმანეთისაგან განსხვავებული ჯელატინისაგან დამზადებულ ემულსიებს აღმოაჩინა სხვადასხვა სიდიერის შექმგრძობებლობა. მძლავრი შექმგრძობებლობა გამოამგლავნა ისეთმა ჯელატინმა, რომელშიაც მინარევის სახით იმყოფებოდა ცილოვანი ნივთიერებანი, მიუხედავად იმისა, რომ ამ ნივთიერებათა რაოდენობა ჯელატინში შემცირესი იყო (აღწევდა $\frac{1}{10000000} - \frac{1}{3000000}$ ნაწილანდე). მაშასადამე, ემულსიის დამზადების დროს, მის ხარისხზე პალოგენიანი ვერცხლთან ერთად, უშუალოდ გავლენას ახდენს ჯელატინიც.

მეორე: გამორკვეულ იქნა, რომ ნივთიერების შექმგრძობებლობა უფრო მეტია, როცა დარღვეულია პალოგენიანი ვერცხლის კრისტალების სტრუქტურული აღნაგობა. 1935 წელს ჩიბოსოვმა აღმოაჩინა, რომ ასეთი მდგომარეობა იქნება უფრო მეტად ენულსიის მეორე დასრულების დროს. შემდეგში დადგინდა ისიც, რომ მნიშვნელობა აქვს დასრულების პროცესის ხანგრძლიობასაც ემულსიის მარცვლების სიდიდესთან ერთად (ნაბ. 24). გრაფიკის აბსცისთა ლერძზე ნაჩვენებია ემულსიის დასრულების დრო, ორდინატთა ლერძზე კი — შექმგრძობებლობა. პირველი მრუდის შემთხვევაში ემულსიის მარცვლების საშუალო სიდიდეა — 0,26 მკ, მეორე მრუდის — 0,39 მკ, მესამე მრუდის — 0,52 მკ, მეოთხე მრუდის კი — 1,00 მკ.

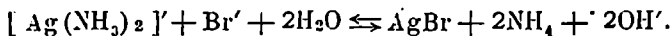
მესამე: ამიაკი ემულსიაში შეაქვთ ვერცხლის ჟანგისა და ამიაკის ხსნარის სახით. დასაწყისში რეაქცია მიმდინარეობს ასე



ამის შემდეგ კი

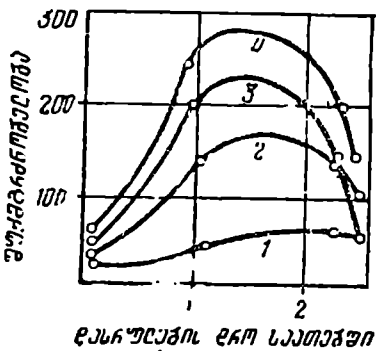


ასეთ კომპლექსურ ნივთიერებაზე თუ ვიმოქმედებთ ბრომის ხსნარით, ამიაკი ისევე ცალკე გამოიყოფა



ამიაკი ბრომვერცხლის გამხსნელია, რის გამოც გავლენას ახდენს ნივთიერების დაკრისტალების პროცესზე და ემულსიის რეაქციაზე.

მეოთხე: ფოტოგრაფიული ემულსიის დასამზადებლად ბრომვერცხლთან ერთად ზოგჯერ იხმარება იოდვერცხლის მცირე რაოდენობა



ნახ. 24.

3—5%. ვერცხლი თავისთავად უფრო მეტად შექმგრძნობია, ვიდრე ბრომვერცხლი, მაგრამ აქვს ის ნაკლი, რომ ელვადობაში ხსნადობის თვისება აქვს განსხვავებული. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ბრომვერცხლის დაკრისტალდება ხდება კუბიკურ სისტემაში, ხოლო იოდვერცხლის — როგორც კუბიკურ, ისე ჰექსაგონალურ სისტემაში. კუბიკური ფორმა უძლებს 146°-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურას, ჰექსაგონალური კი—146°-ზე დაბალ ტემპერატურას. ამისათვის ბრომვერცხლისა და იოდვერცხლის

დაკრისტალდება მოხდება შერეულად, რის გამოც ნივთიერების სტრუქტურული აღნაგობა მტკიცე არ იქნება, მაშასადამე, ემულსიაში იოდვერცხლის შერევა აძლიერებს ემულსიის შექმგრძნობელობას, მაგრამ საზავეროდ ასუსტებს ნივთიერების სტრუქტურულ აღნაგობას.

ემულსიის თვისებაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ემულსიფიკაციის პროცესი, მაღალხარისხოვანი ძლიერ შექმგრძნობი ემულსიის მისაღებად საჭიროა ეს პროცესი ვაწარმოოთ ხანგრძლივად — დაახლოებით 10—15 წუთი, რაც უშუალო გავლენას ახდენს ჰალოგენიანი ვერცხლის დისპერსიულობაზე. ფოტოფირფიტების, ფოტოფირების და ფოტოქალაღების დამზადება საბჭოთა ფაბრიკებში წარმოებს სპეციალური მანქანების და აპარატების საშუალებით. ბრომვერცხლისა და ელვადინისაგან მიღებული ემულსია გამოიყენება ისეთი ფოტოგრაფიული ფენის დასამზადებლად, რომელიც საჭიროა გამოსაძლიერებელი ფოტოფირფიტების, ფო-

ტოფირებისა და ფოტოქალაღდებისათვის. ფაბრიკებში მზადდება აგრეთვე განსხვავებული ემულსიები, რომლებიც გამოიყენება „ხილულად საბეჭდი“ ფოტოგრაფიული ფენებისათვის, ე. წ. „დღის“ ფოტოგრაფიული ქალაღდებისათვის. ასეთ ემულსიაში შექმგრძნობ ნივთიერებად გამოყენებულია ქლორვერცხლი და მცირე რაოდენობით ნარჩენის სახით აზოტმჟავავერცხლი. ამასთან ერთად ამგვარ ემულსიაში დასრულების პროცესი არ წარმოებს. ფოტოქალაღდის გამძლეობის გასაძლეიერებად ემულსიას უნდა დაემატოს ზოგიერთი ორგანული მჟავა, როგორცაა ლიმონისა და ღვინის მჟავა. ნორმალურ პირობებში ასეთი მჟავებით დამუშავებული ემულსიით მიღებული ფოტოქალაღდი ძლებს 6—12 თვემდე. დღის ფოტოქალაღდის ემულსიის დამზადების დროს შემაკაემირებელ ნივთიერებად გამოიყენება ეელატინი, ალბუმინი და კოლოიდი. ამის მიხედვით ფოტოქალაღდებს აქვთ სხვადასხვა სახელი: არისტოტიპის, ალბუმინის და ცელოიდინის.

ფაბრიკებში ფოტოფირფიტებს აწყობენ მცირე ზომის მუყაოს ყუთებში, თითოეულ ყუთში ათავსებენ 12 ცალ ფოტოფირფიტას, იმგვარად რომ ემულსიის ფენები ერთმანეთისაკენ იყოს მიბართული. ფოტოფირფიტებს ამზადებენ ლენტის სახით, როკლას სიგრძე 1,6 მეტრია და მისგან გადაიღება 36 კადრი. ფოტოქალაღდებსაც აწყობენ სხვადასხვა ზომის მუყაოს ყუთებში 10—100 ცალამდე. ყუთზე მოთავსებულ იარლიყზე აღნიშნულია ფოტოფირფიტის, ფოტოფირის ან ფოტოქალაღდის სახელწოდება, ზომა, შექმგრძნობიარობა და ფერის შეგრძნება. ფოტოქალაღდზე ზომის გარდა აღნიშნულია ქალაღდის სხვა თვისებები, მაგალითად: „ნორმალური“, „კონტრასტული“, „რბილი“, „მქრქალი“, „კრიალა“ და სხვა. ფოტოფირფიტების, ფოტოფირებისა და ფოტოქალაღდის შერჩევა უნდა ვაწარმოოთ საჭიროების მიხედვით.

ფოტოგრაფიული ემულსიის ოპტიკური სენსიბილიზაცია

ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილებიდან დამზადებულ ფოტოგრაფიულ ფენას ის ნაკლი აქვს, რომ მას ყველა ფერისადმი თანაბარი მგრძნობიარობა არ ახასიათებს, რის გამოც ფერად საგნებს სწორად არ გადმოგვეცემს. ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილები აქტიურ მგრძნობიარობას იჩენს სპექტრის ლურჯ, იისფერ და ულტრაიისფერ სხივებისადმი. საგნის ყვითელი, მწვანე და წითელი ფერი პოზიტიურ გამოსახულებაში თითქმის შავად გამოჩნდება, ლურჯი და იისფერი კი — თითქმის თეთრად. ამის გამო გადაღებულ ობიექტსა და გამოსახულებას შორის შეიქმნება დიდი განსხვავება. მაგალითად, ლურჯ ცაზე გამოსახული თეთრი ღრუბლები ფოტოსურათზე არ აღიბეჭდება, ან მწვანე ხეები თითქმის შავად

აღინიშნება; პორტრეტის გადაღების დროს ადამიანის სახის, თმის და ტანისამოსის ფერი სინამდვილისაგან განსხვავებული იქნება და აღიბეჭდება დამახინჯებული სახით. ფოტოგრაფიული ფენის ამ ნაკლოვანების გამოსასწორებლად საჭიროა ჩვეულებრივი სანეგატივო მასალა შევასწოროთ იმგვარად, რომ იგი მგრძნობიარე გავხადოთ ყველა ხილული და ბევრი უხილავი სხივისადმი. ამ მიზნით ფოტოგრაფიულ ემულსიას უნდა დაეუმატოთ განსაკუთრებული მღებავი ნივთიერებანი, ე. წ. ოპტიკური სენსიბილიზატორები. ემულსიაში ასეთ ფერშეგრძნობის გამაძლიერებელ ნივთიერებათა შეყვანას სენსიბილიზაცია ეწოდება. ამჟამად ხმარებაში მყოფი ფოტოგრაფიული ნეგატივები სენსიბილიზებულია. ფერშეგრძნობის მიხედვით სანეგატივო მასალა იყოფა სამ ჯგუფად: ორტოქრომატული, პანქრომატული და იზოპანქრომატული. ორტოქრომატული მასალა სენსიბილიზებულია მწვანე და ყვითელი ფერისადმი, ნაწილობრივ ნარინჯისფერისადმი; პანქრომატული — წითელი და ნარინჯისფერისადმი, იზოპანქრომატული კი — ყველა ხილული სხივისადმი. ფოტოგრაფიული ფენის სენსიბილიზაცია საერთოდ წარმოებს ფაბრიკებში ემულსიის დამზადების დროს. მაგრამ თუ მიღებული გვაქვს არასენსიბილიზებული ფოტოგრაფიული სანეგატივო მასალა, ადგილზევე შეგვიძლია მოვახდინოთ ამ მასალის სენსიბილიზაცია ფირფიტების ან ფირების სათანადო ნივთიერებაში გავლებით. საჭიროა გვახსოვდეს, რომ ორივე შემთხვევაში უნდა ვინმართ მღებავი ნივთიერების მცირე რაოდენობა. პინქრომის 1 გ საკმარისია 2500 ფოტოფირფიტის (13×18 სმ) ამოსავლებად ან 100000 ფოტოფირფიტის. ემულსიის დასამზადებლად. არასენსიბილიზებული ემულსიის ფაბრიკები ანზადებენ მასალას მხოლოდ პოზიტივური და რეპროდუქციული ნეგატივებისათვის, რომელთაც მცირე შუქმგრძნობიარობა ახასიათებს. საერთოდ, სანეგატივო მასალის მგრძნობიარობა დაახლოებით ათასჯერ მეტია არასენსიბილიზებული მასალის მგრძნობიარობაზე.

ფოტოფირფიტაზე ან ფოტოფირზე ფერთა ზუსტი აღბეჭდვისათვის სენსიბილიზაციის გამოყენება საკმარისი არ არის, რადგანაც ფოტოფენის მგრძნობიარობა ლურჯი, იისფერი და ულტრაიისფერი სხივებისადმი საჭიროზე მეტია და მოითხოვს შემცირებას. ამ მიზნით კამერის ობიექტივის წინ უნდა მოვათავსოთ შუქფილტრი. შუქფილტრი იხმარება სენსიბილიზებული ფოტოფირფიტების ან ფოტოფირებისათვის, მხოლოდ არასენსიბილიზებული სანეგატივო მასალის გამოყენების დროს არ იხმარება ამ მასალის მცირე მგრძნობიარობის გამო. შუქფილტრი წარმოადგენს შეღებილ მინას ან შეღებილი ელასტინის ფირს, რომელიც შეღებილია იმის მიხედვით, თუ რომელი ფერის სინათლის სხივები უნდა შთანთქას და რომელი ფერის გაატაროს. ამავე დანიშნუ-

ლებით, შეუჭფელტრები ისმარება ფერადი ფოტოგრაფიის და ფერადი რეპროდუქციის სანეკდი ფორგების დანაადების დროს. მინის შეუჭფელტრის დასაადება წარმოებს ორი პარალელური შგერული მინისაგან, რომელთა შუა ვათავსებთ რომელიმე ფერის წეღეზილ ფერს. წესადლოა ვაწარმოთა უნებლოდ მინის წეღებუაც, მაგრამ ასეთი პროცესით წესრუღების სიძნელის გამო ეს ნეთოდი არ გამოიყენება. რომელიმე ფერთ შეღებილი ფერი ისმარება მინის გარემეც, მაგრამ უმჯობესია ეს ფერი ჩასწული იყოს მინებს შორის. მინის შეუჭფელტრის დამზადების დროს ყურადღება უნდა მივაქციოთ იმას, რომ იყოს კარგი ხარისხის, ზუსტად ერთმანეთის პარალელური. ფილტრის ფირების მასალად უმთავრესად ხმარობენ გელატინს, იწვიათად კოლოდიუმს. გელატინის ფირების დამზადებას აწარმოებენ ამგვარად: გელატინის ათპროცენტიან ხსნარში ათავსებენ მცირე რაოდენობის მღებავ ნიეთიერებას; შეღებილ ხსნარს ასხამენ პორიზონტალურად დაყენებულ სარკის წინაზე, ისე რომ ხსნარი თავისუფლად გაიშალოს მინის ზედაპირზე და თანაბრად გარეს. შეზღვევ ასეთ მინას ზემოდან კანადის ბალზანით აწებებენ წეორე მინას. გუგუნისაგან დასაცავად მინის ორივე მხარეზე უსვანენ კოლოდიუმის ფენას. მზადდება სწავდასხვა ფერის შეუჭფელტრები, სენსიბილიზებული ფოტოფირფიტების და ფოტოფირებისათვის უმთავრესად აზადებენ ყვითელი ფერის შეუჭფელტრებს, რადგანაც ასეთი ფილტრები შთანთქავს ლურჯს, იისფერსა და ულტრაიისფერ სხივებს. ამით შეიძლება წევაძვიროთ სპექტრის ამ ფერის სხივების მოწეღება სანეგატიუო მასალაზე.

ფერების მიხედვით არსებობს შეუჭფელტრების რაზღენიწე ნომერი. ყვითელი ფილტრები ხასიათდება შემღეგნაირად:

პირველი: სუსტია, შთანთქავს ლურჯ სხივებს, იხმარება სწრაფი და საპორტრეტო გადაღების დროს.

მეორე: საგრძნობლად აუშჯობესებს ფერთა გადაცემას პირველ ფილტრთან შედარებით, გამოიყენება საპეიზაჟო და საპორტრეტო გადაღების შემთხვევაში.

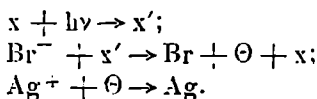
მესამე: იძლევა უფრო ზუსტ ფერთა გადაცემას, რამღენიწედ აძლიერებს ლურჯსა და იისფერს და ეს ფერები უფრო მუქი გამოდის; იხმარება დაცილებული პეიზაჟების და ფერადი რეპროდუქციის გადასაღებად.

ნაწილობრივ გამუქებული: წარმოადგენს მინას, რომლის ერთი ნაწილი შეღებილია მუქი ყვითელი საღებავით; საღებავი მინის შუა ნაწილისკენ ფერმკრთალდება და თანდათანობით გაბწვირვალე ხღება; იხმარება ცის ვასამუქებლად სურათზე ღრუბლების ვანოსახვისათვის.

პრაქტიკაში გამოიყენება აგრეთვე სხვადასხვა სიწუქის წითელი ფილტრები, უმთავრესად დღის სინათლეზე დამის განათების ეფექტის მის-

აღწევად. წითელი ფილტრების ხმარების ექსპოზიცია უნდა გავადიდოთ შედარებით ყვითელ ფილტრებთან. იშვიათად იხმარება ნარინჯისფერი ფილტრებიც.

რადგანაც ფილტრების თვისება ისაა, რომ შთანთქას სანეგატივო მასალის შექმერნობელობა, რაც უფრო მუქია ფილტრი, მით მეტი ექსპოზიციაა საჭირო გადაღების დროს. ფილტრების სიმუქეს განსაზღვრავს აათი ნომრები; რაც მეტია ნომერი, მით უფრო ხანგრძლივი ექსპოზიცია გამოიწვევა. ექსპოზიცია თითქმის ორჯერ მეტია ორტოქრომის, ვიდრე პანაკრომის დროს. გადაღებისას შექვილტრები უნდა დავაგროთ ობიექტივის წინ სპეციალური ჩარჩოთი. ჰალოგენიან მარილებში ობტიკური სენსიბილიზაციის შედეგ ფოტოქიმიური პროცესი რამდენავე განსხვავებულია შიშლინარეობს. ობტიკური სენსიბილიზაცია ვაკუუმში უფრო მარტივი მოვლენებით ხასიათდება, ვიდრე მღებავი ნივთიერება ვაკუუმების დოს; სირთულეს ქმნის მღებავი ნივთიერება. ჰალოგენიანი ფერცხლის სენსიბილიზაცია მღებავი ნივთიერებით ხასიათდება ადსორბციით, რის გამოც იღებება ჰალოგენიანი ფერცხლი. ეს მოვლენა შესწავლილი იყო ჯერ ფოგელის, შემდეგ ფაიანსის, შეპარდის, რაბინოვიჩის და სხვათა მიერ. შესწავლის შემდეგ გამოიჩვენა, რომ ასეთი სენსიბილიზაციის პირველადი პროცესი წარმოიშევაა სუბზავი მოლეკულების აგზნებით, შემდეგ წარმოებს მეორადი დარტყმა და რეაქციაც ასე წარმოითება:



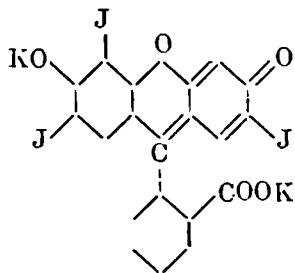
ობტიკური სენსიბილიზაციის მაქსიმალური ეფექტი იწენება ბრომფერცხლის ზედაპირზე შეღებილი მინოროლეკულარული ფენა. პოლიმოლეკულარული ფენა წარმოიშევაა მძლავრი სენსიბილიზატორების მოქმედებით, ნარინჯი მღებავი ნივთიერებით, რომელიც გავრცელდება კრისტალური ბოქსიტის და ელათინის ფენებში შექვილტრების მსგავსად.

ობტიკური სენსიბილიზაციის შესწავლის საქმეში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კ. ტიშირიანოვიჩის მრონებს „ქლოროფილის სპექტრალური ანალიზს“ და მცენარეების მიერ სინათლის ათვისებას, სადაც სხვა საკითხებთან ერთად აღწერილია ფოტოსინთეზის მოვლენები. ტიშირიანოვიჩის გამორკვევით მზის სხივების ინტენსიური განათება იწვევს ინტენსიურ ფოტოსინთეზს გარკვეულ სიდიდემდე, რომლის შემდეგ ეს სიდიდე აღარ იცვლება. ფოტოსინთეზი უფრო ინტენსიურია მზის სპექტრის ყვითელ-მწვანე სხივების მოქმედების დროს. მზის სხივების გავლენით მცენარეულობის მწვანე ნაწილებში ქიმიური მოქმედება არ წარმოიშევა.

ბა, თუ ამ ნაწილებში არ იმყოფება სენსიბილური პიგმენტი — ქლოროფილი. ეს გამოწვეულია ქლოროფილის თვისებით, რომელმაც შეიძლება შთანთქას უპირატესად წითელი სხივები, ხოლო წითელი სხივები კი ხასიათდება ქვანტების დიდი რაოდენობით, ენერჯის დიდი მარაგით. ამიტომ ქლოროფილში ფოტოქიმიური პროცესის სასარგებლო მოქმედების კოეფიციენტი მალალია. ტიპირიაზევა ფოტოსინთეზის საკითხების შესწავლა აწარმოვა 30 წელიწადს, ზან სენსიბილიზატორებს დიდი მნიშვნელობა მიაკუთვნა შექმერინობელობის საქმეში.

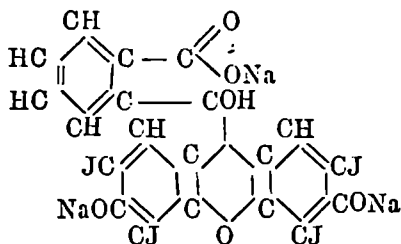
ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილის სენსიბილიზატორები

ჰალოგენიანი ვერცხლის მარილის სენსიბილიზატორებად გამოიყენება ორგანული მღებავი ნივთიერებანი, რომელთაგან ყველაზე მეტი გავრცელება მოიპოვა ფლუორესცენურმა და ციანურმა ნივთიერებებმა. ფლუორესცენურ ნივთიერებას ეკუთვნის ერთროზინი, რომელიც 1884 წელს პირველად იხმარა ედერმა და ახლაც გამოიყენება ორტოქრომატული ფოტოგრაფიული ფენების დასამზადებლად. ერთროზინი ორგანული სინთეზური მღებავი ნივთიერებაა, მიიღება წითელ-მოყავისფრო ცხენილის სახით, წყალში და სპირტში თავისუფლად იხსნება. ერთროზინის მისაღებად საჭიროა ფლუორესცენინი — $C_{20}H_{12}O_2$, გავაცხელოთ იოდთან ერთად ტუტოვან ნივთიერებაში, რის შედეგადაც გამოიყოფა ნატრიუმის, კალიუმის ან ამონიუმის მარილის სახით. ამ ნივთიერების ზოგადი გამოსახულება ასეთია



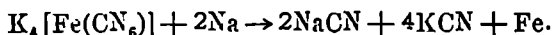
წყალში ვახსნილი ერთროზინის შთანთქმის მაქსიმალური ტალღის სიგრძეა $\lambda = 525,7$ მმკ. ამ ნივთიერებით შეღებილი ქსოვილები არ არის გამძლე, რის გამოც იგი საფეიქრო მრეწველობაში არ გამოიყენება. ერთროზინი იხმარება მხოლოდ ფოტომასალების დასამზადებლად და მიკროსკოპიაში პრეპარატების შესაღებად. ფოტოგრაფიული ფენის დამზადების დროს იხმარება ტეტრაიოდფლუორესცენინის ნატრიუმის მარილი. იგი წარმოადგენს მთავრ მღებავ ნივთიერებას, რომლის კათიონები

უფეროა, ხოლო ანიონები—შეღებილი. ამ ნივთიერების ქიმიური ფორ-
მულა ასეთია

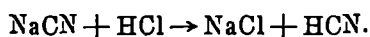


ამ ნივთიერების შთანთქმის მაქსიმალური ტალღის სიგრძეა $\lambda = 520$ მმკ, ხოლო სენსიბილური სპექტრალური ზოლი მოთავსებულია $\lambda = 510 - 600$ მმკ შორის.

ერიტროზინთან ერთად დიდი გამოყენება აქვს აგრეთვე ციანურ მღებავ ნივთიერებებს, რომელთაც ეკუთვნის სპექტრის ნარინჯი, წითელი და ინფრაწითელი ნაწილები. სიტყვა „ციანი“ ბერძნულია, ქართულად ნიშნავს ლურჯს; ეს სახელწოდება მიიღო იმისათვის, რომ იგი შედის ლურჯ საღებავში, რომელსაც ბერლინის ლაფვარდი ეწოდება $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$. ციანკალიუმი და ციანნატრიუმი შეიძლება მივიღოთ ერთი რეაქციით

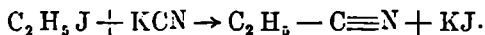


ციანნატრიუმზე ან ციანკალიუმზე მარილის მებავას [მოქმედებით ვლ-
ბულობთ ლურჯად მღებავ მებავას HCN



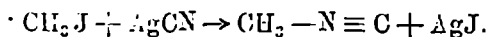
თუ ორგანული რადიკალი დაუკავშირდება ნახშირბადს, მივიღებთ ნიტრილის ჯგუფს: $\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{N}$ —ციანმეთილს და $\text{C}_2\text{H}_5 - \text{C} \equiv \text{N}$ —ციანეთილს.

ნიტრილი შეიძლება მივიღოთ ციანკალიუმის მოქმედებით ჰალოგენიან ალკილზე



ნიტრილის ზოლეკულა თუ შეიცავს ნახშირბადს 14 ატომამდე, იგი სითხეს წარმოადგენს, ამ რაოდენობაზე ზევით კი გამყარებულია. ნიტრილს აწვს ისეთივე სუნი, როგორც მღებავ მებავას.

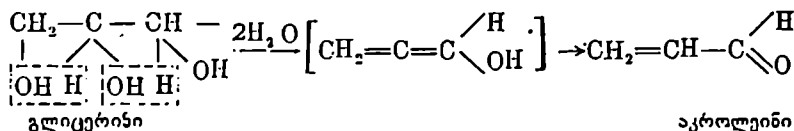
როცა ორგანული რადიკალი უკავშირდება აზოტს, ვღებულობთ იზონიტრილის ჯგუფს — $\text{N} = \text{C}$. იზონიტრილი მიიღება ციანვერცხლის მოქმედებით



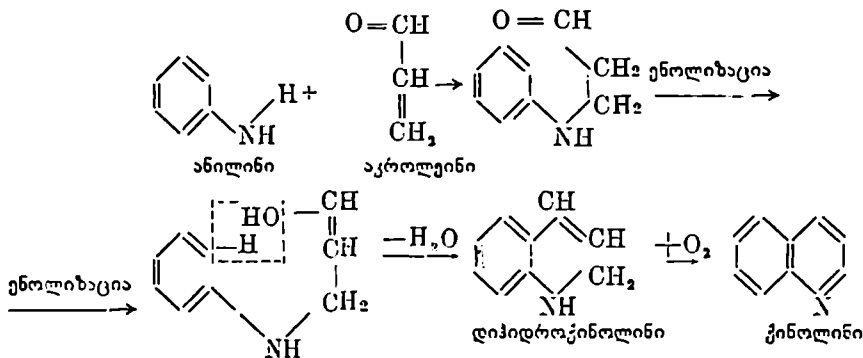
იზონიტრილი სითხეა, აქვს ძლიერი არასასიამოვნო სუნი. მღებავი მჟავა, ნიტრილი და იზონიტრილი ზეტ-ნაკლებად მომწამლავი ნივთიერებანია.

ციანური მღებავი ნივთიერებები, რომლებიც სენსიბილიზატორებად გამოიყენება, შემდეგია: ქინოლინი, ბენზოტიაზოლი, ბენზოსულენაზოლი, ბენზოქსაზოლი და დიმეთილინდოლენინი.

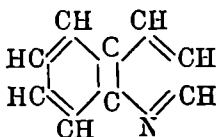
ქინოლინი პირველად მიღებულ იქნა 1842 წელს ჟერარის მიერ. ამჟამად ქინოლინს ამზადებენ სკრაუპას მეთოდით ანილინის, გლიცერინის, ნიტრობენზოლის ნარევის გოგირდმჟავაში გაცხელებით; გოგირდმჟავას მოქმედებით გლიცერინი კარგავს წყალს და იქცევა აკროლენად



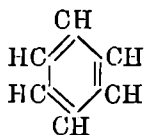
აკროლენი ანილინთან ერთად იძლევა ნივთიერებას, რომელიც გოგირდმჟავას მოქმედებით მოგვცემს დიჰიდროქინოლინს; ეს უკანასკნელი იფანება ნიტრობენზოლით და მივიღებთ ქინოლინს



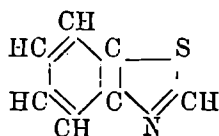
ქინოლინი და მისი სახეცვლილებანი წარმოადგენს სითხეს. მისი დუღილის ტემპერატურა 237°-ია, მცირე რაოდენობით იხსნება წყალში, აქვს დამახასიათებელი სუნი. სენსიბილიზაციისათვის იხმარება ქინოლინი შემდეგი სახის სტრუქტურული აღნაგობით



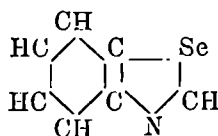
ბენზოლი ქიმიკრად წარმოადგენს შენაერთს — C_6H_6 . იგი უფერო მოძრავი სითხეა, ღუღს $79,6^{\circ}$, აქვს დამახასიათებელი სუნი, წყალში არ იხსნება, გაცივების შემდეგ იქცევა თეთრ კრისტალურ მასად. ბენზოლის სტრუქტურული აღნაგობა ასეთია



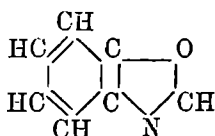
სენსიბილიზატორისათვის გამოიყენება ბენზოლის შემდეგი შენაერთები



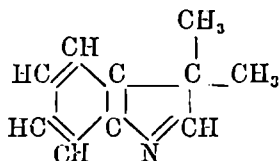
ბენზოთიაზოლი



ბენზოსელენაზოლი

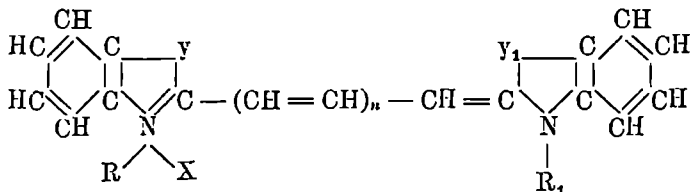


ბენზოკსაზოლი



დიმეტილინდიოლენინი

სენსიბილიზაციისათვის გამოყენებული ციანური ნივთიერების საერთო ფორმულა ასეთია



სადაც $(\text{CH} = \text{CH})_n - \text{CH} =$ არის ციანიანი მღებავი ნივთიერებების შემაერთებელი „ნახშირწყალბადების ხიდი“;

n — ციფრობრივი სიდიდე — 0, 1, 2, 3, 4, 5;

y და y_1 აღნიშნავს — $\text{CH} = \text{CH} -$, — $\text{S} -$, — $\text{Se} -$, — $\text{O} -$, — $\text{C} - (\text{CH}_3)_2$;

R და R_1 აღნიშნავს — CH_3 , — C_2H_5 , C_6H_5 , C_6H_{13} და სხვა;

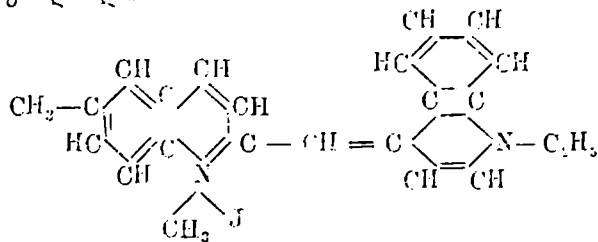
x — ერთვალენტოვანი ზეავას ნარჩენია და ითვლება ძირითად მღებავ ნივთიერებად.

შლებავი ნივთიერებები ხასიათდება n მნიშვნელობის მიხედვით: როდესაც $n=0$, ვლებულობთ ციანინს; თუ $n=1$ — კარბოციანინს; $n=2$ — ბიკარბოციანინს; $n=3$ — ტრიკარბოციანინს; $n=4$ — ტეტრაკარბოციანინს; $n=5$ — ტიპოპენტაკარბოციანინს.

ნახშირწყალბადების ხიდის სიგრძეზე უშუალოდ დაპოკიდებულია სენსიბილიზაციის უნარიანობა და მაქსიმალური ტალღის სიგრძე; n მნიშვნელობის ზრდასთან ერთად იზრდება შთანთქმის და პარალელურად სენსიბილიზაციის ტალღის სიგრძე.

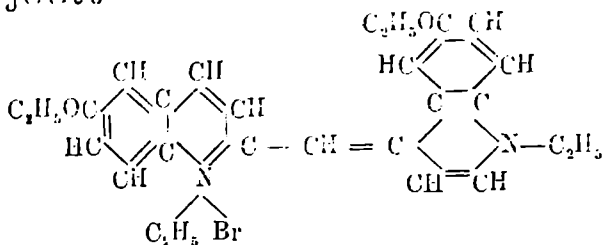
ციანიანი შლებავების ტიპური წარმომადგენლებია:

1. პინავეროლი —



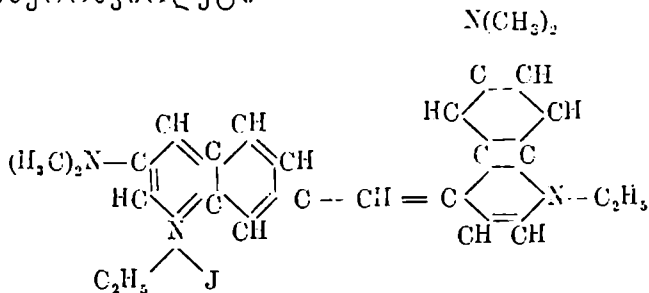
ამ ნივთიერების სენსიბილიზაციის ზღვარი იწოდება $\lambda = 580-620$ მკ.

2. პინაკრომი —



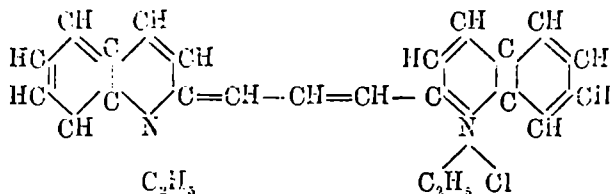
მისი სენსიბილიზაციის ზღვარია $\lambda = 510-650$ მკ.

3. პინაქრომეოლეტი —



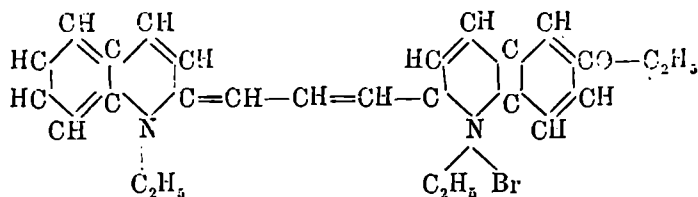
მისი სენსიბილიზაციის ზღვარია $\lambda = 520-620$ მკ.

4. პინაკიანოლი —



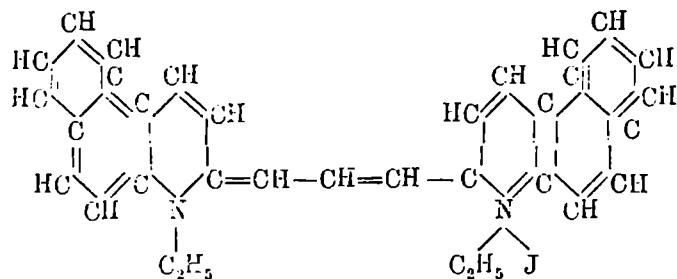
მისი სენსიბილიზაციის ზღვარია $\lambda = 520 - 720$ ნმკ.

5. პინაკროზობლაუ —



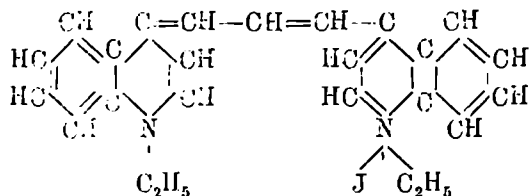
მისი სენსიბილიზაციის ზღვარია $\lambda = 550 - 760$ ნმკ.

6. პინაკიანოლბლაუ —



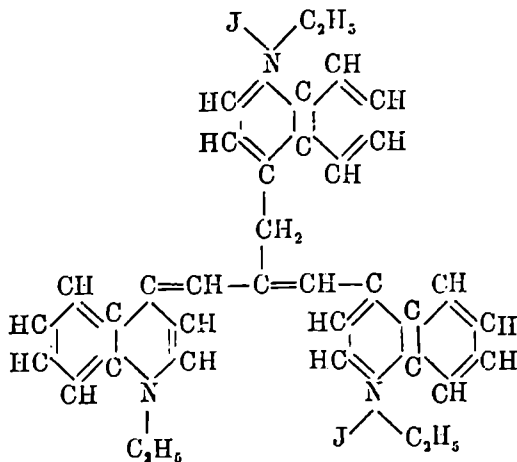
მისი სენსიბილიზაციის ზღვარია $\lambda = 600 - 770$ ნმკ.

7. კრაპტოციანიინი —



მისი სენსიბილიზაციის ზღვარია $\lambda = 640 - 790$ ნმკ. გამოიყენება სპექტრის ანკრაჟითელი ზონის შესაბამისად.

8. ნეოციანიინი —



მისი სენსიბილიზაციის ზღვარია $\lambda=690-910$ მკ. ესეც გამოიყენება სპექტრის ინფრაწითელი ზონის შესაბამისად.

ინფრაწითელი ზონის სენსიბილიზატორებს ახასიათებს ფოტოგრაფიული ფენის ნაკლები გამძლეობა და შედარებით მცირე შექმგრძობელობა.

საბჭოთა მეცნიერმა ბ. კიპრიანოვმა 1942 წელს ხარკოვში გამოაწვეყნა შრომები, სადაც აღნიშნული იყო ოპტიკური სენსიბილიზატორების ფართო ასორტიმენტი და პრაქტიკულად გამოსაყენებელი ახალი სახის სენსიბილიზატორები.

ფოტოგრაფიული ფენის ჰიპერსენსიბილიზაცია, დემენსიბილიზაცია

სენსიბილიზაციის საშუალებით ჩვენ შეგვიძლია გავზარდოთ ფოტოგრაფიული ფენის შექმგრძობელობა, ასევე ფერების შეგრძნებაც. უკანასკნელ პერიოდში მიაღწიეს იმას, რომ ფოტოგრაფიული ფენის შექმგრძობელობა კიდევ უფრო გააძლიერეს, გაზადეს ზემგრძნობიარე ფოტოგრაფიული ფენის ასეთ დამუშავებას ჰიპერსენსიბილიზაცია ეწოდა. ჰიპერსენსიბილიზაციის მეორე დამუშავებული იყო 1884 წელს ფოგელისა და ობერნეტერის მიერ. პრაქტიკულად ეს მეთოდი გამოიყენეს მხოლოდ სამი ათეული წლის წინათ. ჰიპერსენსიბილიზაციის დროს წარმოებს ოპტიკური და ქიმიური სენსიბილიზაციის კომბინირება, ოპტიკურ სენსიბილიზატორთან ახალი ქიმიური ნივთიერების — აზოტმგავაერცხლის, ამონიაკის ან სხვათა შეერთებით. ფოტოგრაფიული ფენის ჰიპერსენსიბილიზაცია შეიძლება ვაწარმოოთ ორი

საშუალებით. პირველ შემთხვევაში დამზადებულნი სანეგატივო მასალა უნდა დაეაშუშაოთ სპეციალურ ხსნარში. მეორე შემთხვევაში კი მასენსიბილირებელ ხსნარს უნდა დაეფუტათ ახალი ხსნარი და ფოტოგრაფიულ ფენას თავიდანვე მივანიჭოთ ზემგრძნობიარობა. უკანასკნელ პერიოდში ფირფიტებსა და ფირებს ამუშავებენ ყველაზე უფრო მარტივი მეთოდით — სხვადასხვა ნივთიერების ორთქლით; უფრო ხშირად დამუშავება წარმოებს ვერცხლისწყლის ორთქლში. ჰიპერსენსიბილიზებული ფოტოგრაფიული მასალის მგრძნობიარობა იზრდება 10 — 15-ჯერ. წვრილმარცვლოვან ნაკლებადმგრძნობ ფოტოგრაფიულ ფირფიტებში, მაგალითად, დიაპოზიტაუბში, ჰიპერსენსიბილიზაცია უფრო ეფექტურ გავლენას ახდენს, ვიდრე შედარებით მაღალმგრძნობიარე ნეგატივის ფირფიტებში. ამ მიზეზით საჭიროა თითოეული სახის ფოტოგრაფიული მარლის ჰიპერსენსიბილური დამუშავება მოხდეს შერჩევით. ჰიპერსენსიბილიზაცია უნდაავრესად განოყენებულია ფოტოკინომასალების დასამზადებლად. იხმარება აგრეთვე სამხედრო საქმეში და სპეციალური დანიშნულების გადაღების დროს. ჰიპერსენსიბილიზებულ მასალებს აქვს ის ნაკლი, რომ იგი ცუდად ინახება, მისი ხმარება შეიძლება მხოლოდ რამდენიმე კვირის განმავლობაში, ზოგჯერ დღეებისა და საათების ხანგრძლიობასაც ვერ უძლებს. ამისათვის უმჯობესია ჰიპერსენსიბილიზებული მასალა გამოვიყენოთ დამზადებისთანავე.

სანეგატივო მასალის დამუშავების დროს, გამოვლინების წინ, ზოგჯერ გვეჩრდება შეუმგრძნობიარობის შემცირება-მენელება. ამისათვის უნდა ვისმაროთ ისეთი ნივთიერებანი, რონელთა საშუალებით მოხდება ეს შემცირება, განზგრძნობიარობა ანუ დესენსიბილიზაცია. დესენსიბილიზაციის პროცესი წარმოებს ნეგატივის გამომჟღავნების წინ, ნეგატივის დესენსიბილურ ხსნარში მოთავსებით ან სამჯღავნ ხსნარში ამ ხსნარის მიმატებით. დესენსიბილური ხსნარის დასამზადებლად საჭიროა გამოვიყენოთ პიანკრიპტოლი, რომლის 0,1 გ უნდა გავსნათ 1000 მლ წყალში. ამ ხსნარში კასეტიდან ნეგატივი უნდა გადავიტანოთ სრულ სიბნელეში და შიგ დავტოვოთ 2—3 წუთის განმავლობაში; შემდეგ ნეგატივი გადავიტანოთ წითელ სინათლეზე სამჯღავნ ხსნარში. დესენსიბილიზაციის ხსნარი უნდა შევინახოთ ბნელ, მშრალ და გრილ ადგილას, ამ მიზნით უმჯობესია გამოვიყენოთ კარადა.

გამომჟღავნების პროცესის დახასიათება

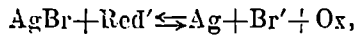
ობიექტის სურათის გადაღების შემდეგ ფოტოფირფიტას ან ფოტოფირს თუ დავეხდავთ, მასზე გამოსახულებას ვერ შევინშნაეთ; ფოტოგრაფიულ ფენაში გამოსახულება შეიქმნება უხილადად. გამოსახულება რომ ხილული გავხადოთ, უნდა მოვახდინოთ ფოტოგრაფიული ფენის

სპეციალურ ქიმიურ ნივთიერებათა ხსნარში დამუშავება. ფოტოფირფიტის ან ფოტოფირის ასეთი დამუშავების პროცესს ეწოდება გამოშვლავნება, ხოლო ქიმიურ ნივთიერებათა ხსნარს კი სამშლავნი. სამშლავნი ხსნარს აქვს ის თვისება, რომ მასში შენაწილი ნივთიერებანი ბრომვერცხლს შლის იმ ადგილებში, სადაც სინათლემ იმოქმედა. ამ დროს ბრომვერცხლისაგან გამოიყოფა ლითონვერცხლი, რომელიც ქმნის გამოსახულებას. ლითონვერცხლის აღდგენა უფრო ძლიერად ხდება იმ ადგილებში, სადაც შუქმა მეტად იმოქმედა ბრომვერცხლზე, ხოლო იმ ადგილებში, სადაც შუქმა უფრო სუსტად იმოქმედა, აღდგენა უფრო სუსტად ხდება. გამოშლავნების შემდეგ ობიექტის ნათელი ნაწილები ფოტოგრაფიულ ფენაზე ბნელად გამოჩნდება, ბნელი კი — ნათლად. გამოშლავნების შემდეგ ვლენულობით ნეგატივურ გამოსახულებას, რომლის დაზახასიათებელი ის არის, რომ ფოტოფენაზე ბნელი და ნათელი ადგილები შებრუნებითაა გამოსახული. გადასაღები ობიექტის ნათელ ადგილებს, რომლებიც ნეგატივზე ბნელი, თითქმის შავი გამოვა, ეწოდება შუქები; ობიექტის ბნელ ადგილებს, რომლებიც ნეგატივზე ნათელი, თითქმის განმკირვალე მიიღება, ეწოდება ჩრდილები. ნეგატივური გამოსახულების მისაღებად წესრულებული პროცესი იყოფა ოთხ სტადიად: 1) გამომშლავნება, 2) ფიქსირება. 3) გარეცხვა, 4) გაშრობა. გამომშლავნების პროცესი, ჩვეულებრივ და ორტოქრომატული ფირფიტების ან ფირფიტის, შეიძლება ვაწარმოოთ წითელ სინათლზე, ხოლო პანქრომატული და იზოპანქრომატული ფირფიტების ან ფირფიტის—სრულ სინათლეში. პროცესის ხასიათის მიხედვით არსებობს ქიმიური და ფიზიკური გამოშლავნება; ასეთი დაყოფა არსებითად პირობითია, რადგანაც ორივე პროცესისათვის დამახასიათებელია როგორც ფიზიკური, ისე ქიმიური მოვლენები. ქიმიური გამოშლავნების დროს პალაგენიანი ვერცხლი, რომელიც კრისტალურ მარცვლებად იმყოფება ფოტოგრაფიულ ფენაში, სამშლავნი ხსნარის მოქმედების შემდეგ აღდგება ლითონვერცხლად. აღდგენის სისწრაფე მეტი იქნება იმ ადგილებში, სადაც მეტი სიძლიერით მოქმედებდა სინათლე, ე. ი. იქ, სადაც არსებობს ფარული გამოსახულება. ფიზიკური გამოშლავნების შემთხვევაში ლითონვერცხლი წარმოიქმნება აღმდგენი აზოტმჟავავერცხლის ხსნარის მოქმედებით.

ფოტოგრაფიულ პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება ქიმიური გამოშლავნების მეთოდი. ქიმიური სამშლავნი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: 1) აღმდგენი—მეთილი, ჰიდროქინონი და სხვ; 2) ტუტენანჰირმჟავა და სხვ; 3) სულფიტი ან ნატრიუმის მეტაბისულფიტი და სხვ; 4) გამხსნელი—წყალი. გარდა ამისა სამშლავნის ხსნარში ჩვეულებრივ იმყოფება მცირე რაოდენობით ბრომკალიუმი და ზოგიერთი სხვა დამა-

ტეზითი ნივთიერება, რომელთა დანიშნულება ის არის, რომ მოახდინოს გამოხლევის პროცესის მსვლელობის რეგულაცია.

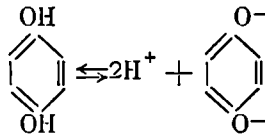
სამელაგნი ხსნარის უმთავრესი ნაწილია აღმდგენი, რომლის საშუალებითაც წარმოებს ჰალოგენიანი ვერცხლიდან ლითონვერცხლის აღდგენა. ეს პროცესი ზოგადად შეიძლება ამგვარად გამოვსახოთ



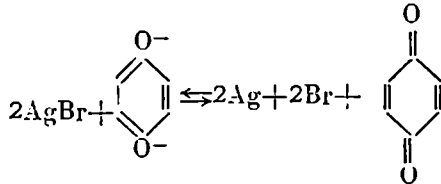
სადაც Red' არის სამელაგნი ნივთიერების იონი. ასეთ იონებს აქვს აღდგენის დიდი უნარი;

Ox—აღმდგენი ნივთიერების დაჟანგვის პროცესი; როცა ჰალოგენიანი ვერცხლი აღდგება, შემდეგ მოხდება დაჟანგვა.

