

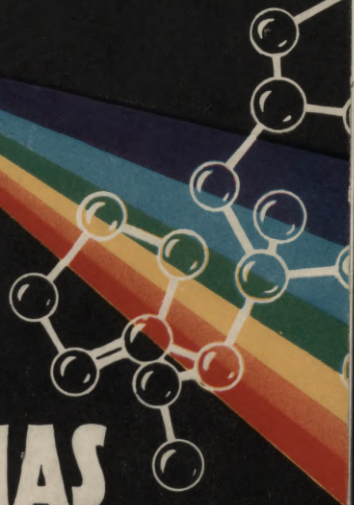
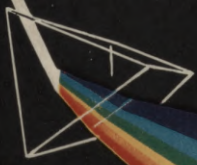
34  
L 62-3  
43

POPULĀRI

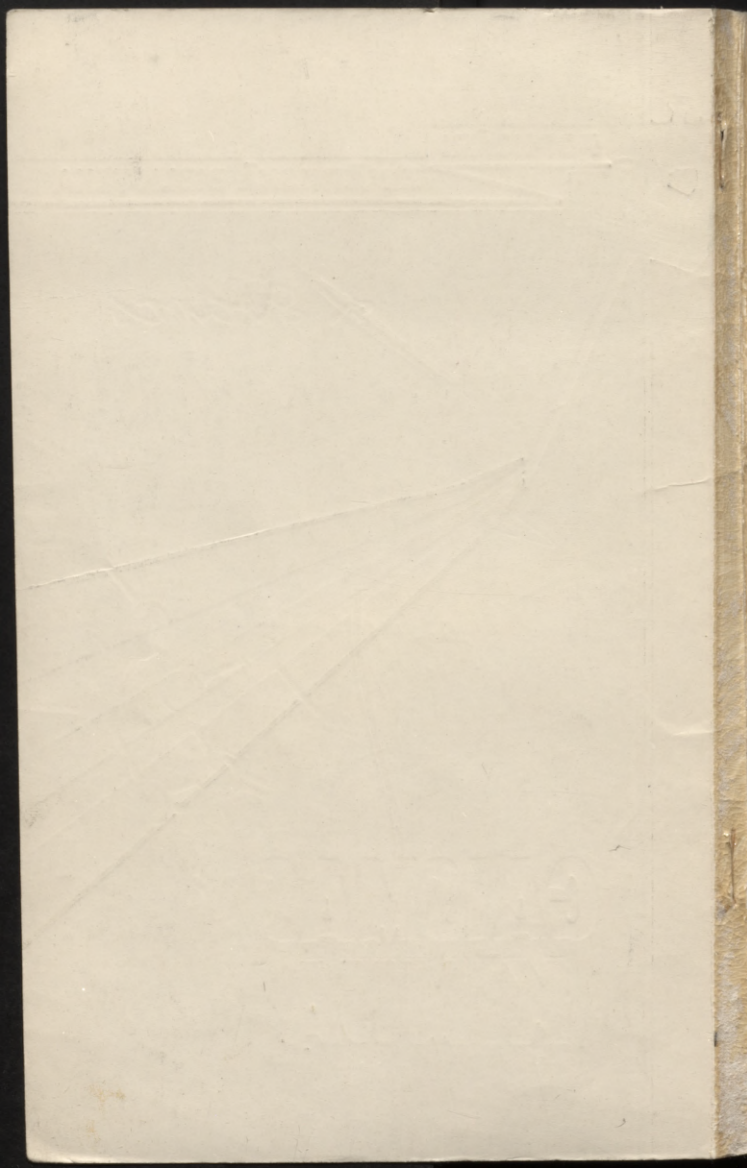
ZINĀTNISKĀ BIBLIOTEKA



K. Švarcs



# GAISMAS KĪMIJA



K. SVARCS · GAISMAS ĶĪMIJA

REVERSE SIDE OF DOCUMENT



L  $\frac{62-3}{43}$

dupl.  
L  
54

POPULĀRI ZINĀTNISKĀ BIBLIOTEKA

---

K. ŠVARCS

# GAISMAS KĪMIJA

(Fotoķīmiskās reakcijas)

LATVIJAS VALSTS IZDEVNĪCĪBA  
RĪGĀ 1961

Latv. PSR Valsts biblioteka

541  
Sv177

~~62-10.018~~  
03.11.016903

1 kр.

К. Шварц

СВЕТОХИМИЯ

Латвийское государственное  
издательство

Рига 1961

—  
На латышском языке

## IEVADS

«Komunisms nodrošina nepārtrauktu sabiedriskās ražošanas attīstību un darba ražīguma celšanos uz strauja zinātnes un tehnikas progresa pamatiem, apbruņo cilvēku ar vispilnīgāko un vareņāko tehniku, milzu augstumos paceļ cilvēka kundzību pār dabu, dod iespēju aizvien vairāk un pilnīgāk vadīt tās stihiskos spēkus.»

*PSKP Programa*

Zinātne vispilnīgāk var attīstīties tikai komunistiskajā sabiedrībā, kur tā kalpo mieram un cilvēces progresam. Padomju zinātnes izcilos sasniegumus visspilgtāk raksturo panākumi kosmosa iekarošanā. Pirmos mākslīgos Zemes un Saules pavadoņus, pirmos kosmiskos kuģus cilvēcei deva padomju zinātne, pirmie kosmonauti bija padomju tautas dēli. Nav tālu laiks, kad mūsu kosmonauti izpētīs Saules sistēmas planētas un arvien tālāk atsegs Visuma noslēpumus.

Līdz šim galvenās ziņas par Visumu, par tāliem debess ķermeņiem mums atnesa gaisma. Pēc zvaigžņu izstarotās gaismas zinātnieki noteica to ķīmisko sastāvu, kustības ātrumu attiecībā pret Zemi un pat masu.