შეიძლება მოვიყვანოთ ჰიდროქინონის ნივთიერების კონკრეტული მაგალითი ბრომვერცხლის მიმართ. ჰიდროქინონი წყლის ხსნარში განიცდის დისოციაციას და ვლუბულობით დადებით და უარყოფით იონებს.

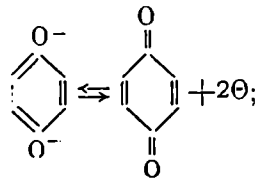


აღდგენის პროცესში მონაწილეობას ლეზულობს ჰიდროქინონის იონი

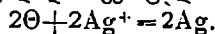


ზოგად გამოსახულებასთან შედარებით მივიღებთ, რომ Red' შეესაბამება ჰიდროქინონის იონი $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2^-$, Ox კი—ქინონის მოლეკულა $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$.

ელექტრონული მოვლენების მიხედვით, ლითონვერცხლის აღდგენის პროცესში ჰიდროქინონი კარგავს ორ ელექტრონს



ეს ელექტრონები გადადის ვერცხლის იონებზე



აღდგენილი ლითონვერცხლი იწვევს გამოსახულების გამუქებას. გამუქების სიძლიერე დამოკიდებულია გამოყოფილი ლითონვერცხლის რა-

ოდენობაზე, ფოტოგრაფიული ფენის ფართობის ერთეულზე, ფოტოგრაფირების დროის და სინათლის სიძლიერეზე განსაზღვრულ ზღვარანდგ; თუ სინათლე საკმარისად ძლიერი იყო, მაშინ გამოჩედავენებისას მიიღება უფრო ძლიერი გამუქება. როგორც ვიცით, განათებისას ლითონვერცხლი გამოიყოფა სინათლის ქვანტის მოქმედებით, ნაგრამ ეს გამოწყობილი საერთოდ ძლიერ მცირეა. გამოანგარიშებით მიიღეს, რომ 1 სმ² ფოტოგრაფიულ ფენაზე გამოიყოფა 2 · 10⁹ ატომი, რაც მიკროსკოპითაც კი შეუძნეველია. სამელაგნის 100 სმ² შეიცავს 0,5 გრამ ლითონვერცხლს; ატომური წონა არის 108, ხოლო ატომების რიცხვი გრამატომში კი — 6,06 · 10²³; გამოანგარიშებით მივიღებთ, რომ სამელაგნის 1 სმ² შეიცავს დაახლოებით 3 · 10¹⁸ ატომურ ვერცხლს. რადგანაც ამ რაოდენობიდან 2 · 10⁸ ატომი გამოყოფილია სინათლის მოქმედებით, სამელაგნის გავლენით გამოიყოფა

$$3 \cdot 10^{18} - 2 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^{18}.$$

სამელაგნით გამოყოფილ ატომური ვერცხლის რაოდენობას თუ შევადარებთ სინათლის მოქმედებით გამოყოფილ ატომური ვერცხლის რაოდენობასთან, მივიღებთ

$$\frac{3 \cdot 10^{18}}{2 \cdot 10^8} = 1,5 \cdot 10^{10}.$$

მაშასადამე, სამელაგნი ნივთიერება აწარმოებს 15 მილიარდჯერ მეტ მუშაობას, ვიდრე სინათლე. ამიტომ, რომ არ იყოს ცნობილი სამელაგნი ნივთიერების მოქმედების პროცესი, ფოტოგრაფიის განვითარება შეუძლებელი იქნებოდა. ხილული გამოსახულების მისაღებად სამელაგნის გამოყენების საქმეს ენიჭება განსაკუთრებული მნიშვნელობა.

ოკვანული სამელაგნი ნივთიერებანი

სამელაგნი ხსნარი შეიცავს სხვადასხვა ნივთიერებას, რომელთაგან აღსანიშნავია:

1) სამელაგნი ანუ აღმდგენი ნივთიერებანი, მაგალითად: მეთოლი, ჰიდროქინონი, გლიცინი, პარაამინოფენოლი და სხვ.;

2) დამცველი ნივთიერებანი — ნატრიუმის სულფიტი და კალიუმის მეტასულფიტი;

3) გამოჩედავენების დამაწარმებელი — ნივთიერებანი (ნატრიუმის ან კალიუმის), ნაშირბეჭავი ტუტეები (სოდა ან პოტაში) და სუსტი ტუტეები (ბორაკი);

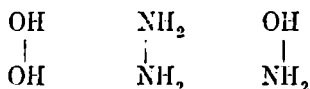
4) ბინდის საწინააღმდეგო ნივთიერებანი — ბრომკალიუმი ან ბრომნატრიუმი;

5) გამხსნელი — წყალი.

ამ ნივთიერებათა რაოდენობა ხსნარში განისაზღვრება სამჟღავენის დანიშნულების მიხედვით. ფირების სამჟღავენი შედგება სამჟღავენი ნივთიერებისა და მცირე რაოდენობის კალიუმისაგან. ზოგიერთი ხსნარი კი სრულად არ შეიცავს ტუტოვან ნივთიერებას.

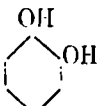
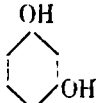

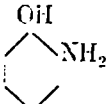
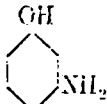

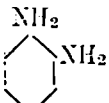
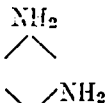

ორგანული სამჟღავენი ნივთიერება წყლის ხსნარში იჟანგება ჰაერში მყოფი ჟანგბადის საშუალებით; დაჟანგვის პროცესი უფრო სწრაფად სრულდება ტუტოვან ხსნარში. ამ მდგომარეობის თავიდან ასაცილებლად სამჟღავენი ნივთიერების გახსნა უნდა ვაწარმოოთ დამცველ ნივთიერებაში— უმეტესად ნატრიუმის სულფიტში. სამჟღავენი ნივთიერების ხსნარის დამზადება წარმოებს შემდეგი თანმიმდევრობით: ჯერ უნდა გავხსნათ დამცველი ნივთიერება, შემდეგ სამჟღავენი ნივთიერება და ბოლოს ტუტოვანი ნივთიერება. ასეთი საერთო წესისაგან განსხვავებით მზადდება მეთოლის და გლიცინის სამჟღავენი ნივთიერებანი. მეთოლი ხასიათდება იმით, რომ ადვილად იხსნება წყალში, ცნელად—სულფიტის ხსნარში. ამის გამო წყლის ერთ ნახევარში ხსნიან სულფიტს, მეოთხედ ნაწილში კი, რომლის ტემპერატურა 30—40°-ია — მეთოლს; ამ შემთხვევაში მეთოლის დაჟანგვა მიმდინარეობს ნელი ტემპით. მეთოლის ხსნარს თანდათანობით უნდა შევუროთ სულფიტის ხსნარი, ბოლოს — რეცეპტში ნაჩვენებში სხვა ნივთიერებათა ხსნარი. გლიცინი ხასიათდება იმით, რომ წყალში თითქმის არ იხსნება, მაგრამ ადვილად იხსნება ტუტოვან ხსნარში. ამიტომ გლიცინი უნდა გავხსნათ ტუტოვან ნივთიერებაში და შემდეგ შევუროთ სხვა ნივთიერებანი.

სამჟღავენი ხსნარების დასამზადებლად უმეტესად იხმარება ორგანული არომატული რიგის სამჟღავენი ნივთიერებანი, რომელთა შემადგენლობაში შედის ორი აქტიური ჯგუფი—ჰიდროქსილის OH და ამინის NH₂. თითოეულ სამჟღავენ ნივთიერებაში უნდა შედიოდეს: ორი ჰიდროქსილის, ორი ამინის ან ერთი ჰიდროქსილის და ერთი ამინის ჯგუფი. ასეთ აქტიურ ჯგუფებს ეკუთვნის: წყალბადის ზეჟანგი—H₂O₂, ჰიდრაზინი—NH₂·NH₂ და ჰიდრაქსილამინი—NH₂·OH, რომელთა დაკავშირება ასეთია



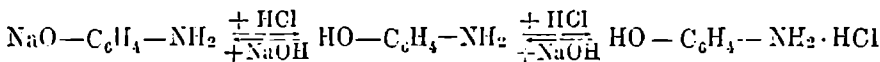
პრაქტიკულად სამჟღავენ ნივთიერებად გამოიყენება ნაფტალინის ან ბენზოლის რიგის ორგანული ნივთიერებანი. ნაფტალინის რიგის ნივთიერებები ალსანიშნავია ეიკონოგენი და დიოგენი.

ბენზოლის რიგიდან იხმარება ისეთი ნივთიერებანი, რომლებიც ნაჩვენებია მე-9 ცხრილში.

ორტოზომერია	მეტაზომერია	პარაზომერია
 <p>ბიროკატექინი</p>	 <p>რეზორცინი</p>	 <p>ჰიდროკინონი</p>
 <p>ორტანინოფენოლი</p>	 <p>მეტანინოფენოლი</p>	 <p>პარამინოფენოლი</p>
 <p>ორტაფენილენდიამინი</p>	 <p>მეტაფენილენდიამინი</p>	 <p>პარაფენილენდიამინი</p>

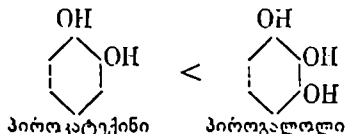
აქ მოყვანილი ცხრილიდან გამკლავნების უნარს იწენს ორტოზომერის და პარაზომერის ჯგუფის ყველა ნივთიერება, ხოლო მეტაზომერის კი — ზოგიერთი ნივთიერება.

ამინოფენოლი წარმოიშვება მარილების, მჟავებისა და ტუტეების მოქმედებით

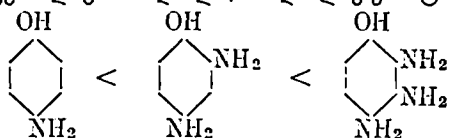


ამინოფენოლი რთული რეაქციის წარმოშობით იწვევს პალოგენიანი ვერცხლის გარდაქმნას ლითონვერცხლად.

ბენზოლის ბირთვში თუ შევიტანთ წყალბადს, ნივთიერების გამკლავნების უნარიანობა გაიზრდება. ამისათვის პიროკატექინინზე უფრო აქტიურია პიროგალოლი—



ხოლო პარამინოფენოლზე—ამიდოლი, ამიდოლზე კი—ტრიამინოფენოლი—


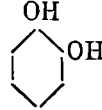
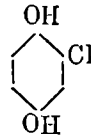
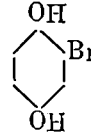
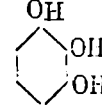







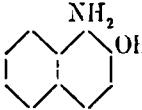
პარამინოფენოლი ამიდოლი ტრიამინოფენოლი

სამჯლავნი ხსნარების დასაწმენდად უმეტესად გამოიყენება შემდეგი ორგანული ნივთიერებანი: მეთოლი, პიდროქინონი, პარამინოფენოლი, ფენილენდიამინი, პიროგალოლი, ამიდოლი.

ხშირადსახმარ სამჯლავნ ნივთიერებათა შესახებ ცნობები მოთავეებულია მე-10 ცხრილში.

ცხრილი 10

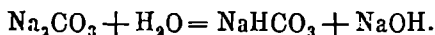
№№ რიგ.	კიმიური სახელწოდება	სტრუქტურული ფორმულა	მოლეკულური წონა	გარეგნული კრისტალური ფორმა	დნობის ტემპერატურა °C	სრულბა 100 სმ კუბის წყალში გ
1	2	3	4	5	6	7
1	პიდროქინონი		110,05	ნემსისებური ან გრძელპრიზმული	172	5,8
2	პიროკატეჟინი		110,05	ფურცლოვანი (ბენზოლიდან), პრიზმულ - ნემსისებური (წყლიდან)	105	35,7
3	ქლორპიდროქინონი		144,50	ნემსისებური (ბენზოლიდან), აბისებური (ლიგროინიდან)	103—104	92
4	ბრომპიდროქინონი		188,96	ფურცლოვანი (ბენზოლიდან და ლიგროინიდან)	110—111	13,0
5	პიროგალოლი		126,05	თხელფურცლოვანი, ნემსისებური	133—134	52,4

1	2	3	4	5	6	7
6	პარაამინო- ფენოლი	 $\text{NH}_2 \cdot \text{HCl}$	145,53; 109,06	პრიზმული, ფურცლოვანი	184	33,0
7	მეთოლი	 $\text{NH} \cdot \text{CH}_3 \frac{\text{H}_2\text{SO}_4}{2}$	172,12; 123,08	პრიზმული ნეხსიე- ბური	87	4,8
8	გლიცინი	 $\text{NH}_2 \cdot \text{CH}_2\text{OOH}$	167,08	ფურცლოვანი	იშლება გაცხელე- ბის- თანავე	0,23 ..
9	პარაფენილ- ენდიამინი	 $\text{NH}_2 \cdot \text{HCl}$	108,08	აბისებური (ეთერიდან). ფურცლოვანი, (წყლადან)	147	—
10	ამიდოლი	 $\text{NH}_2 \cdot \text{HCl}$	197,01; 124,08	უფერო ნემ- სისებური	იშლება გაცხელე- ბისთანა- ნავე	24,9
11	ეიკონოგენი	 NaSO_3	261,18	აბისებური	იშლება გაცხელე- ბისთანა- ნავე	7,6
12	მეტაკეინონი	ნაერთი: მეთოლი—2 მო- ლეკულა, ჰიდროქი- ნონი — 1 მოლეკულა	356,24	თეთრი ფხვნილი	135	—

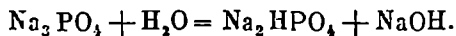
სამყლავნი ნივთიერების რაოდენობა ცალკეულ ხსნარში სხვადასხვაა. ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდით, განსაზღვრულ ფარგლებში, გამყლავნების სიჩქარეც იზრდება, მაგრამ ასეთი ზრდა ხდება რალაც ზღვრამდე. მაგალითად, მეთოლის და ჰიდროქინონისათვის ასეთი ზღვარი არის 1 ლიტრ წყალში 6 გრამი ნივთიერების გახსნა, გლიცინისათვის— 17 გრამი და ა. შ.

ბუტოვან ნივთიერებათა დანიშნულება

სამყლავნ ხსნარში ტუტოვან ნივთიერებათა შეტანა მკვეთრად ცვლის გამყლავნების პროცესის სიჩქარეს. გამყლავნების დიდი სიჩქარის მიღწევა შეიძლება კალიუმის და ნატრიუმის მწვავე ტუტეების გამოყენების დროს. შედარებით ნელა მოქმედებს სამყლავნი ხსნარი, როცა მასში ურევია ნახშირმჟავა ტუტეები—სოდა და პოტაში. სოდა და პოტაში იხმარება ფირფიტების, პოზიტინური ფირების და ფოტოქალაღის გამყლავნებისათვის. გამყლავნების ნორმალური ტემპერატურის დროს (18—20°) 1 ლიტრ ხსნარში ეს ნივთიერებანი შეიძლება შევიტანოთ შემდეგი რაოდენობით: 39 გ სოდა, ან 49 გ პოტაში. ასეთ ხსნარში ბრომვერცხლის ქალაღის გამყლავნებისათვის საჭიროა 2 წუთი, პოზიტინური ფირებს და ფირფიტებს კი სჭირდება უფრო მეტი დრო. გამყლავნების სიჩქარე კიდევ უფრო ნაკლებია ისეთ წვრილმარცლოვან ხსნარებში, სადაც ურევია სუსტი ტუტე—ბორაკი ან მცირე რაოდენობის სოდა. ზოგიერთი წვრილმარცლოვანი ხსნარები კი სრულიად არ შეიცავს ტუტოვან ნივთიერებებს. სამყლავნ ხსნარში მყოფი სოდა იძლევა ასეთ რეაქციას



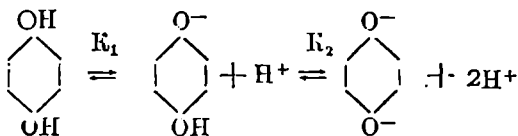
ბორაკის — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ან ნატრიუმის ფოსფატის — Na_3PO_4 ხმარების დროს მიიღება მსგავსივე რეაქცია



NH_2 ჯგუფის სამყლავნი ნივთიერებები (პარათენილენდიამინი, პარამინოფენოლი და სხვა) ტუტოვანი ნივთიერების გარეშე მოქმედებს, მაგრამ ძლიერ ნელა.

არომატული რიგის ჰიდროქსილური ჯგუფი OH ასრულებს სუსტი მჟავის ფუნქციას, ამინის ჯგუფი NH_2 კი—ძირითად ფუნქციას. OH ჯგუფი წყალში განიცდის დისოციაციას, რის შედეგადაც მიიღება წყალბადის იონები და ორგანული ნარჩენის უარყოფითი იონები.

ჰიდროქინონის დისოციაცია ხდება საფეხურებად



დისოციაციის თითოეული საფეხურისათვის მასების მოქმედების კანონის მიხედვით მივიღებთ შესაბამის მუდმივ სიდიდეს. ჰიდროქინონის დისოციაციის დროს მუდმივა პირველი საფეხურისათვის იქნება

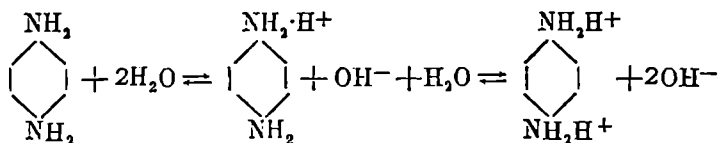
$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2\text{H}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2]} = 1 \cdot 10^{-10};$$

დისოციაციის მეორე საფეხურისათვის ვღებულობთ

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2^-]}{[\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2\text{H}^-]} = 4,5 \cdot 10^{-11}.$$

ცნობილია, რომ ძმარმჟეასათვის $K = 1,86 \cdot 10^{-5}$, ხოლო ნახშირმჟეასათვის $-K = 3 \cdot 10^{-7}$. ჰიდროქინონის მუდმივა ბევრად უფრო ნაკლებია, ვიდრე ძმარმჟეასა და ნახშირმჟეას მუდმივები.

ამინოჯგუფის, მაგალითად, პარამინოფენილენდიამინის დისოციაციის შედეგად მივიღებთ

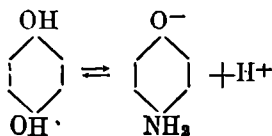


პარამინოფენილენდიამინის დისოციაციის პირველი საფეხურის მუდმივას სიდიდე იქნება

$$K = \frac{[\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2\text{NH}_2\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_2)_2]} = 10^{-8}.$$

NH_4OH მუდმივა $K = 1,75 \cdot 10^{-5}$, ე. ი. ეს ნივთიერება უფრო ძლიერი ძირითადი ფუნქციაა, ვიდრე პარამინოფენილენდიამინი.

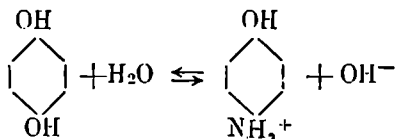
ისეთი ნივთიერებანი, რომლებიც შეიცავენ OH და NH_2 ჯგუფს ერთად, მაგალითად, პარამინოფენოლი, მეთოლი და სხვა, განიცდის როგორც პირველი, ისე მეორე სახის დისოციაციას. პარამინოფენოლის მუდმივას ტიპის დისოციაცია იქნება ასეთი



მულმივას სიდიდე განისაზღვრება

$$K_{\text{ჰეავი}} = \frac{[\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_3\text{O}^-][\text{H}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{NH}_2]} = 5 \cdot 10^{-11}$$

პარამინოფენოლის ძირითადი ტიპის დისოციაცია მიმდინარეობს ასე



ამ შემთხვევისათვის მულმივას სიდიდე იქნება

$$K_{\text{ძირ}} = \frac{[\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{NH}_2\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{NH}_2]} = 5 \cdot 10^{-9};$$

მეთოლისათვის $K_{\text{ძირ}} = 1 \cdot 10^{-9}$, ე. ი. მეთოლი უფრო ძლიერია, ვიდრე პარამინოფენოლი.

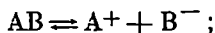
ტუტოვანი ნივთიერების დამატების დროს იცვლება დისოციაციის ხარისხი. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ტუტის დამატების დროს სამელაენ ხსნარში იზრდება OH^- იონების რაოდენობა, სამაგიეროდ მცირდება H^+ იონების რაოდენობა. ასეთი ცვლილება დამოკიდებულია სამელაენ ხსნარში შექმნილ მულმივობაზე

$$K = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-].$$

ამგვარად, სამელაენ ხსნარში OH^- იონების კონცენტრაციის ზრდა იწვევს მჟავას დისოციაციის ხარისხის გაზრდას.

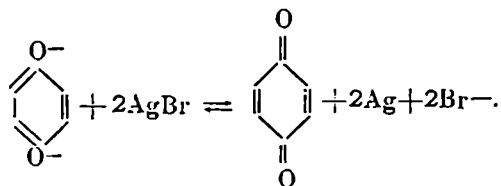
საწინააღმდეგო მოვლენას აქვს ადგილი ძირითადი დისოციაციის დროს: OH^- იონების გაზრდით იზრდება არადისოცირებული მოლეკულების რაოდენობა და მცირდება ძირითადი დისოციაციის ხარისხი.

ელექტროლიტური დისოციაციის დროს წარმოებს ელექტრონების უთანაბრო განაწილება შემადგენელ ნაწილებს შორის



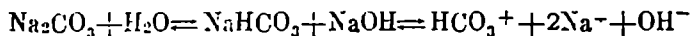
მაგალითად, ანიონი მუდამ შეიცავს შესუსტებულ ელექტრონებს, ვიდრე ნეიტრალური მოლეკულა, მით უმეტეს კათიონი. ამისათვის ამა თუ იმ

ნივთიერების ანიონი იძლევა აღმდგენის ძლიერ თვისებას, ნეიტრალურ მოლეკულასთან და კათიონთან შედარებით. ამიტომაც ჰიდროქინონის ანიონი $C_6H_4O_2^-$ ამჟღავნებს დიდ აღდგენით უნარიანობას, ვიდრე ჰიდროქინონის ნეიტრალური მოლეკულა. $C_6H_4O_2^-$ ელექტრონების დაკარგვა წარმოებს ჰალოგენიანი ვერცხლის ზოქმედებით



მეავე და ამინოჯგუფის შემცველ ნივთიერებებში ტუტოვანი ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდით იზრდება ნივთიერების გამჟღავნების უნარიანობა და მასთან ერთად გამჟღავნების სიჩქარეც.

თუ ჩვენ გვექნება რომელიმე სამჟღავნი ნივთიერების ხსნარი, სადაც ორი სხვადასხვა სახის, მაგალითად, NaOH და Na_2CO_3 , ტუტოვანი ნივთიერების ზოქმედებით მივიღებთ OH^- იონის ერთნაირ კონცენტრაციას, ასეთ ხსნარებს ექნება ერთნაირი გამომჟღავნების თვისება. მაგრამ ტუტოვან ნივთიერებათა ერთგვარი კონცენტრაცია არ იძლევა OH^- იონების ერთნაირ კონცენტრაციას. მაგალითად, მწვავე ტუტეების და ნახშირმჟავა ტუტეების იონების კონცენტრაცია არ იქნება თანაბარი. ეს აიხსნება იმით, რომ მწვავე ტუტეები დისოციაციას განიცდის მთლიანად, მხოლოდ ნახშირმჟავა ტუტეები—ნაწილობრივ. უკანასკნელ შემთხვევაში დისოციაცია მიმდინარეობს ასე



მაშასადამე, ტუტოვან ნივთიერებათა დამატება სამჟღავნ ნივთიერებებში იწვევს სამჟღავნი ხსნარის აქტიური ნაწილის კონცენტრაციის გაზრდას, რაც აჩქარებს და სრულყოფილს ქმნის გამჟღავნების პროცესს.

ტუტოვანი ნივთიერება ზოგჯერ ხსნარში ქმნის ვუალს და ანელებს გამჟღავნების პროცესს. საკიროა საძელაენი ხსნარის შექმნის დროს დავიცვათ ზუსტი წონები.

ნახშირმჟავა ტუტეები ერთმანეთს ცვლის წონითი სიდიდეებით, რომელიც მოცემულია მე-11 ცხრილში.

პრაქტიკულად არ არის მიღებული ნახშირმჟავა ტუტეები შეცვლილ იქნეს მწვავე ტუტეებით, ან, პირიქით. ასევე წვრილმარცვლოვან სამჟღავნ ხსნარში სოდა არ შეიძლება შეეცვალოთ პოტაშით.

უწყლო სოდა, გ	კრისტალური სოდა, გ	პოტაში, გ
1,00	2,70	1,30
0,37	1,00	0,48
0,77	2,07	1,00

მწვავე ტუტეების რაოდენობა სამქლავნ ნივთიერებათა მიხედვით განისაზღვრება მე-12 ცხრილის მიხედვით.

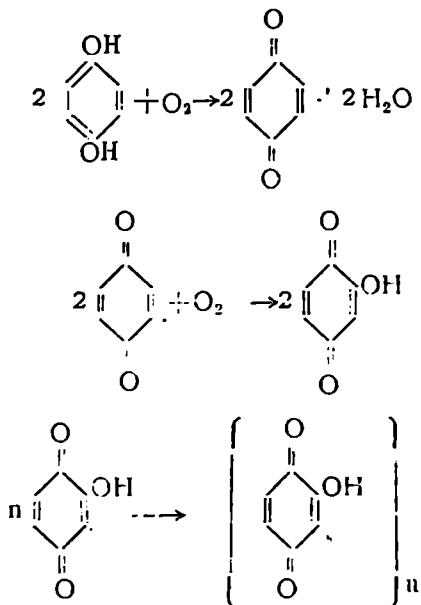
სამქლავნი ნივთიერება	მწვავე ტუტის რაოდენობა სამქლავნ ნივთიერებაში	გრამობით, 1 გ
	მწვავე ნატრიუმი	მწვავე კალიუმი
მეთოლი	0,23	0,33
ჰიდროქინონი	0,72	1,00
პარაამინოფენოლი	0,56	0,78

სულფიტის დანიშნულება

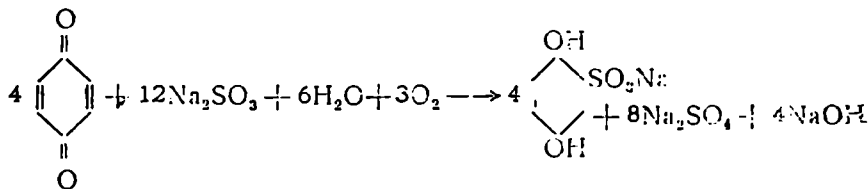
სამქლავნ ხსნარში უმთავრესად გამოიყენება ნატრიუმის სულფიტი — Na_2SO_3 . გარდა იმისა, რომ სულფიტი იცავს სამქლავნს ჰაერის ჯანგბადით დაჟანგვისაგან, ამავე დროს იგი უშუალო მონაწილეობას ლებულობს ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენაში. თუ სამქლავნში არ იმყოფება სულფიტი, ნივთიერება რამდენიმე საათში იჯანგება და კარგავს გამქლავნების თვისებას, სულფიტის ხსნარი ინახება შეუცვლელად რამდენიმე დღე-ღამეს, ხანდახან კი ერთ კვირასაც, ამიტომ სულფიტის უმთავრესი დანიშნულებაა სამქლავნი ხსნარის დაცვა დაჟანგვისაგან. დაკვირვების შედეგად დადგინდა, რომ არა მარტო სულფიტი იცავს სამქლავნ ნივთიერებას დაჟანგვისაგან, არამედ სამქლავნი ნივთიერებაც იცავს სულფიტს ასეთი მოვლენისაგან. ნ. შილოვის, ი. კატუშევის და სხვების გამოკვევებით მიღებულ იქნა ასეთი დასკვნა: სამქლავნი ნივთიერების და სულფიტის დაჟანგვის მოვლენა დაუღლებული პროცესია; რის შედეგად მიიღება განსხვავებული ნივთიერება.

ჰიდროქინონი ტუტოვანი ხსნარით სულფიტის გარეშე სწრაფად იჯანგება. პირველ სტადიაში მიიღება ქინონი — $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$, მოყვითალო ფერის

ნივთიერება; მეორე სტადიაში კი ოქსიკინონი— $C_6H_3O_2OH$, წითელი ფერის ნივთიერება, რომელიც გარდაიქმნება მურაფერის შევად.

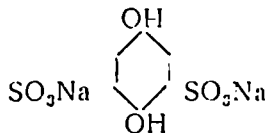


დაჯანგვის შედეგად მიღებული ეს ნივთიერებანი არ იძლევა ვანდარენების სათანადო უნარს. სულფიტის შერევის შემდეგ დაჯანგვის პროცესი სხვაგვარად წარინართება, სულფიტის და ჰაერის ჟანგბადით წარმოიშევა მონოსულფოჰიდროქინონი



მიღებული მონოსულფოჰიდროქინონი— $C_6H_3(OH)_2 \cdot SO_2N$ ხასიათდება (OH) ორი აქტიური ჯგუფით და იძლევა გაჟღავნების კარგ თვისებას.

ჰაერის ჟანგბადის დიდი ხნით მოქმედების გამო დაჯანგვის პროცესი გრძელდება, მონოსულფოჰიდროქინონი გადაიქცევა დისულფოჰიდროქინონად—

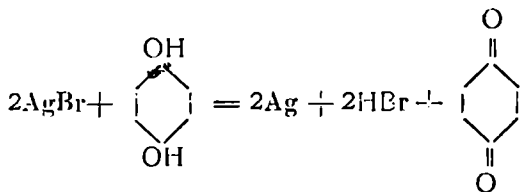


ეს ნივთიერება კი უკვე აღარ ქნის განვლავნების სათანადო უნარს.

ფოტოგრაფიული ფენის გამვლავნების დროს სულფიტი უშუალო მონაწილეობას ღებულობს ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენის პროცესში, ალაერებს ე.წ. „მოლეკულარულ გამოსავალს“. ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენილ მოლეკულებს თუ აღენიშნავთ A-თი, ხოლო სამვლავნი ნივთიერების მოლეკულებს, რომლებიც სჭირდება აღდგენას, — B-თი. მაშინ „მოლეკულარული გამოსავლის“ სიდიდე განისაზღვრება

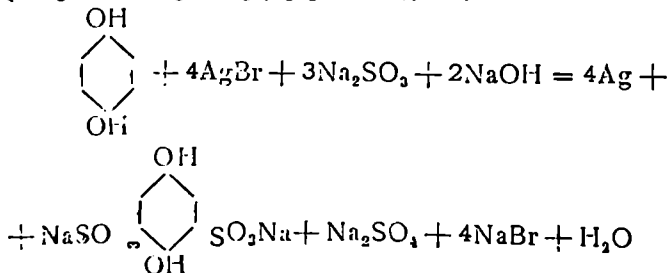
$$\varphi = \frac{A}{B}$$

როგორც ვიცი, სულფიტის გარეშე ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენის პროცესი ჰიდროქინონისათვის მიმდინარეობს ამგვარად

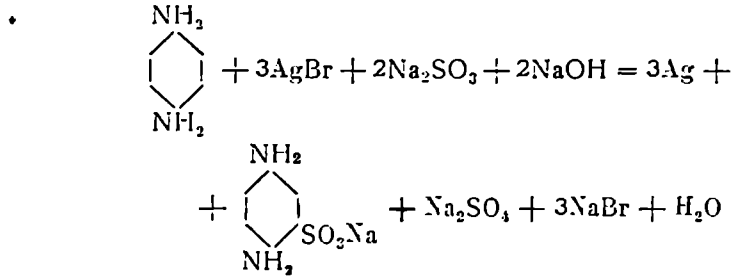


აქ სამვლავნი ნივთიერების ერთი მოლეკულა აღადგენს ბრომვერცხლის ორ მოლეკულას, ე. ი. A=2, ხოლო B=1, საიდანაც $\varphi=2$. სულფიტის შერევის შემდეგ „მოლეკულარული გამოსავალი“ იზრდება 3—4-მდე. მაგალითად, ჰიდროქინონისათვის $\varphi=4$, პარაამინოფენოლისათვის და პარაფენილენდიამინისათვის $\varphi=3$ და ა. შ. ცალკეული სამვლავნი ნივთიერებისათვის რეაქციის მსვლელობა იქნება

1) ჰიდროქინონით გამოვლავნებისას ($\varphi=4$)

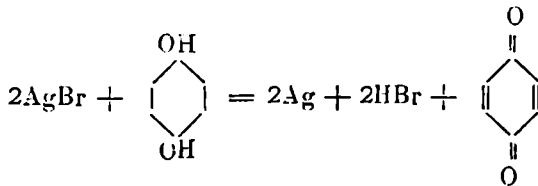


2) პარათენილენდიამინით გამოქვლავნებისას ($\varphi=3$)

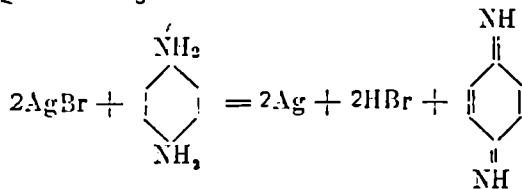


ანალოგიურ მდგომარეობას აქვს ადგილი სხვა სამკლავნ ნივთიერებებშიც.

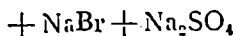
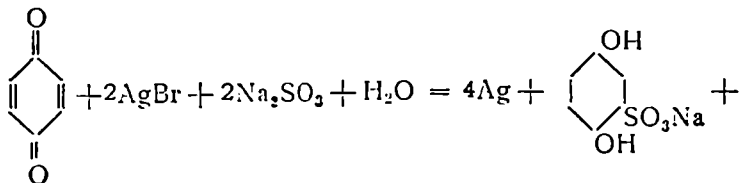
სულფიტის გამოყენების დროს პროცესი მიმდინარეობს ორ სტადიად: პირველ სტადიაში სამკლავნი ნივთიერების ერთი მოლეკულა აღადგენს AgBr ორ მოლეკულას, თვით იგანგება და ქმნის ქინონს ან ქინონიმინს: ჰიდროქინონისათვის—



პარათენილენდიამინისათვის—



ზეორე სტადიაში სულფიტი აღადგენს ქინონს ან ქინონიმინს, სამკლავნი ნივთიერება აღადგენს AgBr ახალ პორციას და შექმნის მონო-ან დისულფონივთიერებას



სულფიტის ამ სახით გამოყენებით იზრდება სამკლავნი ნივთიერების

მოლეკულარული გამოსავალი; სულფიტი უშუალო [მონაწილეობას იღებს ფოტოგრაფიული ფენის ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენაში, მიუხედავად იმისა, რომ სულფიტი ასეთ თვისებას საერთოდ არ ამჟღავნებს.

თავისუფალი ბრომიდი საშლავნ ნივთიერებაში

სამელავნ ნივთიერებაში უმეტეს შემთხვევაში იმყოფება ბრომკალიუმი ან ბრომბატრიუმი, რომელთა საშუალებით ხსნარში წარმოიქმნება ბრომის თავისუფალი იონი. რეაქცია შემდინარეობს ასე



გ. შებერსტოვის და ი. ბუკინის დაკვირვებათა და სხვათა პრაქტიკული გამოცდილებებით გამოირკვა, რომ ბრომკალიუმის მიმატება სამელავნ ნივთიერებაში იწვევს: 1) სამელავნის ვუალური მოქმედების შემცირებას; 2) გამომელავნების პროცესის შენელებას; 3) დამახინჯების წესწორების შესაძლებლობას. როცა სამელავნ ნივთიერებებში მცირე რაოდენობით იმყოფება ბრომიდი, შენელებს მხოლოდ ვუალური ადგილების განომელავნება, ე. ი. იმ ადგილების გამომელავნება, სადაც სინათლის სხივების მოქმედება სრულყოფილი არ არის. ამისათვის ბრომიდის მცირე კონცენტრაცია გამოიყენება იმ შემთხვევებში, როცა გვაქვს ძლიერი ვუალური ემულსია ან სამელავნი; ასეთ ნებასევეაში მნიშვნელობა ეძლევა პროცესის შენელებას. ბრომიდის დიდი კონცენტრაცია ანავე დროს ხელს უწყობს დამახინჯების წესწორებას.

თავისუფალი ბრომიდის მოქმედების შესახებ დაწვრილებითი გამოკვლევა აწარმოვა ნიტცმა, რომელმაც თავისი მოსაზრებანი გამოაქვეყნა 1922 წელს. ბრომიდის და ჰიდროქინონის კონცენტრაციის მიხედვით ნიტცმა გამოიანგარიშა სამელავნი ნივთიერების აღმდგენი პოტენციალის სიდიდე

$$n = \frac{C_n}{C_p},$$

სადაც C_n აღნიშნავს სამელავნი ნივთიერების ბრომიდის უმცირეს კონცენტრაციას;

C_p —ჰიდროქინონის უმცირეს კონცენტრაციას, პირობითად იგი ეთანასწორება ერთ ერთეულს.

ნიტცის მიერ ცალკეული სამელავნი ნივთიერებებისათვის გამოანგარიშებულ იქნა m სიდიდე, რომელიც მოცემულია მე-13 ცხრილში.

სამკლავნი ნივთიერება	m	სამკლავნი ნივთიერება	m
პარაფენილენდიამინი	0,4	პიროქალოლი	16,0
ჰიდროქინონი	1,0	მეთოლი	20,0
გლიცინი . .	1,6	ამიდოლი უტუტოლ	30,0
პარამინოფენოლი	6,0	ამიდოლი ტუტით	40,0
პიროკატეჰინი	7,0		

აღნიშნული ცხრილით ირკვევა, რომ ბრომიდის მოქმედებას შედარებით მეტ წინააღმდეგობას უწყევს ამიდოლი, ხოლო ნაკლებ წინააღმდეგობას პარაფენილენდიამინი. ამისათვის ამიდოლის გამოყენების დროს ბრომკალიუმში ჰიდროქინონთან შედარებით უნდა ვიხმაროთ 30—40-ჯერ მეტი რაოდენობით, მეთოლის დროს—20-ჯერ მეტი, პარამინოფენოლის დროს—6-ჯერ მეტი და ა. შ. ნიტრის ასეთი დასკვნები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ბრომკალიუმის რაოდენობა ამა თუ იმ სამკლავნი ნივთიერებაში.

**ფოტოგრაფიული გამოყვანების მქანისი და მისი კინეტიკა.
ლითონფერცხლის კატალიზატორული მოქმედება საშუაანში**

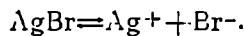
უხილაფი გამოსახულების ხილულად გადაქცევის დროს სამკლავნი ნივთიერება ფოტოგრაფიულ ფენაზე მოქმედებს სელექტიურად. სელექტიურობის დამახასიათებელია ის, რომ ექსპოზიციის დროს ფოტოგრაფიული ფენის ის ადგილები, რომლებზედაც ძლიერ მოქმედა სინათლემ, სწრაფად გამომჟლავნდება, ვიდრე ის ადგილები, რომლებზედაც სინათლის მოქმედება არ იყო ძლიერი. ეს იმას ნიშნავს, რომ ფოტოგრაფიულ ფენაზე სინათლის ინტენსიური მოქმედება იწვევს ჰალოგენიანი ვერცხლის სწრაფ აღდგენას გამომჟლავნების პროცესში.

გამომჟლავნების მექანიზმის ძირითადი თვისებებებს გასარკვევად საჭიროა გამომჟლავნების პროცესზე დაკვირვება მოვახდინოთ მიკროსკოპის საშუალებით. გამომჟლავნების პროცესი მიკროსკოპით შეისწავლეს სვედბერგმა, ჩიბისოვმა, რაბინოვიჩმა და სხვებმა. ასეთი შესწავლის შემდეგ გამოირკვა, რომ სინათლის მოქმედება ემულსიურ მარცვლებში იწვევს არაერთაშაშ, არამედ თანდათანობით დაბნელებას, ერთი ადგილიდან მეორე ადგილზე გადანაცვლებით სრულ დაბნელებამდე. მარცვლების დაბნელება გამოწვეულია ლითონფერცხლის გამოყოფით, კრიტალში შექმნილი ცენტრების შექმნით.

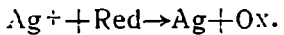
მსგავსივე მდგომარეობა იქმნება, თუ სინათლის მაგივრად ემულსიურ

მარცვლებზე მოქმედება წარმოებს სამეღავნი ნივთიერებით. ამ შემთხვევაში იქმნება გამომჟღავნების ცენტრები, რომელთა გარშემო მარცვლებში თანდათანობით მჟღავნდება დაბნელება. თითოეულ მარცვალში ასეთი ცენტრი შეიძლება იყოს ერთი ან რამდენიმე. გამომჟღავნება ემულსიურ მარცვალში მიმდინარეობს ავტოკატალიზატორული (თვითმაჩქარებელი) წესით: გამომჟღავნების სისწრაფე მარცვალში განუწყვეტლივ იზრდება, ვიდრე მარცვალი მთლიანად არ იქნება გამომჟღავნებული. გამომჟღავნებული მარცვალი ზოგჯერ ინარჩუნებს თავის პირვანდელ ფორმას, უმეტეს შემთხვევაში კი იშლება, კარგავს კრისტალურ ფორმას და იქცევა უფორმო მასად. ამგვარად, ფოტოგრაფიულ ფენაში მარცვლებზე სინათლის მოქმედება და გამომჟღავნების პროცესი ერთნაირ გავლენას ახდენს, თანაც გამომჟღავნება უფრო სწრაფად ვითარდება სინათლის ძლიერად მოქმედ ადგილებში. უხილავი გამოსახულების ლითონვერცხლის ნაწილები, რომელიც თანდათანობით ზრდის გამომჟღავნების ცენტრებს, ასრულებს კატალიზატორის მოვალეობას და აჩქარებს ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენას სამეღავნიში.

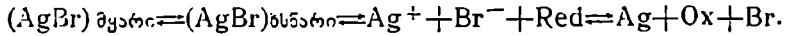
ვერცხლის კატალიზატორული მოქმედება ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენის საქმეში აიხსნება მეტნაჯერი თეორიის მიხედვით: ემულსიური მარცვლების ჰალოგენიანი ვერცხლი ნაწილობრივ გადადის ხსნარში. გახსნილი ბრომვერცხლი განიცდის ელექტროლიტურ დისოციაციას



ემულსიური მარცვლის გარშემო თავს მოიყრის ჰალოგენიანი ვერცხლის ნალექი. ხსნარში მყოფი ნამეღავნი ნივთიერების იონები ვერცხლის იონებს აღადგენს ლითონვერცხლად



.მცირე ხნის შემდეგ ხსნარში კრისტალის ზედაპირზე შეიქმნება ლითონვერცხლის მეტნაჯერი ხსნარი. წარმოშობილი ვერცხლი წარმოქმნის სამეღავნის ცენტრებს კრისტალების ზედაპირზე. ხსნარში წარმოშობილი ლითონვერცხლი უერთდება ვერცხლის საერთო რაოდენობას. ეს პროცესი მთლიანად წარმოგვიდგება ასე



აღდგენის რეაქცია მიმდინარეობს მანამ, სანამ არ იქნება გამომჟღავნებული ყველა მარცვალი. წინააღმდეგ შემთხვევაში, თუ არ მოხდა ახლად წარმოშობილი ვერცხლის დალექვა, რეაქცია წონასწორდება და ემულსიური მარცვლები დარჩება გაუმჟღავნებელი.

ხსნარში მყარი ნივთიერებისა და ხსნარის საზღვარზე წარმოიშვება აღ-

სორბციული პროცესი, რომელიც ზოგჯერ არსებით გააღვანას ახდენს ქიმიურ რეაქციაზე. ამ საკითხზე ა. რაბინოვიჩის 1931—38 წლების გამოკვევით მიღებულ იქნა ზოგიერთი სახის დასკვნა: 1) ორგანულ სამელაენ ნივთიერებაში ბრომვერცხლის ემულსიური მარცვლები არ განიცდის, ან ნაწილობრივ განიცდის ადსორბციას, ხოლო ლითონვერცხლის ზედაპირიკი მნიშვნელოვნად განიცდის ადსორბციას; 2) სამელაენი ნივთიერების კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს წარმოშობილი ლითონვერცხლის ადსორბციას, აჩქარებს ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენას; 3) წარმოშობილი ვერცხლისა და ჰალოგენიანი ვერცხლის საზღვარზე გამოყოფილი ლითონვერცხლი ადსორბციას განიცდის სამელაენი ნივთიერების ახალი რაოდენობით და გაძლავნების პროცესი სწრაფად ვრცელდება მარცვლების ზედაპირზე.

ფოტოგრაფიული ხანძარი ხსნარის შეადგენლობა და გამოყენება

ფოტოგრაფიული სამელაენი ხსნარი უნდა ხასიათდებოდეს შენდგეი თვისებებით: ჰქონდეს რაც შეიძლება მცირე სიდიდის ვუალი; იძლეოდეს მნიშვნელოვან დაბნელებას; მაქსიმალურად უნდა ამცლავნებდეს გამოსახულების ნაწილებს; შენახვის დროს მალეწარ უნდა ფუქდებოდეს.

სამელაენი ხსნარის მეორეჯერ ხმარების დროს უნდა გავითვალისწინოთ დამზადრებელი ხსნარის რეცეპტურაც. ეველა სამელაენი ხსნარის რეცეპტურა შედგენილია 20° ტემპერატურისათვის. თუ ტემპერატურა მერცეოსს. 1° ან 2° ფარგლებში, ამას მნიშვნელობა არა აქვს. მაგრამ, თუ ცვლილება უფრო მეტია, მაშინ გამომცლავნების დროც შესაბამისად იცვლება. ეს ცვლილებანი ნაჩვენებია მე-14 ცხრილში.

გამომცლავნების ტემპერატურა	გამომცლავნების დრო 20° შემთხვევაში	ცხრილი 14	
		სამელაენ ხსნარში დამუშავება	
		მეთოლში %	მეთოლში დრონიში %
15	უნდა გაიხარდოს	20-25	25-30
18	" " "	10	10
22	უნდა შემცირდეს	10-15	10-15
25	" " "	25	30-35

თუ დღისით ტემპერატურა ამაზე მეტია, გამომცლავნება უნდა წარმოებდეს ლამით, ან ხელოვნურად გრილდებოდეს საბუშაო ოთახი ან სამელაენი ხსნარი. გიუბელის, შეპარდის, შებერსტოვისა და სხვა ავტორების მიერ დამტკიცებულ იქნა ის, რომ სამელაენი ნივთიერების კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება გამომცლავნების სიჩქარე განსაზღვრულ ფარგლებში. ასეთი ცვლილებანი მოცემულია მე-15 ცხრილში.

სამელაენი ნივთი- ერებანი	სამელაენი ნივთი- ერების რაოდენობა ხსნარში გ/ლიტ		სამელაენი ნივთი- ერებანი	სამელაენი ნივთიერ- ების რაოდენობა ხსნარში გ/ლიტ	
	გამონაგა- რიშებით	გამოყე- ნებით		გამონაგა- რიშებით	გამოყე- ნებით
მეთოლი	6	6	პიროკატეჟინი	6	6
ჰიდროქინონი	6	5—10	პიროგალოლი	5	3—6
პარამინოფენოლი	5	4—7	ადუროლი	10	10
ამიდოლი	4	4—8	გლიცინი	5—17	19

დიდი გავრცელება აქვს მეთოლჰიდროქინონურ სამელაენ ნივთიერე-
ბებს. ეს ნივთიერებები ძირითადად გამოყენებულია ფოტოგრაფიული
ფირფიტების, ფირების და ქალაღდების გამომელაენების დროს. უფრო
ხშირად იხმარება შემდეგი სახის ორგანული წარმოშობის ხსნარები:

კ. ჩიბისოვის

მეთოლი	1 გ
ჰიდროქინონი	5 გ
უწყლო სოდა	20 გ
კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	52 გ
ბრომკალიუმი	1 გ
წყალი . . . . .	. 1000 მლ
ა გ ფ ა № 1	
მეთოლი	5 გ
ჰიდროქინონი	6 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი .	40 გ
პოტაში	40 გ
ბრომკალიუმი	2 გ
წყალი . . . . .	. 1000 მლ

გარდა ამისა ხმარებაშია ბევრი სხვა სახის სამელაენი ხსნარი. ფირე-
ბისთვის იხმარება წვრილმარცვლოვანი სამელაენი ნივთიერებანი. ამ
ნივთიერებათა დამახასიათებელია ის, რომ მათში შედის ტუტოვანი ნივ-
თიერების მცირე რაოდენობა და ნატრიუმის სულფიტის შედარებით
დიდი რაოდენობა. რადგანაც ხსნარში ტუტოვანი ნივთიერების მცირე
რაოდენობაა, გამომელაენება მიმდინარეობს ნელა, რაც იძლევა იმის სა-
შუალებას, რომ უფრო ზუსტად გამოვიანგარიშოთ საჭირო კონტრასტუ-
ლობის დრო. ნატრიუმის სულფიტის დიდი რაოდენობა კი იწვევს ხსნარში
შექმნილი ლიპონგერცხლის დაგროვებული კრისტალების დაშლას. ყვე-
ლაზე მეტად გავრცელებული წვრილმარცვლოვანი სამელაენებია: A-12,

H-1, D-76, „ფინალი“ და სხვა. A-12 და H-1 სამკლავნი ერთიანდება ერთი სახელწოდებით—სამკლავნი № 2; მისი შემადგენელი ნაწილებია:

მეთოლი	8 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი . . . . .	. 125 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი . . . . .	. 250 გ
უწყლო სოდა . . . . .	. 5,75 გ
ან კრისტალური სოდა . . . . .	. 15,5 გ
ბრომკალიუმი . . . . .	. 2,5 გ
წყალი (40—50°) . . . . .	. 700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით) . . . . .	. 1000 მლ

უწყლო სოდის რაოდენობა შეიძლება გაზრდილი იქნეს 6 გრამამდე, კრისტალურის 16 გრამამდე. 1 ლიტრ სამკლავნი შეიძლება 4—5 ფირის გამომკლავნება, შეიძლება გამოვაშკლავნოთ 8 ფირის ლენტიც, მაგრამ უნდა გავზარდოთ გამომკლავნების დროც.

ამ სამკლავნის სამაგარია:

მეთოლი	8 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი . . . . .	. 125 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი . . . . .	. 250 გ
უწყლო სოდა . . . . .	. 5,75 გ
ან კრისტალური სოდა . . . . .	. 15,5 გ
წყალი (40—50°) . . . . .	. 700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით) . . . . .	. 1000 მლ

სამაგრი სამკლავნს შეიძლება დაეუმატოთ 30 მლ რაოდენობით ყოველი ფირის ლენტის გამომკლავნების შემდეგ. სამაგრის გამოყენების დროს შეიძლება 1 ლიტრმა სამკლავნმა გამოამკლავნოს 15 ფირის ლენტი.

D-76 სამკლავნის შემადგენელი ნაწილებია:

მეთოლი . . . . .	. 2 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი . . . . .	. 100 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი . . . . .	. 200 გ
ჰიდროქინონი . . . . .	. 5 გ
კრისტალური ბორაკი . . . . .	. 2 გ
წყალი (40—50°) . . . . .	. 700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით) . . . . .	. 1000 მლ

ასეთ 1 ლიტრ ხსნარში გამომკლავნდება არაუმეტეს 2—3 ფირის ლენტი. გამოსამკლავნებლად ორივე სამკლავნ ხსნარს სჭირდება ერთნაირი დრო, 20° ტემპერატურისას ეს დრო განისაზღვრება 8—14 წუთამდე. ერთი ლიტრი ხსნარის დასამზადებლად საჭიროა დავიცვათ ასეთი თანმიმდევრობა:

1) ჭურჭელში მოვათავსოთ 200 მლ თბილი წყალი და მასში გავხსნათ ჯერ სულფიტის მეოთხედი და შემდეგ ჰიდროქინონი.

2) ცალკე ერთლიტრიან ჭურჭელში მოვათავსოთ ერთი კიკა თბილი

წყალი და გავხსნათ მეთოლი; მისი სრული გახსნის შემდეგ უნდა ჩავასხათ პირველი ხსნარი.

3) ნახევარ კიკა თბილ წყალში უნდა გავხსნათ დარჩენილი სულფიტი და ბორაკი, შემდეგ მოვათავსოთ საერთო ჭურჭელში.

4) ხსნარის ერთლიტრიანი ჭურჭელი შევავსოთ ოთახის ტემპერატურაიანი წყლით.

D-76 სამელაგნის სამაგრად იხმარება ხსნარი შემდეგი შემადგენლობით:

მეთოლი	3 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი .	100 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	200 გ
ჰიდროქინონი	7.5 გ
კრისტალური ბორაკი	20 გ
წყალი (40—50°)	700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით)	1000 მლ

თითოეული ფირას ლენტის გამომელაგნების დროს იხარჯება 15 მლ სამელაგნი. საერთო სამელაგნი ხსნარის ჭურჭლის შევსება კი უნდა ხდებოდეს ყოველი ფირის ლენტის გამომელაგნების შემდეგ. სამაგრის გამოყენების დროს 1 ლიტრ სამელაგნს შეუძლია გამოამელაგნოს 10—12 ფირის ლენტი.

სამელაგნი „ფინალის“ შემადგენელი ნაწილებია:

მეთოლი	3,5 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	70 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	140 გ
ჰიდროქინონი	3,5 გ
ლიმონმჟეანნატრიუმი	10 გ
კრისტალური ბორაკი .	6 გ
ბრომკალიუმი	0,4 გ
წყალი (40—50°)	700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით)	1000 მლ

გერმანიაში დამზადებული სამელაგნი „ფინალი“ მყარი ნივთიერებაა, რომლის შემადგენლობაში შედის:

ნატრიუმის ჰექსამეთაფოსფატი .	0,125 გ
ტრილონი ხ .	0,5 გ

სამელაგნი „ფინალის“ სამაგრის ნაწილებია:

მეთოლი	2 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი .	20 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი .	40 გ
ჰიდროქინონი .	5 გ
უწყლო სოდა .	20 გ
ან კრისტალური სოდა	54 გ
ლიმონმჟეანნატრიუმი .	10 გ

წყალი (40—50°) 700—750 მლ
 წყალი (ოთახის ტემპერატურით) . . . 1000 მლ

სამაგრის ხსნარი მზადდება ისე, როგორც სამკლავნის ხსნარი და გამოიყენება საერთო წესის მიხედვით. სამაგრის ხმარების დროს 1 ლიტრი სამკლავნით შეიძლება დაწეშავდეს 30 ფირის ლენტი.

„НИКФИ“-ს რეკვიპით სამკლავნი მზადდება ბორაკით და ბორის მჟავათი. მის შემადგენლობაში შედის:

მეთალი 5 გ
 უწყლო ნატრიუმის სულფიტი 75 გ
 ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი . . . 150 გ
 კრისტალური ბორაკი 12 გ
 ბორის მჟავა 4 გ
 წყალი (40—50°) 700—750 მლ
 წყალი (ოთახის ტემპერატურით) 1000 მლ

1 ლიტრი სამკლავნი საკმარისია 4 ფირის ლენტისათვის.

სამაგრის შემადგენლობაში შედის:

მეთალი 8 გ
 უწყლო ნატრიუმის სულფიტი 75 გ
 ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი . . . 150 გ
 კრისტალური ბორაკი 24 გ
 ბორის მჟავა 4 გ
 წყალი (40—50°) 700—750 მლ
 წყალი (ოთახის ტემპერატურით) 1000 მლ

სამაგრის გამოყენების დროს 1 ლიტრი ხსნარი დაამუშავებს 10 ფირის ლენტს.

ქ-23 სამკლავნი ხსნარის შემადგენლობა ასეთია:

მეთალი 7.5 გ
 უწყლო ნატრიუმის სულფიტი 100 გ
 ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი . . . 200 გ
 წყალი (40—50°) 700—750 მლ
 წყალი (ოთახის ტემპერატურით) 1000 მლ

სამაგრის შემადგენლობაში შედის:

მეთალი 10 გ
 უწყლო ნატრიუმის სულფიტი 100 გ
 ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი . . . 200 გ
 კრისტალური ბორაკი 30 გ
 წყალი (40—50°) 700—750 მლ
 წყალი (ოთახის ტემპერატურით) 1000 მლ

ერთ ლიტრ სამკლავნი მუშავდება 5—8 ფირის ლენტი, სამაგრის გამოყენებით კი ეს რაოდენობა იზრდება 15-მდე.

ქ-25 სამკლავნი მზადდება ნატრიუმის ბისულფიტით. მის შემადგენლობაში შედის:

მეთალი 7.5 გ
 უწყლო ნატრიუმის სულფიტი 100 გ

ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	200 გ
ნატრიუმის ბისულფიტი .	15 გ
წყალი (30—50°) .	700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით) .	1000 მლ

მისი სამაგრის შემადგენლობაში შედის:

მეთოლი	10 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	100 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	200 გ
კრისტალური ბორაკი .	30 გ
წყალი (40—50°)	700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით) .	1000 მლ

სამელ ვნის დამზადების დროს ნატრიუმის ბისულფიტი უნდა გაიხსნას ხსნარში, რომელსაც ექნება ოთახის ტემპერატურა. გამოშვლების დრო უნდა გაეზარდოს დაახლოებით 2-ჯერ. სამელავენში შეიძლება დამუშავდეს 5—8 ფირის ლენტი, სამაგრის ხმარების დროს ეს რაოდენობა იზრდება 15—20-მდე. უნდა დაეუმატოს 45 მლ სამაგრი; 6 კინოფირის ლენტის გამოშვლების შემდეგ კი დანაწილის რაოდენობა უნდა შევამციროთ 2-ჯერ.

რეპროდუქციის ხსნარის შემადგენლობაში სხვა ნივთიერებასთან ერთად შედის ჰიდროქინონი:

მეთოლი	3 გ
უწყლო ნივთიერების სულფატი .	100 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	200 გ
ჰიდროქინონი .	7,5 გ
კრისტალური ბორაკი	20 გ
წყალი (40—50°)	700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით) .	1000 მლ

1 ლიტრ ხსნარში დამუშავდება 6—8 ფირის ლენტი. გამოშვლების დრო შეიძლება რამდენიმედ შევამციროთ.

წყრილმარცვლოვან სამელავენებს გარდა არსებობს უწყრილესმარცვლოვანი სამელავენები. ასეთებია: პარაფენილენდიამინგლიცური, ორთოფენილენდიამინმეთოლური, DK-20 და სხვ.

პარაფენილენდიამინგლიცური ს ა მ ე ლ ა ვ ნ ი ს შემადგენლობა ასეთია:

უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	90 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	180 გ
გლიცინი .	6 გ
პარაფენილენდიამინი	10 გ
წყალი (60—70°) .	700—750 მლ
წყალი	1000 მლ

პარაფენილენდიამინი იხმარება მხოლოდ ბოლო პროცესში და ისიც 60—65°. რადგანაც ასეთი სამელავენი ინახება ცუდად, მისი დამზადება შეიძლება მხოლოდ გამოყენების წინ. გამოყენების დრო უნდა გაეზარ-

დოზ 2 - 3 ჯერ. 1 ლიტრი სამეღვაენის ხსნარით შეიძლება დავამუშაოთ 2 ფირის ლენტი.

ორთოფენილენდინინგეოლოურ სამეღვაენში შედის:

მეთოლი	12 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	90 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	180 გ
სუფთა ორთოფენილენდინინგი	12 გ
სუფთა ნატრიუმის ბისულფიტი	10 გ
წყალი (4) — 50°)	700—750 მლ
წყალი	1000 მლ

ნორმალურ ტემპერატურაზე გამომეღვაენების ხანგრძლიობა განისაზღვრება 12—13 წუთით, იძლევა სხვადასხვა კონტრასტულობას 1,0-მდე. 1 ლიტრ სამეღვაენ ხსნარში შეიძლება დავამუშაოთ 5—6 ფირის ლენტი. DK-20 სამეღვაენში შედის:

მეთოლი	5 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	100 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	200 გ
კრისტალური ბორაკი	3 გ
როდანკალიუმი	1 გ
ბრომკალიუმი	0.5 გ
წყალი (40 — 50°)	700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით)	1000 მლ

გამომეღვაენების დრო უნდა გავზარდოთ 1,5-ჯერ. კონტრასტულობა არ აღემატება 0,7. 1 ლიტრი სამეღვაენი ყოფნის 4—5 ფირის ლენტის დამუშავებას.

მშრალი სახით მზადდება აგრეთვე სამეღვაენი გერმანული წარმოების ნივთიერებანი: „ატომალი“ და „ორტომიკროლი“. ასეთი სამეღვაენებით შეიძლება დავამუშაოთ 10—12 ფირის ლენტი. გამომეღვაენება შეიძლება ვაწარმოოთ ორი ხსნარით: პირველ სამეღვაენ ხსნარში შედის ნატრიუმის სულფიტი და სამეღვაენი ნივთიერება გაივლის შუქმკარძობ ფენას; ამის შემდეგ გადაგვაქვს მეორე ხსნარში, რომელშიაც შედის ტუტოვანი ნივთიერება და სადაც წარმოებს ბრომვერცხლის აღდგენა ლითონვერცხლად. ორ ხსნარში გამომეღვაენების დადებითი თვისება ის არის, რომ კარგად მუშავდება გამოსახულების ჩრდილიანი ნაწილები.

ორხსნარიანი მეთოლჰიდროქინონური წვრილმარცვლოვანი სამეღვაენის შემადგენლობა ასეთია:

პირველი ხსნარი

მეთოლი	5 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	100 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	200 გ
ჰიდროქინონი	2 გ
შაქარი	100 გ
ნატრიუმის ბისულფიტი	5 გ

წყალი (40—50°)	. . .	. 700—750 მლ
წყალი (ოთახის ტემპერატურით)		. 1000 მლ
მეორე ხსნარი		
უწყლო სოდა . .		10 გ
ან კრისტალური სოდა . .		27 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი		50 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი		100 გ
ბრომკალიუმი		0,5 გ
იოდკალიუმი .		0,01 გ
წყალი (40—50°)		. 700—750 მლ
წყალი		. 1000 მლ

პირველ ხსნარში ფირები მუშავდება: დაბალი და საშუალო — შუქნგრძობელობის 3—5 წუთამდე; მაღალი და უმაღლესი — შუქნგრძობელობის 5—10 წუთამდე. მეორე ხსნარში ყველა ფირი მუშავდება 3 წუთის განმელობაში. ხსნარს შეიძლება გამოვიყენოთ რამდენიმეჯერ. კონტრასტულობა აღწევს 0,6-მდე, სპეციალურ შემთხვევებში შეიძლება ავიდეს 0,9-მდე.

ორხსნარიანი DK-20 უწყრილესმარცვლოვანი სამელაგნის შემადგენლობა კი ასეთია:

პირველი ხსნარი

მეთოლი		5 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი		. 100 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი		200 გ
როდანკალიუმი		1 გ
ბრომკალიუმი .		0,5 გ
წყალი (40—50°) .		700—750 მლ
წყალი		. 1000 მლ

მეორე ხსნარი

კრისტალური ბორაკი .		25 გ
წყალი (ცხელი)		700—750 მლ
წყალი .		. 1000 მლ

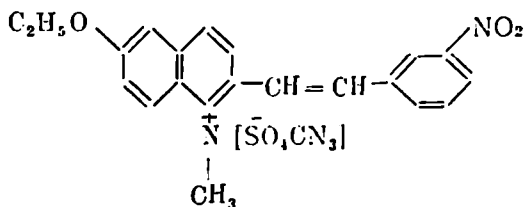
პირველ ხსნარში ფირები მუშავდება 6—20 წუთს, მეორე ხსნარში კი 3—4 წუთს. მეორე ხსნარი იხმარება ერთჯერ, ხოლო პირველი ხსნარი შეიძლება ვიხმაროთ მრავალჯერ. თუ ყოველი ფირის გამომჟღავნების შემდეგ მას დაეჟმატებთ 20 მლ საშაგარს.

სამაგრის შენადგენლობა ასეთია:

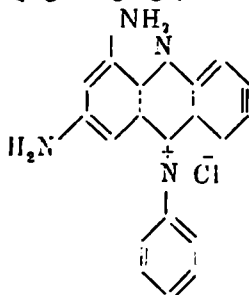
მეთოლი		7,5 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი .		100 გ
როდანკალიუმი		5 გ
წყალი (40—50°) .		700—750 მლ
წყალი		1000 მლ

დესენსიბილიზატორებად იხმარება ყვითელი და მწვანე პინაკრიპტოლი და ფენოსაფრანინი.

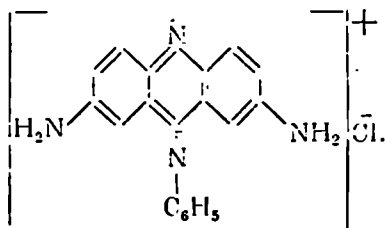
ყვითელი პინაკრიპტოლი ორგანული სინთეზური მღებავია



ასევე მწვანე პინაკრიპტოლიც ორგანული სინთეზური მღებავია



ფენოსაფრანინი ორგანული სინთეზური წითელი მღებავია. თვით საფრანინი წითელ-იისფერია, მიიღება ანილინის და პარაფენილენდიამინის ნარევის დაჯანგვით



დესენსიბილიზაცია შეიძლება ვაწარმოოთ ორი მეთოდით. უფრო მიღებულია პირველი მეთოდი: ფირები უნდა მოვათავსოთ დესენსიბილიზატორის ხსნარში სიბნელეში 1,5—2 წუთს, შემდეგ გამოვამჯღავნოთ ჩვეულებრივად წითელ-ნარინჯისფერ შუქზე. მეორე მეთოდის გამოყენების დროს დესენსიბილიზატორი შეაუღია სამჯღავნ ხსნარში, გამოვქლავნება იწყება სიბნელეში, 1,5—2 წუთის შემდეგ გრძელდება ნარინჯისფერ შუქზე. ყვითელი პინაკრიპტოლი იხმარება მხოლოდ წინასწარი დამუშავების

დროს ცალკე ხსნარში; ამ დროს იგი შლის ნატრიუმის სულფიტს. მწვანე პინაკრიპტოლი ხსნარში გამოიყენება კონცენტრაციით 1:5000—1:10000. ასეთ ხსნარში ფირების მოთავსებით ვალწევთ შუქგარძნობელობის შემცირებას: წითელ-ნარინჯისფერი და ყვითელი ფერის სხივებისადმი 100-ჯერ, მწვანე ფერის საივებისადმი-100—200-ჯერ.

ფენოსაფრანინის ხსნარის კონცენტრაციაც ასეთივეა. მასში ზოთავებული ფირები კარგავს შუქგარანოაელობას სპექტრის ყველა ფერისადმი, გარდა ლურჯისა და იისფერისა; ამ უკანასკნელთა შუქგარძნობელობის შემცირება ხდება მხოლოდ 100-ჯერ. ფენოსაფრანინი ნეგატივეს ღებავს წითლად, მაგრამ ნეგატივის ხარისხზე ეს ზღვარობა გავლენას ვერ ახდენს. დესენსიბილიზატორების გამოყენების შემდეგ ფირების გამომტლანების პროცესი ნელა მიმდინარეობს; ეს მოვლენა განსაკუთრებით შესაძინეია ფენოსაფრანინის ხმარების დროს.

გამომტლანებისას ფოტომასალების შუქგარძნობი ფენის გაშავება თყყება არა ერთბაშად, არამედ რამდენიმე ხნის შემდეგ, როცა შუქგარძნობი ფენა იტვირთება სამტლავნი ნივთიერებით. გაშავების პროცესის გზვითარება დამოკიდებულია ფოტომასალაზე და სამტლავნი ნივთიერებაზე. ამ საკითხის შესწავლა მოახდინა უოტკინზმა და სამტლავნი ნივთიერებისათვის შექმნა პროპორციულობის კოეფიციენტი. მისი გამომტლანებისათვის ეს კოეფიციენტი სხვადასხვა ნივთიერებისათვის ასეთია:

მეთოლი . . .	30
ჰიდროქინონი	6
პარამინოფენოლი	16—20
გლიცინი სოლით .	8
გლიცინი პოტაშით .	12

პრაქტიკულად ნივთიერებათა კოეფიციენტების სიდიდეებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფირების გამომტლანების დრო. მაგალითად, მეთოლის სამტლავნი ხსნარში ფირზე გამოსახულება თუ იწყებს გაჩენას ფირის ხსნარში მოთავსების 16 წამის შემდეგ, მაშინ ფირის გამტლანებას ამ ხსნარში დასკირდება დრო

$$16 \text{ წამი} \times 30 = 480 \text{ წამი.}$$

თუ სამტლავნი შედის რამდენიმე სამტლავნი ნივთიერება, მაშინ ანგარიში უნდა ვაწარმოოთ საერთო ჯამის მიხედვით. მაგალითად, მეთოლჰიდროქინონიანი D-76 სამტლავნი 1 ლიტრ ხსნარში, რომელშიც იმყოფება მეთოლი 2 გ და ჰიდროქინონი 5 გ, უოტკინზის კოეფიციენტი გამოიანგარიშება

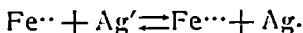
$$\frac{2 \times 30 + 5 \times 6}{2 + 5} \approx 13.$$

ასეთი საშუალებდო კოფეციენტის დადგენის შემდეგ შეიძლება ვიან-გარიშოთ ფირის გამოზღვანების დრო აღნიშნული სამზღვანი ხსნარისათვის.

არაორგანულ ნივთიერებათა სამზღვანები

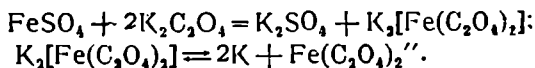
სამზღვანებად უმთავრესად გამოყენებულია ორგანული ნივთიერებანი. არაორგანული ნივთიერებებიდან პრაქტიკული განოყენება აქვს რკინის ქვეყანგის მარილისა და მზაუნმზავა კალიუმის ნაერძს. წინა პერიოდში ეს ნივთიერებანი მასობრივად იხზარებოდა, მზმდგში კი სეცვლილ იქნა ორგანული ნივთიერებებით.

ჰალოგენიანი ვერცხლის აღდგენა იონების სახით რკინის ქვეყანგის მარილში ხდება ამგვარად

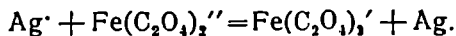


რკინის ორვალენტოვანი იონი იონვერცხლით იქცევა რკინის სამვალენტოვან იონად და აღდგება ლითონვერცხლად.

რკინის ქვეყანგის მარილის და მზაუნმზავა კალიუმის შეერთება იძლევა ასეთ რეაქციას



ლითონვერცხლის აღდგენის პროცესი რკინის მზაუნმზავას სამზღვანში იონიზაციის სახით იქნება



კომპლექსური იონი $Fe(C_2O_4)_3^-$ კარგავს ერთ ელექტრონს, მას ღებულობს ვერცხლის იონი და აღდგება ლითონვერცხლად.

არაორგანული სამზღვანი ნივთიერების დამახასიათებელი ის არის, რომ მასში არ შედის არც სულფიტი და არც ტუტოვანი ნივთიერება. ედერი ის მიერ შემუშავებულ იქნა მზაუნმზავა რკინის სამზღვანი ხსნარი, შემადგენლობით:

პირველი ხსნარი

მზაუნმზავაკალიუმი	100 გ
წყალი .	300 მლ

მეორე ხსნარი

რკინის შაბიამანი	100 გ
წყალი .	300 მლ
სუფთა გოგირდმზავა	5 წვეთი
ან ღვინისმზავა .	1 გ

ხსნარის გამოყენების წინ პირველი ხსნარის სამი ნაწილი უნდა შევეუროთ მეორე ხსნარის ერთ ნაწილს და შეიძვეგ დაწარზოთ გამომზღვანების პროცესი.

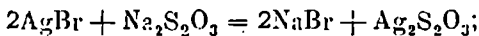
მაღალხარისხოვანი პროდუქციის მისაღებად 1958 წელს, უკრაინის პოლიგრაფიული მანქანების მშენებლობის ინსტიტუტმა დაამზადა სამე-
ლაფინი მოწყობილობა „P111-4“, რომლითაც იქმნება შესაძლებლობა ნორ-
მალურად ჩაეატაროს გამომქლავების პროცესი. ეს მოწყობილობა წარ-
მოდგენს ლითონის შეკრულ კარადისებურ ჩარჩოს, რომლის შიგნით
ჩასმულია ფურცლოვანი რკინა. ზედა მხარეზე დადგმულია საჩგანყოფი-
ლებიანი აბაზანა: ერთი განყოფილება იხმარება გამომქლავებისათვის,
მეორე განყოფილება — გასარეცხად, მესამე კი — ფიქსირებისათვის. აბა-
ზანები პონარაგებულია ცხელი და ცივი წყლის ონკანებით. აბაზანაში
მოთავსებულ სამქლავ ნივთიერებას მექანიკური წესით უნდა მივაწოდოთ
სამაგრი ხსნარი. გამომქლავების პროცესში აბაზანა ასრულებს რხევით
მოდრობას. იაღვეიან რეკომენდაციას სამაგრად ყველა შემთხვევისათვის
გამოყენებულ იქნეს შემდეგი შემადგენლობის ხსნარი:

მეთოლი . . . . .	. 10 გ
ჰიდროქინონი . . . . .	. 12 გ
კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	. 80 გ
პოტაში	. 60 გ
წყალი !	. 1000 გლ

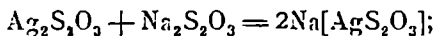
გამომქლავების პროცესის დროს დაკული უნდა იქნეს $18 \pm 0,5^{\circ}$
ტემპერატურა. ამ მოწყობილობით შეიძლება გამომქლავდეს 500×600 მმ
ზომის ფირები.

შიძსირება

ნეგატივების ფირების გამომქლავების შემდეგ წარმოებს: 1) გამომქ-
ლავების პროცესის შეწყვეტა და ფირების ზედაპირიდან სამქლავნი ნივ-
თიერების ნარჩენების მოცილება; 2) ფირების ფიქსირება; 3) ფირების
გარეცხვა; 4) ფირების გამრობა. პალოგენიანი ვერცხლის მოცილება
ხდება ამა თუ იმ განხსნელი ნივთიერების მოქმედებით. 1841 წელს ტა-
ლ ბოტის წინადადებით ფიქსირებისათვის გამოყენებულ იქნა ნატრი-
უმის ჰიპოსულფიტის ხსნარი. ქიმიური პროცესი მიმდინარეობს ორ
სტადიად

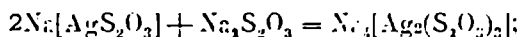


პირველ სტადიაში შეიქმნება გაუხსნელი ვერცხლის ჰიპოსულფიტი

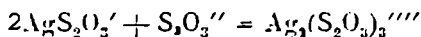
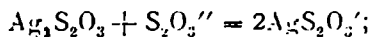


მეორე სტადიაში ნატრიუმის ჰიპოსულფიტის მოქმედება გრძელდება
ვერცხლის ჰიპოსულფიტის დიშართ და მიიღება წყალში ძნელად გასახს-
ნელი კომპლექსური მარილი. ამ სტადიაზე ფიქსირების პროცესი მაინც

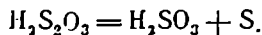
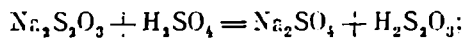
არ დასრულდება; საჭიროა ძნელად გასახსნელი კომპლექსური მარილი, გახდეს წყალში ადვილად გასახსნელ ნივთიერებად



მიღებული ნივთიერება ადვილად ჩამორეცება ფირის ზედაპირიდან. იონების საბით რეაქციაში წონასწორობა მყარდება ანგვარად

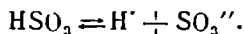
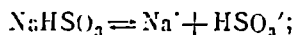


პრაქტიკულად იხმარება ნატრიუმის ჰიპოსულფიტის ნარევი მცირე რაოდენობის გოგირდნაფთასთან. ზედას მინატეა დიდი რაოდენობით არ შეიძლება, რადგანაც წარმოიშვედა გოგირდი და სელს შეუშლის ქიმიური პროცესის მიმდინარეობას

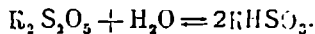


თუ ხსნარს დავამზადებთ მკაფას გარეშე, მცირე დროში ეღებულობთ ნეგატივის ზედაპირზე ლაქებს. გარდა ამისა, სამკლავნი ხსნარი დიდი ტემპერატურის დროს იცავს ელატინის ფენას დარბილებისაგან და სწრაფად აცილებს შარავანდის საწინააღმდეგო ნივთიერებას — მანგანუმის ორჟანგს.

ზოგჯერ ნატრიუმის სულფიტის და მკაფას მაგივრად იხმარება ნატრიუმის ბისულფიტი. ამ შემთხვევაში დისოციაცია მიმდინარეობს საფეხურებად



იხმარება აგრეთვე კალიუმის მეტაბისულფიტი, რომელიც წყალთან ერთად იძლევა კალიუმის ბისულფიტს



ედერის წინადადებით ფიქსირებისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ შემდეგი ნაერთი:

უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	50 გ
ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	200 გ
კანცენტრირული გოგირდმკაფა	6 მლ
წყალი	1000 მლ

ანგერერის მოსაზრებით ფიქსირებისათვის უნდა გამოვიყენოთ ნაერთი:

ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	200 გ
კალიუმის ნეტაბისულფიტი	15 გ
წყალი	1000 მლ

ჩვეულებრივი ფიქსირებისათვის იხმარება აგრეთვე ნაერთები:

1. კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი .	. 250 გ
წყალი	1000 მლ
2. კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი .	250 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი . . . . .	. 10 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	. 20 გ
ნატრიუმის ბასულფიტი	. 15 გ
წყალი	1000 მლ
3. შედგება ორი ხსნარისაგან:	

პირველი ხსნარი

კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი .	250 გ
წყალი	500 მლ

მეორე ხსნარი

უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	25 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი .	50 გ
გოგირდმჟავა (10% ხსნარი)	50 მლ
წყალი .	. 500 მლ

4. შედგება ორი ხსნარისაგან:

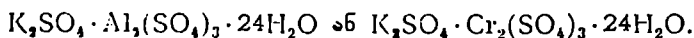
პირველი ხსნარი

კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	250 გ
წყალი .	. 500 მლ

მეორე ხსნარი

ბორის მჟავა	20 - 30 გ
წყალი . . . . .	. 500 მლ
5. კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	. 250 გ
კალიუმის ნეტაბისულფიტი .	. 25 გ
წყალი	. 1000 მლ

თბილ ამინდში, როცა საშიშროებას წარმოადგენს ფენის დარბილება, იხმარება დათარიღებული ნაერთი, რისთვისაც ფიქსირების ხსნარს უმატებენ ალუმინიან ან ქრომიან შაბს



ძლიერი დათარიღებისათვის ხსნარს უმატებენ ფორმალინს — HCO^1 .

ნებლიტის წინადადებით გამოყენებული უნდა იქნეს შემდეგი ნაერთები:

პირველი ხსნარი

ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი .	250 გ
წყალი	1000 მლ
მეორე ხსნარი	
ალუმინიანი შაბი . .	30 გ
ძმარმევა (28 %-იანი) . .	185 გლ
კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი	60 გ
წყალი .	315 მლ

შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე სუსტმედიანი დათრბილული ნაერთი, რომლის შემადგენლობაში ზედის:

პირველი ხსნარი

კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	250 გ
წყალი .	600 მლ

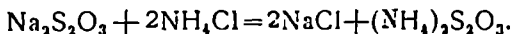
მეორე ხსნარი

უწყლო ნატრიუმის სულფიტი . .	15 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი .	30 გ
გოგირდმევა (10 % — იანი ხსნარი) .	25 გლ
წყალი .	200 მლ

მესამე ხსნარი

ალუმინკალიანი შაბი .	8 გ
ან ქრომკალიანი შაბი	8 გ
წყალი .	200 მლ

სწრაფი ფიქსირებისათვის ნაერთს ამზადებენ ამონიუმის ჰიპოსულფიტის და ქლორამონიუმისაგან



უმჯობესია ამ ნივთიერებებთან ერთად ვიხმაროთ კალიუმის მეტაბისულფიტი.

ბიუნხერი იძლევა სწრაფი ფიქსირების ნაერთის ასეთ რეცეპტს:

ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი .	200 გ
ქლორამონიუმი	75 გ
კალიუმის მეტაბისულფიტი	10 გ
წყალი .	1000 მლ

ბოლო დროს ხმარობენ ასეთ ნაერთსაც:

კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	250 გ
ქლორამონიუმი .	40 გ
წყალი	1000 მლ

ჩვეულებრივი ფიქსირების ხსნარები მზადდება 40 — 50` წყალში. როცა ორი ხსნარია, მზადდება ცალ-ცალკე; ოთახის ტემპერატურამდე გაცივების შემდეგ პირველ ხსნარში ნელა ვურევთ მეორე ხსნარს. სამ-ხსნარიანი ნაერთის დამზადება წარმოებს ორი წესით: 1) გაცივებული ნატრიუმის ჰიპოსულფიტის ხსნარი ნელ-ნელა უნდა დავასხათ ბისუ-ლფიტის ხსნარს და ამ ნაერთს შემდეგ დავუმატოთ შაბის ხსნარი; 2) თბილ წყალში გავხსნათ შაბი და ვახსნის დამთავრებისთანავე დავუმატოთ მჟავა, შემდეგ ნატრიუმის სულფიტი და ასეთ ხსნარს შევკერ-თოთ ოთახის ტემპერატურაზე გაცივებული ნატრიუმის ჰიპოსულფიტის ხსნარი.

ფიქსირება რომ ნორმალურად ჩავატაროთ, საჭიროა გამოვიყენოთ გამოშლანების შემწყვეტი ხსნარები. სამკლანებლის ნარჩენები ფიქსირების ხსნარს ჯერ აყვითლებს, შემდეგ აძლევს ყავისფერს. ფიქსირების ხსნარის ასეთი მდგომარეობა გავლენას ახდენს ნეგატივზე და ღებავს მას, ზოგჯერ ნეგატივის ზედაპირზე ქმნის ძნელად მოსაშორებელ ლაქებს. ამისათვის საჭიროა გამოშლანების შემდეგ ფიქსირების დაწყებამდე ფირები გავრეცხოთ ოთახის ტემპერატურის მქონე წყლით ან სპეციალური ხსნარით, რომლის შემადგენლობაში შედის სხვადასხვა სახის მჟავე ნივთიერებანი. ამის მიხედვით ხსნარების შემადგენლობაც სხვა-დასხვანაირია:

1. ნატრიუმის ბისულფიტი	30 გ
წყალი	1000 მლ
2. ქობითვა (30 %-იანი)	20 — 50 გლ
წყალი	1000 მლ
3. ლიმონმჟავა	15 — 30 გ
წყალი	1000 მლ

წყლის მაგივრად თუ რომელიმე ამ ხსნართაგანს ვიხმართ, შედეგი უკეთესი იქნება.

ბარმცხვა და გაშრობა

ფიქსირების შემდეგ ნეგატივის დამუშავების მომდევნო პროცესია გარეცხვა და გაშრობა. გარეცხვის საშუალებით წარმოებს ფოტოგრაფიული ფენიდან ჰიპოსულფიტის ნარჩენის მოცილება. ამ მიზნით საჭიროა წყალში სოფათავსოთ ნეგატივი. დიფუზიის საშუალებით ნეგატივის ფელატინის ფოტოფენიდან წყლის მოქმედებით გამოირეცხება ნარჩენები. დიფუზიის მოვლენის გავრცელების სისწრაფე დამოკიდებულია ნარჩენის კონცენტრაციაზე და ფოტოფენის გარშემო სყოფი წყლის ცვლილებაზე. დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ რაც უფრო ხშირად იცვლება წყალი, მით

უფრო სწრაფად ხდება დიფუზია, მაგრამ თუ ფოტოფენის გარეცხვა წარმოებს წყლის დინების დროს, დიფუზიის პროცესი უფრო სრულად და სწრაფად ჩატარდება, ვიდრე დამდგარ წყალში, თუნდაც წყალი ხშირად შევცვალოთ. წყლის დინების შემთხვევაში ნეგატივების რეცხვა უნდა ვაწარმოოთ 10 — 15 წუთს მაინც. შეიძლება გაგრძელდეს 1 — 2 საათამდე; ხანგრძლივი რეცხვა 10 — 20 ტემპერატურის დროს მავნე არაა. დამდგარი წყლით რეცხვის დროს წყალი უნდა შევცვალოთ ყოველ 5 წუთში 10-ჯერ, შეიძლება 6 — 7-ჯერ. თუ რეცხვა საკმარისად არ ჩატარდა, ფოტოფენის ზედაპირზე გაშრობის შემდეგ შეიქმნება ნაფიფქი, რომელიც ემსგავსება ფანჯრის მინაზე ყინვების დროს მიღებულ გამოსახულებას. ნაფიფქის გაჩენა გამოწვეულია ფოტოფენაში არსებული ნარჩენების კრისტალებით. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა ნარჩენების არსებობის გამოსარკვევად გამოვიყენოთ სპეციალური ხსნარი, რომელშიაც შედის:

მანგანუმჟავაკალიუმი	0,1გ
მწვავე ნატრიუმი	1 გ
გამოხდილი წყალი .	1000 ცლ

ორ სინჯარაში უნდა მოვათავსოთ განსაზღვრული თანაბარი რაოდენობის ასეთივე ხსნარი, ერთ სინჯარას ვუმატოთ სუფთა წყალი 5 მლმდე, მეორე სინჯარას კი — ნარეცხი წყალი, რომელშიაც ნეგატივები იმყოფებოდა 3 — 5 წუთს მაინც. თუ მეორე სინჯარაში მყოფი ხსნარი, პირველი სინჯარის ხსნართან შედარებით, შეიცვლის ფერს მუქწვანედ, მოლურჯო მწვანედ ან იისფრად, რეცხვა დასრულებული არაა. თუ მივიღებთ ვარდისფერს, გარეცხვა დასრულებულია. როცა ხსნარი გამოყენებულია ბეჭდვის დროს, მაშინ ხსნარის ღია მწვანე ფერი გარეცხვის დამთავრების მაჩვენებელია.

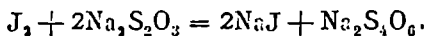
შესამოწმებლად შეიძლება ვიხმაროთ ასეთი ხსნარიც:

კალიუმპერმანგანატი	1 გ
სოდა	. 1 — 2 გ
წყალი	. 1000 მლ

ერთ სინჯარაში საჭიროა მოვათავსოთ სუფთა წყალი, მეორეში ნეგატივებნამყოფი ნარეცხი წყალი; ორივე სინჯარაში წყლის რაოდენობა უნდა იყოს თანაბარი. შემდეგ სინჯარას ვუმატებთ კალიუმპერმანგანატის ხსნარის 1 — 2 წვეთს; თუ შედეგად იღობს ორივე სინჯარა ერთნაირი რაოდენობით შეინარჩუნებს, ნეგატივების გარეცხვა დასრულებულია. გარეცხვის დაუსრულებლობის შემთხვევაში უფრო გვიან გაუფერულდება სუფთა წყლის სინჯარა.

კალიუმპერმანგანატის მაგივრად ზოგჯერ შეიძლება ვიხმაროთ სახა-

ჰებლის ხსნარი. ამ ხსნარის რამდენიმე წვეთი უნდა დაეუმატოთ ორივე სინჯარას. ქიმიური რეაქცია იქნება ასეთი



სინჯარის ლურჯი შეღებულობა გარეცხვის დაუშთავრებლობის ნიშანია.

ვ. მიხაილოვი იძლევა წინადადებას შემოწმება ჰობდეს სხვაგვარი მეთოდით. გამოსაყენებელი ხსნარის შემადგენლობაც განსხვავებულია:

მანჯანუმჟავაკალიუმი	1,2 გ
მწვავე ნატრიუმი	2,4 გ
გამოხდილი წყალი .	. 1000 მლ

250 მლ გადაღულებულ გაცივებულ წყალს უნდა დაეუმატოთ 1 მლ ასეთი ხსნარი, რის გამოც წყალი შეიღებება იისფრად. ამ ხსნარს უნდა დაეუმატოთ ნეგატივის ნარეცხი წყალი. კარგი გარეცხვის დროს ხსნარი ფერს არ შეიცვლის, ხოლო თუ ნარჩენები იმყოფება თუნდაც მცირე რაოდენობით, 30 წამის შემდეგ ხსნარი შეიღებება ნარინჯისფრად.

ხამი წყლით ხსნარების დამზადების ან ნეგატივების გარეცხვის დროს, ფოტოფენის ზედაპირზე ზოგჯერ შეიქმნება ბადისებური გამოსახულება. ეს გამოწვეულია კალციუმის, ალუმინისა და ზოგიერთი სხვა ნივთიერების ბეერთებით. ამ მოვლენის საწინააღმდეგოდ საჭიროა ვიხმაროთ 0,5% ძმარმჟავა ან მარილმჟავა. რომელიმე მჟავაში 1 — 2 წუთის განმავლობაში უნდა მოვათავსოთ ფირები, რის შემდეგ მჟავას მოსაცილებლად მდინარე წყლით ვრეცხოთ 3 — 5 წუთის განმავლობაში.

ნეგატივების გაშრობისათვის საჭიროა შეექმნათ ნორმალური პირობები და შრობაც კარგად ჩატარდება. ჰაერის დიდი ტენიანობის, დიდი ტემპერატურის ან სხვა მიზეზების გამო გაშრობა შეიძლება ჩატარდეს ცუდად და ნეგატივებიც გაფუქდეს. გაშრობის დასაჩქარებლად არ შეიძლება გაუზარდოთ ტემპერატურა, რადგანაც 30 — 40° ჯელატინის ფოტოფენა იწყებს დნობას. ჰაერის ძლიერი ტენიანობის გამო შრობა მიმდინარეობს ნელა, ნეგატივების ზედაპირი იმტვერება, თანაც წარმოიშვება გამჭვირვალე მცირე ზომის ლაქები. მტვრიანობას იწვევს აგრეთვე ვენტილატორის საშუალებით ხელოვნური გაშრობა. გაშრობის დასაჩქარებლად არ შეიძლება გამოვიყენოთ სპირტებიც, რადგანაც სპირტები იწვევენ ფოტოფენის ქვეშადადების დეფორმაციას, ფოტოფენის ზედაპირზე ქმნის ლაქებს, ზოლებს და სხვა. განსაკუთრებით ცუდად მოქმედებს ეთილის სპირტები, შედარებით უფრო ნაკლებად — მეთილის სპირტები. საერთოდ, სპირტებით სწრაფად გაშრობა იწვევს ნეგატივების ოპტიკური სიმკვრივის და კონტრასტულობის ზრდას.

კარგ შედეგს იძლევა გაშრობის წინ ფოტოფენის ფორმალინით დათ-

რიმლვა. ამისათვის საჭიროა გარეცხილი ნეგატივი 5 წუთს მოვათავსოთ ფორმალინის 2% ხსნარში, შემდეგ გავრეცხოთ წყლის დინებით და გავაშროთ. ამგვარი დათრიმლების უპირატესობა ის არის, რომ ნეგატივებზე გავლენას ვეღარ ახდენს ჰაერის 40 — 50° ტემპერატურა და ჰაერის ტენი.

როცა საჭიროა ნეგატივის სასწრაფოდ გაშრობა, უნდა გამოვიყენოთ პოტაშის ხსნარი. 100 მლ წყალში უნდა გავაზნათ 120 გ პოტაში და მასში 5 წუთის განმავლობაში მოვათავსოთ გარეცხილი ნეგატივი, შემდეგ ნეგატივის ზედაპირი შევამშრალთ საფილტრე ქაღალდით და გავწმინდოთ რბილი ქსოვილით. პოტაშით დამუშავების შედეგად ფოტოფენა ხდება გამძლე და ნეგატივის დაზიანება საშიშროებას აღარ წარმოადგენს.

ბეჭდვის შემდეგ ნეგატივის შენახვის დროს საჭიროა ნეგატივი ახლად დავასველოთ, გავრეცხოთ და გავაშროთ. ნეგატივის ზედაპირიდან პოტაშის მოსაცილებლად ნეგატივის ზედაპირს ვასველებთ წყლით და შემდეგ ჩამოვრეცხავთ წყლის მცირე რაოდენობით, რათა ფოტოფენის და პოტაშის კონცენტრაცია სწრაფად არ შეიცვალოს. თუ წყლის დიდი რაოდენობით ვიმოქმედებთ, ე. ი. ნეგატივს მოვათავსებთ ისეთ ჰერმეტიკში, სადაც ბევრი წყალი ასხია, მოსალოდნელია ფოტოფენაზე გაჩნდეს ბადისებური სახის ბზარები, რის გამოც შემდეგი პროცესების შესასრულებლად ნეგატივი უფარგისი ხდება.

ნეგატივის გაძლიერება

ნეგატივის გაძლიერება წარმოებს იმ შემთხვევაში, თუ გამოსახულება მკრთალად მიიწვ მოჩანს. გამოსახულების სიძკრთაღე გამოწვეულია: 1) გადაღების მცირე კონტრასტულობით და 2) ნეგატივის არასრული გამომგლავნებით. ნეგატივის ოპტიკური სიმკვრივის გასაძლიერებლად იხმარება ორი ძირითადი მეთოდი: 1) რომელიმე ლითონის დაღექვა ლითონვერცხლის ზედაპირზე; 2) ნეგატივის ფერის გაძლიერება, რასაც ვაღწევთ სინათლის მოქმედების შედეგად.

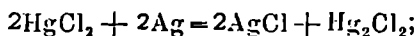
ყველაზე უფრო გავრცელებულია ვერცხლისწყლით გაძლიერება, რომელიც ხდება სულემის დახმარებით. ამ მეთოდის ნაკლი ის არის, რომ სულემა მომწამლავი ნივთიერებაა და საფრთხილო მოსახმარია. პროცესი მიმდინარეობს ორ სტადიად: ჯერ წარმოებს ნეგატივის გათეთრება, შემდეგ გაშავება.

გათეთრებისათვის უნდა ვიხმაროთ ხსნარი შემადგენლობით:

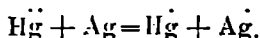
სულემა .	60 გ
ცხელი წყალი .	1000 მლ
მარილმჟავა	4 მლ

მარილმზავას ვუმატებთ წყლის და სულემის ხსნარს, მისი გაცივების შემდეგ.

ნეგატივის გათეთრების დროს ფოტოგრაფიული გამოსახულების ლითონვერცხლის შავი ადგილები იქანება ქლორვერცხლად და თეთრდება, სულემა კი აღდგება თეთრი ფერის კალომელად

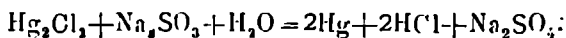


იონების სახით იქნება



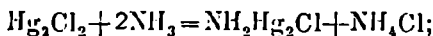
გაშაგებისათვის მიღებულია ხსნარი სხვადასხვა შემადგენლობით: 10%-ანი ნატრიუმის სულფიტი, ჰიდროქინონის სამელაენი, ჰეაუნმზავარკინის სამელაენი, წყალში გახსნილი ამიაკი.

ნატრიუმის სულფიტით აღდგენის რეაქცია მიმდინარეობს ამგვარად



რეაქციის შედეგად გამოიყოფა ლითონვერცხლისწყალი, რომელიც აწარმოებს გამოსახულების გაძლიერებას. სამელაენების ხმარების დროსაც გამოიყოფა ლითონვერცხლი და ლითონვერცხლისწყალი.