Gaisma cilvēkam devusi ne tikai zināšanas par dabu, bet arī daudz dažādu enerģijas avotu. Tā pati ir viens no tieši izmantojamiem enerģijas avotiem dzīvajā dabā. Ja nebūtu bijusi spēcīgā Saules raidītā gaismas plūsma, tad dzīvība uz mūsu planētas nebūtu attīstījusies.

Gaismas iedarbībā no nedzīvās vielas sarežģītās ķīmiskās reakcijās veidojas dzīvā viela, kuras augstākais

attīstības produkts ir domājošās matērijas organizācijas forma — cilvēks.

Zeme un tās dzīvība ir pateicību parādā gaismas ķīmiskajām reakcijām — t. s. fotoķīmiskajām reakcijām par bagāto organisko vielu klāstu, kas diendienā rodas gan uz sauszemes, gan ūdenī. Gaismas iedarbībā augos no neorganiskām vielām — ogļskābās gāzes, ūdens un dažām citām rodas organiskas vielas — ogļhidrāti, olbaltumvielas, tauki. Šo augos uzkrāto Saules enerģiju tieši vai netieši izmanto visi dzīvnieki. Ja nebūtu gaismas ķīmisko reakciju, organiskās vielas dažu desmitu gadu laikā izzustu no mūsu planētas.

Gaismas ķīmijai ir svarīga nozīme arī cilvēku sabiedrības ražošanas spēku attīstībā. Galvenie enerģijas avoti (atskaitot hidroenerģiju un atomenerģiju) — ogles, nafta, kūdra, malka būtībā ir augos uzkrātā ķīmiskā enerģija, kas gaismas veidā saņemta no Saules.

Gaismas ietekmē notiekošajām ķīmiskajām reakcijām ir svarīga nozīme arī daudzos procesos cilvēka organismā. Redzes sajūta, ādas iedegums ir sarežģītas reakcijas, kas norisinās tikai gaismas iedarbībā.

Arī tehnikā izmanto gaismas ķīmisko darbību. Fotografiju, kas pamatojas uz ķīmiskām reakcijām sudraba sāļos, izmanto visdažādākās dzīves nozarēs.

Par gaismu un gaismas ķīmiju — fotoķīmiju stāsta šī brošūra.



---

## I. KAS IR GAISMA

Pirmie priekšstati par gaismu radušies jau senajā Grieķijā. Daži sengrieķu filozofi uzskatīja, ka gaisma ir mazas vielas daļiņas, kuras izstaro cilvēka acs. Atstarojušās no dažādiem priekšmetiem, gaismas daļiņas, nonākot atpakaļ cilvēka acī, rada redzes sajūtu. Tātad aci uzskatīja gan par gaismas avotu, gan arī par gaismas uztvērēju. Neatbildēts palika jautājums, kāpēc gan acs neizstaro gaismas daļiņas naktī vai vispār tumsā.

Daudz vēlāk — XVII gadsimta beigās izveidojās pirmie zinātniskie uzskati par gaismu. Tiem pamatus lika angļu zinātnieka I. Ņutona un holandiešu zinātnieka K. Heigensa darbi.

Ņutons uzskatīja, ka gaisma sastāv no daļiņām, ko viņš nosauca par korpuskulām. Gaismas avoti — svece, uguns, Saule u. c. izstaro šīs korpuskulas, kuras, atstarojušās no apkārtējiem priekšmetiem, nonāk cilvēka acī un rada redzes sajūtu. Balstoties uz šādiem priekšstatiem, varēja labi izskaidrot, kāpēc gaisma izplatās taisnā virzienā, atstarojas un lūst. Kā redzams, Ņutons attīstījis tālāk sengrieķu priekšstatus par gaismas daļiņām. Ja sengrieķu filozofi tikai vēroja dabu un mēģināja to izskaidrot ar dažādiem prātojumiem, tad Ņutons jau uzstādīja jautājumus dabai par gaismas īpašībām — viņš izdarīja zinātniskus eksperimentus un savus secinājumus pārbaudīja praksē. Tāpēc arī Ņutona gaismas teoriju mēs uzskatām par pirmo zinātnisko gaismas teoriju.

Gandrīz vienā laikā ar Ņutonu holandiešu zinātnieks K. Heigenss attīstīja un aizstāvēja citus uzskatus par



gaismu. Heigenss domāja, ka gaisma ir mehāniski viļņi, kurus gaismas avoti izstaro telpā uz visām pusēm. Gaismas viļņi izturas līdzīgi skaņas viļņiem, ko rada ķermeņi, kas svārstās.

Ņutona un Heigensa darbi lika pamatus divām pretējām gaismas teorijām — korpuskulārai un viļņu teorijai. Apmēram pusotra gadsimta ilgi zinātnē norisinājās asa domu apmaiņa starp abu gaismas teoriju piekritējiem. Sajā uzskatu cīņā izveidojās jauni, pareizāki priekšstati ne tikai par gaismu, bet arī par vielu un tās atomāro uzbūvi. No gaismas pētījumiem izveidojās un attīstījās jaunas teorētiskās fizikas nozares — kvantu mehānika un relativitātes teorija, bez kurām nav iespējams izprast nedz atomu un molekulu uzbūvi, nedz elementāro daļiņu īpašības.<sup>1</sup>

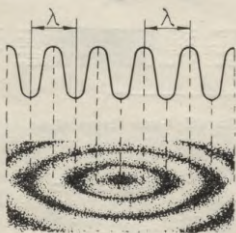
Kā Ņutona, tā Heigensa teoriju galvenais trūkums bija uzskats, ka gaismai ir mehāniska daba. Abi dižie zinātnieki domāja, ka gaisma sastāv no mehāniskām daļiņām (korpuskulām) vai no mehāniskiem viļņiem. Turpmākā fizikas attīstība parādīja, ka tādi uzskati ir aplami.