ამიაკის ხმარების დროს მივიღებთ ასეთ რეაქციას:

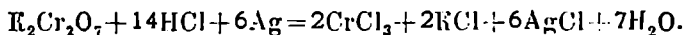


რეაქციის შედეგად მიღებულ ნერთს — $\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{Cl}$ აქვს შავი ფერი.

ნეგატივის გაძლიერების კარგ შედეგს იძლევა ქრომიანი გამაძლიერებელი. გათეთრება წარმოებს შენდები სახის ხსნარით:

ორქრომიანი კალიუმი	10 გ
ნარილმზავა	5—15 მლ
წყალი	. 1000 მლ

ხსნარში რაც უფრო მეტია მარილმზავა, მით უფრო სწრაფად წარმოებს გათეთრება. მზავას რაოდენობაზე დამოკიდებულია აგრეთვე გაძლიერებაც: როცა მზავა არის 7—9 მლ, გაძლიერება დიდია, 12—15 მლ დროს—საშუალო, ხოლო 19—22 მლ დროს—სუსტი. გათეთრების პროცესის დროს წარმოებს ვერცხლის დაქანება და ქლორვერცხლად გარდაქმნა



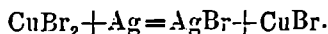
გათეთრებულ ნეგატივს რეცხავენ, ამუშავებენ 10%-იანი კალიუმის მეტაბისულფიტის ან 9%-იანი ნატრიუმის ბისულფიტის ხსნარში. ასეთი დაქუშავებით იზრდება გაძლიერების ხარისხი. გაშაგების დროს სამელაენ-

ნის ზოქმედებით ქლორვერცხლი უქანვე აღდგება ლითონვერცხლად.

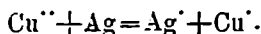
შტრიხოვანი ნეგატივების გაძლიერება შეიძლება ვაწარმოოთ სპილენძის გამაძლიერებლით, რომლის შემადგენლობაში შედის:

სპილენძის შაბიამანი	120 გ
ბრომკალიუმი	40 გ
წყალი .	1000 მლ

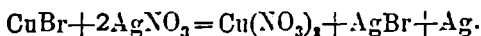
გათეთრების ქიმიური რეაქცია წარმოებს ამგვარად



ონების სახით იქნება



გათეთრებული ნეგატივი 1 წუთს უნდა ვერცხოთ წყალში, შემდეგ გავაშაოთ 10%-იან ვერცხლის ნიტრატში



ნეგატივების გაძლიერების დროს, რომ არ დაზიანდეს ფოტოფენის ელატინი და ქვესადები, საჭიროა შევასრულოთ ზოგიერთი დამატებითი პროცესი:

1. ნეგატივების დათრიმლვა ხსნარით, რომელშიაც შედის:

ფორმალინი (40%-იანი)	10 მლ
უწყლო სოდა	5 გ
წყალი	. 1000 მლ

2. ნეგატივების გაძლიერება ვაწარმოოთ გამომჟღავნების, ფიქსირების და გარეცხვის შემდეგ.

3. გათეთრებული ნეგატივების დამუშავება ვაწარმოოთ ამიდოლის საშეღავნში, რომელშიაც არ შედის ტუტოვანი ნივთიერება:

უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	. 25 გ
ან კრისტალური ნატრიუმის სულფიტი .	50 გ
ამიდოლი .	5 გ
წყალი .	. 1000 მლ

ამიდოლის შერევა ხსნარში წარმოებს ხსნარის გამოყენების წინ, რადგანაც ეს ნივთიერება ხსნარში მალე ფუქდება და დამზადებულ ხსნარის გაჩერება არ შეიძლება.

ნეგატივის დასუსტება

ნეგატივის დასუსტება ეწოდება ისეთ პროცესს, როდესაც ვამცირებთ გამოსახულების მეტად დიდ სიმკვრივეს ლითონვერცხლის ნაწილების მოცილებით.

მოქმედების ხასიათის მიხედვით შემსუსტებელი ნივთიერებანი იყოფა სამ ჯგუფად:

1. სუბტრაქტული წესუსტება, როცა ოპტიკური სიმკვრივე მცირდება ერთნაირი სიდიდით, ხოლო კონტრასტი შეუცვლელი რჩება.

2. პროპორციული წესუსტება, როცა ოპტიკური სიმკვრივე მცირდება პროპორციული თანაბრობით, რის შედეგად მცირდება კონტრასტი და გამოსახულება შერბილდება.

3. სუპერპროპორციული წესუსტება, — რაც უფრო დიდია ოპტიკური სიმკვრივე, მით უფრო ძლიერ შესუსტდება და გამოსახულება მნიშვნელოვნად შერბილდება.

სუბტრაქტული წესუსტების დროს იხმარება ორი ხსნარი:

პირველი ხსნარი

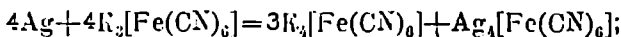
წითელი სისხლი: ნარილი	100 გ
წყალი	. 1000 მლ

მეორე ხსნარი

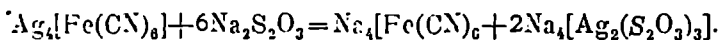
კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	100 გ
წყალი	. 1000 მლ

პირველი ხსნარის 1 ნაწილი უნდა შევურიოთ მეორე ხსნარის 13 ნაწილში და მივიღებთ სამუშაო ხსნარს.

ქიმიური რეაქციის დროს ლითონვერცხლი იგანგება წითელი სისხლის მარილით



$Ag_4[Fe(CN)_6]$ ნივთიერება წყალში არ იხსნება, სამაგიეროდ იხსნება ჰიპოსულფიტში



წარმოშობილი კომპლექსური მარილი კი ფოტოფენას ჩამოსცილდება ჰაპორეცხვის დროს.

პროპორციული შესუსტებაც წარმოებს ორი ხსნარით:

პირველი ხსნარი

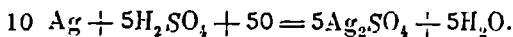
წითელი სისხლის მარილი	5—10 გ
წყალი	1000 მლ

მეორე ხსნარი

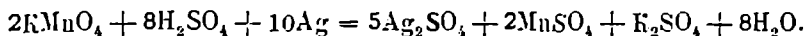
კრისტალური ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	. . 50 — 200 გ
წყალი	1000 მლ

ნეგატივები 1 — 4 წუთს ჯერ მუშავდება პირველ ხსნარში, შემდეგ 5 წუთს მეორე ხსნარში.

ქიმიური რეაქცია ვითარდება ამ სახით:



საერთო სახით მიიღება ასეთი რეაქცია



ს უ პ ე რ პ რ ო პ ო რ ც ი უ ლ ი შესუსტება წარმოებს ხსნარით, რომელშიაც შედის:

გოგირდმჟავაანონიუმი	20 გ
კონცენტრირებული გოგირდმჟავა .	1 ნლ
გამოხდილი წყალი	. 100 ნლ

ხსნარის მოქმედების ძალა რომ შევამციროთ, მას უნდა დავუმატოთ ქლორნატრიუმის მცირე რაოდენობა: ხსნარის 100 მლ შეიძლება დავმატოს 1%-იანი ქლორიანი ხსნარის 1,5 — 2 მლ. ასეთი ხსნარი გამსლე არ არის, რისთვისაც საჭიროა მისი გამოყენება დამზადებისთანავე.

ნეგატივების შესუსტება უნდა ვაწარმოოთ მათი გარეცხვის და გაშრობის შემდეგ. გამშრალი ნეგატივები წინასწარ ნახევარი საათით უნდა მოვათავსოთ წყალში, შესუსტების პროცესის შემდეგ საჭიროა 15 წუთს ვრეცხოთ წყლის დინების ქვეშ ან გამოვცვალოთ წყალი რამდენიმეჯერ.

ნეგატივის ე უ ა ლ ის მოსაცილებლად საჭიროა გამოვიყენოთ ხსნარი:

მანგანუმჟავაკალიუმი	1 გ
წყალი	. 1000 მლ

ნეგატივი შესუსტების პროცესის ჩატარების შემდეგ, მიიღებს ყავისფერს. ამის საწინააღმდეგოდ უნდა გამოვიყენოთ 2 — 3 %-ანი ნატრიუმის ბისულფიტის ხსნარი. დასასრულს ხეგატივი უნდა გავრეცხოთ და გავაშროოთ.

ნეგატივების დამატებითი დამუშავება, გაძლიერება ან შესუსტება უნდა ვაწარმოოთ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც განმეორებითი გადაღება შეუძლებელია, გამოსახულების დაბეჭდვა კი აუცილებელია. ნეგატივების ასეთი დამუშავების დროს, მაგალითად, გაძლიერებისას, ყოველთვის იზრდება მარცვლოვანება, შესუსტებისას კი, სიმკვრივის შემცირებასთან ერთად, გამოსახულების ჩრდილიანი ნაწილებიც ქრება. შესაძლოა ნეგატივები უარესადაც დაზიანდეს. ამისათვის ნეგატივების დამატებითი დამუშავება სახიფათოა, გაძლიერებისა და შესუსტების პროცესი უნდა

გამოვიყენოთ გამოუვლი მდგომარეობის დროს. ასეთი პროცესების ჩატარებისას უნდა გამოვიჩინოთ დიდი დაკვირვება და სიფრთხილე, რათა ნაკლოვანი მხარეების გამოსწორების მაგივრად არ დავაზიანოთ გამოშლავნებული და ფიქსირებული ნეგატივები.

რადიკალიზაციის ფორმალური მეთოდი და ტონების წარმოქმნის თეორია

რადიკალიზაციის ფორმალური მეთოდის პრინციპი.
სენსიტივიზაციის შემოწმება

ფორმალური მეთოდი თავისი შემადგენლობითა და ხასიათით ერთნაირი არ არის. ამისათვის ფორმალურ მეთოდს აქვს განსხვავებული შექმნის ნიშნები, გამოსახულების ჩრდილებისა და მეთოდის გადაცემა და სხვა. ფორმალური პროცესების მაღალხარისხოვნად შესრულებისათვის საჭიროა შექმნის ნიშნების მასალის ხასიათისა და თვისებების ცოდნა. ამ მხრივ განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს შექმნის ნიშნების შესაბამისად, გამოკვლევის რადიკალიზაციის მეთოდებს. თეორიულ ფორმალურში ამ მეთოდების გამოყენებას სენსიტივიზაციის ეწოდება, რაც სიტყვა-სიტყვით ნიშნავს „მეგობრობის გაზომვას.“ ასეთი გაზომვის მეთოდების შესწავლას უაღრესად პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ფორმალურის რადიკალიზაციის მეთოდების საფუძველი ჩაუყარეს ხერტერმა და დრიფილდმა 1890 წელს, როცა გამოქვეყნდა მათი გამოკვლევები ფორმალური მეთოდის მახასიათებელი მრუდის შესახებ. ეს მრუდი წარმოადგენს იძლევა ფორმალური მეთოდის რადიკალიზაციის სინათლის რადიკალიზაციის ურთიერთდამოკიდებულების შესახებ. თანამედროვე სენსიტივიზაციის ფორმალური პროცესების ერთ-ერთი მეთოდური დარგია, რომელიც შეისწავლის შექმნის ნიშნების თვისებებს.

სენსიტივიზაციის შესწავლისათვის საჭიროა ვიცოდეთ, თუ რა სიდიდეს წარმოადგენს სინათლის ძალის ერთეული. ასეთი ერთეულის სიდიდის განსაზღვრა პირობითია. მაგალითად, ინგლისში სინათლის ძალის ერთეულად მიღებულია სპერმატის ცხიმის სტანდარტული სანთელი; სხვა ქვეყნებში დიდი ხნის განმავლობაში მიღებული იყო გეფერ-ალტენეის სანთელი, რომელიც სიდიდით ეთანასწორებოდა ამილქმრის ეთერის სტანდარტული ნათურის ნათებას. 1909 წლიდან საზღვარგარეთ შემოღებულ იქნა ახალი საზომი ერთეული, საერთაშორისო სანთელი,

რომელიც მიღებულია საბჭოთა კავშირშია. საზომ ერთეულთა შორის სიდიდის მიხედვით არსებობს ასეთი დამოკიდებულება:

საერთაშორისო სანთელი .	. 1,0
გაფნერ-ალტენეის სანთელი	. 0,9
ინგლისური სანთელი .	. 1,03

ერთი საერთაშორისო სანთელი დაახლოებით ეთანასწორება იმ სინათლის $\frac{1}{20}$ ნაწილს, რომელსაც ასხივებს გადნობილი პლატინის ზედაპირის ერთი კვადრატული სანტიმეტრი გამყარების პროცესში. ერთსანთელიანი ეტალონის დამზადება ძნელია, ამისათვის ამზადებენ რამდენიმესანთელიან სპეციალურ ელექტრონათურებს. სინათლის წყაროს მიერ ერთ წამში გამოსხივებული სინათლის ენერგია სინათლის ნაკადია, რომლის საზომი ერთეულია ლუმენი. ლუმენი არის ერთი საერთაშორისო სანთლის მიერ ერთეულსაბულოვანი კუთხის — სტერადიანის შიგნით შექმნილი სინათლის ნაკადი. ერთი წერტილის ირგვლივ, ე. ი. ერთ სფეროში არის მოთავსებული 4π სტერადიანი, ამისათვის ერთი სანთლის სინათლის ნაკადი იქნება 4π ლუმენი; I სანთლის სრული ნაკადი

$$F = 4\pi I.$$

თუ სხეულის რომელიმე S ზედაპირზე ეცემა სინათლის ნაკადი, მაშინ ფართობის ერთეულზე სინათლის ნაკადი

$$E = \frac{F}{S};$$

ამ სიდიდეს განათებულობა ეწოდება. განათებულობა დამოკიდებულია სინათლის წყაროს ძალაზე და იმ მანძილზე, რომლითაც იგი დაშორებულია სინათლეს წყაროდან. სფეროს ცენტრში მყოფი სინათლის წყაროს მიერ გამოწვეული R -რადიუსიანი სფერული ზედაპირის განათებულობა

$$E = \frac{F}{S};$$

რადგანაც $F = 4\pi I$, ხოლო სფეროს ზედაპირის ფართობი $S = 4\pi R^2$, ამისათვის

$$E = \frac{4\pi I}{4\pi R^2};$$

$$E = \frac{I}{R^2}.$$

თუ ერთი და იგივე წყაროს I ძალა მუდმივია, მაშინ წერტილოვანი სი-

ნათლის წყაროს მიერ გამოწვეული განათებულობა უქუპროპოროციულია სინათლის წყაროდან მანძილის კვადრატისა.

თუ $I=1$ სანთელს და $I_0=1$ მეტრს, მაშინ

$$E = 1 \frac{\text{სან}}{\text{მ}^2}.$$

განათებულობის ასეთ ერთეულს ლუქსი ეწოდება.

ლუქსი არის ისეთი განათებულობა, რომელსაც მოგვეცემს 1 სანთელი 1 მეტრით დაშორებულ მანძილზე სინათლის სხივებისადმი პერპენდიკულარულად დაყენებულ ზედაპირზე.

თუ $F=1$ ლუმენს და $S=1\text{მ}^2$, მაშინ

$$E = 1 \frac{\text{ლუმ}}{\text{მ}^2} = 1 \text{ ლუქსი};$$

მეორენაირად, ლუქსი არის ისეთი ზედაპირის განათებულობა, რომლის 1 მ² ფართობზე თანაბრად განაწილებულია 1 ლუმენი სინათლის ნაკადი.

განათებულობის სიმძლავრესთან ერთად მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე განათების ხანგრძლიობას. განათებულობისა და ხანგრძლიობის დამოკიდებულება განისაზღვრება ექსპოზიციით ანუ განათებულობის რაოდენობით

$$H = E \cdot t,$$

სადაც H არის ექსპოზიცია ანუ განათებულობის რაოდენობა;

E — ზედაპირის განათებულობა ლუქსებში ან მეტრ-სანთლებში;

t -- განათებულობის დრო წამებში.

განათებულობის ერთეული არის სანთელი-მეტრი-წამი ანუ ლუქსი-წამი.

სინათლის წყარო სენსიტომეტრიაში. მძვპოზიციის მოდულატორი

ფოტოგრაფიული ფენის ზედაპირზე სხვადასხვანაირ გავლენას ახდენს სინათლის წყაროები და სინათლის სპექტრალური შემადგენლობა. ამისათვის სენსიტომეტრიაში უნდა გამოვიყენოთ ისეთი სინათლის წყარო, რომელიც განსაზღვრავს სინათლის ძალასაც და სინათლის სპექტრალურ აღნაგობასაც. ფოტოგრაფიული შუქმგრძნობიარე მასალა უმთავრესად გამოყენებულია დღისით. ამიტომ შერჩეული სინათლის წყარო უნდა ეთავსებოდეს დღის საშუალო სინათლეს. მაგრამ თანამედროვე სინათლის ტექნიკა ჯერჯერობით არ იძლევა ისეთ წყაროს, რომელიც გვაძლევდეს დღის სინათლის შესაბამის სპექტრს. ამ მდგომარეობის გამოსასწორებ-

ლად ხმარობენ სპეციალურ შუქფილტრს, რომლის გამოყენებაც იძლევა სინათლის ენერგიის განაწილების ისეთ საშუალებას, რაც ენახევეა დღის სინათლის მოქმედებას. რადგანაც გამოსხივების სპეციალურ დახასიათებას იძლევა სინათლის წყარო ფერადი ტემპერატურით, სენსიტომეტრს სინათლის წყაროც უნდა ხასიათდებოდეს ფერადი ტემპერატურით. ფოტოგრაფების საერთაშორისო კონგრესზე 1925 წელს პარიზში და 1928 წელს ლონდონში მიღებულ იქნა ისეთი სინათლის წყარო, რომლის ფერადი ტემპერატურა იყო 2360°, გამოიყენეს შუქფილტრი, სინათლის ენერგია განაწილეს იმგვარად, რომ მისი გამოსხივება იცვლებოდა 350 – 700 მმკ ფარგლებში და რომელიც ეთანაზრებოდა დღის საშუალო სინათლის ენერგიის განაწილებას. სინათლის წყაროს ასეთ პირობებს აკმაყოფილებს აცეტილენის ალი და ვოლფრამის ელექტრონათურა; შედარებით უფრო ადვილი სახმარია უკანასკნელი სახის ელექტრონათურა.

რ. დევისის და კ. ჯიბსონის წინადადებით გამოყენებულ იქნა თხევადი სპილენძ-კობალტის შუქფილტრი. ეს ნივთიერება შეიცავს ორ ხსნარს, რომლებიც მოთავსებულია სპეციალურ მინაში. თითოეული ხსნარის სისქე არის 1 მმ, ხოლო სამი მინის სისქე. რომელთა შუა მოთავსებულია ხსნარები, აღწევს 2,5 მმ. ხსნარების შემადგენლობა ასეთია:

პირველი ხსნარი

გოგირდმჟავასპილენძი	3,707 გ
ნანიტი .	3,707 გ
პირიდინი .	30,0 მლ
გამოხდილი წყალი	1000 მლ

მეორე ხსნარი

გოგირდმჟავაკობალტისა და ამონიუმის ორზეი მარილი	26,827 გ
გოგირდმჟავასპილენძი	. 27,180 გ
გოგირდმჟავა	. 10,0 მლ
გამოხდილი წყალი .	. 1000 მლ

სენსიტომეტრიისათვის გამოყენებულია ფოტო-კინო ინსტიტუტში დამზადებული ნორმალური სინათლის წყაროს აპარატი, რომელიც შედგება: ვოლფრამის ელექტრონათურის, ცხევადი შუქფილტრის, ანპერმეტრის, ვოლტმეტრისა და რეოსტატისაგან. ვოლფრამის ელექტრონათურის სინათლის წყაროდან წამოსული ენერგია შუქფილტრში გავლის შემდეგ მცირდება შუქფილტრის გატარების კოეფიციენტის მიხედვით. მაგალითად, ვოლფრამის ელექტრონათურა თუ იძლევა 10 საერთაშორისო სანთელს, შუქფილტრის კოეფიციენტის სიდიდე კი არის 0,1352, მაშინ შუქფილტრიდან გამოსული სინათლის ძალა იქნება

განსაზღვრული ექსპოზიციის დროს სინათლის წყაროს მიღებული ძალა მუდმივი რჩება.

როგორც ვიცით, ექსპოზიცია განისაზღვრება განათებულობის და დროის სიდიდით. მოცემულ სიდიდეთა ცვლილებებით ვღებულობთ:

1) დროის მუდმივობისას --

$$H_1 = E_1 t;$$

$$H_2 = E_2 t;$$

$$H_n = E_n t.$$

2) მუდმივი განათებულობის დროს --

$$H_1 = E t_1;$$

$$H_2 = E t_2;$$

$$H_n = E t_n.$$

3) განათებულობისა და დროის ცვალებადობის შემთხვევაში --

$$H_1 = E_1 t_1;$$

$$H_2 = E_2 t_2;$$

$$H_n = E_n t_n.$$

პირველ შემთხვევაში, როცა $t = \text{const}$, ვღებულობთ

$$H_1 : H_2 : \dots : H_n = E_1 t : E_2 t : \dots : E_n t = E_1 : E_2 : \dots : E_n.$$

მეორე შემთხვევაში, როცა $E = \text{const}$, ვღებულობთ

$$H_1 : H_2 : \dots : H_n = E t_1 : E t_2 : \dots : E t_n = t_1 : t_2 : \dots : t_n.$$

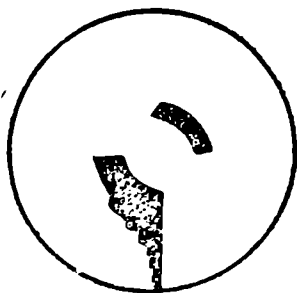
პირველ შემთხვევაში ექსპოზიციები განისაზღვრება განათებულობის სკალით, მეორე შემთხვევაში -- დროის სკალით.

ასეთ სენსიტომეტრულ ხელსაწყოებს, რომელთა საშუალებით ხდება ექსპოზიციების გამომანგარიშება განათებულობის და დროის მუდმივობის შენახვევებში, ექსპოზიციის მოდულატორები ეწოდება.

ოპტიკური სოლის თეორია

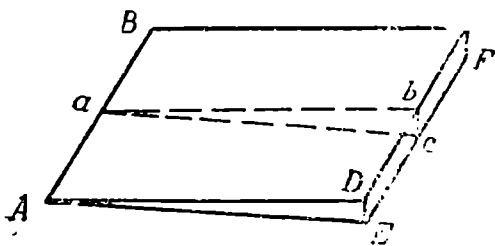
ექსპოზიციის მოდულატორის ერთსახეობას წარმოადგენს ხერტირის და დრიფილდის ხელსაწყო. ამ ხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ განათებულობა მუდმივია, ხოლო დრო ცვალება-

დი. ხელსაწყოს უმაჯრესი ნაწილია ჰორიზონტალურ ღერძზე მბრუნავი ლითონის დისკო (ნახ. 25). დისკოს აქვს განაჭერი ცხრა საფეხურით, რომლებიც ქმნის სხვადასხვა ზომის კუთხეს. ხელსაწყობის უმეტეს ნაწილში კუთხეების სიდიდეები იცვლება გეომეტრიული პროგრესიის მიხედვით, რის გამოც სენსიტომეტრს მოდულატორი ეწოდა. ყველაზე დიდი კუთხეა 180° , ხოლო ყველაზე მცირე — $0,703^\circ$. დისკოს ერთ მხარეზე მჭიდროდ არის მიმაგრებული გამოსაცდელი ფირფიტა, მეორე მხარეზე კი იმყოფება დისკოდან თანაბრად დაცილებული სინათლის წყაროები. დისკოს ბრუნვის დროს გახსნილ ფირფიტაზე სხვადასხვა განაჭრების



ნახ. 25.

გამო წარმოიშვება განსხვავებული ექსპოზიციები. ექსპოზიციების ცვლილებაც განისაზღვრება გეომეტრიული პროგრესიით, შემცირება ან გადიდება ხდება ორ-ორჯერ. პირველი ექსპოზიცია თუ არის 40 სანთელი-მეტრი-წამის თანასწორი, მეორე იქნება 20 სანთელი-მეტრი-წამის სიდიდის, ხოლო უკანასკნელი იქნება 0,156 სანთელი-მეტრი-წამის ტოლი. ასეთი ხელსაწყოთი ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ დროის სკალის მნიშვნელობა. მსგავსი მოდულატორები შეიქმნა შემდეგ პერიოდშიაც: 1928



ნახ. 26.

წელს ამერიკის სტანდარტის ბიუროს მიერ, 1931 წელს კი ისტმენ-კოდაკი III-B, რომელიც გამოყენებულია კინომრეწველობაში.

მეორე ტიპის მოდულატორად, რომლითაც იქმნება განაჯებულობის სკალა, ითვლება 1911 წელს გოლ-

დბერგის მიერ შექმნილი ოპტიკური სოლი. ოპტიკური სოლი მზადდება სპეციალური მინისაგან, იმგვარად, რომ $ABCD$ და $ABFE$ სიბრტყეების შეერთება იძლევა კუთხეს (ნახ. 26), ხოლო ამ სოლიდან თუ ამოვჭრით abc ნაწილს, მივიღებთ სამკუთხედს (ნახ. 27). ასეთ სამკუთხედისებურ სოლში გატარებული სინათლის სხავეების ძალა შე-

იკვლება სოლის სისქის მიხედვით. სოლის ოპტიკური სიმკვრივე იკვლება ლამბერტ-ბერის კანონის საფუძველზე. როგორც ვიცით

$$D = kcd,$$

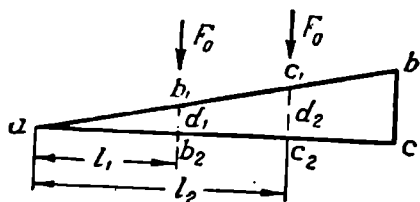
სადაც k არის მოლეკულარული კოეფიციენტი;

c — მისი კონცენტრაცია;

d — ფენის სისქე.

რადგანაც ამ შემთხვევაში c კონცენტრაცია მთელი სოლისათვის ერთნაირია, შეიძლება დავეწეროთ

$$D = kcd = kd.$$



ნახ. 27.

სამკუთხედების მსგავსების გამო მივიღებთ

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{l_2}{l_1};$$

სოლის სისქე განისაზღვრება

$$d = k_1 l;$$

ამის მიხედვით

$$D = kd = k k_1 l = k_D l;$$

თუ სოლის ნაპირის სიმკვრივე ნულის ტოლი არ არის, მაშინ

$$D_n = D_0 + k_D l.$$

k_D კოეფიციენტს ეწოდება სოლის მუდმივა.

როდესაც $l = 1$ სმ, მაშინ

$$k_D = D.$$

სოლის მუდმივა რიცხობრივად გვიჩვენებს სოლის ოპტიკური სიმკვრივის ზრდას, სოლის სიგრძის ყოველი სანტიმეტრის მიხედვით. მაგალითად, თუ $k_D = 0, 5$, მაშინ სიმკვრივე სოლის ყოველ სანტიმეტრზე იქნება მზარდი: 0, 5; 1, 0; 1, 5; 2, 0; 2, 5 და ა. შ. თუ ცნობილია სოლის კონტრასტულობა, შეიძლება განვსაზღვროთ სოლის გაუმკვირობა და გამკვირვალობა. თუ $k_D = 0, 5$, მაშინ:

D	$\frac{F}{F_0}$	$\frac{F_0}{F}$
0 .	. 1,00 .	1,00
0.5 .	. 3,16 .	0,32
1.0 .	. 10,00 .	0,10
1.5 .	. 31,60 .	0,30
2,0 .	100,00 .	0,01

სოლის მინა შეიძლება იყოს შეღებილი, ან ზედაპირზე ჰქონდეს გადა-
კრული ფერადი ქელატინი. ზოგჯერ იხმარება საფეხურიანი ოპტიკური
სოლი (ნახ. 28). ასეთ შემთხვევაში სოლის სიმკვრივე იზრდება არა-



ნახ. 28.

თანაბრად, არამედ ნახტომისებურად, სოლის საფეხურების მიხედვით.
ასეთი საფეხურიანი სოლის შესახებ წარმოდგენას იძლევა მე-16 ცხრილი.

ცხრილი 16

ფირფიტის ნაწილი	სოლის საფეხური	სოლის ოპტი- კური სიმკვ- რივე	გამჭვირ- ვალობა	ექსპოზიცია
1	1	0	1,00	1,00
2	2	0,25	1,78	0,56
3	3	0,50	3,16	0,32
4	4	0,75	5,62	0,18
5	5	1,00	10,00	0,10
6	6	1,25	17,78	0,056
7	7	1,50	31,62	0,032
8	8	1,75	56,23	0,018
9	9	2,00	100,00	0,010

ამ ცხრილიდან ირკვევა, რომ გამჭვირვალობისა და ექსპოზიციის სიდი-
დენი ერთმანეთის თანასწორია.

ფოტოგრაფიულ პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება გოლდბერგის სოლი.
ამ ხელსაწყოს უპირატესობა აქვს ხერტერისა და დრიფილდის ხელსა-
წყოსთან შედარებით. ერთი დიდი უპირატესობა ის არის, რომ ხერტე-
რისა და დრიფილდის ხელსაწყოს დიაპაზონი, გოლდბერგის სოლთან შე-
დარებით, მცირეა. პირველ ხელსაწყოში დიაპაზონი განისაზღვრება კუ-
თხეების შეფარდებით

$$180^{\circ}:0,703^{\circ} = 256.$$

მეორე ხელსაწყოს სოლის დიაპაზონი აღნიშნულზე ბევრად მეტია, რის
გამოც სოლის გამოყენება მრავალმხრივად არის შესაძლებელი.

გამოკვლავნება სენსიტომეტრიაში

სენსიტომეტრული დაკვირვებების დროს უნდა გამოვიყენოთ ისეთი სამეღაენი, რომელიც აკმაყოფილებს ჩვეულებრივი სამეღაენის საერთო პირობებს: გამომეღაენების ხანგრძლიობას და ტემპერატურას. მხოლოდ ამ შემთხვევაში შეგვიძლია მოვახდინოთ ფოტოგრაფიული ფენის რაოდენობითი შეფასება. 1928 წელს, ლონდონში, ფოტოგრაფების მე-8 კონგრესზე, შეპარდის და ტრიველის წინადადებით მიღებულ იქნა სენსიტომეტრული სამეღაენი, რომლის შემადგენლობაც ასე განისაზღვრება:

მარილმჟავაპარამინოფენოლი	7,25 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	. 50,00 გ
უწყლო სოდა	. 50,00 გ
გამოხდილი წყალი	. 1000 მლ

ამავე კონგრესზე დადგენილ იქნა გამომეღაენების ნორმალური ტემპერატურაც — $18^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$. გამოყენებული სამეღაენი ხსნარი უნდა იყოს ახალი, საცდელ მასალას უნდა ფარავდეს 1 სმ სისქით. ხსნარში ბრომიდის კონცენტრაცია უნდა აღწევდეს 0,01 გ 100 მლ, რომელიც საკმარისია 9×12 სმ ფოტოგრაფიული ფენის დასამუშავებლად. ამავე კონგრესზე მიღებულ იქნა ფიქსირების პირობებიც.

1935 წელს პარიზში ჩატარებულ ფოტოგრაფების მე-9 კონგრესზე, ერთი სტანდარტული სამეღაენი ხსნარის მაგივრად დადგენილ იქნა სხვადასხვა სტანდარტული ხსნარი, სხვადასხვა მგრძობელობის ფოტოფენის გამოსამეღაენებლად. ამ დადგენილებამ ხელი შეუწყო სენსიტომეტრული დაკვირვებების სიზუსტეს და მიღებული შედეგების განხორციელებას პრაქტიკულ მუშაობაში.

ამ ბოლო დროს მიღებული სენსიტომეტრული სამეღაენი ხსნარების ხმარების ტემპერატურა 20° . ამ ხსნარების შემადგენლობა დანიშნულების მიხედვით ასეთია:

სენსიტომეტრული სამეღაენი № 1, ფოტოფირიტიტებისა და ფოტოქალაღებისათვის:

მეთოლი	1,0 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	26,0 გ
ჰიდროქინონი	5,0 გ
ბრომკალიუმი	1,0 გ
უწყლო სოდა	20,0 გ
გამოხდილი წყალი	1000 მლ

სენსიტომეტრული სამეღაენი № 2 ფოტო და კინოფირების ნეგატივისათვის:

მეთოლი . . . . .	. 8,0 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	. . . . . 125,0 გ

უწყლო სოდა	. 5,75 გ
ბრომკალიუმი .	. 2,5 გ
გამოხდილი წყალი . . . . .	. 1000 მლ
სენსიტომეტრული სამკვლევი № 3, პოზიტივის ფირებისათვის:	
მეთოლი . . . . .	. 2 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	. 20 გ
ჰიდროქინონი	. 6 გ
უწყლო სოდა	. . 26 გ
ბრომკალიუმი	. . . 4,5 გ
გამოხდილი წყალი .	. 1000 მლ

მეავე ფიქსაჟი:

ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი . .	. 250,0 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი .	. 25,0 გ
გოგირდმჟავა .	. 5 მლ
მდულარე წყალი . . . . .	. 1000 მლ

სენსიტომეტრული გამომკვლევების დრო განისაზღვრება აგრეთვე: ფოტოფენის შუქმგრძობელობით. ფოტოფენამ რომ მიიღოს გარკვეული სიშავე, ერთი სახის მასალას ნაკლები დრო სჭირდება, მეორეს კი — მეტი. ამისაივის სხვადასხვა მასალისათვის დადგენილია სხვადასხვა დრო, მაგალითად, 2, 4, 8, 10 წუთი და ა. შ.

ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა

ფოტოგრაფიული მოქმედების ეფექტის განსაზღვრელია ფოტოფენის ფართობის ერთეულზე მყოფი ლითონვერცხლის რაოდენობა. ლითონვერცხლის რაოდენობა თავის მხრივ განსაზღვრავს ფოტოფენის ოპტიკურ სიმკვრივეს. ოპტიკური სიმკვრივის შესამოწმებლად საჭიროა მოვახდინოთ. ფოტოფენის სიშავის გაზომვა. გამომკვლევებული ფოტოფენის სიშავის სიძლიერე უშუალოდ განსაზღვრავს ფოტოფენის ოპტიკურ სიმკვრივეს. ფოტოფენის სიშავის რაოდენობრივი სიდიდის გამოსარკვევად საჭიროა გამოვიყენოთ ფოტომეტრები. უმარტივესია ბუნზენის ფოტომეტრი, რომლის მუშაობაც დაწყარებულია შემდეგ პრინციპზე: იგი წარმოადგენს ქალაღდის მცირე ეკრანს შუაზე მოთავსებული ზეთის ლაქათი. ფანჯრის წინ ლაქა შავ ფონზე გამოჩნდება. თეთრად, რადგანაც ზეთიანი ქალაღდი უფრო მეტ სინათლეს ატარებს, ვიდრე სუფთა ქალაღდი. თუ იგივე ეკრანს ფანჯრის საწინააღმდეგოდ დავიჭერთ და შევხედავთ ფანჯრის მხრიდან, მაშინ ლაქა შავად გამოჩნდება თეთრ ფონზე, რადგანაც ზეთის ლაქა მეტ სხივებს გაატარებს და ცოტას არეკლავს ჩვენსკენ, ვიდრე ქალაღდის მთელი ზედაპირი. ეკრანის ორივე მხრიდან თანაბრად განათების შემთხვევაში ზეთის ლაქა სრულეებით აღარ გამოჩნდება. თუ ერთი სინათლის წყაროს ძალა I_1 ცნობილია,

შეიძლება გავიგოთ მეორე სინათლის წყაროს ძალა I_2 . ბუნების ფოტომეტრი ლაქათი უნდა მოვათავსოთ სინათლის ამ ორ წყაროს შორის, ერთ-ერთი სინათლის წყაროს მოძრაობით უნდა მივალწიოთ იმას, რომ ლაქა აღარ გამოჩნდეს. ფოტომეტრიდან ასეთი სინათლის წყარომდე თუ არის R_1 მანძილი, ხოლო მეორე სინათლის წყარომდე R_2 მანძილი, მაშინ ეკრანის ორივე მხარეს განათებულობა იქნება

$$E_1 \doteq E_2;$$

მაგრამ

$$E_1 = \frac{I_1}{R_1^2}, \quad E_2 = \frac{I_2}{R_2^2};$$

ამისათვის

$$\frac{I_1}{R_1^2} = \frac{I_2}{R_2^2};$$

აქედან

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot R_2^2}{R_1^2}.$$

მანძილების გაზომვით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ მეორე სინათლის წყაროს ძალა.

სენსიტომეტრული ფოტომეტრი მუშაობს შემდეგ პრინციპზე: ვთქვათ, დაკვირვების საგანს წარმოადგენს ორი წრე, რომლისგან ერთი დაშტრიხულია—გაშევებულია. სინათლის წყარო ანათებს ამ წრეებს. განათებულობა ორივე წრის მიმართ არ იქნება ერთნაირი. განათებულობის გათანაბრებისათვის საჭიროა ერთი ან მეორე მიმართულებით შევამციროთ ან გავადიდოთ სინათლის ძალა. შემციობა შეიძლება ვაწარმოოთ სინათლის წყაროს გადაადგილებით ან სინათლის სხივების შთანთქმული სხეულის საშუალებით.

როგორც ცნობილია, ოპტიკური სიმკვრივე განისაზღვრება

$$D = \lg \frac{F_0}{F},$$

ზადაც F_0 არის სხეულის ზედაპირზე დაცემული სინათლის წყაროს ნაკადი,

F —სხეულიდან გამოსული სინათლის წყაროს ნაკადი.

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ოპტიკური სიმკვრივე არის ფუნქცია სხეულის ზედაპირზე დაცემული და სხეულიდან გამოსული სინათლის წყაროს ნაკადისა. დენსიტომეტრით, რომელიმე მეთოდის გამოყენებით, უნდა გავზომოთ ფუნქციონალური სიდიდეები და გავიგოთ ოპ-

ტიკური სიმკვრივე. არსებობს ასეთი გაზომვის პირდაპირი და ღიფერენციული მეთოდები.

პირდაპირი მეთოდის გამოყენების დროს ერთ სხივთოკონაში წარმოებს F_0 და F სინათლის წყაროს ძალის შედარება; ასეთი შედარების დროს ვაწარმოებთ სინათლის ძალის შემცირებას გაშვებით, ფოტოგრაფიული ფენის გამოშვლავებით.

ღიფერენციული მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში დაკვირვება წარმოებს ორ სხივთოკონაზე: ერთი სხივთოკონა უნდა დავაყენოთ შთანთქმელ შავ სხეულთან, მეორე კი გამოვიყენოთ შედარებისათვის. სინათლის ძალა შევამცირებთ ხელოვნურად სოლის საშუალებით. უკეთეს შედეგს იძლევა მეორე — ღიფერენციული მეოდი.

ამ მეთოდების გამოყენების მიხედვით განისაზღვრება სენსიტომეტრული ფოტომეტრების მოწყობილობა. ასეთ ფოტომეტრებს დენსიტომეტრები ეწოდება.

მხედველობითი და ფოტოგრაფიული დენსიტომეტრები

არსებობს სხვადასხვა სახის კონსტრუქციის დენსიტომეტრები. ისინი გამოყენების მიხედვით შეიძლება დავყოთ სამ ჯგუფად: 1) მხედველობითი (ვიზუალური, სუბიექტური); 2) ელექტრული (ობიექტური); 3) ფოტოგრაფიული.

მხედველობით ხელსაწყოებში ოპტიკური სიმკვრივის შემოწმება ხდება უშუალოდ შეუიარაღებელი თვალით. ელექტრული ხელსაწყოების ხმარების დროს სინათლის ალა უნდა შევამოწმოთ ფოტოელემენტის ან თერმოელემენტის ფენაში სინათლის გავლით, ფოტოგრაფიულ ხელსაწყოებში შემოწმებას ვახდენთ ფოტოგრაფიული გზით. უველაზე დიდი გამოყენება აქვს მხედველობით დენსიტომეტრებს.

მხედველობითი დენსიტომეტრები იყოფა ხუთ ჯგუფად: ოპტიკური სკამი, პოლარიზაციული, სოლისებური, დიაფრაგმული, გავარჯარებული ნათურა.

ოპტიკური სკამი წარმოადგენს ორ ერთმანეთის გვერდით მდებარე თეთრ ეკრანს, რომლებიც ნათდება პირდაპირმდებარე სინათლის წყაროთი; სინათლის წყაროები განლაგებულია ხელსაწყოს ღერძზე — ოპტიკურ სკამზე იმგვარად, რომ მათი სიკაშკაშე იყოს ერთნაირი. ერთი სინათლის წყაროს სხივები ამოწმებს სიშავეს, ამისათვის მისი ეკრანის სიკაშკაშე შემცირებულია. სიკაშკაშის გათანაბრებისათვის საჭირო იქნება მეორე სინათლის წყაროს გადაადგილება ხელსაწყოს ღერძის გასწვრივ. ამ საშუალებით ვავიგებთ სინათლის წყაროთა მანძილებს.

პოლარიზაციული დენსიტომეტრის მუშაობის პრინციპი ის არის, რომ აქ წარმოებს არა ერთი, არამედ ორივე სინათლის წყაროს შემცირება. ამ ხელსაწყოს მთავარი ნაწილებია ორი პოლარიზაციული

პრიზმა. პირველი პრიზმა უძრავია, ასრულებს პოლარიზატორის დანიშნულებას მასზე დაცემული სინათლის წყაროს სხივების კონისადმი. მეორე პრიზმა მოძრავია, ბრუნავს ღერძის გარშემო, ასრულებს ანალიზატორის დანიშნულებას, შემცირებული სხივებით კონისადმი. ამ დენსიტომეტრით მოცემული ზომები გამოიყენება ოპტიკაში ცნობილი მალის კანონის მიხედვით

$$F_b = F_a \cos^2 \alpha,$$

სადაც F_a არის პოლარიზაციული, ანალიზატორში შესული სინათლის ძალა;

F_b — ანალიზატორიდან გამოსული სინათლის ძალა;

α — შექმნილია პოლარიზაციის და ანალიზატორის სიბრტყეებით.

ოპტიკური სიმკვრივის გამოანგარიშება შეიძლება ფორმულით

$$D = 2 \lg \operatorname{tg} \alpha.$$

პოლარიზაციული დენსიტომეტრები უფრო ხშირად იხმარება ზუსტი გაზომვების ჩასატარებლად.

სოლისებურ დენსიტომეტრში სინათლის წყაროს ძალის შემცირება ხდება სინათლის სხივებისადმი პერპენდიკულარულად მდებარე მოძრავი სოლის საშუალებით. შავი ადგილების სიკაშკაშე შეიძლება გავათანაბროთ სოლის მოძრაობით, სოლის სკალით კი გავივებთ სიშავის ოპტიკურ სიმკვრივეს. 1899 წელს ჰარტმანის და 1910 წელს გოლდბერგის მიერ შექმნილ დენსიტომეტრებში შესამოწმებელი ფოტოფენის სიშავე მოთავსებულია ერთ სხივთკონაში, ხოლო გამზომი სოლი მეორე სხივთკონაში. 1924 წელს კეპსტაფისა და სხვათა მიერ შექმნილ დენსიტომეტრებში ფოტოფენა და სოლი მოთავსებულია ერთ სხივთკონაში, ხოლო მეორე სხივთკონა ხასიათდება მუდმივი, საკმარისად შემცირებული სინათლის ძალის ინტენსივობით. სოლისებური დენსიტომეტრები ყველაზე მეტადაა გავრცელებული.

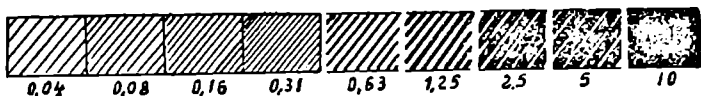
დიაფრაგმული დენსიტომეტრი სოლისებურისაგან იმით განსხვავდება, რომ ამ ხელსაწყოში ოპტიკურ სოლთან ერთად მოთავსებულია წრიულ-სექტორული, ხანგამოშვებით გასახსნელი დიაფრაგმა, რომლითაც შეიძლება სხივთკონის კვეთის შემოწმება. ასეთი დენსიტომეტრები იშვიათად იხმარება.

გავარგარებულ ნათურიანი დენსიტომეტრი პირველად გამოყენებულ იქნა 1920 წელს მეჯერსის და ფუტის მიერ. შესამოწმებელი ფოტოფენის განათება წარმოებს გავარგარებული ნათურით. ფოტოფენის წინ მოთავსებულია აგრეთვე მცირე ვარვარების და ძაბვის მქონე ნათურა. დამკვირვებელი, ხელსაწყოს ოკულარის საშუალებით, გადიდებული გამოსახულებით ამოწმებს ნათურის ძაფების მოქმედების თანაბრობას ან მეტ-ნაკლებ შემცირებას. სინათლის წყაროს მცირე ნაკადის

დროს ნათურის ძაფს ექნება შავი ფონი, ხოლო ძლიერი ნაკადის დროს — ნათელი. ასეთი სახის ხელსაწყოები ჯერჯერობით მასიურად არ იხმარება.

ელექტრულ დენსიტომეტრებში სინათლის ენერჯიის შემოწმება ხდება არა თვალთ, არამედ ფიზიკური ხელსაწყოთი, ფოტოელემენტით ან თერმოელემენტით. ამისათვის ასეთი დენსიტომეტრები ითვლება ახალი ტექნიკის მიღწევად, მხედველობით დენსიტომეტრებთან შედარებით. ელექტრული დენსიტომეტრებით შეიძლება გაწარმოოთ უფრო სწრაფი და ზუსტი გაზომვები, რადგანაც გაზომვების ჩაწერას აწარმოებს მგრძობიარე ელექტრომზომი ხელსაწყოები. არსებობს რამდენიმე სახის ჩამწერი მოწყობილობა. ამ მოწყობილობით ავტომატურად ხდება შედეგების ჩაწერა ფოტოგრაფიულ ქაღალდზე ან ფირზე. ჩაწერა წარმოებს სარკისებური გალვანომეტრით, რომელიც შეერთებულია სინათლის შთანქმული ენერჯიის რომელიმე სახესთან — ფოტოელემენტთან ან თერმოელემენტთან. ასეთი თვითჩამწერი 1936 წელს შექმნა ტიოტლიმ, კოდაკის ფირმის ლაბორატორიაში; 1925 წელს კი დამზადებული იყო მოლის და შემდეგ ცეისის მიერ. ელექტრული დენსიტომეტრები ძლიერ ზუსტია, მაგრამ რთულია და ძვირი. ამისათვის ეს ხელსაწყოები იხმარება მხოლოდ კარგად მოწყობილ სამეცნიერო ლაბორატორიებში.

ფოტოგრაფიული დენსიტომეტრები არ წარმოადგენს სპეციალურ ხელსაწყოებს. ფოტოგრაფიულ დენსიტომეტრებად ითვლება მარტივი სენსიტომეტრული სოლები, რომელთა გამოყენებით შეიძლება მოვახდინოთ გადაღება გამოსაცდელ ფოტოგრაფიულ მასალაზე; ამის შემდეგ გაწარმოებთ შედარებას დამზადებულ სენსიტოგრამთან. ამ პროცესისათვის საჭიროა წინასწარ გვექონდეს მზად სენსიტოგრამი — გადაღებული ფირფიტა ან ფირი, რომელიც დამუშავებულია სტანდარტულ პირობებში და დროის განსაზღვრულ მონაკვეთებში (ნახ. 29). სპეციალურად



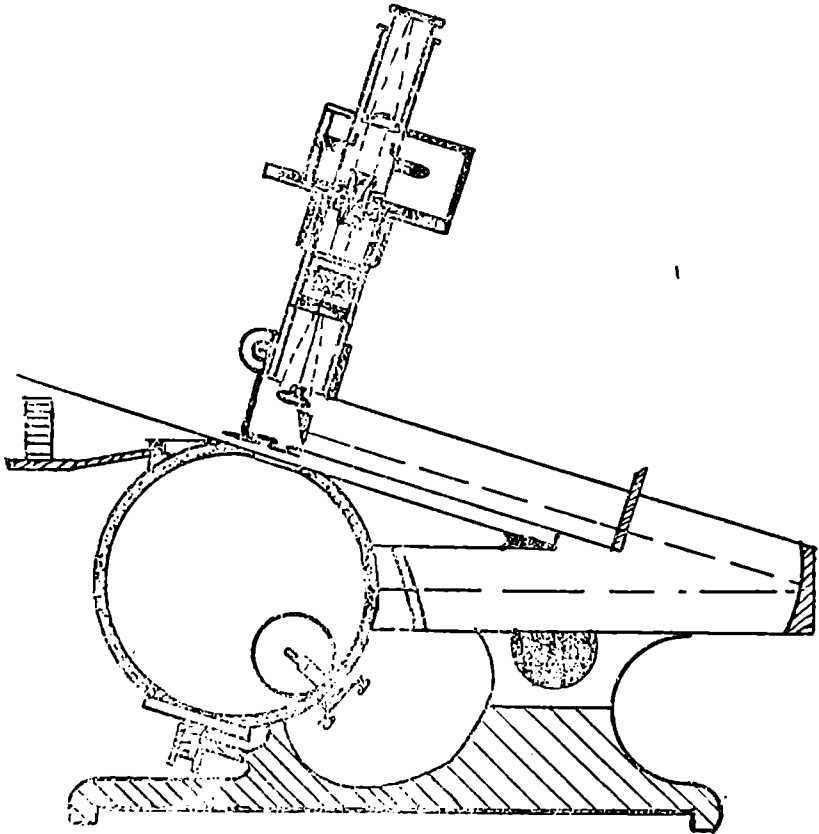
ნახ. 29.

კონსტრუქციის სოლით შესაძლებელია ავაგოთ მახასიათებელი მრუდის გრადიანტები, რომლის გამოყენებასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ფოტოგრაფიული ქაღალდის შერჩევისათვის. ასეთი სოლი 1911 წელს შექმნა გოლდბერგმა, რომელსაც შემდეგში დეტალომეტრი ეწოდა. დეტალომეტრი საერთოდ არ იხმარება, კარგ შედეგს იძლევა მხოლოდ პოზიტიური ფენების შემოწმების დროს.

პრაქტიკულ საქმიანობაში ყველაზე მეტი გამოყენება აქვს ნხედველო-

ბია დენსიტომეტრებს: მარტენსის პოლარიზაციურს, კეპსტაფის სოლისე-
ბურის და გოლდბერგის დენსოგრაფს.

მარტენსის პოლარიზაციული დენსიტომეტრი შედგება
ორი მთავარი ნაწილისაგან: განაიებული მოწყობილობისა და პოლარი-
ზაციული ფოტომეტრისაგან (ნახ. 30). გამნათებელ მოწყობი-



ნახ. 30.

ლობაში მოთავსებულია სინათლის წყარო, რომელიც ანათებს ზევით
და გვერდით მდებარე რისიფერ მიწებს. ზედა მინა ანათებს გასაზომ
ფოტოგრაფიულ მინას. გვერდით მინაში გაივლის ფოტომეტრის არეკ-
ლილი შესადარებელი სინათლის სხივები. ახალი მოდელის დენსიტომეტ-
რებში ზედა მინა შეცვლილია ლინზებით. პოლარიზაციულ ფო-
ტომეტრს აქვს შემდეგი ნაწილები: 1) ორი ხვრელი, 2) ობიექტი-

ვის ღინწები, 3) პოლარიზაციული პრიზმები, 4) ბიპრიზმები, 5) ანალიზატორის პრიზმები, 6) ოკულარის ღინწები, 7) ოკულარის დიაფრაგმა. ფოტოგრაფიის ხერხებიდან შესული სინათლის სხივი აპარატში იწვება 8 სხივკონად, 6 სხივთკონა რჩება შიგნით დიაფრაგმის საშუალებით, მხოლოდ პოლარიზაციის სიბრტცისადმი პერპენდიკულარული 2 სხივთკონა მოხვდება დამკვირვებლის თვალზე. ძველ მოდელეში იხმარება 2 მმ დიამეტრის წრიული დიაფრაგმები, ხოლო ახალ მოდელებში — ისეთი კუკრუტანები, რომელთა საშუალებით შეიძლება დიაფრაგმების გარეშე მოვახდინოთ საჭირო ცვლილება.

მალის კანონის მიხედვით

$$F_b = F_a \cos^2 \alpha.$$

ორი სინათლის წყაროს სხივთკონისათვის გვექნება:

$$F'_b = F'_a \cos^2 \alpha;$$

$$F''_b = F''_a \cos^2 (90 - \alpha).$$

ამ შემთხვევაში $\alpha_1 = (90 - \alpha)$ ანალიზატორის კუთხეა და თავისი სიდიდით განსხვავდება α კუთხის მნიშვნელობისაგან: თუ ერთი კუთხე მზარდია, მეორე კუთხის სიდიდე მცირდება.

როდესაც

$$F'_a \cos^2 \alpha = F''_a \cos^2 (90 - \alpha),$$

მაშინ

$$F'_b = F''_b.$$

სინათლის წყაროთა ძალების პროპორციულობა შეიძლება ასე გამოვსახოთ

$$\frac{F'}{F''} = \frac{\cos^2 (90 - \alpha)}{\cos^2 \alpha} = \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

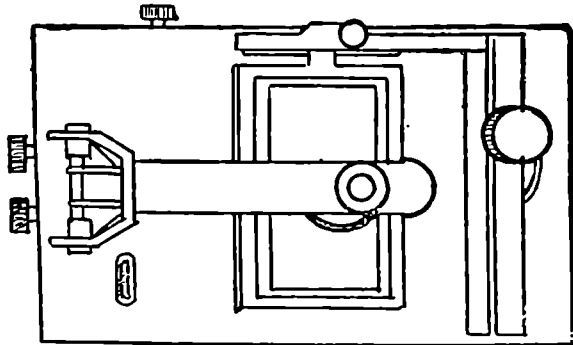
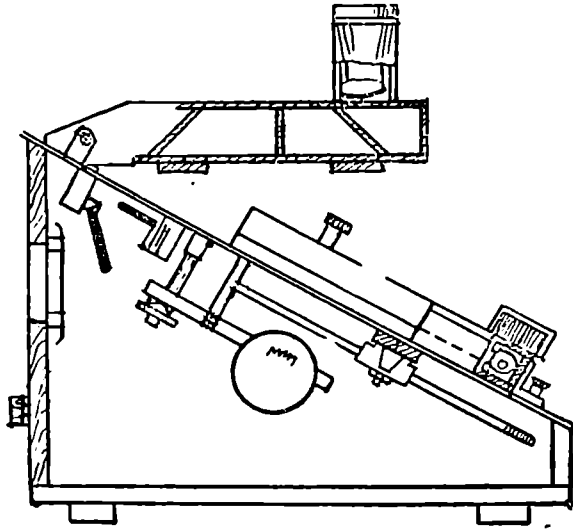
თუ ფოტოგრაფიული სიწავის სინათლის სხივების გატარების კოეფიციენტი არის τ , მაშინ $D = \operatorname{tg} \tau$.

ხელსაწყოთი გაზომვას ვაწარმოებთ ორჯერ: დასაწყისში სინათლის ძალის შეუმცირებლად, შემდეგ შენეცირებით. პირველი გაზომვისას გვექნება

$$\frac{F'}{F''} = \operatorname{tg}^2 \alpha_0,$$

სადაც α_0 არის ხელსაწყოს ნულოვანი წერტილის განსაზღვრელი სიდიდე. მეორე გაზომვისას ვღებულობთ

$$\frac{F'}{\tau \cdot F''} = \operatorname{tg}^2 \alpha;$$



65b. 31.

აქედან

$$\tau = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha_0}{\operatorname{tg}^2 \alpha}$$

ამის მიხედვით

$$D = 2 \lg \operatorname{tg} \alpha - 2 \lg \alpha_0;$$

$$D = 2 (\lg \operatorname{tg} \alpha - \lg \operatorname{tg} \alpha_0).$$

როდესაც

$$F' = F'' ,$$

მაშინ

$$\alpha_0 = 45^\circ;$$

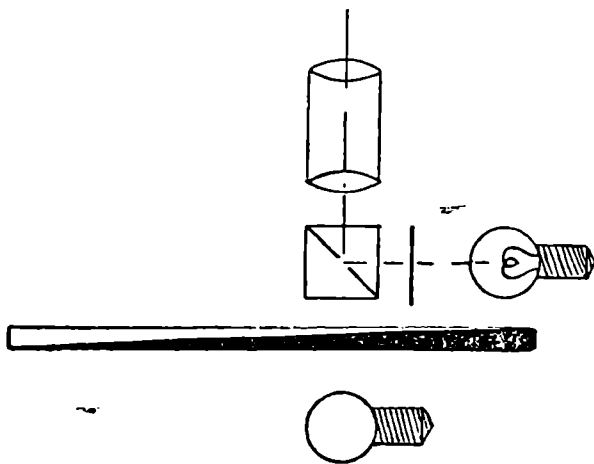
$$\lg \operatorname{tg} \alpha_0 = \lg \operatorname{tg} 45^\circ = 0;$$

ამის გამო

$$D = 2 \lg \operatorname{tg} \alpha.$$

შემოწმების დროს ჯერ უნდა გავიგოთ α_0 , შემდეგ კი α მნიშვნელობა.

კეპსტაფის სოლი სებურ დენსიტომეტრში სინათლის წყარო მოთავსებულია ხელსაწყოს შიგნით და ანათებს ორ რძისფერ მინას (ნახ. 31). მეორე მინაში გასული სინათლის ნაკადი არის სუსტი და მუდმივი, ხოლო პირველში ცენტრალურ მინაში გასული სინათლის ნაკადი არის ძლიერი და შესამოწმებელი. საზომი ოპტიკური სოლი მოთავსებულია აპარატის



ნახ. 32.

შიგნით მინებსა და სინათლის წყაროს შორის. ამ დენსიტომეტრის სოლი სხვა სოლებისაგან იმითაა განსხვავებული, რომ მას აქვს მრგვალი ფორმა; იგი მოთავსებულია მრგვალ მინაზე და მოძრაობს ლერძის გარშემო. დაკვირ-

გება უნდა ვაწარმოოთ ოკულარის შიხიდახ, საიდახაც გარკვევით ჩანს ფოტოგრაფიული ფენის შესანოწმებელი ნაწილი. კეპსტაფის დენსიტომეტრის უპირატესობა ის არის, რომ მისი საშუალებით შეიძლება შევაბოწმოთ მცირე და დიდი ოპტიკური სიმკვრივე აბსოლუტური სიზუსტით და დიდი სისწრაფით.

გოლდბერგის დენსოგრაფიკ სოლისებური დენსიტომეტრია. მისი მთავარი ნაწილებია ფოტონეტრიული და ჩამწერი მოწყობილობა (ნახ. 32). დენსოგრაფს აქვს აგრეთვე სენსიტომეტრული სოლი. ფოტოგრაფიული მოწყობილობით და სენსიტომეტრით ვახდენთ სიმკვრივის გაზომვას. ჩამწერი მოწყობილობის ნაწილებია: მაგიდა, ქალაღი და ნემსი. გაზომვის შედეგები გავლენას ახდენს ნემსზე, ნემსიც აწარმოებს ჩაწერას ქალაღზე. მარტენსის ხელსაწყოთი შემოწმების დროს საჭიროა გამოსაცდელად ნეგატივის 2,6 მმ ნაწილი, დენსოგრაფისათვის კი 1 მმ. არსებობს ისეთი დენსოგრაფები, რომელთა საშუალებით შეიძლება კიდევ უფრო მცირე სიდიდის ფოტოფენის ნაწილების შემოწმება; ასეთ ხელსაწყოებს მიკროფოტომეტრები ეწოდება და გამოიყენება ზოგიერთი სახის გაზომვების ჩასატარებლად.

მახასიათებელი მრუდი

თუ ჩვენთვის ცნობილი იქნება ექსპოზიციის სინათლის რაოდენობა და შესაბამისი სიშავის ოპტიკური სიმკვრივე, შეგვიძლია დავახასიათოთ რომელიმე ფოტოგრაფიული ფენა. ექსპოზიციის სინათლის რაოდენობით და სიშავის ოპტიკური სიმკვრივის მიხედვით შეგვიძლია ავაგოთ გრაფიკი, რომელიც დავახასიათებელი იქნება ფოტოგრაფიული ფენისათვის. ამ გრაფიკს ექნება მრუდის სახე და მას მახასიათებელი მრუდი ეწოდება (ნახ. 33); ამ მრუდით შეიძლება დავახასიათოთ აგრეთვე ფოტოგრაფიული ფენის სინათლის მგრძობიარობა და გამომქლავნების კონტრასტულობა. აღნიშნული მახასიათებელი მრუდი ძირითადად ტიპიურია ნეგატიური და პოზიტიური ფირფიტებისა და ფირებისათვის. მრუდის მარცხენა ნაწილი დასაწყისში წარმოადგენს პორიზონტალურ სწორ ხაზს, შემდეგ ზევით იწევს და რამდენიმედ მრუდდება. მრუდის შუა ნაწილი დახრილი სწორი ხაზია, რომელიც აბსცისთა ღერძთან ქმნის კუთხეს. მრუდის მარჯვენა ბოლო ისევ მრუდდება და დაბლა ეშვება. მრუდის დასაწყისი გვიჩვენებს, რომ გამომქლავნებული ფოტოგრაფიული ფენის ოპტიკური სიმკვრივე A წერტილამდე არის მუდმივი და მასზე ვერ ახდენს გავლენას ექსპოზიციის ცვლილება. ფოტოგრაფიული ფენის სიშავეს, რომელიც ექსპოზიციის გავლენის გარეშეა, როგორც აღნიშნული იყო, ვუაღი ეწოდება. A წერტილის შემდეგ ექსპოზიცია გავლენას ახდენს ფოტოგრაფიული ფენის ზედაპირზე, სიწვევ გადალახავს ვუალის სიმკვრივეს, ამისათვის

ამ წერტილიდან იწყება მრუდის ამაღლება. AB მრუდს უკმაკობის მაბასიათებელი ეწოდება. მრუდის BC დაბრილი სწორი ხაზი იმის მაჩვენებელია, რომ ექსპოზიციის გაორზაგება იწვევს ობტიკური სიზგვრის ერთი და იგივე სადიდით ზრდას. სწორი ხაზის არსებობის გამო შევეცლია დაეწეროთ მისი განტოლება

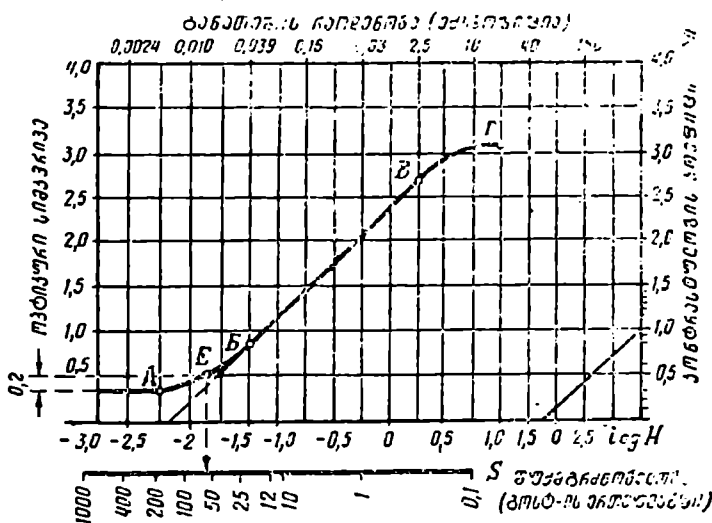
$$y = mx + b,$$

სადაც $m = \frac{1}{\alpha}$, α — აბსცისთა ღერძისა და დაბრილი ხაზის მიერ შექნილი კუთხეა. ამ შემთხვევისათვის სიზგვრის განოსათეული ფორმულა იქნება

$$D = \gamma I \alpha + D_0,$$

სადაც $\gamma = \frac{1}{\alpha}$, ხოლო D_0 არის ეუალის სიზგვრე. BC ხაზს სწორი ექსპოზიციის გამომსახველი ეწოდება.

მრუდის ბოლო BI' ნაწილი გამოსაავს იმ თვისებას, რომ ექსპოზიციის შემდეგი ზრდა მკირე გავლენას ახდენს ობტიკურ სიზგვრეზე



ნახ. 33.

და დასასრულს ასეთი გავლენაც მოიხაზება. BI' მრუდი ხაზი გადაეცემა მათემატიკური მაჩვენებელია.

მაბასიათებელი მრუდის აგებულებიდან ჩანს, რომ შემოწმების სიზუსტეზე გავლენას ახდენს ეუალის სიზგვრე. ანისათვის ხერტერი და ღრიფილდი აცენებდნენ წინადადებას, რომ საერთო დაბასიათების მაჩვენებლებიდან გამორიცხულიყო ეუალის სიზგვრე. მაბასიათებელი მრუდის აგება შეიძლება სენსიტომეტრული გამოკვლევების მიხედვით.

ფოტოგრაფიული ეფექტი ფოტოგრაფიულ ფენაში

ხანგრძლივი დაკვირვების შემდეგ მიღებულ იქნა ექსპოზიციის სხივური ენერჯიისა და დროის სიშორის დამოკიდებულება. ამ სიდიდეთა ცვლილებით ვლტებულობთ სხვადასხვა ფოტოგრაფიულ ეფექტს. ერთი და იგივე ექსპოზიციის დროს ფოტოგრაფიულ ფენაში სხივური ენერჯიის მოქმედება მით უფრო ნაკლები ძალის იქნება, რაც ნელა ვრცელდება იგი ამ ფენაში. მაგალითად, ერთის მხრივ, ერთსა და იმავე ფოტოგრაფიულ ფენაში 1-სანთლისძალიანი წყაროს მოქმედება 1 მეტრის მანძილზე 100 წამის განმავლობაში, მეორეს მხრივ, ამავე მანძილზე 100-სანთლისძალიანი წყაროს მოქმედება 1 წამის განმავლობაში, ექსპოზიციის ერთიანობის მიუხედავად, არ იძლევა ერთნაირ ფოტოგრაფიულ ეფექტს; პირველ შემთხვევაში ეს ეფექტი მცირეა, ხოლო მეორე შემთხვევაში — უფრო დიდი. ამ საკითხის გამორკვევა პირველად, 1899 წელს, აწარმოვა შვარც-შილდმა და მიიღო ასეთი დამოკიდებულება

$$F_1 t_1^p = E_2 t_2^p = \dots = E_n t_n^p;$$

ფოტოგრაფიული ეფექტი კი არ განისაზღვრება $E t$ ნაწარმოებით, არა-ნედ $E t^p$ მნიშვნელობით. p სიდიდემ მიიღო შვარცშილდის მუდმივას სახელწოდება; მისი რიცხობრივი გამოსახულება ნეგატივების ფოტოგრაფიული ფენისათვის იცვლება 0,85 -- 0,9, პოზიტივების ფოტოგრაფიული ფენისათვის კი — 0,65 — 0,70. საშუალო და მცირე ძალის განათებების დროს p სიდიდე ერთზე მცირეა, ძლიერი კაშკაშა განათების შემთხვევაში კი — ერთზე მეტი და აღწევს 1,2-მდე. რადგანაც p სიდიდე დიდ ფარგლებში იცვლება, შემდეგში მას შვარცშილდის მაჩვენებელი ეწოდა. ამ სიდიდის გამოანგარიშება შეიძლება შემდეგ პრინციპზე

$$E_1 t_1^p = E_2 t_2^p;$$

აქედან

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p;$$

ანუ

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = p \lg \frac{t_2}{t_1},$$

საიდანაც

$$p = \frac{\lg \frac{E_1}{E_2}}{\lg \frac{t_2}{t_1}}.$$

სინათლის ნაკადის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = \lg \frac{F_1}{F_2} = D_2 - D_1 = k_D \cdot l,$$

სადაც l არის ორი ფირფიტის სიშავის საზღვრებს შორის მანძილი სანტიმეტრებით;

k_D — მუდმივი სიდიდე.
ამგვარად

$$p = \frac{\lg \frac{F_1}{F_2}}{\lg \frac{t_2}{t_1}} = \frac{k_D \cdot l}{\lg \frac{t_2}{t_1}}.$$

ამ მონაცემებით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ შვარცშილდის მაჩვენებლის სიდიდე.

ფოტოგრაფიული ფენის შუქმგრძობელობის განმსაზღვრავი მეთოდი

მახასიათებელი მრუდი სხვა სიდიდეებთან ერთად წარმოდგენას იძლევა ფოტოგრაფიული ფენის შუქმგრძობელობის შესახებ. შუქმგრძობელობა ხასიათდება უნარით — განსაზღვრული რაოდენობით აითვისოს სინათლის მოქმედება. ამიტომ, რომ შუქმგრძობი მასალის თვისებები უშუალო გავლენას ახდენს ექსპოზიციაზე. ხერტერისა და დრიფილდის მიხედვით შუქმგრძობელობის დასახასიათებლად საჭიროა მრუდის EB სწორი ხაზი გავაგრძელოთ აბსცისთა ღერძის გადაკვეთის წერტილამდე. ამ წერტილის შესაბამისი ექსპოზიცია არის დაახლოებით 0,007 ლუქსი-წამი და მას ინერციის წერტილი ეწოდება. ამავე დროს ინერციის წერტილი არის შუქმგრძობელობის პრაქტიკული შეფასების კრიტერიუმი. შუქმგრძობელობის გამოანგარიშება შეიძლება ფორმულით

$$Si = \frac{1}{Hi} \cdot K,$$

სადაც Si არის შუქმგრძობელობა გრადუსობით; Hi — მახასიათებელი მრუდის ინერციის წერტილის შესაბამისი სინათლის რაოდენობა; K — პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე 1938 წლამდე განისაზღვრებოდა 34, ხოლო ამის შემდეგ ფოტოგრაფების საერთაშორისო კონგრესის გადაწყვეტილებით მისი რიცხობრივი მნიშვნელობა განისაზღვრა 10.

ამ მონაცემების მიხედვით შუქმგრძობელობის რიცხობრივი სიდიდე იქნება

$$Si = \frac{1}{0,007} \cdot 10 \approx 1400.$$

საბჭოთა კავშირის სტანდარტი სენსიტომეტრული სისტემა ГОСТ 2817-50 დამტკიცებულ იქნა 1951 წელს. ამ სტანდარტით შექმგრანობელობა განისაზღვრება იმ სინათლის რაოდენობით, რომლის სინათლის ოპტიკური სიმკვრივე აკარბენს ფუალის ოპტიკურ სიმკვრივეს 0,2-ით. ამ წენთხვევანი შექმგრანობელობა გამოიანგარიშება

$$S_{0,2} = \frac{1}{H_{0,2+D_0}},$$

სადაც $S_{0,2}$ არის შექმგრანობელობა ГОСТ ერთეულებში;

H — ექსპონაცია ლუქს-წაში.

მახასიათებელი მრუდის მიხედვით (ნახ. 33), რომ მივიღოთ ოპტიკური სიმკვრივე $0,2 + 0,3 = 0,5$, საჭიროა ექსპონაცია დაახლოებით 0,017 ლუქს-წაში. ასეთა წენთხვევისათვის შექმგრანობელობის სიდიდე გამოიანგარიშება

$$S_{0,2} = \frac{1}{H_{0,2+D_0}} = \frac{1}{0,017} \approx 60 \text{ ГОСТ ერთეული.}$$

ამ სახით მიიღება შექმგრანობელობის სკალა, გამოსახული ГОСТ ერთეულებში: 1; 1,4; 2; 2,8; 4; 5,5; 8; 11; 16; 22; 32; 45; 65; 90; 130; 180; 250; 350; 500 და ა. შ. სკალის ყოველი მეორე რიცხვი გვიჩვენებს ზრდას 1,4 ანუ $\sqrt{2}$

ამ გამოანგარიშებით ჩვენ შეგვიძლია გავიგოთ როგორ გამომჟღავნდება ესა თუ ის ფოტომასალა. შექმგრანობელობის გაგების შემდეგ მახასიათებელი მრუდებიდან უნდა შევარჩიოთ ისეთი მრუდი, რომელიც სენსიტოგრაფული გამომჟღავნების შესაბამისი იქნება.

გერმანული ფირფიტების შექმგრანობელობისათვის არსებობს გერმანული სტანდარტი DIN 4512, რომელიც რიცხობრივი სიდიდით განსხვავდება საბჭოთა კავშირის სტანდარტისაგან. მე-17 ცხრილში ნაჩვენებია სამი სისტემის შესაბამისი რიცხობრივი სიდიდენი.

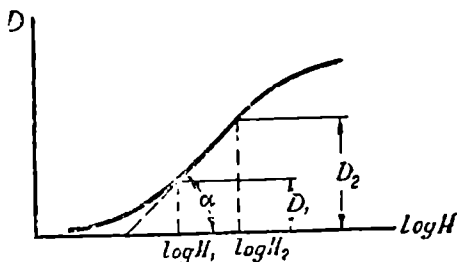
ცხრილი 17

ГОСТ ერთეულები	11	16	22	32	45	65	90	130	180	250	350	500
ხეტერის და დრო- ფილდის ერთეულები	250	350	500	700	1000	1400	2000	3000	4000	6000	8000	12000
DIN ერთეულები	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29

ამ ცხრილის გამოყენებით შეგვიძლია სხვადასხვა სისტემის რიცხობრივ წინიშენელობათა ერთმანეთში გადაყვანა.

ფოტოგრაფიული შენის კონტრასტულობა

ფოტოგრაფიული მასალის კონტრასტულობის დამახასიათებელი ის არის, რომ სწორად გამოჩნდეს საენის გამოსახულება გამოძეგნებულ ნეგატივზე. მახასიათებელი მრუდი წარმოდგენას იღვევა აგრეთვე ფოტოგრაფიული ფენის კონტრასტულობის შესახებ. ფოტოგრაფიული მასალის კონტრასტულობის დასახასიათებლად გავარჩიოთ მახასიათებელი მრუდის სწორი მონაკვეთი (ნახ. 34). ამ მონაკვეთისათვის



ნახ. 34.

$$D = \gamma \lg H + D_0.$$

სადაც

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha;$$

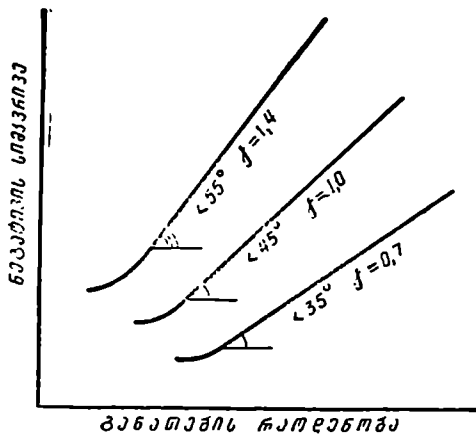
აქედან

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1}.$$

γ სიდიდეს კონტრასტულობის კოეფიციენტი ეწოდება. ნორმალური ფოტომასალებისათვის კუთხე 45° თანასწორია, რის გამოც

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 45^\circ = 1.$$

„ბრელი“ ფოტომასალებისათვის $\gamma < 1$, ხოლო კონტრასტული „მაგარი“ მასალებისათვის კი $\gamma > 1$.



ნახ. 35.

კონტრასტული ფოტომასალებისათვის მახასიათებელი ნეტად არის დახრილი (ნახ. 35). დახრილობის ზრდასთან ერთად იზრდება კონტრასტულობის კოეფიციენტი. კონტრასტულობას აქვს თავისი ზეღვარა. რომლის დროსაც ნივთებთ კონტრასტულობის მაქსიმალურ კოეფიციენტს.

კონტრასტულობის ხარისხი	მაქსიმალური კონტრასტულობის კოეფიციენტის სიდიდე ГОСТ 2817-50	ნორმალური კონტრასტულობის კოეფიციენტის სიდიდე ГОСТ 2817-50
რბილი	0,7 — 0,88	0,65
ნორმალური	0,9 — 1,15	1,0
მაგარი	1,2 — 1,8	1,3

ფოტოგრაფიული ფენის სიგანე

ფოტოგრაფიული ფენის ფოტოგრაფიული სიგანეც განისაზღვრება მახასიათებელი მრუდის მიხედვით. ფოტოგრაფიული სიგანე გამოიანგარიშება მახასიათებელი მრუდის სწორი ხაზის დასაწყისის და დაბოლოების ექსპოზიციების ლოგარითმების სხვაობით

$$L = \lg H_2 - \lg H_1;$$

ჩვენი შემთხვევისათვის ექსპოზიციის დასაწყისი ეთანასწორება 0,04 ლუქს-წანს, ხოლო ექსპოზიციის დასასრული — 2,5 ლუქს-წამს. ამის გამო

$$L = \lg 2,5 - \lg 0,04 = \lg \frac{2,5}{0,04} \approx 1,8.$$

მაშასადამე, ფოტოგრაფიული ფენის სიგანე თავის რიცხობრივი სიდიდით აღწევს 1,8-მდე. თავის მხრივ

$$H_2 : H_1 = 2,5 : 0,04 = 62,5 : 1;$$

დაახლოებით შეიძლება დაიწეროს

$$H_2 : H_1 = 60 : 1.$$

თუ ექსპოზიცია გამოისახება 10 : 1, მაშინ ექსპოზიციის სიგანე იქნება 60 : 10 = 6.

ფოტოგრაფიული სიგანე უშუალოდ დაკავშირებულია კონტრასტულობასთან. რაც ნაკლებია კონტრასტულობის კოეფიციენტი, მით მეტი ექსპოზიციის ინტერვალია საჭირო. საბჭოთა კავშირის ფირებისათვის ფოტოგრაფიულ კონტრასტულობასა და ფოტოგრაფიულ სიგანეს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება მე-19 ცხრილის მიხედვით.

კონტრასტულობის ხარისხი	კონტრასტულობის მაქსიმალური კოეფიციენტი	ფოტოგრაფიული სიგანე
რბილი	0,7 — 0,88	2,1—1,8/1 : 128—1 : 64/
ნორმალური	0,9 — 1,15	1,8—1,5/1 : 64—1 : 32/
მაგარი	1,2 — 1,8	1,5—1,1/1 : 32—1 : 16/

ფოტოგრაფიული ფენის პუალი

ფოტოგრაფიული ფენის ვუალის სიშავის ოპტიკური სიმკვრივე დამოკიდებულია გამომჟღავნების დროზე: გამომჟღავნების დროის გაზრდით ვუალის სიმკვრივეც იზრდება. ვუალის სიმკვრივის სიდიდე უშუალოდ დამოკიდებულია აგრეთვე ფირის ხარისხსა და შუქმგრძნობელობაზე. ნეგატიური ფირის ვუალის სიმკვრივეს, შუქმგრძნობელობასა და ნეგატივის ხარისხებს შორის დამოკიდებულებას გამოსახავს მე-20 ცხრილი.

შუქმგრძნობელობის საერთო ხასიათი	შუქმგრძნობელობა I O C T ერთეულებში	ვუალის სიმკვრივე			
		ორთოქრომი	იზოქრომი	იზოპანქრომი	პანქრომი
უმცირესი	11—16	0,10	0,10	0,12	0,15
მცირე	22—32	0,10	0,10	0,12	0,15
საშუალო	45—65	0,12	0,12	0,15	0,18
მაღალი	90—130	0,15	0,15	0,18	0,22
უმაღლესი	180—250	0,18	0,20	0,24	0,30

ვუალის სიმკვრივეზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ფოტოგრაფიული მასალის შენახვის პირობები და დრო. თუ ფოტომასალა ინახება არანორმალურ პირობებში და დადგენილ დროზე დიდხანს, ვუალის სიმკვრივის სიდიდე შესამჩნევად იზრდება. ამ მხრივ ყვალაზე მეტად ზიანდება ფირების ლენტების ნაპირა ადგილები, რომლებიც გადაღების და დამუშავების დროს არ გამოიყენება, მაგრამ ეს დაზიანება თანდათანობით გადადის ფირების ლენტების შიგნითაც. ვუალის ოპტიკური სიმკვრივე რამდენიმე ადგილას გაიზომება სენსიტოგრაფის საშუალებით და შემდეგ გამოიანგარიშება საშუალო სიდიდე. შეიძლება ითქვას, რომ ვუალის სიმკვრივე სინამდვილეში წარმოადგენს ქვესადების — მინის ან ცელულოიდის ოპტიკური სიმკვრივის ნაშთს. ფირფიტების ან ფირების თავისებური ხასიათის გამო (ემულსიის უთანაბრობა, შრობის სხვადასხვაობა და სხვ.), ყოველი შემოწმების დროს ვლებულობთ სხვადასხვა შედეგს, რაც ართულებს შემოწმებას. შემოწმების სიზუსტეც მცირეა — აღწევს 15—20%.

ანიტომ, ერთი და ორი გაზომვით სათანადო შედეგს ვერ მივიღებთ: რაც ნეტია გაზომვის რაოდენობა, მით უფრო მივუახლოვდებით სინამდვილეს. ГОСТ 2817-45 სისტემის მიხედვით, ძირითადი სენსიტომეტრული პარამეტრების ურთიერთ შორის კავშირი გამოისახება 21-ე ცხრილთ, სადაც ზომები მოცემულია ГОСТ-ის ერთეულებში.

ცხრილი 21

პარამეტრები	აბსოლუტური მნიშვნელობა	დამრგვალებული სიდიდე
შექმერძობელობა .	2-ზე ქვევით	0,10
	2 — 10	0,50
	11 — 50	2,00
	50-ზე ზევით	5,00
კონტრასტობის კოეფიციენტი .	0.8-ზე ქვევით	0,02
	0,8 — 1,5	0,05
	1,5-ზე ზევით	0,10
ვუალის ოპტიკური სიმკვრივე .	0,2-ზე ქვევით	0,01
	0,2-ზე ზევით	0,02

ГОСТ 2817-45 საბჭოთა სტანდარტული სისტემა უკანასკნელ წლებში დამუშავდა სახელმწიფო ოპტიკურ ინსტიტუტში. ეს სისტემა უნივერსალურია და იხმარება როგორც ნეგატიური, ისე პოზიტიური ფოტომასალების შესაბამისად. ამ სისტემის სენსიტომეტრში იხმარება საფეხურებიანი სოლი, სინათლის წყაროდ გავარყარებული ნათურა, რომლის ტემპერატურა აღწევს 2850°. შექმერძობელობის კრიტერიუმად ვუალის ზევით მიღებულია სიმკვრივე $D = 0,2$. ეს სისტემა უმთავრესად გამოიყენება ფოტოგრაფიული ფენის ვუალის სიშავის ოპტიკური სიმკვრივის გასაგებად და პექტრალური სენსიტომეტრიის დროს.

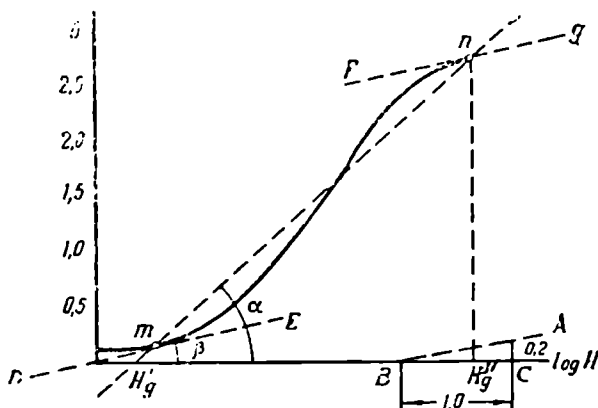
ფოტოგრაფიული ქალაღის სენსიტომეტრია

ფოტოგრაფიული ქალაღის ხარისხი ხასიათდება მისი კონტრასტულობით. ქალაღის კონტრასტულობა კი გამოსახულების ბეჭდვის კონტრასტულობის უშუალო განმსახდრელია. მაგალითად, ისეთი ნეგატივის დასაბეჭდად, რომელსაც აქვს სიმკვრივის დიდი ინტერვალი, უნდა ვიხმაროთ ნაკლებად კონტრასტული № 1 ქალაღი. ქალაღის კონტრასტულობის დასახასიათებლად უნდა ვიცოდეთ ამ ქალაღის მახასიათებელი

მრუდის საშუალო გრადიენტი (ნახ. 36). კონტრასტულობის გამოსაანგარიშებლად ჩვეულებრივ შეიძლება გამოვიყენოთ ფორმულა

$$\gamma \operatorname{tg} \alpha = \frac{dD}{d \lg H};$$

$\frac{dD}{d \lg H}$ სიდიდე განისაზღვრება D და $\lg H$ კოორდინატებით და ამ მახას



ნახ. 36.

სიათებელი მრუდის რომელიმე წერტილისათვის იქნება გრადიენტი. $\operatorname{tg} \alpha$ წარმოდგენას იძლევა საშუალო გრადიენტის სიდიდეზე, ხოლო $\operatorname{tg} \beta$ მნიშვნელობა მინიმალურ გრადიენტზე, რომელიც თანასწორება 0,2.

სახელმწიფო ოპტიკური ინსტიტუტის მიერ ჩატარებულია ცდები ფოტოგრაფიული ქალაქის გამოსაცდელად და დადგენილია ქალაქის ხარისხები: ნორმალური, კონტრასტული, განსაკუთრებით კონტრასტული. ქალაქის გამოცდა ჩატარდა საფეაურებიანი სოლის საშუალებით.

ექსპოზიციის სასარგებლო ინტერვალის ლოგარითმული გამოსახვით განისაზღვრება

$$L_2 = 0,1 (N_2 - N_1),$$

სადაც N_1 ოპტიკური სოლის მეტად მკვრივი არეს რიგითი ნომერია;

N_2 — ოპტიკური სოლის ნაკლებად მკვრივი არეს რიგითი ნომერი;

0,1 — სოლის მუდმივი სიდიდე, რომელიც იძლევა განსხვავებას სოლის ორ ერთმანეთის გვერდით მდებარე არეს შორის.

თუ ბექდვას შეესაბამება სოლის არის 12 და 23 ნომერი, მაშინ

$$L_3 = 0,1(23 - 12) = 1,1.$$

ფოტოგრაფიული ქაღალდის საშუალო გრადიენტი გამოინგარისება

$$g = \frac{D_{max} - D_0}{L_3}.$$

ფოტოგრაფიული ქაღალდისათვის D_0 რიცხობრივი სიდიდე ძლიერ მცირეა და ზოგჯერ $D_0 = 0$; ამ შემთხვევაში

$$g = \frac{D_{max}}{L_3}.$$

მაქსიმალური ობტიკური სიმკვრივე D_{max} დამოკიდებულია ფოტოგრაფიული ქაღალდის ზედაპირზე. ძლიერ კრიალა (პეწიანი) ქაღალდისათვის $D_{max} = 1,6 - 1,7$; კრიალა ქაღალდისათვის $D_{max} = 1,4 - 1,5$; ნახევრადკრიალა ქაღალდისათვის $D_{max} = 1,2$ ხოლო მქრქალი ქაღალდისათვის $D_{max} = 1,0$.

საშუალო გრადიენტი კრიალა ქაღალდისათვის იქნება

$$g = \frac{D_{max}}{L_3} = \frac{1,4}{1,1} = 1,3.$$

ფოტოგრაფიული ქაღალდის კონტრასტულობის მიხედვით განისაზღვრება ქაღალდის ნომრები, ნორმალურიდან ძლიერ კონტრასტულობამდე.

ფოტოგრაფიული ქაღალდის შუქმგრძნობელობას ფოტოგრაფიული პრაქტიკისათვის თითქმის არ აქვს მნიშვნელობა, რადგანაც ქაღალდზე ბექდვა არ არის დამოკიდებული შუქმგრძნობელობაზე. ფოტოგრაფიული ქაღალდის შუქმგრძნობელობა გავლენას ახდენს მხოლოდ ქაღალდის განათების დროზე ბექდვის დროს; მაგალითად, მცირე შუქმგრძნობიარე ფოტოგრაფიულ ქაღალდზე ბექდვისას განათების დრო მეტია საჭირო.

სამეტრალური და ფარადი სენსიტივობები. ფარადი სენსიტივობების პრინციპი

სენსიტივობის დროს მნიშვნელობა აქვს ფოტოგრაფიული ფენის შუქმგრძნობელობას სპექტრის ცალკეული ფერისადმი. ობტიკური სენსიტივიზაციის საშუალებით შეიძლება გამოვარკვეოთ შუქმგრძნობელობის საზღვრები ხილული სპექტრის შემადგენელი ნაწილები-სადმი და ზოგჯერ უხილავი ინფრაწითელი სხივებისადმიც კი. როგორც ვიცით, სენსიტივიზაციის მიხედვით არსებობს ორთოქრომატული, პანქრომატული და იზოპანქრომატული ფენა. არასენსიტივობის ფოტოგრა-

ფული ფენა იხმარება ნხოლოდ სპეციალური გადაღების დროს. ოპტიკური სენსიბილიზაციის შესასწავლად გამოყენებულია სპექტრალური და ფერადი სენსიტომეტრიის მეთოდი. როდესაც წარმოებს განსაზღვრულტალღიანი მონოქრომატული ფოტოგრაფიული ფენების შესწავლა, მაშინ ხმარებაშია სპექტრალური სენსიტომეტრია. სხვადასხვა სიგრძის ტალღების მქონე ფოტოგრაფიული ფენების შესწავლისას საჭიროა გამოვიყენოთ ფერადი სენსიტომეტრია. ზოგჯერ სენსიტომეტრიის ეს ორი მეთოდი ერთიანდება და ეწოდება სპექტრალური სენსიტომეტრია. სპექტრალური სენსიტომეტრია ძირითადად წარმოებს ფერადი ცხრილებისა და შუქფილტრების გამოყენებით. ფერადი ცხრილის მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ფოტოგრაფიული აპარატით გამოსაცდელ ფოტოგრაფიულ ფენაზე უნდა ვაწარმოოთ ფერადი ცხრილის გადაღება და შემდეგ შემოწმება. ყუელანე მეტად ხმარებაშია აფთას საფეხურებიანი ფერადი ცხრილი და ლაგორიოს ცხრილი.

აფთას ცხრილში შავ ფონზე მოთავსებულია ოთხი ფერის — წითელი, ყვითელი, წვანე და ლურჯი ზოლები. თითოეული ზოლის გვერდით მოთავსებულია სირუხის სადგესურიანი ზოლები — თეთრიდან სიწვემდე. დღის სინათლეზე რომელიმე საფეხურს, გვერდით მდებარე ფერად ზოლთან შედარებით, ექნება ერთნაირი სიკაშკაშე; ასეთი საფეხური იქნება 100 %-იანი. მუქი ფერის საფეხურების პროცენტი მცირეა, ხოლო ღია ფერისა დიდი. თუ ფერადი ზოლები ემთხვევა მუქ საფეხურებს, მაშინ ფოტოგრაფიული ფენის შექმგრძნობელობა ამ ფერისადმი მცირეა; თუ დამთხვევა ხდება მოთეთრო საფეხურებისადმი, მაშინ ფოტოგრაფიული ფენის შექმგრძნობელობა ამ ფერისადმი დიდი. თუ დამთხვევა მოხდება 100 %-იანი საფეხურისადმი, მაშინ ფერების გადაცემა იქნება ნორმალური.

ლაგორიოს ცხრილიც აცნებულია ანაღე პრინციპზე და შეიცავს 24 ფერად ზოლს, რომელთა გვერდით მოთავსებულია საფეხურებიანი ზოლი. ეს ცხრილიც იხმარება აფთას ცხრილის სსგაგსად.

შუქფილტრის მეთოდის გამოყენების წინაარსი მდგომარეობს შემდეგში: ფოტოგრაფიულ ფენაზე უნდა მოვათავსოთ ნეიტრალური რუხი ზოლი, რომლის ზედაპირზე იწყოდება შუქფილტრი სპექტრის ფერადი ზოლებით, მაგალითად, წითელი, ყვითელი და ლურჯი ზოლებით; დაკვირვებას ვაწარმოებთ შუქფილტრის ფერად ზოლებსა და ფოტოგრაფიული ფენის გამოსახულებას შორის. გადაღება უნდა მოხდეს სტანდარტული სინათლის წყაროთი, ხოლო გამომგლანება — განსაზღვრულ პირობებში. ფერადი შექმგრძნობელობის გამოსარკვევად შეიძლება გამოვიყენოთ I.O.C.F 2817-45 სისტემა, სადაც ექსპოზიციისათვის იხმარება წითელი, ნარინჯისფერი და ყვითელი შუქფილტრები.

სპექტრალურ სენსიტომეტრიას აქვს ის ნაკლი, რომ აღწერალი მეთოდების ხპარების დროს შეუძლებელია სუფთა სპექტრალური ზონის მიღება. მაგალითად, აფფას ცხრილში სპექტრალური ზონა, რომელიც შეიცავს სხვა გარეწე ფერის ნარეფს, ლურჯისათვის შეადგენს 80 %, წითელისათვის კი 33 %. მუქფელტრების ხმარების შემთხვევაში სასურველი სპექტრალური ზონები, რომლებიც აკმაყოფილენს პირობებს, არის ყვითელი და წითელი, ხოლო ლურჯი და მწვანე — ეერ აკმაყოფილებს.

**უშქვპრძნოაელოზის განმსაზღვრელი ხარისხობრივი
და რაოდენობრივი მეთოდები**

სპექტრების ფოტოგრაფირების დროს შეიძლება მივიღოთ ხარისხობრივი ან რაოდენობრივი ხასიათის დასკვნები.

გავარჩიოთ ხარისხობრივი მეთოდი: სპექტრების ფოტოგრაფირება წარმოებს პრიზმული ან დიფრაქციული სპექტროგრაფებით. პირველი სახის ხელსაწყოში სინათლის სხივების განაწილება ხდება მინის ან-კვარცის პრიზმაში, ხოლო მეორე შემთხვევაში — დიფრაქციულ ცხაურში.

თუ სინათლის სხივების სიგრძე არის λ და მას აქვს კოორდინატი აბსცისთა ლერძზე, მაშინ

$$x = f(\lambda).$$

ნორმალური სპექტრი მიიღება იმ შემთხვევაში, როცა f ფუნქცია ხაზოვანია. ეს დამოკიდებულება გამოისახება ასე

$$x = k\lambda;$$

მეორენაირად

$$(x_2 - x_1) = k(\lambda_2 - \lambda_1).$$

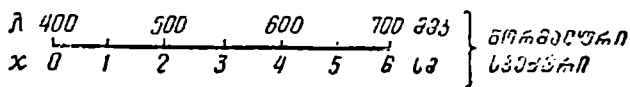
ამ თანასწორობიდან გამოდინარეობს, რომ სპექტრის რომელიმე ნაწილი განისაზღვრება სინათლის სხივების ტალღების სხვაობით.

დავუშვათ, რომ სპექტრის სიგრძე $x_2 - x_1 = 6$ სმ, სპექტრის დასაწყისი წერტილის x_1 -თვის $\lambda_1 = 400$ მმკ, ხოლო სპექტრის ბოლო წერტილის x_2 -თვის $\lambda_2 = 700$ მმკ; სპექტრის დასაწყისიდან 2 სმ მანძილზე ტალღის სიგრძე იქნება

$$\lambda = 400 + \frac{300 \cdot 2}{6} = 500 \text{ მმკ.}$$

ნორმალურ სპექტრს იძლევა დიფრაქციული ცხაური, ხოლო არანორმალურს — პრიზმული (ნახ. 37). უკანასკნელ შემთხვევაში მცირეტალღიანი

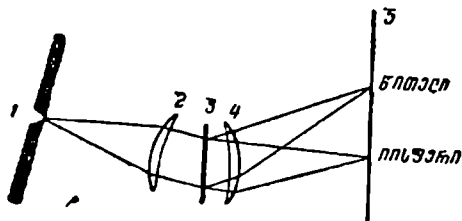
(იისფერი სხივი) შეესაბამება სპექტრის დიდ ნაწილს, ხოლო გრძელ-
ტალღიანი (წითელი სხივი) — სპექტრის მცირე ნაწილს.