Gaismas mehāniskās teorijas fizika pilnīgi atmata pēc elektromagnētisko viļņu atklāšanas. Proti, pagājušā gadsimta beigās un mūsu gadsimta sākumā zinātnieki pierādīja, ka gaisma ir elektromagnētiski viļņi, t. i., elektriskas un magnētiskas svārstības, kas ar ātrumu 300 000 kilometru sekundē izplatās telpā. Šiem viļņiem nav vajadzīga mehāniska vide, piemēram, gaiss vai ūdens, kas tos nestu, kur tie varētu izplatīties. Elektromagnētiskie viļņi izplatās ne tikai vielā — stiklā, gaisā u. c., bet arī telpā, kur nav vielas, — vakuumā. Tā, piemēram, gaismas stars bez vērā ņemamiem zudumiem noiet garo ceļu no zvaigznēm līdz Zemei. Ja arī tas daļu sava spožuma zaudē, tad ne jau tāpēc, ka starpzvaigžņu telpā nav vides, kur izplatīties, bet gan tieši tāpēc, ka tur tomēr sastopami kosmiskie putekļi, kas to izkliedē.

<sup>1</sup> Par šiem jautājumiem sīkāk sk. LVI Populāri zinātniskās bibliotēkas brošūrās: V. Veldre, «Relativitātes teorija», 1958. un P. Kuņins un I. Taksars, «Elementārās daļiņas», 1958.

Turpretim mehāniskie viļņi, piemēram, skaņa, starp-  
zvaigžņu telpā nevar izplatīties.

Visvienkāršāko priekšstatu par vilni var iegūt, ieme-  
tot ūdenī akmentiņu, — uz gludās ūdens virsmas parā-  
dās viļņojums (1. zīm.). Šim ūdens vilnim ar gaismas  
vilni kopējs ir tas, ka apkārtējā telpā izplatās svārstī-  
bas. Viļņojoties ūdenim, svārstās ūdens daļiņas, bet, iz-  
platoties gaismas vilnim, notiek kādas citas, daudz  
daudz sarežģītākas svārstības — svārstās elektriskais  
un magnētiskais lauks, kurš līdz ar šīm svārstībām pats  
izplatās uz priekšu.

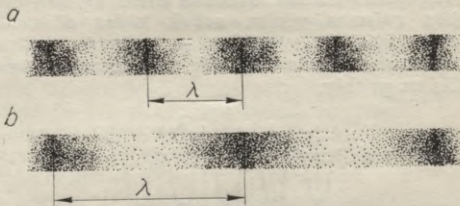


1. zīm. Viļņi uz ūdens virsmas.  $\lambda$  — viļņu garums.

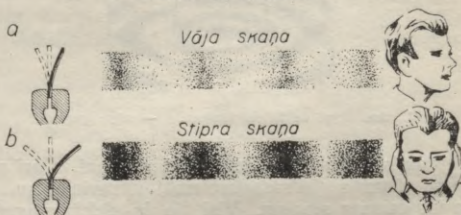
Tāds pats svārstību raksturs kā gaismai ir arī radio-  
viļņiem, siltuma (infrasarkanāmiem), ultravioletiem, rent-  
gena un gamma stariem. Visi tie ir elektromagnētiski  
viļņi, kuri cits no cita atšķiras ar viļņa garumu vai  
svārstību biežumu (frekvenci).

Lai vienkāršā piemērā iepazītos ar viļņa garumu un  
frekvenci, vēlēsim aplūkosim ūdens viļņus (1. zīm.).  
Viļņa garums ir atstatums starp diviem blakus esoša-  
jiem viļņu kalniem vai lejām. Tas ir atkarīgs no svārstī-  
bu frekvences. Jo biežāk notiek ūdens daļiņu svārstī-  
bas, jo īsāks ir vilnis. Tā, piemēram, ja koka nūju ūdenī  
kustina augšup un lejup, rodas garāks vilnis tad, kad  
nūju kustina lēni. Ja nūju kustina straujāk, ūdens viļņi  
kļūst īsāki. Nūjas kustības biežums šai gadījumā rak-  
sturo viļņu svārstību frekvenci.

Arī skaņa ir mehāniski viļņi, kas no svārstošiem ķermeņiem izplatās apkārtējā telpā. Skaņas viļņi ir gaisa daļiņu (molekulu) svārstības. Gaisam svārstoties, pārmainās tā blīvums — telpā rodas periodiski sabiezājumi (atbilstoši viļņu kalniem ūdenī) un retinājumi (atbilstoši viļņu lejam ūdenī) (2. un 3. zīm.).



2. zīm. Molekulu sadalījums skaņas viļņos ar lielāku (a) un mazāku (b) frekvenci.



3. zīm. Molekulu sadalījums dažāda stipruma skaņas viļņos: a — vāja skaņa; b — stipra skaņa.

Skaņas augstums mainās līdz ar svārstību biežumu. Jo biežākas ir svārstības (lielāka svārstību frekvence), jo augstāka ir skaņa. Izrādās, ka augstākai skaņai ir mazāks viļņa garums nekā zemākai skaņai (2. zīm.).

Svarīga skaņas īpašība ir tās stiprums. Tā, piemēram, skaņa, ko rada rokas pulksteņa darbība, ir klusāka par skaņu, ko rada sienas pulkstenis. Skaņas stiprums ir jo lielāks, jo lielāks ir svārstošā ķermeņa atvēziens jeb svārstību amplitūda (3. zīm. a un b).

Elektromagnētiskos viļņus atšķirībā no mehāniskiem, piemēram, ūdens viļņiem uzskatāmi nevar stādīties priekšā. Tomēr fiziķi ir pierādījuši, ka dažādiem elektromagnētiskiem starojumiem ir visas viļņu īpašības. Tos tāpat kā jebkurus citus viļņus var raksturot ar noteiktu svārstību amplitūdu jeb stiprumu, viļņa garumu, frekvenci un izplatīšanās ātrumu. Starp viļņa garumu  $\lambda$ , svārstību frekvenci  $\nu$  un viļņu izplatīšanās ātrumu  $v$  ir spēkā universāla sakarība:

viļņa garums = (izplatīšanās ātrums) : (svārstību frekvence) jeb

$$\lambda = \frac{v}{\nu}$$

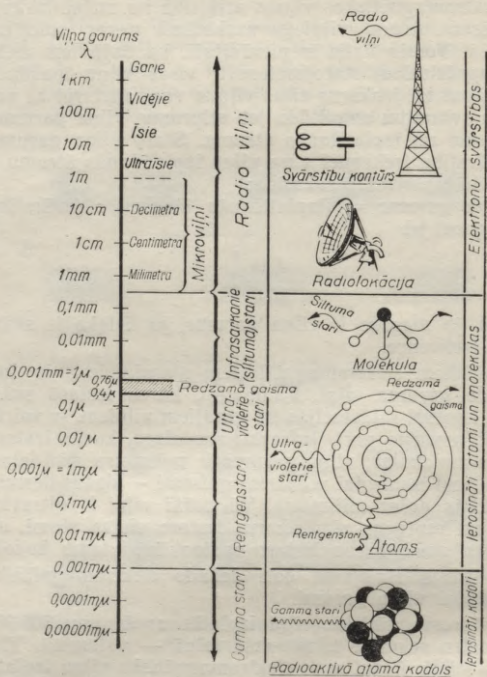
Tātad, jo mazāks ir viļņa garums, jo lielāka ir svārstību frekvence.

Dažādiem elektromagnētiskiem starojumiem ir ļoti dažāda garuma viļņi. Radioviļņi, kurus izstaro svārstību kontūri raidstacijās uz garajiem viļņiem, ir vairākus kilometrus gari. Infrasarkanā staru, kurus izstaro vielas molekulas, viļņa garums ir milimetra simtdaļas, bet atomu izstarotai redzamajai gaismai — dažas desmitstūkstošās daļas milimetra. Vēl īsāki viļņi ir ultravioletie un rentgena stari, kurus izstaro vielas atomi, un gamma stari, kurus izstaro radioaktīvo atomu kodoli.

Ceturtajā zīmējumā doti dažādo elektromagnētisko starojumu viļņu garumi.

Elektromagnētiskie viļņi izplatās ar ātrumu 300 000 kilometru sekundē tikai tukšā telpā — vakuumā. Vielā — stiklā, ūdenī u. c. elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ir nedaudz lēnāka. Katrai vielai ir savs raksturīgs gaismas izplatīšanās ātrums, atkarīgs no gaismas krāsas vai viļņu garuma. Tā kā dažādas krāsas gaismas viļņi vielā izplatās ar dažādu ātrumu, tad baltā gaisma, pārejot no vienas vielas otrā, sadalās krāsainās gaismās. So parādību — gaismas laušanu pirmais ar stikla prizmas palīdzību sīki izpētīja I. Ņutons (5. zīm.). Viņš pierādīja, ka baltā gaisma ir salikta un sastāv no dažādas krāsas gaismas. Dabā gaisma

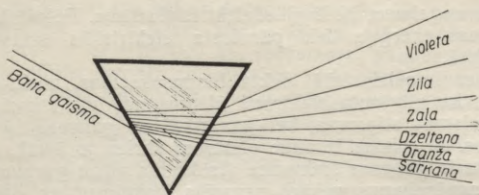




4. zīm. Elektromagnētisko starojumu veidi un elektromagnētisko viļņu izstarošana.

sadalās krāsās, lūstot lietus pilienos. Tādā gadījumā mēs redzam skaistu daudzkrāsainu varavīksnes loku. Daudzas gaismas parādības — atstarošanos, laušanu u. c. var izskaidrot ar priekšstatiem par gaismas viļņiem. Tomēr pagājušā gadsimta beigās atklāja jau-

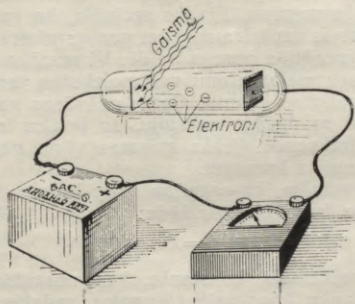




5. zīm. Gaismas laušana prizmā.

nas gaismas parādības, kuras viļņu teorija vairs nevarēja izskaidrot. Viena no tām ir fotoelektriskais efekts.

Par fotoelektrisko efektu sauc parādību, kurā gaisma no metāliem vai pusvadītājiem izraujniecīgas elek-



6. zīm. Fotoelektriskais efekts — elektronu atbrīvošana no metāliem un pusvadītājiem gaismas iedarbībā.

triski negatīvi lādētas daļiņas — elektronus. Šo parādību sāki izpētīja krievu zinātnieks A. Stoletovs. Fotoelektrisko efektu parasti novēro traukā, no kura izsūkņots gaiss (6. zīm.). Traukā ievietotas divas metāla plāksnes — elektrodi, pie kuriem ar īpašiem izvadiem pieslēdz līdzsprieguma avotu (anodbateriju) un elektrisko mērinstrumentu. Ja negatīvo metāla elek-

trodu apgaismo, ķēdē plūst elektriskā strāva. Fotoefektā gaismas enerģija tiek pārvērsta elektriskās strāvas enerģijā.

Pētot fotoelektriskā efekta likumsakarības, noskaidrojās, ka atbrīvoto elektronu ātrums nav vis atkarīgs no gaismas stipruma, bet gan tikai no gaismas frekvences. No vielas izrautie elektroni skrien jo ātrāk, jo lielāka ir gaismas frekvence (īsāks tās viļņu garums). Šos novērojumus nekādi nevarēja izskaidrot ar viļņu teorijas palīdzību.

Mūsu gadsimta sākumā fotoefekta likumsakarības teorētiski izskaidroja ievērojamais fiziķis A. Einšteins, kas izmantoja priekšstatus par gaismas daļiņām — kvantiem.