ნა. 37.

სპექტრული შექმგრძობელობის ხარისხის შესამოწმებლად უმჯობესია ვიხმართ დიფრაქციული სპექტროგრაფი, რადგანაც სპექტრის ნაწი-
ლებსა და სხივების ტალღათა სიგრძეებს შორის არსებობს პირდაპირ-
პროპორციულობა.

დიფრაქციული სპექტროგრაფის მოწყობილობის ოპტიკური სქემა ასე-
თია (ნახ. 38): სინათლის წყაროს სხივები გაივლის ხერეღში (1), შემდეგ
ფოკუსში მდებარე ლინზაში
(2), აქედან პარალელური
კონების სახით მიემართება
დიფრაქციულ ცხაურში (3),
რომელიც ანაწილებს სინა-
თლის სხივებს სპექტრის ფე-
რების მიხედვით; ცხაურთან
მდებარე ლინზა (4) ასრუ-
ლებს ობიექტივის მოვალე-



ნახ. 38.

ობას და აწარმოებს სპექტრის გამოსახულების გადატანას ფოტოგრა-
ფიულ ფენაზე (5). ფოტოგრაფიული ფენის ერთ მხარეს მიიღება სპექ-
ტრის წითელი, მეორე მხარეს იისფერი პროექციები. პრიზმის სპექტრო-
გრაფში ცხაურის მაგივრად მოთავსებულია პრიზმა. გადაღების შემდეგ
ნეგატივი უნდა გამოვამეღანოთ სტანდარტულ პირობებში, მოვახ-
დინოთ ფიქსირება, გარეცხვა და გაშრობა. მიღებულ სპექტროგრამს
ეწნება სხვადასხვა შეხედულება, რითაც ხარისხობრივად ხასიათდება
სპექტრალური შექმგრძობელობა. ყოველი სხივის ტალღის სიგრძე
ხასიათდება სპექტროგრამის განსაზღვრული ოპტიკური სიმკვრივით.
შემოწმების გაადვილებისათვის სპექტროგრამს აქვს ტალღების სკალა

ან ტალღების სპეციალური ნიშნები. აღწერილი მეთოდი მხოლოდ საორიენტაციო წარმოდგენას იძლევა სპექტრალური შექმგრძნობელობის შესახებ.

სპექტრალურ შექმგრძნობელობაზე უფრო ზუსტ წარმოდგენას იძლევა რაოდენობრივი მეთოდი: S შექმგრძნობელობა განისაზღვრება H განათების სიდიდით. S_{λ} შექმგრძნობელობის სიდიდის გასაგებად უნდა ავაგოთ მრუდი, რომლის აბსცისთა ღერძზე გადაზომილი იქნება λ ტალღის სიგრძე, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — S_{λ} შექმგრძნობელობა. ასეთ შემთხვევაში

$$S_{\lambda} = \frac{K}{\varepsilon_{\lambda}},$$

სადაც

ε_{λ} არის სხივური ენერგია;

K — მუდმივი სიდიდე.

საერთო S შექმგრძნობელობის განსაზღვრა შეიძლება ფორმულით

$$S = \frac{K}{H}.$$

ეს ფორმულა მეორენაირად ასე გამოისახება

$$S = \frac{K_1}{\varepsilon}.$$

შექმგრძნობელობის მრუდი შეიძლება აიგოს ფუნქციონალური ტოლობის მიხედვით

$$\varepsilon = f(\lambda).$$

აქ ორდინატთა ღერძზე გადაიზომება სხივური ენერგიის სიდიდეები.

ვიცით, რომ $H = E \cdot t$; ანალოგიურად შეგვიძლია დავწეროთ

$$\varepsilon = K \cdot t.$$

λ ტალღის სიგრძის ცვლილების მიხედვით გვექნება

$$\varepsilon_{\lambda_1} = K_1 t_1;$$

$$\varepsilon_{\lambda_2} = K_2 t_2;$$

$$\varepsilon_{\lambda_n} = K_n t_n.$$

როდესაც სიკვრივე $D = 1$, მაშინ $K = 1$.

ამის მიხედვით

$$S_{\lambda_1} = \frac{K}{\varepsilon_{\lambda_1}} = \frac{1}{\varepsilon_{\lambda_1}};$$

$$S_{\lambda_2} = \frac{K}{\varepsilon_{\lambda_2}} = \frac{1}{\varepsilon_{\lambda_2}};$$

$$S_{\lambda_n} = \frac{K}{\varepsilon_{\lambda_n}} = \frac{1}{\varepsilon_{\lambda_n}}.$$

რაოდენობრივი გამოანგარიშების შედეგად თუ ავაგებთ გრაფიკებს, მივღებთ სხვადასხვა სახის შრულებს.

შუქფილტრების რაოდენობის დამოკიდებულება
შთანთქმის მდგრადი. შუქფილტრების კალანძირიანობა

შუქფილტრად ჩაითვლება ყოველი სინათლის სხივების შთანთქმელი საგანი, როცა მასში გავლის შემდეგ სინათლის სხივები იცვლის თავის სპექტრალურ შემადგენლობას. უშუალოდ იზიარება მყარი, იშვიათად თხევადი შუქფილტრები. მყარი შუქფილტრები მზადდება შეღებილი ქელატინის ფირებისაგან ან შეღებილი მინის ფირფიტებისაგან. შუქფილტრის რაოდენობრივ დახასიათებას იძლევა შთანთქმის მრუდი. ლამბერტ-ბერის კანონის მიხედვით სინათლის სხივების შთანთქმელი გარემო ამცირებს სინათლის სხივების პირვანდელ მოქმედებას. ასეთივე მდგომარეობას აქვს ადგილი შუქფილტრებშიც. ამის გამო შუქფილტრებისთვისაც შეგვიძლია დავწეროთ

$$I = I_0 \cdot 10^{-kcd}.$$

გაუმჟვარი საგნებისთვის

$$\frac{I_0}{I} = 10^{kcd};$$

ამ შემთხვევაში ოპტიკური სიმკვრივის სიდიდე განისაზღვრება

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = kcd.$$

შთანთქმის სიძლიერე დამოკიდებულია შუქფილტრში გავლილი სინათ-

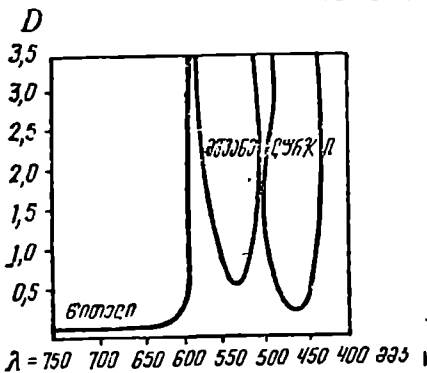
ლის სხივების სპექტრის ტალღების სიგრძეზე, რის გამოც

$$D_{\lambda} = \lg \frac{I_{\lambda_0}}{I_{\lambda}}$$

სინათლის სხივის სპექტრის თითოეული შემადგენელი ნაწილი ხასიათდება D_{λ} სიმკვრივის სიდიდით. გრაფიკების შედგენის დროს აბსცისთა ღერძად გამოყენებულია სხივის λ ტალღის სიგრძე, ორდინატთა ღერძად კი— D_{λ} სიმკვრივე. აგებული მრუდების მიხედვით შუქფილტრები შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ჯგუფად: მონოქრომატული, სელექციური, კომპენსიური, სუბტრაქტიული.

მონოქრომატული შუქფილტრების დამახასიათებელია ის, რომ გამოიყოფა სპექტრის ძლიერ მცირე ნაწილი. გამოიყენება სამეცნიერო სამუშაოს შესრულების დროს; მაგალითად, ფოტოქიმიური, ასტროფიზიკური და სხვა სახის გამორკვევების დროს.

სელექციური შუქფილტრებიც გამოყოფს სპექტრის მცირე ნაწილს, მაგრამ უფრო მეტს, ვიდრე მონოქრომატული შუქფილტრები. სელექციური შუქფილტრები გამოიყენება სამფერიანი ფოტოგრაფირების დროს. სპექტრი აქ იყოფა წითელ, მწვანე და ლურჯ ფერებად (ნახ. 39). წითელი შუქფილტრი ატარებს წითელ სხივებს $\lambda = 600$ მმკ, მწვანე ატარებს $\lambda = 600-500$ მმკ, ლურჯი კი— $\lambda = 500-450$ მმკ.



ნახ. 39.

კომპენსიური შუქფილტრები მოიცავს სპექტრის მთელ შემადგენლობას, რომელიც კი მასში გატარდება. ასეთი შუქფილტრებით წარმოებს ფერთა გადაცემის შესწორება ფოტოგრაფიული გადაღების დროს. მაგალითად, თუ ღრუბლოვან ცას გადავიღებთ შუქფილტრის გარეშე, განსხვავდება ცის და ღრუბლების სიკაშკაშეს შორის არ იქნება და მიიღება თეთრი ზედაპირი, ხოლო შუქფილტრის ხმარებისას ცის და ღრუბლების სიკაშკაშე ერთმანეთისგან გამოირჩევა. ფერადი გადაცემის შეს-

წორებისათვის იხმარება უფილტვი, ნარინჯისფერი და წითელი შუქფილტრები.

ს უ ნ ტ რ ა ქ ტ უ ლ ი შუქფილტრები ხასიათით სელექციური შუქფილტრების საწინააღმდეგოდ მოქმედობს: ეს შუქფილტრები წითელს სპექტრის მცირე ნაწილს, რომელსაც ატარებს სელექციური შუქფილტრები.

ფელატინის შუქფილტრების დაგება და საპირი მახალი გაანჯანგება

ფელატინის შუქფილტრების უპირატესობა ისაა, რომ მათი დამზადება შეიძლება მცირე ზომის ლაბორატორიებშიც. ფელატინის შუქფილტრებს აქვს აგრეთვე უარყოფითი მხარე — სუსტი გაანჯანგება. ფელატინის შუქფილტრების დამზადება წარმოებს საღებავის ხსნარის და ფელატინის ხსნარის შერევით. ასეთი ნარევი უნდა მოვითავსოთ მინის ზედაპირზე თბელ ფენად გაშრობამდე. შუქფილტრების რეცეპტურის შესადგენად საჭიროა ვიცოდეთ შუქფილტრის ოპტიკური სიმკვრივე

$$D = kcd.$$

შუქფილტრებში ფენის სისქე უფლებან ერთნაირია და შეგვიძლია ჩავთვალოთ მუდმივ სიდიდედ, რის გამო

$$k_1 = kd;$$

აქედან

$$D = k_1c,$$

სადაც k_1 არის მუდმივი სიდიდე;

c — მღებავი ნივთიერების კონცენტრაცია.

ფელატინის შუქფილტრის დასამზადებლად საჭიროა პირველად მოვამზადოთ მინა. უმჯობესია ვიხმაროთ სარკის მინა, უკიდურეს შემთხვევაში სწორზედაპირიანი ჩვეულებრივი მინა. ამ პირობის დაკვა საჭიროა იმისათვის, რომ 1–2 მმ სისქის მინაში 0,1 მმ განსხვავება მინის ზედაპირზე დასხმულ ხსნარში იწვევს 5—10% ცვლილებას. მინის ზედაპირი კარგად უნდა გავწმინდოთ, გავრეცხოთ ქრომიან ნაზავში, ცხელ წყალში, შემდეგ სპირტისა და ამიაკის ნარევი ან სუფთა სპირტში. ამის შემდეგ დაზგის საშუალებით უნდა შევამოწმოთ მინის ჰორიზონტალობა. მღებავი ნივთიერების გაანგარიშება უნდა მოვახდინოთ კონცენტრაციის მიხედვით: თუ გვინდა დავამზადოთ № 5 შუქფილტრი, ზომით 13 სმ X 18 სმ = 234 სმ², მღებავი ნივთიერების კონცენტრაცია 10.000 სმ² უნდა იქოს 1,6 გ, მაშინ აღნიშნული ზომის ფირფიტისათვის

$$\frac{1,6 \cdot 234}{10.000} = 0,0374 \text{ გ.}$$

ჟელატინი იხსნება 40—45° ტემპერატურაზე წყალში. შუქფილტრები-სათვის იხმარება 6—10%-იანი ჟელატინის ხსნარი. 1 სმ² ხსნარი საკმა-რისია 10 სმ² ზედაპირის დასაფარავად. მღებავი ნივთიერება წინასწარ უნდა გავხსნათ მცირე რაოდენობის სპირტში და შემდეგ ასეთი ხსნარი დავემატოთ ჟელატინის ხსნარს. შუქფილტრი უნდა იყოს თანაბრად გაშუქვითვადი; ამ მდგომარეობას ზოგჯერ ხელს უშლის გოგირდმჟავას ნარჩენები, რომლებიც თან დაყვება ჟელატინის მისი დამზადების დროს. ამისათვის შუქფილტრების დამზადებისას უნდა გამოვიყენოთ გაშუქვით-ლი ჟელატინი. შენახვის გახანგრძლივებისათვის საჭიროა ხსნარს დავუ-მატოთ 3—5% სპირტი.

ჟელატინის 40—50° ტემპერატურის ხსნარს ვასხამთ მინის ზედაპირის შუა ადგილზე ერთნაირი სიძლიერის ჭავლით. საჭიროა სამუშაო ოთახში ტემპერატურა არ იყოს 18° ნაკლები და 22° მეტი. ხსნარდასხმული მინა ვასაძროხად უნდა შევინახოთ კარადაში, სადაც იქნება 20—22° ტემ-პერატურა. შრომა შეიძლება ვაწარმოოთ კარადის გარეშეც, მხოლოდ ოთახში არ უნდა იდგეს მტვერი. შრომა გრძელდება 20—40 საათს. გა-შრობის დამთავრების შემდეგ მინის ზედაპირიდან ნაპირებთან გერელი დანით ავოგურით შუქფილტრის ფენას. ამის შემდეგ ამ ფენას ვაშაგრებთ მინის ორ ფირფიტას შორის კანადის ბალზამით. კანადის ბალზამი იხ-მარება იმისათვის, რომ მისი სხივთა გარდატეხის კოეფიციენტი $n=1,528$ და უახლოვდება მინის გარდატეხის კოეფიციენტს $n=1,530$. კანა-დის ბალზამის გაშაგრება წარმოებს 8—14 დღეში.

შუქფილტრების ფოტოგრაფიული ჯეგალღობა

შუქფილტრების რაოდენობითი დახასიათებისათვის დიდი მნიშვნე-ლობა აქვს აგრეთვე მათი ფოტოგრაფიული ჯეგალღობის სიდი-დის განსაზღვრას. თუ სინათლის წყაროს ნაკადი არის F_0 , მისი ფუნქ-ცია, რითაც განისაზღვრება სპექტრალური შემაღეწელობა, იქნება $F_0(\lambda)$. ამის მიხედვით

$$F_0 = \int_0^{\infty} F_0(\lambda) \cdot d(\lambda).$$

შუქფილტრში გატარების შემდეგ სინათლის წყაროს ძალა შემცირდება, რის გამოც $F < F_0$. ამ წენთსვენაში

$$F = \int_0^{\infty} F(\lambda) \cdot d(\lambda).$$

თუ გვექნება სპექტრალური შუქმგრანობელობის სიდიდე S_λ , მაშინ

შესაბამისად მივიღებთ ორ განსხვავებულ სიდიდეს:

$$B_0 = \int_0^{\infty} F_0(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d(\lambda);$$

$$B = \int_0^{\infty} F(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d(\lambda).$$

შუქფილტრის f ჯერადობა გამოიანგარიშება ამ ორი ტოლობის ერთ-მანეთთან შეფარდებით:

$$f = \frac{B_0}{B} = \frac{\int_0^{\infty} F_0(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d(\lambda)}{\int_0^{\infty} F(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d(\lambda)}.$$

ამგვარად, შუქფილტრის ჯერადობის სიდიდე გვიჩვენებს, თუ რაანდენად ეფექტურდება სინათლის მოგზავნის ეფექტურობა შუქფილტრში მისი გატარების შემდეგ. ეს დამოკიდებულია პრაქტიკულ საქმიანობაში მოგვეცემა იმის წარმოდგენას, თუ შუქფილტრის ხმარების ჯერადობის სიდიდის მიხედვით რაანდენჯერ გავადიდოთ გადაღების დაქერა, რომ მივიღოთ ნორმალური ნეგატივი, შედარებით იმ დაქერასთან, რომელიც გვექნებოდა ნორმალური ნეგატივის მისაღებად უშუქფილტროდ. მაგალითად, თუ პირველ შემთხვევაში დაბნელების საზღვარი შეადგენს 84° , მეორე შემთხვევაში კი— 70° , შესაბამისი შუქგრობობა განისაზღვრება 934 და 256 ამის მიხედვით შუქფილტრის ჯერადობა იქნება

$$f = \frac{934}{256} = 3,7 \approx 4.$$

მაშასადამე, შუქფილტრის გამოყენების ასეთ შემთხვევაში გადაღების დაქერა უნდა გავზარდოთ 4-ჯერ.

შუქფილტრის ჯერადობის სიდიდის გასაგებად საჭიროა ნორმალური სინათლის ეფექტურობა შევადაროთ შუქფილტრის სინათლის ეფექტურობასთან.

დაჭმრის განსაზღვრა მქპონომეტრებით

ექსპონომეტრები გამოიყენება საგნების განათებულობის ან სიკაშკაშის გასაზომად. თუ გვექნება ასეთი შემოწმება, შეგვიძლია განვსაზღვროთ გადაღების დაქერის სიდიდე. უკანასკნელ დროს იხმარება ოპტიკური და ფოტოელექტრული ექსპონომეტრები.

საბჭოთა ოპტიკური ექსპონომეტრი წარმოდგენს მცირე ზომის ყუთს, რომელსაც აქვს ორი სწორკუთხოვანი ხერელი. ერთი ხერელი მუდმივად დაქურულია მქრქალი მინით. მეორე ხერელს აქვს სახურავი, რომლის შიგნით მოჩანს დახრილი სარკე. მქრქალ მინასა და სარკეს შორის მოთავსებულია ობიექტივის სიკაშკაშის განმსაზღვრელი სკალა. სკალაზე აღნიშნულია ციფრები: 2—2, 8—4—5, 6—8—11—16. სკალის ყოველი შემდეგი ციფრი ხასიათდება შედარებით დიდი ოპტიკური სიმკვრივით, ე. ო. ატარებს მასზე დაცემული სინათლის სხივების ნაკლებ რაოდენობას. სკალა თანაბრად ნათდება მქრქალი მინით. რაც მეტი იქნება ობიექტივის სიკაშკაშე, მით მეტი სიდიდის ციფრი გამოიჩინება სკალაზე. ყუთის ზედა ნაწილში მოთავსებულია დაჭერის სიდიდის განმსაზღვრელი მოძრავი დისკო და დიაფრაგმის სკალის ნახევარწრე. დისკოს აქვს სამი სკალა, რომლებზედაც აღნიშნულია დაჭერის დრო წამობით. დისკოს სკალები გამოიყენება სხვადასხვა შემთხვევისათვის: მზიანი უღრუბლო დღეებისათვის, ღრუბლიანი დღეებისათვის და შენობის შიგნითა გადაღებებისათვის.

როდესაც გადალება წარმოებს შუქფილტრებით, ექსპონომეტრით მოცემული დაჭერის სიდიდე უნდა გაეზარდოს ფილტრის ჯერადობის მიხედვით. ამის შესახებ წარმოდგენას იძლევა 22-ე ცხრილი.

ცხრილი 22

ფირის ტიპები	მზიანი დღისათვის			ღრუბლიანი დღისათვის ან ჩრდილში			დილით, საღამოთ და ელექტრული განათების დროს		
	ნათელი	საშუალო	მკვრივი	ნათელი	საშუალო	მკვრივი	ნათელი	საშუალო	მკვრივი
იზოპანქრომი, პანქრომი	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	1,5	1,5	2,0
იზოქრომი	1,5	2,0	3,0	3,0	5,0	7,0	1,5	1,5	2,0
ორთოქრომი	3,0	4,0	6,0	5,0	7,0	9,0	2,0	3,0	4,0

შუქფილტრის ჯერადობა იცვლება ფირის ტიპისა და ხასიათის მიხედვით.

ფოტოელექტრული ექსპონომეტრი უფრო ზუსტი ხელსაწყოა. საბჭოთა ქარხნებში მზადდება ასეთი ორი სახის ექსპონომეტრი: „ლენინგრადი“ და „კიევი“. მათ შორის განსხვავება ასეთია: 1) „ლენინგრადი“ უფრო მეტად ზგრძნობიარეა, „კიევი“ კი — ნაკლებად მგრძნობიარე; 2) „ლენინგრადით“ შეიძლება გაიზომოს სიკაშკაშე, რომელიც მოქცეულია 60° ფარგლებში, „კიევი“ კი გაიზომება 70° ფარგლებში;

3) „ლენინგრადით“ შეიძლება შემოწმდეს განათებულობა და სიკაშკაშე, „კიევი“ — მხოლოდ სიკაშკაშე; 4) „ლენინგრადს“ აქვს დამატებითი მოწყობილობა, რითაც შეგვიძლია სწორად დავაყენოთ ხელსაწყოს ისარი, არ დაგვეჩერდეს მიენათოთ სარემონტო სახელოსნოს.

ექსპონომეტრ „ლენინგრადს“ აქვს ფანჯარა, საიდანაც სინათლის სხივები ეცემა ხელსაწყოს შიგნით მოთავსებულ ფოტოელემენტის ზედაპირს. ხელსაწყოს ზედა ნაწილში მოთავსებულია ორი დისკო სკალით: ზედა დისკოზე აღნიშნულია დაქერის აღმნიშვნელი ციფრები, ქვედაზე კი დიაფრაგმის ციფრები განაწილებულია ორ სკალაზე — მცირე და ძლიერი განათებისათვის.

ექსპონომეტრი „კიევი“ თავისი მოწყობილობით მცირედით განსხვავდება „ლენინგრადისაგან“. იხმარება მხოლოდ საშუალო სიკაშკაშის შესამოწმებლად.

ფოტოელექტრულ ექსპონომეტრებს უნდა ვინახავდეთ მშრალ ადგილზე, სადაც ტემპერატურა არ იქნება 40—50°-ზე მეტი. ხელსაწყოები ჩაწყობილი უნდა იყოს სპეციალურ ყუთებში, უნდა ავირიდოთ ყოველგვარ დარტყმას და ელექტრულ ზეგავლენას.

დაბერის განსაზღვრა სასინჯი გადაღებებით

სასინჯი გადაღებების წარმოება შედარებით მარტივი და გავრცელებული მეთოდია. ასეთი მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში ვახდენთ შემოწმებას არამარტო გადაღებებისას, არამედ გამომკლავებისას და ფირის შექმგრძობილობისასაც. ასეთი დასკვნების მიღება კი არ შეიძლება არც ცხაურებით, არც სოლებით და არც ექსპონომეტრით. ასეთი შემოწმებისათვის საჭიროა გადაღება და გამომკლავება მოვხდინოთ მხოლოდ ტიპური პირობებისათვის. ტიპურ ობიექტად უნდა გამოვიყენოთ საგნის ისეთი მდგომარეობა, როცა იგი იმყოფება მზესა და ჩრდილში, ან მთლიანად ჩრდილში. სასინჯად საკმარისია სამი გადაღება: პირველი გადაღება უნდა მოვხდინოთ ჩვეულებრივი დაქერით და დიაფრაგმით, მეორე და მესამე კი დაქერით ორჯერ ან ოთხჯერ შემცირებით და გადიდებით. ზუსტი შედეგებისათვის უმჯობესია შევცვალოთ არა დაქერა, არამედ ხვრელის დიაფრაგმა. გადაღებული ფირები შეიძლება გამოვამკლავნოთ ერთად, მხოლოდ მტკიცედ უნდა დავიცვათ გამომკლავების ტემპერატურა. სწორი ექსპოზიციის ნეგატივები იქნება მაშინ, როცა გარკვევით ჩანს გამოსახულების ნათელი და მუქი ადგილები. თუ მიღებულია ასეთი ნეგატივები, საჭიროა შემდეგი გადაღებები ვაწარმოოთ დადგენილი დაქერის და დიაფრაგმის მიხედვით. ზოგჯერ საჭიროა 2—3-ჯერ გავზარდოთ დაქერის დრო ან დიაფრაგმის დიამეტრი, რაც გაკლენას ახდენს ნეგატივზე და გამომკლავების შემდეგ ნეგატივის

გამოსახულება მიიღება უფრო მკერძივი. გამოსახულების ცალკეული ნაწილების სიკაშკაშის შემოწმება შეიძლება ვაწარმოთ ფოტოელექტრული ექსპონოზირებით და დავადგინოთ საცდელ საგანზე რა ადგილებში იქნება ძლიერ ნათელი და შედარებით მუქი ადგილები. ნათელსა და მუქ ადგილებს შორის განსხვავებას სიკაშკაშის ინტერვალი ეწოდება. სწორი ექსპოზიციის დროს ნეგატივის სიმკვრივის სკალა ისეთივე იქნება, როგორც ობიექტივის სიკაშკაშის სკალა. გადამეტების ან უკმარობის შემთხვევაში ნეგატივის სიმკვრივე კლებულობს, სიკაშკაშე გადაეცემა არასრულყოფილად — არასწორად. დაჭერის საგრძნობი ცვლილება ზოგჯერ იწვევს გადამეტებას ან უკმარობას. ამისათვის საგნების გადაღება უნდა ვაწარმოთ სიკაშკაშის მცირე განსხვავებით; სიკაშკაშის მცირე ინტერვალი არ უნდა აღემატებოდეს $30:1—60:1$, მზით განათებულ შენობაში — $10:1—15:1$, ადამიანის სახე ღია ფონზე — $10:1$. ზოგჯერ გადაღება გვეჩირდება მჭიდრო ტყეში, სადაც მზის მუქი ატანს მხოლოდ ირიბად — ხეების ფოთლებიდან; ასეთ შემთხვევაში სიკაშკაშის ინტერვალი აღწევს $100000:1$. თუ საგანი მოთავსებულია ნაწილობრივ მზეზე და ნაწილობრივ სიბნელეში, ასეთ მდგომარეობაში მისი გადაღება რთულდება; ამ დროს მზეში გადაღება უნდა ვაწარმოთ $100:1—200:1$, სიბნელეში კი — $200:1—500:1$; მზეზე მყოფი საგნის ნაწილისათვის, რომლის გადაღება შეიძლება ვაწარმოთ მ დიაფრაგმით, დაჭერა საკმარისია $\frac{1}{100}$ წამი, სიბნელეში მყოფი ნაწილისათვის კი —

4 წამი. თუ გადაღებას ვაწარმოებთ $\frac{1}{100}$ წამში, დაბეჭდვის შემდეგ

სიბნელეში მყოფი საგნის ნაწილი იქნება შავი, ხოლო თუ გადაღებას მოვახდენთ 4 წამში, მაშინ დაბეჭდვის შემდეგ მზეში მოთავსებული საგნის ნაწილი იქნება თეთრი. თუ დაჭერის დროს გავასაშუალებთ და გადაღებას ვაწარმოებთ $\frac{1}{5}$ წამში, შედეგი მაინც არ იქნება დამაკმაყოფი-

ლებელი: მზეზე მყოფი საგნის ნაწილი გადაიღება გადამეტებით, სიბნელეში მყოფი საგნის ნაწილი კი — უკმარობით. ამ შემთხვევაში საჭიროა გადავწყვიტოთ საგნის რომელ ნაწილს უნდა მიექცეს უმთავრესი ყურადღება და გადაღებაც ამის მიხედვით ვაწარმოთ. დაჭერის ხანგრძლიობის დადგენას მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე მძობრავი საგნების გადაღებისას. მაგალითად, ფრენბურთის დროს გამოყენებული ბურთის გადასაღებად უძრავობისას საჭიროა დაჭერა $\frac{1}{50}$ წამი, მოძრავობის პროცეს-

ში — $\frac{1}{500}$ წამი; ტენისის მოძრავი ბურთისათვის კი — $\frac{1}{1000}$ წამიც დი-

დი დროა. საერთოდ, მოძრავი საგნების გადაღებისას დაჯერის დრო რაც შეიძლება მეტად უნდა შევამციროთ; სხვა შემთხვევაში კი დაჯერის დრო გავზარდოთ და პარალელურად შევამციროთ დიაფრაგმის დიამეტრი.

ყველა ამ საკითხის შესწავლა შეგვიძლია დაკვირვებებით, სასინჯი გადაღებების წარმოებით.

ბონების წარმოქმნა შავ-თეთრ ფოტოგრაფიაში

შავ-თეთრ ფოტოგრაფიაში გამოსახულების დაზუსტების დროს ზოგჯერ საჭიროა საბეჭდ ქალაქულზე მივიღოთ ყავისფრად, წითლად, ლურჯად, მწვანედ ან სხვა ფერად დაბეჭდილი პროდუქცია. ტონალური ნაბეჭდი პროდუქციის მისაღებად შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა მეთოდი: 1) ლითონფერცხლის შეერთება მღებავ ნივთიერებასთან; 2) ლითონფერცხლის შეღებვა ანილინის მღებავი ნივთიერებით გამოზღვანების დროს; 3) ლითონფერცხლის შეცვლა ოქროთი და ვერცხლით. ხშირად იხმარება პირველი და მეორე მეთოდი, მესამე მეთოდი კი თითქმის არ არის გამოყენებული. შედარებით უფრო სავრცელებულია ისეთი მეთოდი, როცა შავი ლითონფერცხლი შეცვლილია ყავისფერი გოგირდფერცხლით. ამ შემთხვევაში დაბეჭდილ სურათებს ეწლევა ნუქი ყავისფერი. მოწითალო ყავისფერი და სხვა. ასეთ სურათებზე არ მოქმედებს ჰაერის სინოტივე და სინათლე. დაბეჭდილი პროდუქციის ხარისხი არ არის დამოკიდებული მარტო ტონალობის შესაქმნელი ხსნარის შემადგენლობაზე, არამედ დამოკიდებულია ქალაქდის ხარისხზე და კერძოდ ეზუსტიაზე. ეზუსტის სხვადასხვა ხარისხი იწლევა ტონალობის სხვადასხვაობას.

ტონალობის მისაღწევად ხმარობენ ჰიპოსულფიტის და ალუმინკალიუმის შაბის ხსნარს. ასეთი ხსნარის გამოყენება არ მოითხოვს სპეციალურ პირობებს, მაგალითად, ვენტელაციას ან განსაკუთრებულ განათებას. ჰიპოსულფიტის და შაბის შერევის დროს გამოიყოფა გოგირდი, რომელიც ლითონფერცხლთან ქმნის გოგირდფერცხლს და გამოსახულებას ამლევს ყავისფერს. ოთახის ტემპერატურის პირობებში რეაქცია გრძელდება რამდენიმე საათს, მაგრამ თუ ხსნარს გავატყებებთ 60°-მდე, რეაქციას დასჭირდება მხოლოდ რამდენიმე წუთი. ხსნარი მზადდება ასეთი შემადგენლობით:

ჰიპოსულფიტი	200 გ
ალუმინის შაბი	45 გ
ადრღებელი ცხელი წყალი	1000 მლ

გამოყენების წინ ხსნარს უნდა მიეფუძტოთ ვერცხლი, წინააღმდეგ შემთხვევაში ანაბეჭდი იქნება სუსტი. ამისათვის უნდა გამოვიყენოთ 10%-ანი აზოტმზავა ვერცხლი: ერთ ლიტრ მღებავ ნივთიერებას შევურიოთ 5—6 მლ აზოტმზავა ვერცხლი. ბეჭდვის დაწყების წინ ხსნარი

უნდა მოვათავსოთ ეზლის აბაზანაში, გავახუროთ 30° — 40°-მდე, შემდეგ 60 — 65°-მდე; ამ პროცესში გამოსახულების შეღებვა დამთავრდება 3 — 15 წუთში. შეღებილი ანაბეჭდი უნდა მოვათავსოთ თბილ წყალში და გავრეცხოთ მდინარე წყლით. არასაკმარისი გარეცხვის გამო დროთა განმავლობაში დაბეჭდილი სურათი გაუვითლდება. ზოგჯერ გამოსახულების ზედაპირზე ჩნდება ბუშტები; ამის საწინააღმდეგოდ საჭიროა ხსნარის დათრიმლვა ალუმიწყალიუმის შაბის 10%-იანი ხსნარით ან ფორმალინის 40 %-იანი ხსნარით.

თუ ხსნარს დავუმატებთ ჰიპოსულფიტს და შაბს, ხსნარი შეიძლება განოვანდნოთ რამდენიმეჯერ.

კარგად მოწყობილი შენობის შემთხვევაში შეიძლება ვიხმაროთ გოგირდნატრიუმის ხსნარი. ამ მეთოდის დადებითი მხარე ის არის, რომ პროცესი სრულდება სწრაფად. შეღებვის პროცესის შესასრულებლად იხმარება ორი ხსნარი—მათეთრებელი და მღებავი. მათეთრებელი ხსნარის შემადგენლობაში შედის:

წითელი სისხლის მარილი .	30 გ
ბრომკალიუმი	10 გ
წყალი	1000 მლ

ეს ხსნარი ინახება სიბნელეში. შეიძლება ვიხმაროთ განმეორებით. ამ ხსნარით წარმოებს გამოსახულების გათეთრება — გამოსახულება გარდაიქმნება რძისებურ-მოყვითალო ბრომკერცხლად. თუ ხსნარს დავუმატებთ 50—100 მლ ნიშადურის სპირტს, ამით დავაჩქარებთ გათეთრების შემდეგ გარეცხვის პროცესს.

მღებავი ხსნარის შემადგენლობა ასეთია:

გოგირდნატრიუმი (20 %-იანი ხსნარი)	. 500 — 200 მლ
წყალი	1000 მლ

ეს ხსნარიც ინახება სიბნელეში. ნახშირი ხსნარი განმეორებითი პროცესებისათვის არ გამოდგება.

უმჯობესია გათეთრება ვაწარმოოთ მინის ან პლასტმასის ქურჭელში. ემალირებული რკინის ქვაბები ფრთხილად სახმარია, რადგან ემალის ბზარებში შესაძლოა ჩავიდეს ხსნარი და იმოქმედოს რკინაზე; ამის გამო ანაბეჭდზე შეიძლება მივიღოთ ლურჯი ლაქები.

ფიქსირებული და გარეცხილი ანაბეჭდი გასათეთრებლად უნდა მოვათავსოთ ხსნარში 1 — 1,5 წუთს, შემდეგ სიყვითლის მოცილებამდე ვრეცხოთ წყალში და გადავიტანოთ მეოჯ — მღებავ ხსნარში. შეღებვა დასრულდება რამდენიმე წამში, მაგრამ მეტ ხანს გაჩერებაც კუდად არ იმოქმედებს. ამის შემდეგ ანაბეჭდი უნდა გავრეცხოთ და გავაშროთ. გათეთრებაც და შეღებვაც შეგვიანლა ვაწარმოოთ დღის ან ელექტრონათურის სინათლეზე. მღებავი ნივთიერებებიდან გამოიყოფა გოგიოდ-

წყალბადი, რომელიც იძლევა მკვეთრ არასასიამოვნო სუნს; ამისათვის საძუძაო ოთახს უნდა პკონდეს მოწყობილი ვენტილაცია ან ოთახის სარკმელები უნდა იყოს ღია.

შავ-თეთრი ანაბექტის რეტეში წარმოებს სპეციალური კალმებით და შავი ტუშით. ტონალობის დასაცავად საჭიროა ეხმაროთ მწრალი აკვარელის საღებავებიც. შავი ლაქების დასაფარავად იხმარება მათეთრი, რეტეშისათვის ზოგიერთ შემთხვევაში უნდა ვიხმაროთ აგრეთვე დაწნეხილი ჭვარტლი და ჭვარტლის შავი ფანქარი. კრიალა ქაღალდისათვის გამოიყენება ტუში და საღებავი. დაწნეხილი ჭვარტლი და ჭვარტლის შავი ფანქარი კარგ შედეგს გვაძლევს მკრქალი, ნახევრადმკრქალი და მარცვლოვანი ფოტოქაღალდების ხმარების დროს, ასევე დიდი ფართობების დაფარვის დროს.

ტონალური გრაფიკების შედგენა

ვე ბ ე რ-ფ ე ხ ე რ ი ს გამორკვევის საფუძველზე ფოტოგრაფიული გამოსახულება პირდაპირპროპორციულია ობიექტის სიკაშკაშისა

$$\lg B_{\text{ობ}} = k \lg B_{\text{აოხ}}$$

ტონალურობის შექმნის პროცესი რთულია, შედგება რამდენიმე ცალკეული პროცესისაგან:

1. ოპტიკური გამოსახულების მიღება—

$$\lg E_{\text{ობ}} = f(\lg B_{\text{ობ}}).$$

ეს ფუნქცია მრუდხაზოვანია.

2. გადაღება—

$$\lg H_{\text{ფგ}} = f(\lg E_{\text{ობ}}).$$

ეს ფუნქცია სწორხაზოვანია.

3. გამომქლავება—

$$D_{\text{ფგ}} = f(\lg H_{\text{ფგ}}).$$

ეს ფუნქცია ხასიათდება ნეგატივის ფენის მრუდი ხაზით.

4. განათებულობის განაწილება პოზიტიურ ფენაზე—

$$\lg E_{\text{აოხ}} = f(D_{\text{ფგ}}).$$

ეს ფუნქცია დაახლოებით სწორხაზოვანია.

5. ასლის გადაღება—

$$\lg H_{\text{აოხ}} = f(\lg E_{\text{აოხ}}).$$

ეს ფუნქცია სწორხაზოვანია.

6. ანაბექტის გამომქლავება—

$$D_{\text{აოხ}} = f(\lg H_{\text{აოხ}}).$$

ეს ფუნქცია ხასიათდება პოზიტივის ფენის მრუდი ხაზით.

7. სიკაჟკაჟის განაწილება ანაბეჭდზე—

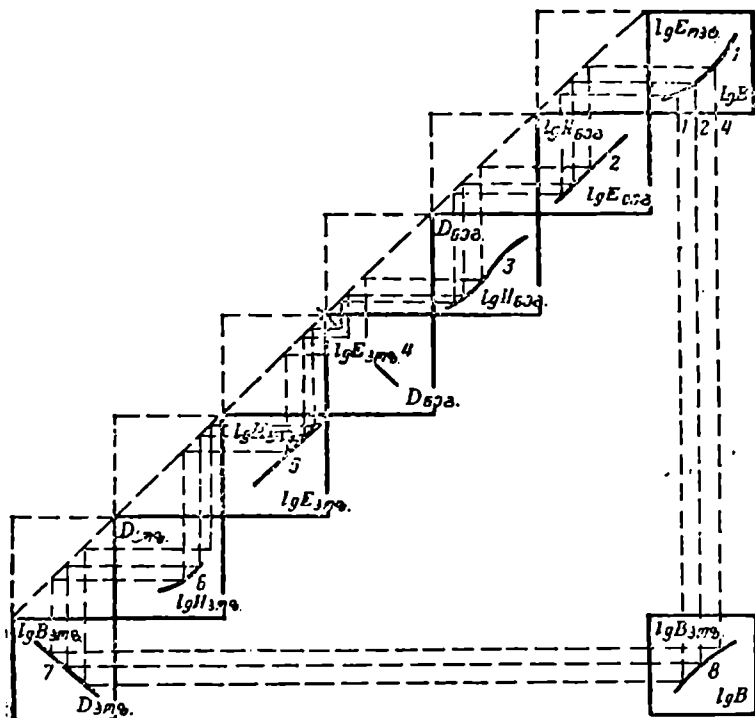
$$\lg B_{აზ} = f(D_{აზ}).$$

ეს ფუნქციაც სწორხაზოვანია.

ეს ცალკეული პროცესები იძლევა მთელი პროცესის გამოსახულებას

$$\lg B_{აზ} = f(\lg B_{აზ}).$$

მისი გრაფიკული გამოსახეც შედგენილია ცალკეული გამოსახულებებისაგან და წარმოგვიდგება როგორც უწყვეტი პროცესი. საერთო გრაფიკიდან აიგება შემაჯამებელი გრაფიკი, რომელიც წარმოადგენს დასაწყისი და დასასრული პროცესების გეგმილების შედეგს (ნახ. 40).



ნახ. 40.

ადგილის ეკონომიის მიზნით გრაფიკი შეიძლება აიგოს პროცესების სხვა სახის განლაგებით. ასეთი განლაგება შეიძლება იყოს მრავალგვე-

რი. ტონალობით ასეთი შემოვლებული გრაფიკი ააგო აგრეთვე ჯონსონმაც. ჯონსონის გრაფიკის (ნახ. 41) მარჯვენა ქვედა კვადრატში მიღებულია ნეგატივის ფენის მახასიათებელი მრუდი. ექსპოზიციის ლოგარითმული სკალა შეთანხმებულია ზედა მარჯვენა კვადრატის ლოგარითმების სკალასთან იმ მოსაზრებით, რომ თითქოს ფოტოგრაფიულ აპარატში სინათლის გაბნევას ადგილი არ აქვს და ამისათვის სინათლის სიკაშკაშე ექსპოზიციის პირდაპირპროპორციულია. ჯონსონის გრაფიკში პირველი ორი პროცესი არ არის განხილული და ფაქტიურად დასაწყისი აღინიშნება მესამე ცალკე პროცესიდან. ამ გრაფიკის ქვედა მარცხენა კვადრატში მოთავსებულია პოზიტიური ფენის მახასიათებელი მრუდი; აქ აბსცისთა ლერძი ვერტიკალურად არის მოთავსებული, ხოლო ორდინატთა ლერძი ჰორიზონტალურად. გრაფიკის ზედა მარცხენა კვადრატი წარმოდგენას იძლევა პოზიტივის ფენაზე ოპტიკური სიძვერის განაწილების შესახებ.

ჯონსონის გრაფიკიდან გამომდინარეობს გოლდბერგის ერთი მნიშვნელოვანი კანონი:

მზა პროდუქციის — დამზადებული გამოსახულების კონტრასტულობა იზომება ობიექტის სიკაშკაშის ლოგარითმით.

ანალოგიურადვე ფასდება ნეგატივისა და პოზიტივის ფენების კონტრასტულობა. გრაფიკზე ერთნაირი ასობით არის აღნიშნული ერთნაირი ძალის კონტრასტულობა:

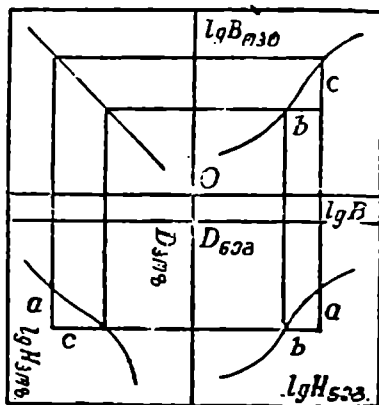
a — ნეგატივის ფენის სიძვერივე და პოზიტივის ფენის ექსპოზიციის ლოგარითმი შეტოლებულია;

b — ნეგატივის ფენის ექსპოზიციის ლოგარითმი და ობიექტის სიკაშკაშის ლოგარითმი შეტოლებულია;

c — პოზიტივის სიძვერივე და ანაბეჭდის სიკაშკაშის ლოგარითმი შეტოლებულია.

კონტრასტულობა გრაფიკის სწორხაზებში გამოისახება:

ნეგატივის ფენისათვის—



ნახ. 41.

$$\gamma_{\text{ნეგ}} = \frac{a}{b};$$

პოზიტივის ფენისათვის—

$$\gamma_{ab} = \frac{c}{a};$$

ანაბეჭდისათვის—

$$\gamma_{ab} = \frac{c}{b};$$

ნეგატივისა და პოზიტივის კონტრასტულობა —

$$\gamma_{ნგ} \cdot \gamma_{პო} = \frac{a}{b} \quad \frac{c}{a} = \frac{c}{b};$$

რადენაკ

$$\gamma_{ab} = \frac{c}{b},$$

შეგვიძლია დაწეროთ

$$\gamma_{ab} = \gamma_{ნგ} \cdot \gamma_{პო}$$

გოლდბერგის ეს კანონი იხმარება ყველა მსგავსი პროცესისათვის. ამ კანონის მიხედვით ცალკეული პროცესი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც განუწყვეტელი შეტოლებანი, რის მიხედვით შეგვიძლია დაწეროთ

$$\gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \dots \gamma_n = \gamma$$

ს. მიკლაშევიცკის მოსაზრებით ტონალობის ასეთი ჯაჭვი შეიძლება ვაჩივიყვნოთ ფოტორეპროდუქციული პროცესების შესრულების დროსაც. ამ შემთხვევაში ტონალობის ჯაჭვის დასაწყისია რეპროდუქციული ორიგინალი, ხოლო დასასრული—პოლიგრაფიულად გადაღებული ფორმა.

შენიღვის პრინციპი

ფოტონეკანიკური წესით რეპროდუქციის დამუშავების დროს ზოგჯერ წარმოიქმნება ზოგიერთი სახის დეფექტი, რის გამოსასწორებლად საჭიროა რეტუში. რეტუშის დროს საღებავით ვზრდით სიმკვრივეს იმ ადგილებში, სადაც საკმარისი არ არის. რეტუში კეთდება უშუალოდ ნეგატივზე ან გამჭვირვალე ფირზე, რომელიც მოთავსებულია ნეგატივის ზედაპირზე. ნეგატივის ზედაპირზე მოთავსებულ გამჭვირვალე ფირს, რომელზედაც აღნიშნულია საკორექტურო გამოსახულება, ეწოდება ნიღბანი ან შენიღბვის დიამოზიტივი. შენიღბვის დიამოზიტივზე უნდა დაფარდეთ ფოტოგრაფიული გზით, ნეგატივისადმი შებრუნებულიად. შენიღბვის მეთოდის გამოსაყენებლად საჭიროა გუქონდეს ფერეტივი ორიგინალი, შედგენილი ისეთი ფერებისაგან, რომლებიც შეესაბამება რეპროდუქციულ ორიგინალს. ნ. ნიუნბერგმა და ი. მედო-

გნიკოვმა შექმნეს ასეთი ფურცლი ორიგინალი. ეს ორიგინალი დაბეჭდილია ყვითელი, წითელი და ლურჯი საღებავებით (ნახ. 42). ორიგინალს აქვს სამი რიგი; თითოეულ რიგში მოცემულია ოთხი არე. სამი რიგის ქვემოთ მოთავსებულია აგრეთვე იისფერი, მწვანე და ნარინჯისფერი საღებავების სამი რიგი სამ-სამი არეთი; იისფერი მიღებულია ლურჯო საღებავის წითელ საღებავზე დაღებით; მწვანე — ლურჯი საღებავის ყვითელ საღებავზე დაღებით; ნარინჯისფერი — წითელი საღებავის ყვითელ საღებავზე დაღებით.