Gaismas kvantu jēdzienu fizikā ievada vācu zinātnieks M. Planks. Aplūkojot gaismas izstarošanu no sakarsētiem ķermeņiem, Planks secināja, ka gaisma tiek izstarota nevis nepārtraukti, bet gan ar pārtraukumiem, atsevišķu enerģijas porciju veidā. Vismazāko enerģijas porciju, kuru vielas atomi vai molekulas var izstarot, sauc par gaismas kvantu. Dažādas krāsas gaismai atbilst kvanti ar dažādu enerģiju. Jo lielāka ir gaismas svārstību frekvence (īsāks gaismas viļņu garums), jo vairāk enerģijas kvantam.

Planks secināja, ka sakarība starp kvanta enerģiju  $\epsilon$  un gaismas frekvenci  $\nu$  ir šāda:

$$\epsilon = h\nu,$$

kur  $h$  ir universālā konstante, kas nosaukta Planka vārdā (Planka konstante). Kvantos sadalās ne tikai redzamā gaisma, bet arī visi pārējie elektromagnētiskie viļņi — radioviļņi, siltuma stari, rentgena stari u. c.

Planka konstanti varētu salīdzināt ar vismazāko naudas vienību — kapeiku. Tā atbilstu gaismas kvantam ar enerģiju  $h$ . Nākošā naudas monēta ir 2, 3 utt. kapeikas. Mēs varam iedomāties dažādas naudas zīmes — 10 rubļu, 25 rubļu u. c., kuru vērtība ir daudzkārt lielāka par kapeiku, bet kuras visas satur veselu skaitu kapeiku. Tas pats attiecināms uz elektromagnētiskā starojuma kvantiem.

Arī kvanti var būt ar dažādu enerģiju. Tā, piemēram, garajiem radioviļņiem atbilst kvanti ar enerģiju simt tūkstoši  $h$  ( $\epsilon = 100\,000 h$ ), redzamajai gaismai turpretim atbilst kvanti ar miljardu reižu lielāku enerģiju. Tomēr abos gadījumos kvantu enerģija vienlīdzīga veselam skaitam  $h$  (Planka konstante).

Aplūkosim tālāk, kā ar gaismas kvantu palīdzību var izskaidrot fotoelektriskā efekta likumsakarības. Gaisma, kas krīt uz negatīvā elektroda (6. zīm.), sastāv no daudziem kvantiem. Pret elektrodu triecas vesela gaismas kvantu plūsma. Ja elektrodu apgaismo ar starojumu, kura frekvence ir  $\nu$ , un ja kopējā starojuma enerģija, kas 1 sekundē nonāk uz elektroda, ir  $I$ , tad varam uzskatīt, ka uz elektroda nonāk  $N$  gaismas kvantu, pie

kam kvantu skaits  $N = \frac{I}{h\nu}$ .

Einšteins uzskatīja, ka gaismas iedarbība uz vielu notiek tā, ka atsevišķs gaismas kvants  $h\nu$  iedarbojas uz vienu vielas atomu vai molekulu. Arī fotoelektriskā efektā viens gaismas kvants, iedarbojoties uz metālu, var atbrīvot tikai vienu elektronu.

Gaismas kvanta enerģija fotoefektā tiek izmantota divējādi. Daļa enerģijas tiek patērēta, lai atbrīvotu elektronu no metāla (elektrons metālā ir saistīts ar elektriskiem pievilkšanas spēkiem). Šo enerģiju sauc par izejas darbu. Otrā daļa kvanta enerģijas tiek patērēta, lai elektronam piešķirtu zināmu kustības jeb kinētisko enerģiju. Tā kā visās dabas parādībās ir spēkā universālais enerģijas nezūdamības likums, tad gaismas kvanta enerģijai jābūt vienlīdzīgai abu enerģiju summai:

gaismas kvanta enerģija = izejas darbs + elektrona kustības enerģija jeb

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

kur  $A$  — elektrona izejas darbs,  $\frac{mv^2}{2}$  — elektrona kustības enerģija, kas vienlīdzīga elektrona masas ( $m$ ) un ātruma kvadrāta ( $v^2$ ) reizinājuma pusei.

So sakarību sauc par Einšteina vienādojumu. Amerikāņu fiziķa R. Milikena, padomju fiziķa A. Jofes u. c. zinātnieku eksperimenti pilnīgi pierādīja A. Einšteina uzskatu pareizību.

Elektronu no vielas var izraut tikai tāds gaismas kvants, kura enerģija  $h\nu$  ir vienlīdzīga vai lielāka par izejas darbu  $A$ . Jo lielāka ir gaismas kvanta enerģija, jo lielāks arī ir atbrīvoto elektronu ātrums un līdz ar to kustības enerģija.

Pēc fotoefekta izpētīšanas kļuva skaidrs, ka gaismai līdz ar viļņa īpašībām piemīt arī citas — korpuskulārās jeb daļiņu īpašības.

Pirmajā mirklī šķiet, ka gaismas kvanti pēc būtības neatšķiras no gaismas korpuskulām, kuras aplūkoja jau I. Ņutons. Tomēr šī līdzība patiešām ir tikai šķietama. Ņutons gaismas korpuskulas uzskatīja par mehāniskām daļiņām un gaismu par mehānisku parādību. Tieši šajā apstākli slēpjas viņa uzskatu nepilnība. Gaismas kvanti patiesībā ir daudz sarežģītāki nekā Ņutona korpuskulas. Par dažām gaismas kvantu īpašībām sīkāk būs pastāstīts turpmākajās nodaļās.

Mūsdienu uzskatus par gaismas dabu ļoti labi raksturojis akadēmiķis S. Vavilovs: «... gaismai vienlaicīgi piemīt viļņu un daļiņu īpašības, kaut gan pēc būtības gaisma nav ne viļņi, ne daļiņas, ne arī abu to maisījums. Mūsu mehāniskie priekšstati nespēj pilnīgi aptvert šo parādību, tam mums pietrūkst uzskatāmības.»

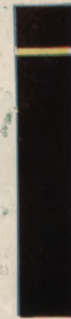




1



2



3

1 krāsainais attēls. Krāsainu priekšmetu fotoattēli kvēlspuldzes (1), dzīvsudraba (2) un nātrija (3) spuldzes gaismā. Katra attēla malā dots attiecīgās spuldzes spektrs.



1



2



3



4



5



6



II krāsainais attēls. Kvēlspuldzes emisijas spektrs (1) un sarkana (2), zaļa (3) un zilgani zaļa (4) stikla absorbcijas spektri. Krāsainas gaismas (5) un ķīmisko krāsvielu (6) summēšanas likumi.

## II. GAISMAS AVOTI

Gaismas avotiem mūsu dzīvē ir ārkārtīgi svarīga nozīme. Tie ne tikai pagarina mūsu darba dienu, pārvēršot nakti dienā, bet arī ir nepieciešami medicīnā, tehnikā, ķīmiskajā rūpniecībā u. c.

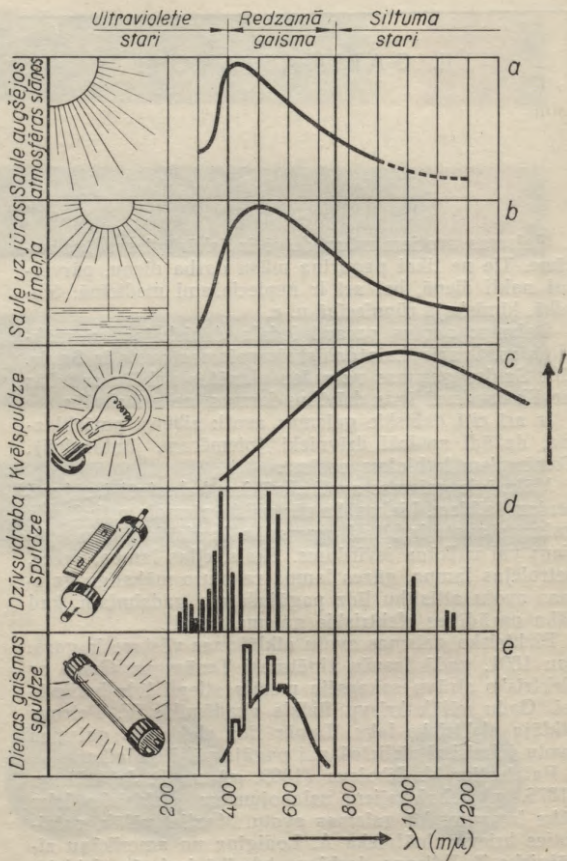
Gaismas avotus parasti iedala dabiskajos un mākslīgajos. Svarīgākais dabiskais gaismas avots ir Saule. Bez Saules gaismas uz mūsu planētas nebūtu radušās ne tik daudzveidīgas dzīvības formas, ne arī cilvēks.

Ir arī citi dabiskie gaismas avoti: zibens, polārblāzma, dažādi spīdoši dzīvnieki (piemēram, jāņtārpiņš). Tomēr tiem ir blakus nozīme.

Mākslīgie gaismas avoti cilvēkiem kalpojuši jau kopš seniem laikiem. Liekas, ka vēsturiski pirmais mākslīgais gaismas avots ir bijusi uguns, ko izraisījis zibens spēriens vai vulkāna izvirdums. Skals, eļļas lampa, svece, petrolejas lampa, gāzes lampa raksturo mākslīgo gaismas avotu attīstību līdz pagājušajam gadsimtam, kad sāka parādīties elektriskie gaismas avoti.

Elektrisko gaismas avotu atklāšanas vēsture ir gara. Jau 1801. gadā franču zinātnieki Tenārs un Gotro ar elektrisko strāvu sakarsēja metāla stiepli līdz baltkvēlei. Gadu vēlāk krievu fiziķis akadēmiķis V. Petrovs atklāja elektrisko loku. Tomēr līdz elektrisko gaismas avotu tehniskai pielietošanai pagāja vēl ilgs laiks.

Pateicoties V. Čikoļeva (1869. g.) un P. Jabločkova (1876. g.) tehniskajiem uzlabojumiem, elektrisko loku sāka izmantot kā gaismas avotu. Mazliet vēlāk, pateicoties krievu zinātnieka A. Lodigina un amerikāņu zinātnieka T. Edisona darbiem, tehnikā ieviesās elektriskās kvēlspuldzes.



7. zim. Dažādu gaismas avotu starojuma spektri.

82-10.018

Pagājušā gadsimta beigās kā gaismas avotu sāka izmantot arī gāzu izlādes spuldzes. Šajās spuldzēs gaisma tiek izstarota, elektriskai strāvai plūstot caur gāzēm vai metāla tvaikiem. Tagad elektriskiem gaismas avotiem ir izšķiroša nozīme apgaismošanas tehnikā.

Viens no svarīgākiem lielumiem, kas raksturo gaismas avotus, ir izstarotās gaismas krāsa. Apgaismošanas vajadzībām lieto gaismas avotus, kuri izstaro «baltu» gaismu, piemēram, kvēlspuldzi. Balta gaisma, kā to pirmais pierādīja angļu zinātnieks I. Ņutons, ir salikta un sastāv no dažādas krāsas gaismas.

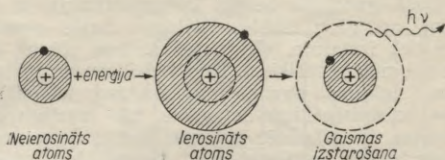
Gaismas avotu starojumu raksturo ar tā spektru — izstarotās gaismas enerģijas atkarību no viļņa garuma.