არეების რიგეში დასმული ციფრები საღებავების ჩაოდნობის მაჩვენებელია. ამ ორიგინალის ბოლოზე ნაჩვენებია მუქი რუხი ფერი, რომელიც შედგენილია სამი საღებავისა და სამი არისაგან სხვადასხვა ემულაციებით. ორიგინალს მარცხენა მხარეზე აქვს აგრეთვე რუხი-ნაცრისფერი სკალა თეთრიდან სიწვევამდე, რომელიც შედგენილია გამოამკლავებული ფოტონასალის ნიხედვით. ასეთი ორიგინალის გამოყენებით ჩვენ შეგვიძლია გამოვარკვეოთ ცალკეული ფერის სიმკვრივის განსხვავება ლურჯი, წითელი, იისფერი და შავი შენიღბვის დიაბოზიტითა. ამასთან ერთად მოვანდინოთ სიმკვრივის აღნიშვნა: $D_{525}^{\text{წ}} - \text{ნეუტრალის სიმკვრივე}$ და $D_{525}^{\text{წ}} - \text{ნიღბვის სიმკვრივე}$. ყვითელი ფერის ნეგატივისათვის:

	ღ	წ	ყ	
მ	ღ1	წ1	ყ1	1
	ღ2	წ2	ყ2	2
	ღ3	წ3	ყ3	3
	ღ4	წ4	ყ4	4
	წ4 ღ4	ყ4 ღ4	ყ4 ყ4	1
	წ4 ღ2	ყ4 ღ2	ყ4 წ2	2
	წ2 ღ4	ყ2 ღ4	ყ2 წ4	3
შ	ყ2 წ4 ღ4	ყ4 წ2 ღ4	ყ4 წ4 ღ2	
	3	2	1	

ნახ. 42.

$$D_{525}^{\text{წ}} - D_{4525}^{\text{წ}} = D_{4525}^{\text{წ}} - D_{625}^{\text{წ}};$$

$$D_{525}^{\text{წ}} - D_{525}^{\text{წ}} = D_{4525}^{\text{წ}} - D_{625}^{\text{წ}};$$

$$D_{525}^{\text{წ}} - D_{525}^{\text{წ}} = D_{525}^{\text{წ}} - D_{525}^{\text{წ}};$$

$$D_{4525}^{\text{წ}} - D_{525}^{\text{წ}} = D_{525}^{\text{წ}} - D_{4525}^{\text{წ}}.$$

ყვითელი ფერის ნეგატივზე სიმკვრივე რომ არ შემცირდეს, უნდა ვიხმაროთ ისეთი ნიღბი, რომელიც შექმნის ასეთ დაზოკიდებულებას

$$D_{4525}^{\text{წ}} - D_{625}^{\text{წ}} = 0.$$

შენიღების დიაპოზიტის თეთრ არესა და ყვითელი ფერის არეთა რიგებში უნდა ჰქონდეს მინიმალური სიმკვრივე.

წითელი ფერის ნეგატივისათვის ანალოგიურად:

$$D_{\text{ნებ}}^{\text{წ}} - D_{4\text{ნებ}}^{\text{წ}} = D_{4\text{ნილ}}^{\text{წ}} - D_{\text{ნილ}}^{\text{წ}} ;$$

$$D_{\text{ნებ}}^{\text{წ}} - D_{4\text{ნებ}}^{\text{წ}} = D_{4\text{ნილ}}^{\text{წ}} - D_{\text{ნილ}}^{\text{წ}} ;$$

$$D_{\text{ნებ}}^{\text{წ}} - D_{\text{ნებ}}^{\text{წ}} = D_{\text{ნილ}}^{\text{წ}} - D_{\text{ნილ}}^{\text{წ}} ;$$

$$D_{\text{ნებ}}^{\text{წ}} - D_{\text{ნებ}}^{\text{წ}} = D_{\text{ნილ}}^{\text{წ}} - D_{4\text{ნილ}}^{\text{წ}} .$$

ამ შემთხვევისათვის საჭიროა

$$D_{4\text{ნებ}}^{\text{წ}} - D_{\text{ნილ}}^{\text{წ}} = 0 .$$

ლურჯი ფერის ნეგატივი არ მოითხოვს შენიღების დიაპოზიტის გამოყენებას, რადგანაც ლურჯი ფერის ნეგატივი თითქმის უახლოვდება იდეალურ ფერს. შენიღება სჭირდება ძირითადად ყვითელი და წითელი ფერის ნეგატივებს.

ყვითელი ფერის ნეგატივზე შესწორება უნდა მოვახდინოთ ლურჯსა და წითელი ფერის რიგებში, ხოლო წითელი ფერის ნეგატივებში — ლურჯი ფერის რიგებში. ყვითელი ფერის ნეგატივის შენიღების დიაპოზიტი მზადდება წითელი ფერის ნეგატივისაგან, რომელსაც ყვითელი ფერის რიგებისადმი ექნება მინიმალური სიმკვრივე.

წითელი ფერის ნეგატივზე შესწორება უნდა ვაწარმოოთ შენიღების ლურჯი ფერის ნეგატივიდან დამზადებული შენიღების დიაპოზიტივით, რომელსაც წითელსა და ყვითელი ფერის რიგებში ექნება მინიმალური სიმკვრივე.

ამის მიხედვით ორიგინალის ფოტოგრაფირებისათვის საჭიროა სამი შუქფილტრი: წითელი, მწვანე და მოლურჯო-ისფერი. მივიღებთ სამი ფერის ნეგატივს: ლურჯს, წითელს და ყვითელს. ლურჯი ნეგატივიდან დამზადებული შენიღების დიაპოზიტივი წითელი ნეგატივისთვის, ხოლო წითელი ნეგატივიდან დამზადებული შენიღების დიაპოზიტივი ყვითელი ნეგატივისათვის შეასრულებს ნიღბის მოვალეობას. ნეგატივები და შენიღების დიაპოზიტივები ერთმანეთს უნდა დაეაწებოთ ჯვრისებური ნიშნების მიხედვით.

დიდი მნიშვნელობა ეძლევა ნეგატივებისა და შენიღების დიაპოზიტივების კონტრასტების ურთიერთ შორის დამოკიდებულებას. გასწორებული ყვითელი ნეგატივისათვის

$$\frac{\gamma_{\text{ნილ}}}{\gamma_{\text{ნებ}}} = 0,5 ;$$

არასაკმარისი გასწორების დროს $\frac{\gamma_{ნილ}}{\gamma_{გა}} < 0,5$; გადაქარბებული გასწო-

რებისას კი $\frac{\gamma_{ნილ}}{\gamma_{გა}} > 0,5$.

გასწორებული წითელი ნეგატივისათვის

$$\frac{\gamma_{ნილ}}{\gamma_{გა}} = 0,45;$$

არასაკმარისი გასწორების დროს $\frac{\gamma_{ნილ}}{\gamma_{გა}} < 0,45$; გადაქარბებული გას-

წორებისას კი $\frac{\gamma_{ნილ}}{\gamma_{გა}} > 0,45$.

ოთხსაღებავიანი რეპროდუქციის გადაღების დროს საჭიროა დავამზადოთ ოთხი ნეგატივი, რომელთაგან მეოთხე იქნება შავი ან რუხი საღებავისათვის. შავი სწორი ნეგატივის დამახასიათებელია ის, რომ ლურჯის, წითელისა და ყვითელი ფერების რიგების არეებს აქვს მაქსიმალური სიმკვრივე; ამ პირობის დაკმაყოფილება შეიძლება, როდესაც

$$D^{\text{წ}} - D_{45\text{გა}}^{\text{წ}} = 0. \quad D^{\text{წ}} - D_{45\text{გა}}^{\text{წ}} = 0; \quad D^{\text{წ}} - D_{45\text{გა}}^{\text{წ}} = 0.$$

შავი დიაპოზიტივის მიღება შეიძლება შავი ნეგატივის გარეშეც. ამ მიზნით უნდა გამოვიყენოთ ლურჯი და წითელი ნეგატივი ან სამი ძირითადი ფერის ნეგატივი ერთმანეთთან ზუსტი დამთხვევით; უკეთეს შედეგს იძლევა უკანასკნელი მეთოდი. შესაძლებელია მივიღოთ აგრეთვე შავი ნეგატივი პროექციული მეთოდით — წითელი, მწვანე და ლურჯ-იის-ფერი შუქფილტრების საშუალებით.

ყვითელი საკორექტურო დიაპოზიტივის დასამზადებლად, პროექციული მეთოდით გადაღებული ყვითელი ფერის ნეგატივი, ჯვრისებური ნიშნების საშუალებით ზუსტად უნდა შევუთავსოთ წითელი ფერის ნეგატივიდან დამზადებულ შენიღბვის დიაპოზიტივს და კონტაქტური ან პროექციული მეთოდით გადავიღოთ ზესაბამის ფოტოგრაფიულ მასალაზე. ასეთივე წესით უნდა მოვახდინოთ სხვა ფერის საკორექტურო დიაპოზიტივების დამზადება.

6. ფოტოგრაფიული გამოსახულების სტრუქტურული თვისება

გამომჟღავნებელი ვერცხლის სტრუქტურული დახასიათება

გამომჟღავნებელი ფოტოგრაფიული გამოსახულების დახასიათება წარმოებს არა მარტო სენსიტომეტრული მონაცემებით, არამედ გამოსახულების ფიზიკური მდგომარეობითაც. ფოტოგრაფიული ფენის სამჟღავნე მოხვედრის შემდეგ ჰალოგენიანი ვერცხლის კრისტალები დაიწყებს აღდგე-

ნას. თუ გამოძღვლებას შევაჩერებთ მისი დაწყებიდან ცოტა ხნის შემდეგ, ჰალოგენიანი ვერცხლი მცირედ აღდგება და ამასთან ერთად აღადგენს ლალონვერცხლს, შედარებით ჰალოგენიან ვერცხლთან ექნება სწორი ფორმა და მცირე ზომები. გამჟღავნების პროცესის გახანგრძლივების დროს აღდგება ჰალოგენიანი ვერცხლის ღიმი რაოდენობა, წარმოშობილ ლითონვერცხლს არ ექნება სწორი ფორმა, არამედ ძალიან განსხვავებული იქნება პირველადი კრისტალური ფორმისაგან. გამჟღავნებამდე ფოტოგრაფიული ფენის მარცვლებს აქვს მაკროსტრუქტურული ფორმა, გამჟღავნების შემდეგ კი — მეცვლილი, ე. წ. მაკროსტრუქტურული ფორმა; ასეთი ფორმის მარცვლებს გაზომვა უნდა დაწარმოოთ არა მიკრონებით, არამედ მიკრონის მეათედი და მეასედი ნაწილებით. ამაგვარად, გამოძღვლებამდე ფოტოგრაფიული ფენა შეიცავს მაკრომარცვლებს, ხოლო გამოძღვლების შემდეგ — მაკრომარცვლებს. გამოსახულების ფიზიკური თვისებების შესწავლისათვის საპიროა ვიცოდეთ: გამოსახულების მარცვლოვანობა, გამოსახვის უნარი და შარავანდწარმონაქმნი. ამ თვისებების რაოდენობითი გამოსახვისათვის საპიროა გავარჩიოთ რაოდენივე მეთოდი.

განოძღვლებულ სიწვეს თუ დაეკვირდებით გამადიდებელი მინით, შევნიშნავთ, რომ სიწვე შედგენილია სხედასხვა სიდიდის და სხედასხვა მანძილით დაცილებული მარცვლებისაგან. ასეთი მარცვლოვანობა გამოწვეულია იმით, რომ ვერცხლი გამოძღვლების პროცესში იღეჭება არა მთლიან ფენად, არამედ მარცვლებად. მარცვლოვანობის შემოწმების მეთოდი ორგვარია — არაპირდაპირი და პირდაპირი.

არაპირდაპირი შემოწმების მეთოდის გამოყენება ემყარება იმ მოსაზრებას, რომ ფოტოგრაფიული ფენების ოპტიკური სინჯვრივის შემოწმების დროს მხედველობაში უნდა მივიდეთ, თუ როგორია სინათლე გამოყენებული — პირდაპირი თუ დიფუზიური. ეს საკითხი 1910 წელს შესწავლილი იყო კალეს მიერ. მან აღნიშნა, რომ პირდაპირი სინათლის ფოტოგრაფიული ფენის D_c ოპტიკური სინჯვრივე ყოველთვის ნეკია დიფუზიური სინათლის ფოტოგრაფიული ფენის D ოპტიკური სინჯვრივისადმი

$$D_c = q \cdot D,$$

სადაც q კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ყოველთვის ერთნე მტია. ამ კოეფიციენტის რიცხობრივი სიდიდე განისაზღვრება ფოტოგრაფიული ენულსიის მარცვლოვანობის მიხედვით:

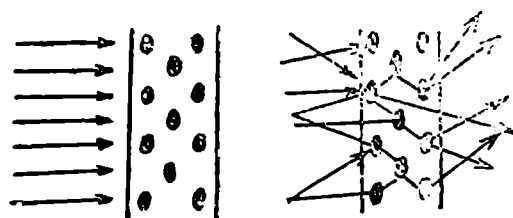
მსხვილმარცვლოვანი	. 1,8—2,0
საშუალომარცვლოვანი	. 1,5
წვრილმარცვლოვანი	1,25

ემულსიის მარცვლოვანობის მიხედვით კოეფიციენტის სიდიდისა და ოპტიკურ სიმკვრივეთა ურთიერთ შორის დამოკიდებულების წესსავე ცნობები 1925 წელს გამოაქვეყნა ზელტერმა. ეს ცნობები მოცემულია ქვემოთ ბოჯვანილ ცხრილში.

ცხრილი 23

წერილობრივი ემულსია		q	სასკალობრ კულოვანი ემულსია		q	მსაქობრატელავანი ემულსია		
ოპტიკური სივრცე			ოპტიკური სივრცე			ოპტიკური სივრცე		
D_c	D		D_c	D		D_c	D	q
1.05	0.90	1.10	1.00	0.75	1.33	0.99	0.50	1.69
1.85	1.30	2.23	1.60	1.05	1.52	1.88	1.00	1.88
2.50	2.10	1.19	2.30	1.50	1.53	2.56	1.40	1.83
3.50	2.60	1.35	3.15	1.95	1.53	3.53	1.90	1.81

სიწვების მარცვლოვანობა უშუალოდ დამოკიდებულია ფოტოგრაფიული ფენის მარცვლოვანობასა და სინათლის სხივების მოქმედებაზე: რადგანაც ფოტოგრაფიული ფენა შედგება ელათინში განაწილებული ლითონფერცხლის მარცვლებისაგან, ფენაში ვატარებულ სინათლის სხივები არამარტო შთაინთქმება, არამედ დიფუზურადაც ვატრცვდება. ვეიგერტის გამორკვევით სინათლის სხივების პირდაპირი მოქმედების გვერდით წარმოიშევა სინათლის სხივის დიფუზური არამირდაპირი მოქმედება (ნახ. 43).



ნახ. 43.

დედ დიფუზური სინათლის სხივების მოქმედება დახასიათდება განვეირვლონით. ვიცით, რომ სინათლეშთანთქმული მდგომარეობისათვის ოპტიკური სივრცე ვანისაზღვრება

$$D = kd.$$

ამ შეხხვევაში d ფოტოგრაფიული ფენის სისქე ყოველთვის პროპორციულია D ოპტიკური სიმკვრივისა. პარალელურად ყურადღება უნდა მიექცეს ფოტოგრაფიული

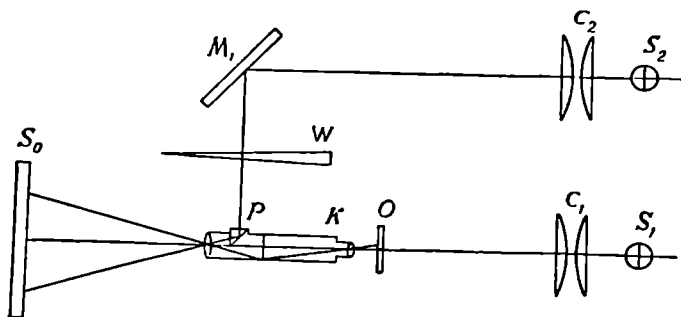
ფენის მარცვლოვანობის გავლენას: ერთსა და იმავე ოპტიკურ სიმკვრივეში წვრილმარცვლოვანობის შემთხვევაში ფართობის ერთეულზე უფრო ნაკლები რაოდენობის ვერცხლი აღდგება, ვიდრე მსხვილმარცვლოვანობის დროს. აღდგენილი ლითონვერცხლის გრამობით გამოსახული რაოდენობა, რომელიც იმყოფება 1 სმ², გვაძლევს წარმოდგენას ე. წ. ფოტოგრაფიულ ექვივალენტზე; იგი ფოტოგრაფიული ფენის სისქის შებრუნებული სიდიდეა

$$d = \frac{1}{p}$$

ოპტიკურ სიმკვრივეს, რომელიც ხასიათდება 1 გ ლითონვერცხლის ჯანაწილებით 1 სმ², ფარვითი უნარიანობა ეწოდება. ექსპოზიციის ერთგვარ პირობებში წვრილმარცვლოვანი შუქმგრძობი ფოტოგრაფიული ფენა გამომჟღავნებისას იძლევა მაღალ ფარვით უნარს, ვიდრე მსხვილმარცვლოვანი ფოტოგრაფიული ფენა.

პირდაპირ მეთოდს მიეკუთვნება: ჯონსის და დიშის, კონკლინის და სხვათა მეთოდები.

ჯონსმა და დიშმა მარცვლოვანობის გამოსარკვევად შეიმუშავეს სპეციალური ხელსაწყო (ნახ. 44); შესამოწმებელია O ფოტოგრაფიული



ნახ. 44.

ფენის გამოსახულების მარცვლოვანობა K საპროექციო მიკროსკოპის საშუალებით. მიკროსკოპი გაზრდის გამოსახულებას და მის ნახევარს უჩვენებს ეკრანის ზედა მხარეზე. აქ ნათება წარმოებს S_1 მნათი წყაროდან, რომლის სინათლის სხივები გაივლის C_1 კონდენსატორში. გამოსახულების მეორე ნახევრის თანაბარმოქმედი იქნება S_2 მნათი წყაროდან გამოსული C_2 კონდენსატორში გატარებული ირიბულად დადგმულ M საარკვე მობეღდრილი, W სოლში და P პრიზმაში გავლილი სინათლის სხივების ეკრანიზაცია ქვედა მხარეზე. W ოპტიკური სოლის საშუალებით ვათანაბრებთ ეკრანის ორივე მხარეს სიკაშკაშეს. O ნეგატივის ხაველად

შეგვიძლია მოვათავსოთ რასტრის ეტალონი, რომლის 1 სმ-ზე მოთავსებულია 200 პარალელური ხაზი. ამ მეთოდის და ასეთი ხელსაწყოების საშუალებით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ მარცვლოვანობის სიდიდე

$$g = 100000 \frac{M_2 \cdot D_1}{N \cdot M_1 \cdot D_2},$$

სადაც 100.000 არის პირობითად აღებული პროპორციულობის კოეფიციენტი;

D_1 — უმცირესი მანძილი, როცა რასტრის გამოსახულება ერთგვარი იქნება;

D_2 — უმცირესი მანძილი, როცა ნეგატივის გამოსახულება ერთგვარი იქნება;

M_1 და M_2 — შესაბამისი გადიდებული სიდიდეები;

N — სტანდარტული რასტრის ხაზების რაოდენობა ერთ გრძივ სანტიმეტრზე.

$D_1 : D_2$ გვიჩვენებს, თუ ნეგატივის მარცვლოვანობა რამდენჯერ მეტია რასტრის მარცვლოვანობაზე; პირობითად მიღებულია, რომ $D_1 : D_2 = 1$.

ამავე დროს, თუ მივიღებთ, რომ რასტრის და გამოსახულების პროექცია ერთნაირი ზომით არის გადიდებული, მაშინ $M_1 : M_2 = 1$.

მარცვლოვანობის გაზომვის ასეთი მეთოდი იძლევა მაქსიმალურ სიზუსტეს. განსხვავება შეიძლება მივიღოთ 2—3 % ფარგლებში.

კონკლინიის შემოწმების მეთოდის შინაარსი იმაში მდგომარეობს, რომ სპეციალური მიკროსკოპის საშუალებით ერთმანეთს შევუდაროთ გამოძველებული დასაკვირვებელი არის მარცვლოვანობა, რომელთაგან ერთ-ერთი ეტალონს წარმოადგენს და წინასწარ ვიცით მისი მარცვლოვანობა. დაკვირვების საწარმოებლად თუ არ გვექნება სპეციალური მოწყობილობა, ე. წ. მიკროსკოპ-კომპარატორი, მარცვლოვანობის შემოწმება უხეზად შეიძლება ეკრანზე პროექტირების საშუალებით.

მარცვლოვანობა შეიძლება განესაზღვროთ აგრეთვე კალეს ეფექტის მიხედვით. როგორც ვიცით, კალემ აღმოაჩინა დამოკიდებულება პირდაპირი და დიფუზიური სინათლის ოპტიკურ სიმკვრივეებს შორის; ამ დამოკიდებულებების მიხედვით

$$D_r > D;$$

აქედან

$$Q = \frac{D_r}{D} \geq 1.$$

მარცვლოვანობის გაზრდის დროს Q მნიშვნელობაც იზრდება და ფოტოგრაფიული ფენებიც ამ სიდიდის მიხედვით ხასიათდება. ასეთი დახასიათება ნოცემულია 2'-ე ცხრილში.

მაალის დასახელება	$Q = \frac{D_c}{D}$	მაალის დასახელება	$Q = \frac{D_c}{D}$
უნარცვლო ფირფიტები	1,0	საშუალოდ შექმგრძნობი ფირფიტები	1,6
ძლიერ წვრილმარცვლოვანი ფირფიტები	1,2	მაღალი შექმგრძნობი ფი- რფიტები	1,7
დიაპოზიტვის ფირფიტები	1,35—1,50	ვერცხლისწყლით გაქლიე- რებული ფირფიტები	1,9

ე რ ე დ გ ო ლ დ ნ ა შეიმუშავა ხელსაწყოს კონსტრუქცია, რომლითაც Q ნნიწენელობის მიხედვით შეიძლება მარცვლოვანობის გაგება. ეს ხელსაწყო აგებულია ფოტოელექტრული დენსიტომეტრის პრინციპზე. ხელსაწყოს საკეტი მოწყობილობის საბუალებით წარმოებს პირდაპირ დაუდიფუხიურად მოქმედი სინათლის სხივების სიმკვრივეთა გაზომვა. ასეთი გაზომვები შეიძლება მოვახდინოთ მარცხენის დენსიტომეტრითაც. მარცვლოვანობა შეიძლება გავიგოთ ფორმულით

$$g = 10 - \frac{D_c}{D}.$$

მარცვლოვანობის გაგება შეიძლება ასეთი ფორმულითაც.

$$g = 50 \cdot 1g Q.$$

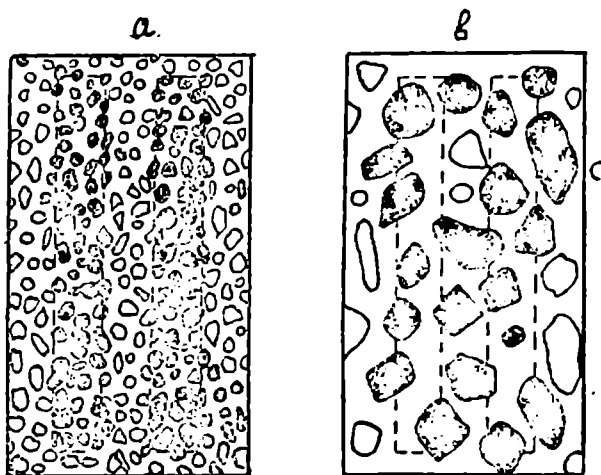
რადგანაც უმარცვლო ფირფიტისათვის— $Q = 1$, ამისათვის $g = 0$; დიაპოზიტვისათვის მარცვლოვანობა $g = 5 - 15$; მაღალმგრძნობიარე ფირფიტისათვის $g = 20 - 30$ და ა. შ.

სამკლავის მარცვლოვანობის სიდიდებზე გაგლენას ანდენს სხვადასხვა ფაქტორი, როგორცაა, მაგალითად, ფოტოგრაფიული ემულსიის მარცვლების სიდიდე, ემულსიის ოპტიკური სიმკვრივე, გასომკლავენების პირობები—კერძოდ გამომკლავენების დრო, სამკლავის შემკლავენლობა დასხვა.

გამოსახვის უნარი

დიდი ნნიწენელობა აქვს ფოტოგრაფიული ფენის გამოსახვის უნარის გამოსკვევას. განსაკუთრებით გამოსახულების წვრილი ნაწილების დამუშავების დროს, კერძოდ რასტროვანი ფოტოგრაფიის წარმოების დროს. ასეთი უნარის შესწავლით ვგებულობთ ფოტოგრაფიული ფენის თვისებას, თუ როგორ აღიქვამს გამოსახულების წვრილ ნაწილებს. გამოსახვის უნარი რიცხობრივად შეიძლება გავიგოთ იმის მიხედვით, თუ ფოტოგრაფიული ფენის 1 მმ-ზე რამდენი თანაბრად დაცილებული ხაზი მოთავსდება.

ასეთი გაზონებები უმთავრესად წარმოებს ფოტოგრაფიული აპარატით. რომელსაც აქვს ზუსტი და მოკლე ფოკუსიანი ტესტ-ობიექტივი. სხვადასხვა ექსპოზიციით ვახდენთ რამდენიმე გადაღებას, რომელსაც ვამჯღავნებთ განსხვავებული კონტრასტებით. გამოსახულებას ვაღივებთ 30—50-ჯერ, შემდეგ ვაღწენთ დაკვირვებას და ვგებულობთ პაზების რაოდენობას 1 სმ-ზე. ამავე დროს ჩვენთვის ცნობილია რამდენი ხაზი თავსდება ტესტ-ობიექტივით 1 სმ-ზე, როგორი იყო პროექციის გადიდება და გავიგებთ როგორი იქნება გამოსახვის უნარი. ფ. იუტომისტოვმა შექმნა გამოსახვის უნარის ესამოწმებელი ბელსაწყო რეზოლვომეტრი. ფოტოგრაფიული ფენას გამოსახვის უნარი დააოკიდებულია სოკიერთ მნიშვნელოვან ფაქტორზე: ემულსიის მარცვლების სიდიდეზე, დამასასიათეებელი მრუდის ფორმაზე, გამომჯღავნების პირობებზე. ემულსიის ამღვრეულობაზე. ემულსიის საერთო და სპექტრალურ მთანთეაზე და სხვ. ემულსიის მარცვლების სიდიდის ზრდა იწვევა გამოსახვის უნარის შემცირებას. რადგანაც მანვილაარცვლოვანი ემულსია ბეტ ულქმარძნობელობას აცლანენს, ვიდრე წყრილსარცვლოვანი, ამიტომ ნაკლებ-



ნახ. 45.

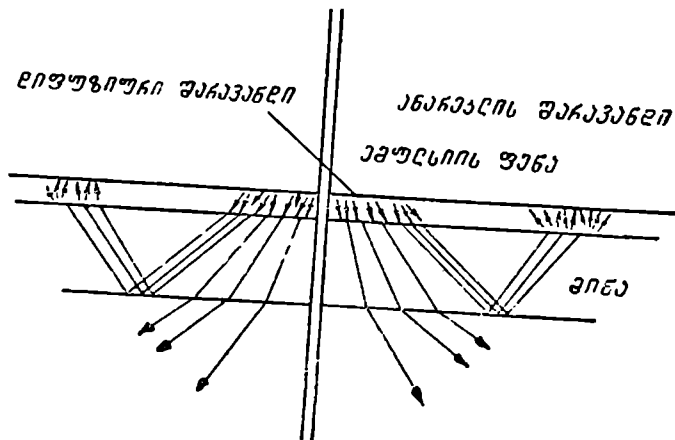
მგრძნობიარე ემულსია უფრო დიდი გამოსახვის უნარს იძლევა. ვიდრე მალამგრძნობიარე ემულსია. ამის გამო სხვადასხვა ფირფიტის გამოსახვის უნარი სხვადასხვაა და მცირდება ულქმარძნობელობის ზრდასთან ერთად:

ალბუმინის	125
დიაპოზიტების	62
კინოფირის პოზიტების	42
პანაქრო მატულის	31
მაღალპგრძნობიარეთათვის	25

გამოსახვის უნარისა და ემულსიის მარცვლების მიხედვით მარცვლებს სტრუქტურული აღნაგობა იქნება განსხვავებული (ნახ.45): ნახაზის მარცხენა ნაწილში გამოსახულია წვრილმარცვლოვანი ემულსია, მარჯვენა ნაწილში კი—მსხვილმარცვლოვანი. ორივე შემთხვევაში ემულსიაზე პროექციით მიღებულია ერთნაირი სივანისა და ერთნაირი დაცილების ორი ზოლი. პროექციის ქვეშ მოხვედრილი მარცვლები საკმარისი ექსპოზიციით გამომჟღავნდება მთლიანად. რადგანაც მარცვლების ნაწილი მოხვდება პროექციის ზოლების გარეთ, გამომჟღავნების ზოლების ზომები მეტი იქნება პროექციის ზოლების ზომებზე და გამომჟღავნების საზღვარიც გადაცილდება პროექციის საზღვარს. წვრილმარცვლოვან ემულსიაში პროექციისა და გამომჟღავნების საზღვრის ხაზები ერთმანეთს უახლოვდება, ხოლო მსხვილმარცვლოვანში—საგრძნობლად დიდდება.

შარავანდის წარმოშობა

კავკასია საგნების მუქ ფონზე ფოტოგრაფირების დროს ზოგჯერ წარმოიწვება ე. წ. შარავანდი: ნათელი საგნის გამოსახულების საზღვარი რჩება გადარეცხილი და ნეგატივის გაშავება ან პოზიტის გათეთრება ვრცელდება დიდ ფართობზე. შარავანდის გაჩენის შემთხვევები გვგვ-

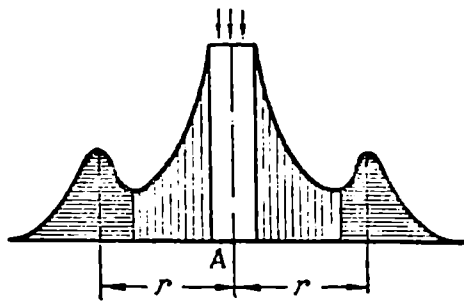


ნახ. 46.

დება მნათი საგნების—მზის, ელექტრონათურის და სხვათა გადაღების დროს. წარმოშობის მიხედვით შარავანდი არის დიფუზიური და ანარეკლი (ნახ. 46).

დიფუზიური შარავანდი წარმოიშევა ფოტოგრაფიულ ფენაში სინათლის სხივების გაფანტვით ანუ ირადიაციით. ასეთი შარავანდი ახლოს იმყოფება განათების ხაზთან; მისი შეწყვეტა უშუალოდ დამოკიდებულია გარემოს სიმკვეთრესა და ამღვრეულობაზე.

ანარეკლის შარავანდი წარმოიშევა იმის გამო, რომ ფოტოგრაფიულ ფენაში გავლილი სინათლის სხივები ფენის ქვესადგამში (ძირში) — მინაში ან ცელულოიდში განიცდის არეკვლას, დაბრუნდება უკან — ემულსიურ ფენაში და რალაც მანძილზე იძლევა დამატებით დაბნელებას. რაც ნაკლები იქნება სხივების დაცემის კუთხე, მით ნაკლები რაოდენობის სხივები აირეკლება მინიდან ან ცელულოიდიდან ემულსიის ფენაში. ანარეკლი სხივების მაქსიმალური ინტენსივობა იქნება მაშინ, როცა მოხდება სრული შინაგანი არეკვლა. შარავანდი ადვილად წარმოიქმნება სქელ ფენებში და მეტად გამჭვირვალე ქვესადგებში. საერთოდ, დიფუზიური შარავანდი თანდათანობით გადადის ანარეკლ შარავანდში. ასეთ გადასვლას გვიჩვენებს აგებული შარავანდის გრაფიკი (ნახ. 47), რომლის აბსცისის წარმოადგენს მანძილს პროექციის საზღვრიდან განათებულობის ფართობამდე, ხოლო ორდინატი კი — სინათლის სხივების მოქმედების ინტენსივობას.



ნახ. 47.

შარავანდის რადიუსი პირდაპირპროპორციულია ქვესადგების l სისქისა

$$r = 2l \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}};$$

ამ ფორმულაში n არის ქვესადგების გარდატეხის კოეფიციენტი; მინისათვის $n = \frac{3}{2}$. ამის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ

$$r = 2l \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 - 1}};$$

გავამრავლოთ 2-ზე

$$2r = \frac{4l}{\sqrt{\frac{9}{4} - 1}};$$

$$2r = \frac{8l}{\sqrt{5}};$$

$$2r = 3,578 l;$$

$$2r \approx 4l;$$

$$d \approx 4l.$$

მანასადამე, შარავანდის დიამეტრი დაახლოებით ოთხჯერ მეტია ფოტოგრაფიული ფენის ქვესადების სისქეზე.

ანარეკლი შარავანდის საწინააღმდეგოდ საჭიროა ქვესადები შინა ან ცელულოიდი დავფაროთ მუქი ლაქით ან სხვა ნივთიერებით, რომელიც აწარმოებს სხივების შთანქმას და არა არეკვლას. როგორც ვიცით დიფუზიური შარავანდის გაქენას იწვევს სინათლის სხივების გაფანტვა, რაც გამოჩეულია ენულსიით მარცვლების მიერ არეკლილი სხივებით და სინათლის დაფრაქციით. დიფუზიური შარავანდი საერთოდ ხშირად არ წარმოიშვება. შარავანდის გამოსარკვევად შეიძლება გამოვიყენოთ ედერის და გებტან სენსიტომეტრი. ამ ხელსაწყოთი უნდა მოვახდინოთ გამოსაცდელი ფენის ექსპოზიცია; ფოტოგრაფიულ ფენასა და სენსიტომეტრის სოლს ბორას უნდა მოვათავსოთ შავი ქაღალდი ანუ კალაფირი. სენსიტომეტრანების გამომგადგენების შემდეგ შევამოწმებთ გამაფებისა და შარავანდის დასაწყისის ზღურბლს. დაუძვავთ, რომ გაშავების ზღურბლი წარმოადგენს 80°, შარავანდის ზღურბლი კი — 22°; სოლის მცდნავა არის 0,401. ამ შემთხვევაში 80°-თვის შექმგრანობელობა ცხრილებას მიხედვით არის 357, ხოლო 22 -თვის — 1,72. აქედან ავიპლენა გამოვიანგარიშოთ შარავანდსაწინააღმდეგო ფენის რიცხობრივი სიდიდე

$$\frac{357}{1,72} \approx 208.$$

მეფულებრივი ფოტოგრაფიული ფენისათვის შარავანდსაწინააღმდეგო სიდიდე იცვლება 200 — 50), შარავანდსაწინააღმდეგო ფირფატის გამოყენების დროს აღწევს 8 000 — 50 000. ფირეის შარავანდსაწინააღმდეგო სიდიდე მოთავსებულია 5 000 — 10 000 შუა, შარავანდსაწინააღმდეგო ფენის გამოყენების დროს აღწევს 50 000. როდესაც გამოჩეული იქნება შარავანდსაწინააღმდეგო ფენის სიდიდე, შეგვიძლია შევქმნათ ისეთი პირობები, რომ არ წარმოიშვას შარავანდი.

შარავანდსაწინააღმდეგო ფენა ემუღსიებს უკეთდება მეორე მხრიდან; პანქრომატულს აქვს წითელი ფერის ფენა, იზოქრომატულს კი — მწვანე ფერის; გამომწვანების შემდეგ ეს ფენები გაუფერულდება.

7. ფერწარმოება და ფერადი ნოტიობკაფია

ფერადი მბეჭეპლობა. საფუკიანი მბეჭეპლობის თეორია. თვალის

შეგრძნობის მდებარეობა. ფერადი შეგრძნება

გარემო სამყაროს ერთ-ერთი ძირითადი დამახასიათებელი თვისებაა ფერი. ბუნებაში არსებული საგნები იცოფა მნათ და არამნათ საგნებად. მნათ საგნებს ეკუთვნის ყველა სინათლის წყარო, სოლო არანნათს—ყველა საგანი, რომლებიც არეკლავს ან გაატარებს მასზე დაცემულ სინათლის სხივებს. სინათლის წყაროს გამოსაძეების ფერი დამოკიდებულია ენერჯის განაწილებაზე სპექტრში, არანნათი საგნების ფერი კი განისაზღვრება სინათლის სხივების არეკვლის სპექტრალური მახასიათებლით და დაცემული სინათლის სხივების ხასიათით. ბუნებრივი საგნების ფერები და სპექტრალური ფერები ყოველთვის ერთნაირი არ არის. მაგალითად, შავი და თეთრი ფერი სპექტრში სრულიად არ გვხვდება. თეთრი ფერის დამახასიათებელი ის არის, რომ იგი იძლევა თანაბარ სინათლეს ყველა მიმართულებით. შავი ფერი კი სინათლეს არ იძლევა ან ძალიან ცოტას იძლევა. ასევე შეიძლება დავახასიათოთ სხვა ფერებიც.

ფერადი აღქმის წარმოადგენს გეპქვეს მბეჭეპლობის სამკერადი თეორია, რომლის შესაბამის 1755 წელს აზრი გამოთქვა დიდმა რუსმა მეცნიერმა მ. ლომონოსოვმა. ამ თეორიის მიხედვით, თვალის ბადურას, რომელიც სინათლეს ითვისებს, აქვს სამი სხვადასხვა სახის ნერვული დაბლოება ანუ ცენტრა. თითოეული მათგანის აგზნებისას წარმოიწეება სამი ფერის—წითლის, მწვანისა და ლურჯ-იისფერის შერეობა. ამ სამი სახის ნერვთაგან პირველი ნერვი ყველაზე ძლიერ ღიზინდება წითელი სხივების მოქმედებით, მეორე ნერვზე გავლენას ახდენს მწვანე სხივები, ხოლო მესამეზე—ლურჯ-იისფერი სხივები. თუ სამივე სახის ნერვი ერთნაირადაა გაღიზიანებული, მაშინ აღიქმება თეთრი სინათლე. გაღიზიანების გარეშე აღიქმება შავი ფერი. დანარჩენი ფერები იწვევს სხვადასხვა ძალის გაღიზიანებას. თვალის ნერვების სხვადასხვა ხარისხის გაღიზიანების კომბინაცია მოგვეყვამს ყოველგვარი ფერის შეგრძნებას.

აღიზიანების თვალის ფიზიკური გაცებით წარმოადგენს ავონანქილორმაგ ღიზნას, რომელშიაც ხდება სინათლის სხივების გარდატეხა და ფერთა აღქმა.

სფერული მინის მსგავსად თვალსაც აქვს თავისი ნაკლოვანებანი, რომელთაგან მნიშვნელოვანია სფერული და ქრომატული აბერაცია. თვალის სფერული აბერაციის დამახასიათებელია ის, რომ საგნის ყოველი წერტილი ბადურაზე აღიბეჭდება (გამოისახება) არა როგორც წერტილი, არამედ როგორც წრე. თვალის ქრომატული აბერაცია ც წარმოიშვება ფერთა სხივების სხვადასხვა მანძილზე გადაკვეთით. მაგალითად, ყვითელი სხივები თუ მოხვდა თვალის ფოკუსში, ხოლო წითელი და ლურჯი—ბადურის გარეშე, მაშინ გამოსახულების წერტილი გარშემორტყმული იქნება მეწამული შარავანდით.

ადამიანის თვალზე მოქმედ სინათლის წყაროთა უმრავლესობა რთული შედგენილობისაა. მაგრამ ფერების შერევა და აღქმა შეიძლება დავიყვანოთ სამი ფერის მოქმედებაზე. ფერთა გათანაბრება შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ტოლობის სახით. თუ გვაქვს წითელი და მწვანე ფერის ნაერთი, შეგვიძლია გავუთანაბროთ შესაქმნელ ფერს, ვთქვათ, იისფერს, მაშინ ეს დამოკიდებულება სიმბოლურად ასე გამოისახება

$$F + vV' \doteq rR' + gG';$$

სადაც F არის შექმნილი ფერი;
 R', G', V' — წითელი, მწვანე და იისფერი;
 r, g, v — მიღებული ფერის კოორდინატები R', G' და V' ფერების შესაბამისად.

თუ გვაქვს M და N ორი ფერის — ორი სტიმულის მქონე საგანი, რომელიც თანაბარ გავლენას ახდენს თვალის ბადურაზე, შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$M = N.$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ M სტიმული გავლენას ახდენს L ბადურის ნაწილზე და იწვევს ისეთივე შეგრძნებას, რასაც გამოიწვევდა N სტიმული R ბადურის ნაწილზე, სტიმულის მოქმედების ადგილი თუ გადაადგილება, მაშინ $N = M$ და ამით შეგრძნების საერთო შედეგი უცვლელი დარჩება.

ჩვეულებრივად თვალის ბადურა აღქმას აწარმოებს ერთი სინათლის წყაროდან. ზოგჯერ პრაქტიკაში გვხვდება ორი სინათლის წყარო, რომელთა სტიმულები ხან ემატება და ერთიანდება, ხან აკლდება და ნაშთი რჩება. დაუშვათ, რომ გვაქვს ორი-ორი სტიმულის ასეთი დამოკიდებულება

$$M = N \text{ და } P = Q;$$

მატების შემთხვევაში გვექნება

$$M + P = N + Q;$$

როდგან $P = Q$, ამისათვის

$$M + P = N + P;$$

ან

$$M + Q = N + Q.$$

კლემის შემთხვევაში, თუ გვაქვს საერთო სტიმული $H = K$, ნას გამოაკლდება P სტიმული

$$P = Q \text{ და } H = K;$$

$$H - P = K - Q.$$

ეს კანონი გავრცელდება მრავალი სტიმულის შემთხვევისათვისაც

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = N_1 + N_2 + \dots + N_n,$$

ანუ

$$nM = nN.$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც

$$H - P = K - Q \text{ და } P = Q,$$

ვღებულობთ

$$H = K + P - Q;$$

$$K = H - P + Q;$$

$$H + Q = K + P.$$

ზოგადად შეიძლება დავწეროთ

$$M + P = N + Q;$$

$$M - Q = N - P.$$

ფერადი მხედველობის დამახასიათებელია შემდეგი თვისება: სტიმულების ჯეოაღების განიყენებით ოთხი სტიმულისაგან ყოველთვის შეიძლება მივიღოთ ფერთა გათანაბრება. ანის მიხედვით, თუ გვაქვს ოთხი სტიმულის ერთეული სიდიდეები — W, X, Y, Z , შეგვიძლია მოვძებნოთ — w, x, y, z რიცხობრივი სიდიდეები, რათა მივიღოთ განტოლებანი:

$$wW = xX + yY + zZ;$$

$$wW - xX = yY + zZ.$$

როდესაც კოეფიციენტი $w = 1$, მაშინ

$$x + y + z = 1.$$

წარმოშობილი ფერების გაზომვის შედეგად ზოგჯერ ვღებულობთ ალგებრულ ტოლობას

$$xX + yY + zZ = 0.$$

ასეთი დამოკიდებულების დროს შეიძლება მივიღოთ ექვივალენტური პირობაც

$$x=0, y=0 \text{ და } z=0.$$

რამდენიმე სინათლის წყაროს მოქმედების დროს ვღებულობთ სპექტრულ ფერთა ნარევს. რომელიმე ფერის შეჯამება შეიძლება მოახდინონთ ტოლობის მიხედვით

$$F = \delta(\lambda_1) F_{\lambda_1} + \delta(\lambda_2) F_{\lambda_2} + \dots + \delta(\lambda_n) F_{\lambda_n} = \sum_1^n \delta(\lambda_n) F_{\lambda_n},$$

სადაც $\delta(\lambda_n)$ არის ნარევის ნაწილი, რომელიც F_{λ_n} სტიმულთან ერთად შედის ნარევის შემადგენლობაში.

X, Y, Z სიდიდეების გამოსახვით მივიღებთ

$$F = \sum_1^n [\delta(\lambda_n) x_{\lambda_n} X + \delta(\lambda_n) y_{\lambda_n} Y + \delta(\lambda_n) z_{\lambda_n} Z];$$

სხვაგვარად

$$F = X \sum_1^n \delta(\lambda_n) x_{\lambda_n} + Y \sum_1^n \delta(\lambda_n) y_{\lambda_n} + Z \sum_1^n \delta(\lambda_n) z_{\lambda_n};$$

თუ გვექნება ზღვრული მდგომარეობა, მაშინ

$$F = X \int_{880}^{760} \delta(\lambda) x d\lambda + Y \int_{850}^{760} \delta(\lambda) y d\lambda + Z \int_{830} \delta(\lambda) z d\lambda.$$

ამ განტოლებით მიღებული შედეგის მიხედვით თვალსაჩინოებისაფვის შეგვიძლია ავაგოთ ე. წ. ფერთა კონუსი (ნახ 48): ცალკეული სტიმულის გამოსახვა შეიძლება ვექტორით, ვექტორების შეჯამება კი მოგვცემს თითოეული ფერის სიდიდეს. რაც უფრო დიდია ვექტორი, მით ფერის მოქმედებაც უფრო ძლიერია.

ზოგიერთ შემთხვევაში F ფერი განისაზღვრება F_1, F_2, F_3 ფერთა ეტალონების სიდიდეებით

$$F = aF_1 + bF_2 + cF_3,$$

სადაც

$$a = \frac{s_1}{s_0}, \quad b = \frac{s_2}{s_0}, \quad c = \frac{s_3}{s_0}.$$

ნახ. 48.

s_1, s_2, s_3 და s_0 სიდიდეები არის სამი, F_1, F_2 და F_3 ეტალონის და F სტიმულის მოქმედების ფართობი.

ეტალონის სტიმულის სიდიდეები განისაზღვრება:

$$F_1 = x_1 X + y_1 Y + z_1 Z;$$

$$F_2 = x_2 X + y_2 Y + z_2 Z;$$

$$F_3 = x_3 X + y_3 Y + z_3 Z,$$

ამის მიხედვით

$$F = a(x_1 X + y_1 Y + z_1 Z) + b(x_2 X + y_2 Y + z_2 Z) + c(x_3 X + y_3 Y + z_3 Z) = (ax_1 + bx_2 + cx_3)X + (ay_1 + by_2 + cy_3)Y + (az_1 + bz_2 + cz_3)Z = x'X + y'Y + z'Z;$$

მაშასადამე

$$F = x'X + y'Y + z'Z.$$

ამ განტოლებაში x' , y' , z' გამოსახავს სამფერიანი სიკაშკაშის სიდიდეებს.

კოეფიციენტების ურთიერთ შორის დამოკიდებულება ასეთია

$$X = \frac{x'}{x' + y' + z'}; \quad Y = \frac{y'}{x' + y' + z'}; \quad Z = \frac{z'}{x' + y' + z'};$$

შეიძლება ასეც

$$Z = 1 - X - Y.$$

ამ კოეფიციენტების სიდიდეები ფერთა ეტალონების მიხედვით განისაზღვრება 25-ე ცხრილით.