7. zīmējumā un I krāsainā attēlā doti dažādu gaismas avotu spektri. Saules spektrs ir nepārtraukts — tajā ir visi redzamās gaismas viļņu garumi. Tas ir atšķirīgs dažādos atmosfēras slāņos. Atmosfēras augšējos slāņos Saules starojumā ir visvairāk zilās gaismas (7. zīm. a). Saules stariem ejot cauri atmosfērai, notiek gaismas un gaisa molekulu mijiedarbība. Tās rezultātā daļa gaismas izkliedējas. Galvenokārt atmosfērā izkliedējas zilie stari, ar ko arī izskaidrojama debess zilā krāsa skaidrā, saulainā laikā. Izkliedes dēļ Saules spektrā uz jūras līmeņa ir mazāk zilo staru, bet vairāk zaļgani dzelteno (7. zīm. b).

7. zīmējumā c attēlots kvēlspuldzes spektrs (I krāsainā attēlā dota kvēlspuldzes spektra fotogrāfija). Parasti apgalvo, ka kvēlspuldze izstaro «baltu gaismu». Tomēr kvēlspuldzes «baltā» gaisma atšķiras no Saules gaismas. Visvairāk kvēlspuldzes spektrā ir neredzamo infrasarkanā jeb siltuma staru. Tikai apmēram 12% no visa kvēlspuldzes starojuma ir redzamajā spektra daļā. Kvēlspuldze izstaro vairāk sarkanos un mazāk zilos starus. Tāpēc tās gaisma, salīdzinot ar dienas gaismu, ir «sarkanāka».

No Saules un kvēlspuldzes spektra ļoti atšķiras gāzu izlādes spuldžu starojums. Saules un kvēlspuldžu spektrs ir nepārtraukts, turpretī gāzu izlādes spuldžu starojums ir līnījspektrs — tas sastāv no šaurām krāsainām gaismas joslām — spektrālām līnijām. Tā, pie-





8. zīm. Atoma ierosināšana un gaismas izstarošana.

mēram, dzīvsudraba tvaiku spuldze («kalnu saule») redzamajā spektra daļā izstaro galvenokārt četras spektrāllinijas — dzelteni, zaļo, zilo un violeto (I krāsainais attēls). Bez redzamās gaismas dzīvsudraba tvaika spuldzes izstaro arī neredzamos ultravioletos un infrasarkanos starus (7. zīm. d).

Līnijaspektrus izstaro visas gāzu izlādes un metāla tvaika spuldzes. Šī iemesla dēļ tās nevar lietot apgaismošanai, lai gan to lietderības koeficients ir lielāks nekā kvēlspuldzēm. Krāsainie priekšmeti šo spuldžu gaismā izskatās pavisam citādi nekā dienas gaismā. I krāsainā attēlā redzami trīs fotoattēli, kas izdarīti kvēlspuldžu, dzīvsudraba spuldžu un nātrija spuldžu gaismā. Kvēlspuldžu starojumā ir visas redzamā spektra krāsas. Tāpēc dažādās priekšmetu krāsas ir labi saskatāmas ( kaut arī dienas gaismā krāsas izskatās nedaudz citādas). Dzīvsudraba gaismā ir tikai četras spektrāllinijas (violeto, zila, zaļa un dzelteni) un gandrīz nemaz nav sarkano staru. Tāpēc arī sarkanais fons, sarkanais stikls un ziedu sarkanais vidus dzīvsudraba gaismā izskatās tumši (I krāsainais attēls, 1 un 2).

Visdīvaināk krāsainie priekšmeti izskatās nātrija spuldžu gaismā (I krāsainais attēls, 3), kurā ir tikai dzeltenie stari. Te visas krāsas, izņemot dzelteni, izskatās tumšas.

Aplūkosim turpmāk, kā dažādie gaismas avoti izstaro gaismu. Kaut gan gaismas avotus izmanto jau sen, gaismas izstarošanas procesu izprata tikai mūsu



gadsimta sākumā. Tas ir cieši saistīts ar vielas atomāro uzbūvi.

Tagad ir zināms, ka gaismu izstaro vissīkākās vielas daļiņas — atomi un molekulas. Atomi, kā zināms, sastāv no pozitīva kodola, ap kuru riņķo negatīvi lādētie elektroni. Atoms ir elektriski neitrāls, jo visu elektronu kopējais negatīvais lādiņš ir vienlīdzīgs kodola pozitīvajam lādiņam. Vairāki atomi savienojoties izveido molekulu. Gaismas izstarošana no molekulām notiek tāpat kā no atomiem. Tāpēc turpmāk aplūkosim visvienkāršākos starotājus — atomus.

Lai atomi izstarotu gaismu, tiem jāpievada enerģija — atomi jāierosina. Ierosinātā atomā elektrons atrodas tālāk no kodola (8. zīm.). Šajā stāvoklī atoms parasti nepaliek ilgi. Tas cenšas atdot saņemto enerģiju. Atgriežoties sākuma stāvoklī, atoms var izstarot gaismas kvantu. Katrs ierosināts atoms var izstarot tikai vienu gaismas kvantu.

Parasti gaismu izstaro vienlaicīgi liels skaits atomu vai molekulu. Tā, piemēram, gaisā vienā miljonā daļā  $mm^3$  ir ap 20 miljardu molekulu(!). Vēl lielāks skaits atomu tādā pat tilpumā ir metālos, piemēram, elektriskās spuldzes volframa kvēldieģā.

Atomam var pievadīt enerģiju, t. i., ierosināt atomu ļoti dažādos veidos — gan ar siltuma kustību (termiskā ierosināšana), gan sadursmē ar otru daļiņu (trieciena ierosināšana), gan apgaismojot atomu (ierosināšana ar gaismu), gan ķīmiskās reakcijas rezultātā (ķīmiskā ierosināšana). Aplūkosim dažādos ierosināšanas veidus.