ცხრილი 25

ეტალონის ფერი	X	Y	Z
წითელი	0,195	0,1046	0,024
მწვანე	0,308	0,393	0,101
თეთრი	0,771	0,771	0,749

განვიხილოთ მაგალითი: ნიმუში შეღებილია ოხრათი. ამ ფერის მისაღებად გამოვიყენოთ წითელი, მწვანე და თეთრი ეტალონები.

$$S_0 = 222,5; \quad S_1 = 219; \quad S_2 = 131; \quad S_3 = 10.$$

გამოვიანგარიშოთ F სიდიდე

$$F = \frac{219}{222,5} F_1 + \frac{131}{222,5} F_2 + \frac{10}{222,5} F_3 = 0,985 F_1 + 0,589 F_2 + 0,045 F_3.$$

X, Y, Z მნიშვნელობებისა და 25-ე ცხრილის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$F = (0,985 \cdot 0,195 + 0,589 \cdot 0,308 + 0,045 \cdot 0,771)X + \\ + (0,985 \cdot 0,1045 + 0,589 \cdot 0,393 + 0,045 \cdot 0,771)Y + \\ + (0,985 \cdot 0,024 + 0,589 \cdot 0,101 + 0,045 \cdot 0,749)Z.$$

გამოანგარიშების შემდეგ მივიღებთ

$$F = 0,408X + 0,369Y + 0,117Z.$$

ფერთა კოეფიციენტების სიდილე იქნება:

$$X = \frac{0,408}{0,894} = 0,456;$$

$$Y = \frac{0,369}{0,094} = 0,413;$$

$$Z = \frac{0,117}{0,894} = 0,131.$$

კოეფიციენტების ჯამი შეადგენს

$$X + Y + Z = 0,456 + 0,413 + 0,131 = 1,0.$$

ასეთი ნიშნის სიკაშკაშის სიდილე განისაზღვრება —

$$L = 36,9\%.$$

როდესაც $a = 0,985$; $b = 0,589$; $c = 0,045$, მაშინ მათი ჯამი

$$a + b + c = 1,619.$$

მიღებული მნიშვნელობა მეტია ერთზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ ფერთა წონასწორობისათვის საჭიროა ავირჩიოთ სიდილე $\frac{360}{1,619} = 222,5^\circ$,

დანარჩენი ფართობი კი უნდა შევავსოთ შავი ფერით. a, b, c მნიშვნელობა გრადუსებში განისაზღვრება

$$a = 219^\circ, b = 131^\circ, c = 10^\circ.$$

ფერთა კოეფიციენტების სიდილეზე გავლენას ასდენს ტემპერატურული ცვლილებანიც. ასეთი ცვლილებანი ნაჩვენებია 26-ე ცხრილში.

ფერადი ტემპერატურა	Y	X	Z
600	0,7090	0,2959	0,6031
1000	0,6524	0,3448	0,5028
1500	0,5852	0,3934	0,0214
1900	0,5372	0,4114	0,0514
2360	0,4893	0,4150	0,0957
2848	0,4476	0,4075	0,1449
3500	0,4049	0,3906	0,2046
4800	0,3506	0,3560	0,2933
6500	0,3133	0,3225	0,3632
10000	0,2826	0,2883	0,4311
24000	0,2532	0,2532	0,4935
∞	0,2399	0,2342	0,5259

**ადიტიურ და სუბტრაქტიულ ფერთა სინთეზი. ფერთა სხვაობა.
ფერთა წარმოშობა**

როგორც ვიცით, ფერები იყოფა აქრომატულ და ქრომატულ ჯგუფებად. აქრომატულ ჯგუფს ეკუთვნის: შავი, თეთრი და ცველარუხი ფერი, რომლებიც მათავეგებულა თეთრსა და შავს შორის. ქრომატული ჯგუფის ფერების ერთმანეთისაგან გასარჩევი ნიშნებია: ფერის ტონი ანუ ელფერი, ფერის გაჯერებულობა და შედარებითი სიკაშკაშე. ფერის ტონის დამახასიათებელია ტალღის სათანადო სიგრძე, — იგი განსხვავდება თეთრი ან რუხი ფერებისაგან. ძლიერად გამოსახულ ფერებს გაჯერებული ფერები ეწოდება. ერთი ან რამდენიმე ფერის ტონი მზეში უფრო კაშკაშა გვეჩვენება, ვიდრე ჩრდილში. შეუფერავი — აქრომატული საგნის დანახვა შესაძლებელია სიკაშკაშის კონტრასტის ძალით; შეფერილი — ქრომატული საგნის გამორჩევა შეიძლება ფერის ფენის კონტრასტით, გაჯერებულობით და სიკაშკაშით.

ფერთა შერევით მიიღება სხვადასხვა ფერი. შეკრებით მიღებულს — ადიტიური ფერები, ხოლო გამოკლებით — სუბტრაქტიული ფერები ეწოდება (ნახ. 49).

ადიტიური შერევით შეგვიძლია შევქმნათ ყოველი სახის ფერი. ფერების ერთმანეთზე დადებით მივიღებთ სხვადასხვა ფერს.

სამი ძირითადი ანუ პირველადი ფერის — წითელი, მწვანისა და ლურჯის საშუალებით შეგვიძლია მივიღოთ ბუნებაში არსებული თითქმის ყველა ფერი.

1857 წლიდან ფერადი რეპროდუქციის დასაზღვრებლად პოლიგრაფიაში სამ ძირითად ფერად გამოყენებულია წითელი, ყვითელი და ლურჯი. სხვა ფერთა მისაღებად საჭიროა პირველადი სამი ფერი ერთმანეთში შევურიოთ მეტ-ნაკლები პროპორციით.

ფერთა შერევის ზოგიერთი მაგალითი მოყვანილია 27-ე ცხრილში. აქ

ნაგულისხმებია, რომ გამოსხივების მაქსიმალური ინტენსივობა 100-ის ტოლია.

ცხრილი 27

ლურჯი გამოსხივება	მწვანე გამოსხივება	წითელი გამოსხივება	მიღებული ფერი
100	100	100	თეთრი
50	100	0	მოლურჯო-მწვანე
0	100	100	ყვითელი
0	50	100	ნარინჯი
100	0	100	მეწამული
0	0	0	შავი
20,	20	20	ნაცრისფერი

თვალის არეში ფერთა ადიტიური შერევა მოხდება მაშინ, როდესაც შეფერილი სინათლის სხივები ბადურას ერთსა და იმავე ადგილზე ეცემა და ფერმგრძობიარე ნერვების გალიზიანებათა შეჯამებით აღიძვრება შერეული ფერის შესაბამისი შერგძნება.

ფერთა სუბტრაქტიული შერევა დამყარებულია თეთრი სინათლის დაშლის პრინციპზე. რადგანაც თეთრი სინათლე შეიცავს ძირითად პირველად ფერებს, შეგვიძლია გამოვაცალოთ რომელიმე ფერის განსაზღვრული ნაწილი და მივიღოთ ჩვენთვის საჭირო ფერი.

თეთრი სინათლის ყვითელ შუქფილტრში გატარების დროს შუქფილტრი გამოაქლებს ანუ შთანთქავს ლურჯ-იისფერ სხივებს და გაუშვებს წითელსა და მწვანე სხივებს; ჩვენს თვალში ამ სხივების შეკრება გამოიწვევს ყვითელი ფერის შერგძნებას. ადიტიური და სუბტრაქტიული მეთოდებით მიღებულ ფერებს თვალი ერთნაირად აღიქვამს, განსხვავება მხოლოდ გამოსხივებათა პრინციპშია. მეწამული შუქფილტრი თეთრ სინათლეს გამოაქლებს მწვანე სხივებს, გაუშვებს ლურჯ-იისფერს და წითელ სხივებს; ამის შედეგად მივიღებთ მეწამული ფერის შერგძნებას. თუ თეთრ სინათლეს გავატარებთ ყვითელ და მეწამულ შუქფილტრებში, მივიღებთ წითელი ფერის სინათლეს. ფერთა შერევის ასეთივე ეფექტს მივიღებთ მაშინაც, როდესაც შუქფილტრების მაგივრად გამოვიყენებთ გამჭვირვალე საღებავების ფენას და მას წვავსებთ ფირს ან ფოტოქაღალდს. ფერთა სუბტრაქტიული პრინციპი გამოყენებულია თანამედროვე ფერად ფოტოგრაფიაში, ფერად კინემატოგრაფიაში და პოლიგრაფიულ ფერად რეპროდუქციაში.

ფერადი ფოტოგრაფიის პრინციპი, აღიბიუჯი და სუბტრაქტიული
გამოსახულების მიღება. გახუნების პროცესი

ფერადი ფოტოგრაფიის პრინციპი დამყარებულია მხედველობის სამ-
ფერად თეორიაზე. გამოსახულების მისაღებად შეიძლება გამოვიყენოთ
ფერთა შექმნის ადიტიური და ასევე სუბტრაქტიული მეთოდი. ფერე-
ბის ერთმანეთში შერევის პროპორციულობა უზრუნველყოფს ფერწარ-
მოქმნას ან ფერგაყოფას. იდეალური ფერწარმოქმნის და ფერ-
გაყოფის შექმნისათვის საჭიროა გამოყენებული შექვილტრები შთანთ-
ქავდეს განსაზღვრული რაოდენობის სპექტრის სხივებს, ე. ი. შექვილტ-
რებს ჰქონდეს იდეალური მრუდები. მაგრამ სინამდვილეში შექვილტ-
რებს არ აქვთ იდეალური მრუდები, რის გამოც შექმნილი ფერი არ
ემთხვევა ნატურის ფერს და ფოტოგრაფიული გამოსახულებაც სრულ-
ქმნილი არ არის. ამისათვის ყოველი სამფერიანი გადაღება იძლევა
ისეთ ფერად გამოსახულებას, რომელიც თავისი ფერით მეტ-ნაკლებად
უახლოვდება ნატურალურ ფერს.

ფერადი გამოსახულების მისაღებად ფოტოგრაფიაში არსებობს სხვა-
დასხვა მეთოდი, რომელთაგანაც საწარმოო მნიშვნელობით გამოიყენება
ჰიდროტიპისა და სამფენიანი მეთოდი.

ჰიდროტიპის მეთოდის გამოყენების დროს ფერადი ნეგატიური
გამოსახულების მისაღებად სპეციალურ ფოტოკამერაში გადაღება წარ-
მოებს სამ დამოუკიდებელ — ლურჯ, მწვანესა და წითელ ფერზე. გამომ-
ჯლავნების პროცესში უნდა მივიღოთ თანაბარი სიმკვრივის ნეგატივები.
ამ პროცესის შესასრულებლად საჭიროა სპეციალური ფოტოკამერა და
სპეციალური ფოტოლაბორატორიის მოწყობა. ასეთი სირთულის გამო
ჰიდროტიპის მეთოდი აღარ გამოიყენება.

სამფენიანი პროცესის შესრულებისას საჭიროა ერთი ფირი. ამ
ფირზე დასხმულია ფერადი ენუსისის რამდენიმე ფენა. სურათის გადა-
ღება შეგვიძლია ვაწარმოოთ ყოველგვარი ფოტოკამერით. სანეგატივო
მასალის დამუშავება ჩვეულებრივია, მხოლოდ უნდა ვიზმაროთ სპეცია-
ლური ხსნარები. პროცესის ასეთი გაპარტივების გამო, ამ ბოლო
დროს იზმარება სამფენიანი მეთოდი. სამფენიანი მეთოდი წარმოებს
სანეგატივო ფირის გარდაქმნით და გარდაუქმნელად.

გარდაქმნითი ფერადი ფირი სპეციალური გამოქვლივების
შემდეგვე გვაძლევს პოზიტიურ გამოსახულებას. გარდაუქმნელი
ფირიდან ფერად ფოტოკალაღზე ბეჭდვით შეგვიძლია მივიღოთ
მრავალი ფერადი პოზიტიური გამოსახულება. გარდაქმნითი მეთოდით
მუშაობის დროს ფირი გადაღების და გამოქვლივების შემდეგ იზმარება
პირდაპირ დიაპოზიტივის მისაღებად, რომელიც იზახება და აო ვაპრავ-
ლებთ. გარდაუქმნელი ნეგატიური ფირი იზმარება შემდეგი დამუშავების-
ათვის: პროექციული ან კონტაქტური ბეჭდვით შეგვიძლია მივიღოთ პო-

ზიტიური ანაბეჭდების საჭირო რაოდენობა. საერთოდ, ნეგატიური ფირენი არსებობს დღის სინათლეზე და ხელოვნურ სინათლეზე გადასაღებად.

გარდაქმნითი საშუალებანი ფირი წარმოადგენს სამ თხელ ემულსიან ღუნას, რომლებიც მოთავსებულია ერთსა და იმავე ქვესაღებზე. უშუალოდ გვერდებზე მდებარეობს ემულსიის ქვედა ფენა, რომელიც მგრძობიარეა ნარინჯ-წითელი სხივების მიმართ; ამ ფენის ზემოთ მოსმულია ორთქრომატული ემულსიის ფენა, რომელიც მგრძობიარეა ყვითელ-მწვანე სხივებისადმი; ზედა ფენა დამზადებულია არასენსიბილიზებული ემულსიისაგან, რომელიც მგრძობიარეა იისფერ-ლურჯი სხივების მიმართ. ზედა და შუა ემულსიის ფენებს შორის იმყოფება შუალედური საფილტრე ელატინის ფენა, რომელიც შეუღებელია ყვითლად ლითონვერცხლის კოლოიდისაგან; ეს ფენა წარმოადგენს ყვითელ შუქფილტრს ლურჯი სხივების შესაკავებლად. ქვესაღებს აქვს აგრეთვე შარავანდსაწინააღმდეგო ფენა. ამ სახით, საშუალებანი გადაღების დროს, ერთი ნეგატივის ნაცვლად მივიღებთ სამ ფერად დაყოფილ ნეგატიურ განოსახულებას, რომლებიც შექმნილია ლურჯი, მწვანე და წითელი ფენების სხივებით. ამით საშუალება გვეძლევა ვაწარმოთ ფერდაყოფა და განოსახულებისათვის გამივიყენოთ ერთ-ერთი ფენა.

გარდაუქმნელი ნეგატიური სამფენიანი ფირის აღნაგობა აღწერილისაგან იმით განირჩევა, რომ შარავანდსაწინააღმდეგო ფენა გაკეთებული აქვს არა ქვესაღების ემულსიიან მხარეს, არამედ მის საწინააღმდეგოს.

ფერადი რეპროდუქციული სამფენიანი ფირის დამზადებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ნეგატივის სიმკვრივის ერთგვარობას. ამ საკითხის გადასაწყვეტად საჭიროა: 1) ორი გამოსხივება რა პირობებში შეიძლება იყოს ერთგვარი გამოსხივების სპექტრალური შემადგენლობის დანოუქიდებლად; 2) როგორი უნდა იყოს ფოტოგრაფიული ფენის სპექტრალური შექმნელობის მრუდი, რომ დაკმაყოფილდეს გამოსხივების ერთფერობა და სიმკვრივის ერთგვარობა.

ორი სხივური ენერგია $E_1(\lambda)$ (ღ) და $E_2(\lambda)$ (ღ) ფერთა წარმოქმნის დროს იქნება იგივერი, როცა დაკმაყოფილებული იქნება შემდეგი ძირითადი პირობა:

$$\int_{270}^{530} E_1(\lambda) x(\lambda) d(\lambda) = \int_{270}^{380} E_2(\lambda) x(\lambda) d(\lambda);$$

$$\int_{270}^{330} E_1(\lambda) y(\lambda) d(\lambda) = \int_{270}^{380} E_2(\lambda) y(\lambda) d(\lambda);$$

$$\int_{270}^{380} E_1(\lambda) z(\lambda) d(\lambda) = \int_{270}^{380} E_2(\lambda) z(\lambda) d(\lambda).$$

$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ არის ფუნქციონალური გამოსახულებანი მრუდების სახით.

ფოტოგრაფიული ფენის სიმკვრივე დახსიათდება ორი სხივური ენერჯიის ნეგატივების ერთგვარი სიშავით და ერთგვარი შუქგამნობელობით, როდესაც

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_1(\lambda) p(\lambda) d(\lambda) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_2(\lambda) p(\lambda) d(\lambda).$$

ფოტოგრაფიული ფენის (შუქფილტრით) სპექტრალური შუქმგრძობელობა $p(\lambda)$ გადაღების დროს უნდა იყოს ისეთი, რომ ყოველი $E_1(\lambda)$ და $E_2(\lambda)$ ფუნქცია აკმაყოფილებდეს ერთმანეთის პირობებს.

ამ დამოკიდებულებისათვის საჭიროა

$$p(\lambda) = ax(\lambda) + by(\lambda) + cz(\lambda),$$

სადაც a, b და c არის ნებისმიერი დადებითი ან უარყოფითი რიცხვები.

უკანასკნელი განტოლებით ვათვალისწინებულ პირობებს ეწოდება „სპექტრალური შემადგენლობისავე დამოუკიდებელი პირობები“. როდესაც გადაღების წინ და გადაღების პროცესში ჩატარებული ღონისძიებანი არ იქნება საკმარისი ნეგატივის ხარისხის დასაქმყოფილენად, დეფექტების გამოსასწორებლად მენდგ უნდა ვაწარმოოთ რეტუში.

სინათლის სხივების მოქმედებით ზოგჯერ ხდება ფერების დაშლა, რაც გამოისახება საგნების გაუფერულებაში ანუ გახუნებაში. საგნების გახუნებას იწვევს სინათლის სხივების, ჰაერის ჭანჭანის და წყლის ერთდროული მოქმედება მღებავი ნივთიერების მოლეკულებზე; ასეთი მოქმედების დროს წარმოიშვება ფოტოგრაფიული დაჟანგვა, რომელიც წინუსწრებს ჰიდროლიზის პროცესს. დაჯანგვის შედეგად მღებავი ნივთიერება იშლება და კარგავს პირვანდელ ფერს. საბჭოთა მეცნიერის ა. ტერენინის მოსაზრებით, სინათლის ქვანტების მოქმედებით მღებავი ნივთიერების მოლეკულები იძენს ჰარბ ენერჯიას, აქტიურდება და უკავშირდება ჰაერის ჭანჭანის მოლეკულებს, გარდაიქმნება არავაჰლე ზეანგად და წყალთან ერთად ქმნის OH , H_2O_2 ნივთიერებებს, რომლებიც ახდენს მღებავი ნივთიერების მოლეკულების დაშლას. მზის და ჰაერის მოქმედებით ეს პროცესი ვანუწყვეტივ გრძელდება და მიიღება საგნების გახუნება. ეს საკითხი მოითხოვს კიდევ დამატებით შეაწავლას. ყოველი ნენთხვევისათვის ფოტოგრაფირების დროს უნდა გამოვიყენოთ ისეთი მასალა, რომელზედაც სინათლის სხივები, ატმოსფერო და წყალი ვერ ახდენს გავლენას.

ფერადი ბალაღვა. უშპფილტრების მოქმედება

ფოტოგრაფიული გადაღების პირობები მრავალგვარია; შეიძლება დავასახელოთ ზოგიერთი: გადაღება მზეზე და ჩრდილში, გადაღება თეთრი ღრუბლების ქვეშ, გადაღება ბურუსიან ამინდში, გადაღება მზის ამოსვლის ან ჩასვლისას, გადაღება შუადღეზე, გადაღება ზაფხულში ან წლის სხვა რომელიმე დროს და სხვა. ყველა ასეთ შემთხვევაში, ჩვეულებრივი ფოტოგრაფიული გადაღების დროს, ნორმალური გამოსხივების მისაღებად საჭიროა ექსპოზიციის სათანადო შეცვლა. ფერადი გადაღების დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული აგრეთვე გადახრა სინათლის წყაროს სპექტრული მახასიათებლიდან, რაც გამოწვეულია ფერის ტემპერატურასა და დღის საშუალო სინათლის ტემპერატურას შორის დიდი განსხვავებით. დღის სინათლის ტემპერატურა ძლიერ რყევას განიცდის მზის ამოსვლიდან ჩასვლამდე. სინათლის ფერის ტემპერატურა საგრძნობლად ირყევა აგრეთვე წლის დროთა და ატმოსფერული პირობების მიხედვითაც. შენობაში წარმოებული გადაღება შეესაბამება მზის სინათლის ჩრდილში წარმოებულ გადაღებას და სხვ.

დამზადებულ ფერად დიაპოზიტივზე გადაღების შედეგი რომ შევაფასოთ, უნდა განვსაზღვროთ გადაღების დროს ექსპოზიციაში დაშვებული შეცდომები: ნორმალური გამოსახულება სავსებით განჭკირვალეა და კაშკაშა ფერები აქვს; ხანგადამეტებულ გამოსახულებას მცირე სიმკვრივე აქვს, მეტად განჭკირვალეა, გამოსახულების ფერები მკრთალაია; ხანდაკლებულ სურათს დიდი სიმკვრივე აქვს, ფერების გარჩევა შეიძლება მხოლოდ ნაწილობრივ. როდესაც ნორმალური გამოსახულება გვაქვს, გადაღებას ვაწარმოებთ შუქფილტრების გარეშე, რადგანაც შუქფილტრების გამოყენება მაინც იწვევს გამოსახულების დამახინჯებას. აუცილებლობის შემთხვევაში უნდა გამოვიყენოთ ე. წ. საკომპენსაციო შუქფილტრი, რომელიც სინათლის წყაროს სპექტრალურ შემადგენლობას მოიყვანს ნორმალურ მდგომარეობამდე. გარდა ამისა იხმარება ჩვეულებრივი შუქფილტრიც.

იმ შემთხვევაში, როცა შუქფილტრი არ არის გამოყენებული, საგნის სიკაშკაშე ხასიათდება ამგვარად

$$B = c \int_0^{\infty} B_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot d\lambda,$$

სადაც B არის საგნის სიკაშკაშე;

c — ოპტიკის სინათლის ძალის კოეფიციენტი;

B_{λ} — საგნის სიკაშკაშე გამოსხივების λ ტალღის სიგრძის დროს;

S_{λ} — დაკვირვებლის (თვალის, ფოტოფენის და სხვა) სპექტრალური შექმგრძნობელობა.

თუ გადასაღებ საგანსა და გამოსხივებული ენერჯიის მიმღებს შორის იმყოფება შექფილტრი, რომლის სინათლის სხივების გაშვების კოეფიციენტი არის T_{λ} , მაშინ შექფილტრის სიკაშკაშე

$$B_T = c \int_0^{\infty} B_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot T_{\lambda} \, d\lambda.$$

შექფილტრი სრულად არ ატარებს სინათლის სხივებს. ამისათვის $B_T < B$. ამის გამო შექფილტრის ხმარების დროს დაქერა უფრო ხანგრძლივი უნდა იყოს.

ვთქვათ, გამოსხივების ასათვისებლად ჩვენ გვქონდა ერთი სახის ფოტოგრაფიული ფენა, რომლის შექმგრძნობელობა იყო S_{λ} ; ამასთან ერთად, თუ გვექნება მეორე ფოტოგრაფიული ფენა, რომლის შექმგრძნობელობა არის S_{λ}' და ეს სიდიდე განისაზღვრება

$$S_{\lambda}' = S_{\lambda} \cdot T_{\lambda},$$

მაშინ საგნის სიკაშკაშე ამ შექმხვევისათვის იქნება

$$B' = c \int_0^{\infty} B_{\lambda} \cdot S_{\lambda}' \cdot a_{\lambda};$$

მეორენაირად

$$B' = c \int_0^{\infty} B_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot T_{\lambda} \cdot d\lambda,$$

რის გამოც

$$B_T = B'.$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ შექფილტრის გამოყენების დროს საგნის შემცირებული სიკაშკაშე შეიძლება გამოსწორდეს ფოტოგრაფიული ფენის შექმგრძნობელობის გაზრდით. მაშასადამე, შექფილტრის მოქმედება ფოტოგრაფიული ფენის სპექტრალური შექმგრძნობელობის მოქმედების თანაბარია.

ფერადი გადაღების დროს უმთავრესად იხმარება შექფილტრის ფირები. მათ დასამზადებლად გამოყენებულია სპეციალური საღებავი ნივთიერებანი, აგრეთვე ანილინის საღებავები. ნ. სინიაკოვმა ფერადი

გადაღების შუქფილტრის დასაზღაურებლად ბევრი რეცეპტი შეიძლება. სულ მოქმედებაშია 51 ასეთი რეცეპტი. მათგან შეიძლება დაეასახელოთ რამდენიმე, რომლებიც მოცემულია 28-ე ცხრილში.

ცხრილი 28

საღებავის დასახელება	საღებავის რაოდენობა გ/მ ²							
	წითელი შუქფილტრები							
მკაუერი წითელი	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	—	—	—
მკაუერი ყვითელი	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
მკაუერი ნარინჯი „JK“	—	—	—	—	—	1,0	1,0	1,0
მკაუერი წითელი „2C“	—	—	—	—	—	2,0	4,0	—
მკაუერი კაშკაშა წითელი	—	—	—	—	—	—	—	2,0

მკაუერი კაშკაშა ცისფერი „მ“	მწვანე შუქფილტრები							
		0,75	0,75	0,75	0,50	1,00	—	—
მკაუერი ყვითელი	1,00	2,00	4,00	—	—	—	—	—
ნათოლის მწვანე	—	—	—	4,00	4,00	—	—	—

იისფერი შუქფილტრის დაზღაურება წარმოებს „იისფერი საღებავის“ 0,5—4,0 გ/მ² კონცენტრაციით.

სამფერიანი ფირფიტის გამოყვანა. ნეგატივის და პოზიტივის დაზღაურების პროცესი. შიკადი პროდუქციის დაზღაურება

სამფერიანი ფირფიტის თითოეული ფენა შუქმგრძობიარეა მხოლოდ ერთ-ერთი ძირითადი ფერისადმი: ზედა — პირველი ფენა შუქმგრძობიარეა ლურჯი ფერისადმი და გამომჟღავნების დროს ყვითლად შეიღებება; მეორე ფენა შუქმგრძობიარეა მწვანე ფერისადმი და გამომჟღავნების შემდეგ მწვანისფერად შეიღებება; მესამე ფენა შუქმგრძობიარეა წითელი სხივებისადმი და ცისფერად შეიღებება. პირველ და მეორე ფენას შორის მოთავსებული ყვითელი საფილტრე ფენა ლურჯ სხივებს არ ატარებს და დანარჩენ ფენებს ლურჯი სხივების გავლენისაგან იცავს; ეს ფენა გამომჟღავნების დროს გაიხსნება და გაუფერულდება. ამ საბით ფერადი საგნის გადაღების და გამომჟღავნების შემდეგ მივიღებთ ფერად ნეგატივს. პოზიტიური პროცესი უნდა ვაწარმოთ პროექციის წესით ფოტოგრაფიულ ქაღალდზე, რომელსაც აქვს მგრძობიარე სამი ფენა. თეთრი სხივები გაივლის ნეგატივის ყვითელ გამოსახულებას და აატარებს მხოლოდ წითელ და მწვანე სხივებს, რომლებიც შეადგენს ყვითელ ფერს.

ეს სხივები მოახდენს გავლენას ამ სხივებისადმი მგრძობიარე ფენებზე. გამოძლევენების დროს აღმოჩნდება ერთმანეთზე დადებული ორი - ბენჯამული და ცისტერი გამოსახულება. ფერთა შერევის დროს მივიღებთ ლურჯ ფერს, ვთქვათ, იმ ფერს, რომელიც ჰქონდა საგანს.

სამფენიანი ფირების დამუშავების წესი რამდენიმე განსხვავდება ჩვეულებრივ ფოტოგრაფიაში მიღებული წესიდან. გარდაქმნითი საწფენიანი ფირების დამუშავების რეჟიმი ნაჩვენებია 29-ე ცხრილში.

ცხრილი 29

ოპერაციების თანმიმდევრობა	ოპერაციების დასახელება	ოპერაციების ხანგრძლიობა წთ	ტემპერატურა გრად
1	ნეგატივის დამზადება	35	18
2	გაოცება	30	17
3	გაშუქება	5	—
4	ფერადი დამზადება	11	18
5	გარეცხვა	30	17
6	გათეთრება	5	18
7	გარეცხვა	5	17
8	ფიქსირება	5	18
9	გარეცხვა	20	18

გადაღებული ფირის დამუშავებას ვიწყებთ შავ-თეთრი სამკლავნიტ-მიღებული ვერცხლის გამოსახულება უნდა მოვაცილოთ კალიუმის ფერიციანიდის ხსნარით; არაექსპონირებული ბრომვერცხლი უნდა გავაშუქოთ და გამოვამკლავნოთ მეორეჯერ ფერად სამკლავნიტში. ასეთი გამოძლევენების დროს წარმოიშვება ფერადი გამოსახულება. ამის შემდეგ საჭიროა მოვაცილოთ გამოძლევენებული ლიანდვერცხლი. ნეგატივის ფენებში თანმიმდევრობით შეიქმნება ცეითელი, მეწამული და ლურჯ-მწვანე გამოსახულება.

სამფენიანი ფირების დამუშავებისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ ოთხი ხსნარი, რომელთა შემადგენლობა ასეთია:

ნეგატივის ჩვეულებრივი სამკლავნი ხსნარი

ეთილენდიამინტეტრაჰმარმეავადინატრიუმი	1 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	50 გ
ამიდოლი	5 გ
ბრომკალიუმი	1 გ
წყალი	1000 მლ

ნეგატივის ფერადი გამომკლავნების ხსნარი

პირველი ხსნარი

ეთილენდიამინტეტრაამარმეკვადინტარიუმი	1 გ
ჰიდროკსილამინქლორჰიდრატი	1,2 გ
დიეთილპარაფენილენდიამინსულფატი	2,75 გ
წყალი	500 მლ

მეორე ხსნარი

ეთილენდიამინჰპარმეკვადინტარიუმი	1 გ
პოტაში	75 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	2 გ
ბრომკალიუმი	2,5 გ
წყალი	500 მლ

ერთმანეთში უნდა აფურიოთ პირველი და მეორე ხსნარის თანასწორი რაოდენობა. უმჯობესია ვიხმაროთ გამოხდილი წყალი.

მათეორებელი ხსნარი

ერთკალიუმფოსფატი	5,8 გ
დინატრიუმფოსფატი	4,3 გ
კალიუმის ფერიციანიდი .	100 გ
წყალი	1000 მლ

მათეორებლის ასეთი ხსნარი შეიძლება შეეცვალოთ სხვა ხსნართაც

კალიუმის ფერიციანიდი	50 გ
ქლორნატრიუმი	50 გ
წყალი	. 1000 მლ

ფიქსირების ხსნარი

ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი .	120 გ
ქლორამონიუმი .	80 გ
წყალი	1000 მლ

მათეორებელი და მათეფიქსირებელი ხსნარების შენახვა შეიძლება რამდენიმე დღეს. ფერადი გამომკლავნების ხსნარი შეიძლება დაეამზადოთ ერთი დღით ადრე. ამიღოლის ხსნარი სწრაფად იჯანგება, რის გამოც მისი დაზზადება აუცილებელია ხმარების წინ.

ფერადი გამომკლავნების ხსნარი იწვევს სხეულის კანის დაზიანებას, უნდა ვიხმაროთ რეზინის ხელთათმანები, მოსაბანად კი გამოვიყენოთ 3—5%-იანი ამრისმეკვას ხსნარი, თბილი წყალი და საპონი.

ფირების დამუშავების დროს უნდა დავიცვათ აბსოლუტური სისუფთავე, დროის და ტემპერატურის რეჟიმი. ზაფხულობით რეცხვა უნდა ხდებოდეს ცივ წყალში.

გარდაუქმნელი სამფენიანი ნეგატივის ფირების გამომკლავნების პროცესი უფრო მალე სრულდება: წინა შემთხვევაში საჭირო იყო 146 წუთი, აქ კი — 56 წუთი. ფირების დამუშავების თანმიმდევრობა ნაჩვენებია 30-ე ცხრილში.

ამიღოლის სამკლავნი ხსნარი აქ არ იხმარება. დანარჩენი ხსნარების

შემადგენლობა ისეთივეა, როგორც გარდაქმნითი სამფენიანი ნეგატივის ფირების გამოშვებების დროს.

ფერადი პოზიტივის დასამზადებლად ხმარებაშია სამფე-

ცხრილი 30

ოპერაციების თანმიმდევრობა	ოპერაციების დასახელება	ოპერაციების ხანგრძლიობა წთ	ტემპერატურა გრად
1	ფერადი გამოშვებება	6	18
2	გარეცხვა .	15	17
3	გათეთრება .	5	18
4	გარეცხვა .	5	18
5	ფიქსირება	5	18
6	გარეცხვა	20	18

ნიანი ფირი გამკვირვალე ძირით, სამფენიანი ფირი თეთრად შეღებილი ძირით და სამფენიანი ფოტოქალაღი. სამფენიანი საპოზიტივო მასალა შუქმგრძნობიარეა თითქმის ყველა ფერის სხივისადმი. ამისათვის მუშაობა უნდა ვაწარმოოთ ბნელ ოთახებში ან გამოვიყენოთ დამცავი ყვითელ-მწვანე შუქფილტრი.

სამფენიანი ნეგატივიდან სამფენიან საპოზიტივო მასალაზე ბეჭდვისათვის საჭიროა დავიცვათ სწორი ფერგადაცემა და ამ მიზნით ვიხმაროთ მაკორექტირებელი შუქფილტრები. მაკორექტირებელი საბეჭდი ფილტრი წარმოადგენს ორ მინას შორის მოთავსებულ შეღებილ ქელატინს. იხმარება ასეთი ქელატინების მცირე და დიდი ჯგუფი. მცირე ჯგუფში შედის 33 შუქფილტრი, დიდ ჯგუფში — 60 შუქფილტრი. თითოეულ ჯგუფში მოთავსებულია თანაბარი რაოდენობის ყვითელი, მეწაწული და ცისფერი შუქფილტრი. შუქფილტრების სიმკვრივე ერთმანეთისაგან განსხვავდება 5%-ით და იცვლება 5-დან 100-მდე.

რაც უფრო ძლიერა დაა გამოსახული რომელიმე ფერის სიკვარბე, მით უფრო სათანადო ფერის მკვრივი შუქფილტრი უნდა ვიხმაროთ.

ფერადი სამუშაოების შესასრულებლად საჭიროა ძლიერი სინათლე, უამისოდ გამოსახულება მკვეთრი არ იქნება. ბეჭდვის დროს შუქფილტრის შერჩევას ვაწარმოებთ მოკარბებული ტონის საწინააღმდეგოდ. მაგალითად, თუ ანაბეჭდში კარბობს ყვითელი ტონი, მის შესამკირებლად უნდა ვიხმაროთ ყვითელი შუქფილტრი, რომელიც შეასუსტებს ნეგატივში გავლილ ლურჯ სხივებს და ამით შემკირდება პოზიტივის ზედა ფენაში წარმოშობილი ყვითელი ფერი. ცისფერი და მეწამული ტონების შესუს-

ტება უნდა ეაწარმოოთ ცისფერი ან მეწანული შუქფილტრებით; წითელი ტონისათვის იხმარება ყვითელი და მეწანული შუქფილტრები ერთად; ლურჯი ტონისათვის — ცისფერი და მეწანული ერთად; წვანე ტონისათვის — ყვითელი და ცისფერი ერთად.

ფერად ფოტოგრაფიაში შუქფილტრების ყველა კომბინაცია აღინიშნება სამი რიცხვით; ეს რიცხვები მაჩვენებელია შუქფილტრების სიმკვრივისა, რომელიც გამოსახულია პროცენტობით. პირველი რიცხვი აღნიშნავს ყვითელი შუქფილტრის სიმკვრივეს, მეორე რიცხვი—მეწანული შუქფილტრის სიმკვრივეს, ხოლო მესამე რიცხვი—ცისფერი შუქფილტრის სიმკვრივეს.

სამფენიანი პოზიტივის დამუშავების პროცესი სამფენიანი ნეგატივის დამუშავებისაგან განსხვავდება იმით, რომ ამ პროცესში ვხმარობთ დამატებით ხსნარს, რომელიც გამოძეღავნების პროცესს აჩერებს. პოზიტივის ფოტოგრაფიული ფირის დამუშავების პროცესის რეჟიში უნდა დავიცვათ 31-ე ცხრილის მიხედვით.

ცხრილი 31.

ობერაციების თანმიმდევრობა	ობერაციების სახელწოდება	ობერაციების ხანგრძლიობა წთ	ტემპერატურა გრად
1	ფერადი გამოძეღავნება	11	18
2	შემაჩერებელი ხსნარის მოქმედება	2	20
3	გარეცხვა	15	17
4	გათეთრება	5	18
5	გარეცხვა	5	17
6	ფიქსირება	5	18
7	გარეცხვა	20	17

ყველა ობერაციის შესრულებას სჭირდება 13 წუთი.

სამფენიანი პოზიტივის დამუშავების დროს იხმარება სამფენიანი ნეგატივის დასამზადებელი ხსნარი და დამატებით შემაჩერებელი ხსნარი, რომლის შენადგენლობაში წედის:

ერთკალიუმფოსფატი
წყალი .

100 გ
1000 მლ

სამფენიანი ფოტოგრაფიული ქაღალდის დამუშავება უნდა ეაწარმოოთ ოთხი ან ორი ხსნარის გამოყენებით; დამუშავების შედეგი ორივე შემთხვევაში ერთნაირია. უფრო მოსახერხებელია ვიხმაროთ ორი ხსნარი, რადგანაც მოითხოვს აბაზანების ნაკლებ რაოდენო-

ზას, დამუშავების დრო მცირდება 58 წუთიდან 39 წუთამდე, ფიქსირების და გათეთრების ოპერაციის ჩატარება შეგვეძლია ჩვეულებრივი განათების პირობებში; ნაკლი ის არის, რომ მათეთრებელი და ფიქსირების ხსნარი ზალე კარგავს ძალას.

ფერადი ფოტოგრაფიული ქაღალდის ორხსნარიანი წესით დამუშავების რეჟიმი ნაჩვენებია 32-ე ცხრილში.

ცხრილი 32			
ოპერაციების თანმიმდევრობა	ოპერაციების დასახელება	ოპერაციების ხანგრძლივობა წთ	ტემპერატურა გრად
1	ფერადი გამომჟღავნება	3	18
2	გარეცხვა .	10	17
3	გათეთრება და ფიქსირება	6	18
4	გარეცხვა .	20	17

ფერადი გამომჟღავნებისათვის საჭირო საწვლავნი ხსნარის შემადგენლობა ასეთია:

პირველი ხსნარი

ჰიდროქსილამინჰლორჰიდრატი	2 გ
ეთილოქსიეთილპარათენილენდიამინსულფატი	4,5 გ
გამობდილი წყალი	500 მლ

მეორე ხსნარი

ეთილენდიამინტეტრამარმეკვადინატრიუმი .	2 გ
პოტაში	75 გ
უწყლო ნატრიუმის სულფიტი	0,5 გ
ბრომკალიუმი .	0,5 გ
გამობდილი წყალი	500 მლ

ოოივე ხსნარი ერთმანეთში უნდა ავეურიოთ თანაბარი რაოდენობით.

გათეთრების და ფიქსირებისათვის იხმარება ხსნარი, რომლის შემადგენლობა ასეთია:

სამვალენტიანი რკინისა და ეთილენდიამინტეტრამარმეკვას მარილი	. 80 გ
პოტაში . . . . .	. 16 გ
ეთილენდიამინტეტრამარმეკვადინატრიუმი	. 40 გ
ბენზოლსულფინმეკვანატრიუმი	4 გ
ბრომკალიუმი .	. 24 გ
ნატრიუმის ჰიპოსულფიტი	120 გ
წყალი	1000 მლ

სამფენიანი პოზიტივის გარეცხვა უნდა ვაწარმოოთ მიმდინარე წყლის 15 მ. კვფხვამე

საშუალებით, რომელსაც ექნება საჭირო ტემპერატურა. გარეცხვის შემდეგ ანაბეჭდები უნდა გაეაშროთ, ჯერ გავწმინდოთ დანამული ღრუბლით და გასაშრობად ჩამოვკიდოთ ოთახში ან კარადაში, სადაც ტემპერატურა არ იქნება 30°-ზე მეტი.

სამფენიანი ფოტოგრაფიული ქაღალდები საერთოდ მზადდება კრიალა ზედაპირით. კრიალის მოსამატებლად საჭიროა ქაღალდები მოვათავსოთ მინის, სარკის ან ცელულოიდის ზედაპირზე და მსუბუქად დაეწინხოთ. მქრქალი ზედაპირის მისაღებად კი ქაღალდები წინასწარ წყალში კარგად უნდა დაეასველოთ და აქაც მსუბუქად დაეწინხოთ, მხოლოდ მქრქალი მინის ზედაპირზე. ფერადი პოზიტივების ერთი დიდი ნაკლი ის არის, რომ ცუდი სინათლის გამძლეა. მზის პირდაპირი სინათლის მოქმედების გამო რამდენიმე საათის შემდეგ დაიწყება მისი გახუნება. პირველად დაიშლება ყვითელი ფერი, შემდეგ დანარჩენები. შენობის შიგნით გაფანტული სინათლის სხივები ვერ ახდენს სწრაფ გავლენას, მაგრამ 15—20 დღის შემდეგ ამ პირობებშიაც გახუნდება. ამისათვის ფერადი პოზიტივები უნდა შევინახოთ დახურულ ალბომში ან კოლოფში. ამგვარად დაცული პოზიტივები შეინახება მრავალი წლის განმავლობაში,

ლიტერატურა

1. ვეფხვაძე ტ., ფიზიკის კურსი, 1954.
2. კანდელაკი დ., ფოტოხელოვნება, 1955.
3. Веденнов А., Малоформатная фотография, 1959.
4. Микулин В., 25 уроков фотографии, 1957.
5. Алексеев С., Цветоведение, 1949.
6. Федоров Н., Общее цветоведение, 1939.
7. Попов В., Общий курс полиграфии, 1954.
8. Немировский Е., Горбачевский Б., Рождение книги, 1957.
9. Колосов А., Семенов А., Соколовская М., Технология полиграфического производства, книга I и II, 1956.
10. Катушев Я., Шеберетов В., Основы теории фотографических процессов, 1944.
11. Гороховский Ю., Методы фотографической сенситометрии, 1948.
12. Шашлов Б., Лабораторные работы по теории фотопрцессов, 1958.
13. Некрасов Б., Курс общей химии, 1945.
14. Павлов Б., Курс органической химии, 1951.
15. Научные труды, сборник IV, Московский полиграфический институт, 1956.
16. Сборник трудов, V, Украинский научно-исследовательский институт полиграфической промышленности, 1957.
17. Научные труды, сборник VII-VIII, Московский полиграфический институт, 1958.
18. Сборник научных работ, VII, Всесоюзный научно-исследовательский институт, 1960.
19. Сборник технической информации. Украинский научно-исследовательский институт полиграфической промышленности, № 5, № 6, № 7, № 10, 1958. № 1, № 3, 1959.
20. Полиграфическое производство, № 2, 1954; № 6, 1955; № 9, 1957; № 2, 1958; № 1, № 6, 1959; № 1, № 3, № 4, № 6, № 12, 1960.
21. Полиграфия за рубежом, № 3, 1959.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

1. ფოტოგრაფიის განვითარების ისტორია

ფოტოგრაფია და თანამედროვე ტექნიკა, ფოტოგრაფიული პროცესების განვითარება	3
ფოტოგრაფიული გამოსახულების დამუშავება. ნეგატივის და პოზიტივის მიღება. ასალი ფოტოგრაფიული ტექნიკა	8

ობიექტური გამოსახულების წარმოქმნის თეორია

ფოტოგრაფიული ობიექტის ელემენტები	11
ლინზების ობიექტური ნაკლოვანებანი	17
ფოტოგრაფიული ობიექტივები	20
ფოტოგრაფიული კამერის ტიპები	27
რეპროდუქციული ფოტოგრაფიული აპარატები	33

3. სინათლის სხივური ენერგიის მოქმედების თეორია ფოტოგრაფიულ ფენაზე

სინათლის ბუნება	40
სინათლის სხივური ენერგიის სპექტრი	44
გამოსხივება	45
ტემპერატურული გამოსხივება. სხივადი ენერგიის ქვანტი	48
ღერადი ტემპერატურა	51
სინათლის შთანთქმა	52
სინათლის შთანთქმელი გარემოს გამჭვირვალობა, გაუმჭვირობა და ობიექტური სიკვრივე	59
შთანთქმელი სინათლის ქვანტური ბუნება	62
ფოტოელექტრული ეფექტი	64
ფოტოლემინესცენცია და სენსიბილურა ფლუორესცენცია	67
სინათლის ქიმიური მოქმედება. ენერტივის ფოტოქიმიური ექვივალენტი	70
ფოტოქიმიური რეაქციები და ამ რეაქციების თავისებურებანი	76
ფოტოგრაფიული ფენის თვისებები	81
ფოტოქიმიური პროცესი პალოგენიანი ტუტე მარილების და პალოგენიანი ვერცხლის მარილების კრისტალებში	85

4. ფოტოგრაფიული პროცესების ქიმიური საფუძვლები

ფოტოგრაფიული ემულსიის მიღება	91
ფოტოგრაფიული ემულსიის ობიექტური სენსიბილიზაცია	95
პალოგენიანი ვერცხლის მარილის სენსიბილიზატორები	99

ფოტოგრაფიული ფენის პიპერსენსიბილიზაცია, დენსიბილიზაცია	105
გამომქვანების პროცესის დახასიათება	106
ორგანული სამქვანე ნივთიერებათა	109
ტუტოვან ნივთიერებათა დანიშნულება	114
სულფიტის დანიშნულება	118
თაისუფალი ბრომიდი სამქვანე ნივთიერებაში	122
ფოტოგრაფიული გამომქვანების მექანიზმი და მისი კინეტიკა, ლოთონერცხლის კატალიზატორული მოქმედება სამქვანეში	123
ფოტოგრაფიული სამქვანე ხსნარის შემადგენლობა და გამოყენება	125
არაორგანულ ნივთიერებათა სამქვანეები	135
ფიქსირება	136
გარეცხვა და გაშრობა	140
ნეგატივის გაძლიერება	143
ნეგატივის დასუსტება	145

რაოდენობითი ფოტოგრაფიული მეფოდი და ტონების წარმოქმნის თეორია

რაოდენობითი ფოტოგრაფიული მეფოდის პრინციპი, სენსიტომეტრული შემოწმება	148
სინათლის წყარო სენსიტომეტრიაში, ექსპოზიციის მოდულატორი	150
ოპტიკური სოლის თეორია	152
გამომქვანება სენსიტომეტრიაში	156
ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვა	157
მხედველობითი და ფოტოელექტრული დენსიტომეტრები	159
მახასიათებელი მრუდი	165
ფოტოგრაფიული ეფექტი ფოტოგრაფულ ფენაში	168
ფოტოგრაფიული ფენის შექმერძობებლობის განმსაზღვრელი მეფოდები	169
ფოტოგრაფიული ფენის კონტრასტულობა	171
ფოტოგრაფიული ფენის ფოტოგრაფული სიგანე	172
ფოტოგრაფიული ფენის ველა	173
ფოტოგრაფიული ქაღალდის სენსიტომეტრია	174
სპექტრალური და ფერადი სენსიტომეტრია, ფერადი სენსიტომეტრიის პრინციპი	176
შექმერძობებლობის განმსაზღვრელი ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მეფოდები	178
შექმერძობების რაოდენობრივი დახასიათება, შთანქმის მრუდი, შექმერძობების კლასიფიკაცია	181
ველათინის შექმერძობების დამხადება და საკირო მასალის გაანგარიშება	183
შექმერძობების ფოტოგრაფიული ქაღალდობა	184
დაქერის განსაზღვრა ექსპონომეტრებით	185
დაქერის განსაზღვრა სასინჯი გადღებებით	187
ტონების წარმოქმნა შავ-თეთრ ფოტოგრაფიაში	189
ტონალური გრაფიკების შედგენა	191
შენიღების პრინციპი	194

მ. ფოტოგრაფიული გამოსახულების სტრუქტურული თვისება

გამომქვანებელი ვერცხლის სტრუქტურული თვისება	197
გამოსახვის უნარი	202
შარავანდის წარმოშობა	204
	229

ფერწარმოება და ფერადი ფოტოგრაფია

ფერადი მხედველობა. სამფეროანი მხედველობის თეორია. თვალის შეგრძნების ელემენტები. ფერთა შერევა	207
ადრტიურ და სუბტრაქტიულ ფერთა სინთეზი. ფერთა სხვაობა. ფერთა წარმოშობა	213
ფერადი ფოტოგრაფიის პრინციპი. ადრტიური და სუბტრაქტიული გამოზახულების მიღება. გახუნების პროცესი	215
ფერადი გადაღება. შუქფილტრების მოქმედება	218
სამფეროანი ფირების გამოყენება. ნეგატივის და პოზიტივის დამზადების პროცესი. ფერადი პროდუქციის დამახინჯებათა შესწორება	220
ლიტერატურა	