Termiskā ierosināšana. Siltuma enerģija būtībā ir atomu un molekulu kustības enerģija. Tā, piemēram, pie istabas temperatūras gaisa molekulu vidējais ātrums ir 500 metru sekundē, t. i., apmēram tāds pats kā šautenes lodei. Jo augstāka ir temperatūra, jo lielāka ir molekulu kustības enerģija un jo ātrāk tās kustas.

Savstarpējās sadursmēs atomi un molekulas var daļu kustības enerģijas patērēt atomu un molekulu ierosināšanai. Ierosinātie atomi savukārt var izstarot elektromagnētiskos viļņus — gaismu.

Starojumu, ko ierosina vielas atomu un molekulu siltuma kustība, sauc par siltuma jeb termisko starojumu. Izstarotās gaismas krāsa jeb spektrs ir ļoti atkarīgs no temperatūras. Pie istabas temperatūras atomu un molekulu kustības enerģija nav liela. Tāpēc arī sadursmēs atomi saņem nelielu ierosināšanas enerģiju. Līdz ar to atomi var izstarot tikai kvantus ar nelielu enerģiju. Tā, piemēram, visi ķermeņi un arī pats cilvēks pie istabas temperatūras izstaro infrasarkanos starus ar viļņu garumu 10 mikroni.<sup>1</sup>

Ja palielina temperatūru, palielinās atomu un molekulu kustības enerģija un līdz ar to arī atomu ierosināšanas enerģija. Tāpēc pieaug arī izstaroto kvantu enerģija. Sākot no 500°C un pie augstākas temperatūras, siltuma starojumā blakus infrasarkaniem stariem parādās arī redzamā sarkanā gaisma. Pie 1200°C viela izstaro visas redzamās spektra krāsas (baltkvēle). Tomēr pat pie 2500°C (šāda temperatūra ir volframa kvēldiegam elektriskajā spuldzē) viela izstaro galvenokārt neredzamos infrasarkanos starus un tikai apmēram 12% redzamās gaismas.

Arī Saules gaisma ir termiskais starojums. Saules virsmas temperatūra ir apmēram 6000°C. Pie šādas temperatūras starojumā ir visvairāk redzamās gaismas.

Ierosināšana sadursmē. Ierosināšana sadursmē būtībā ir līdzīga termiskajai ierosināšanai, kur arī nepārtraukti notiek sadursmes starp atomiem. Praktisku apsvērumu dēļ ierosināšanu sadursmēs aplūko atsevišķi.

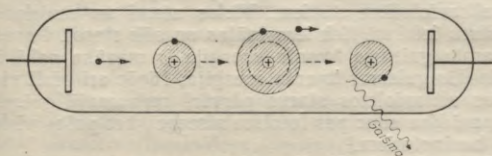
Šāda ierosināšana notiek arī gāzu izlādes spuldzēs. Tās parasti sastāv no stikla caurules, kurā ir gāze (neons, argons) vai metāla tvaiks — dzīvsudraba, kadmija u. c. Caurules galos iekausēti metāla elektrodi, kuriem pieslēdz elektrisku spriegumu.

Elektriskajai strāvai plūstot caur gāzi vai metāla tvaiku, notiek sadursmes starp strāvas nesējiem — elektroniem un gāzes vai tvaika atomiem. Šo sadursmju

<sup>1</sup> 1 mikrons ( $\mu$ ) = 0,001 milimetrs ( $mm$ ).

rezultātā atomi tiek ierosināti un izstaro gaismu (9. zīm.).

Gāzes vai tvaika atomi izstaro līnījspektrus (I krāsainais attēls). Izstarotās gaismas krāsa jeb, pareizāk, spektrs ir atkarīgs no gāzes vai metāla tvaika, ar kādu piepildīta spuldze. Neona atomi elektriskajā izlādē izstaro sarkanu gaismu, dzīvsudraba atomi — ultravioletos starus un violetos, zilos, zaļos un dzeltenos redzamos gaismas starus. Nātrija atomi izstaro tikai dzeltenas krāsas gaismu. Par to var viegli pārliecināties, iemetot vārāmās sāls gabaliņu gāzes liesmā: liesma momentā kļūst dzeltena. Vārāmā sāls satur ķīmiskos ele-



9. zīm. Atoma ierosināšana un gaismas izstarošana gāzu izlādes spuldzē.

mentos — nātriju un hloru. Gāzes liesmā vārāmā sāls sadalās. Nātrija atomi liesmā tiek ierosināti un izstaro dzeltenu gaismu, kas arī rada liesmas dzeltenu krāsu. Tādu pašu gaismu izstaro nātrija tvaika spuldzes.

Gāzu izlādes spuldzes plaši izmanto tehnikā. Spuldzes ar neona, slāpekļa un dzīvsudraba pildījumu izmanto reklāmu vajadzībām. Dažādas dzīvsudraba tvaika spuldzes (zemspiediena, augstspiediena) izmanto ultravioleto staru iegūšanai, kas svarīgi tehnikā, ķīmiskajā rūpniecībā un medicīnā. Lielas jaudas — līdz 15 kilovatu dzīvsudraba spuldzes ar ļoti augstu tvaika spiedienu (pat līdz 100 atmosfērām) izmanto prožektoros.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dzīvsudraba spuldžu spektrs ir atkarīgs no tvaika spiediena. Jo augstāks ir tvaika spiediens spuldzē, jo vairāk starojumā ir redzamās gaismas (līdz ar to samazinās starojums ultravioletā spektra daļā).



Gāzu izlādes spuldžu priekšrocība salīdzinājumā ar kvēlspuldzēm ir to lielais lietderības koeficients. Elektriskās kvēlspuldzes pārvērš redzamajā gaismā apmēram 3% no patērētās elektroenerģijas. Gāzu izlādes spuldzes atkarībā no gāzu pildījuma, spiediena un ekspluatācijas apstākļiem 20—60% no patērētās elektroenerģijas pārvērš gaismā. Šo spuldžu trūkums ir izstarotās gaismas krāsa, kas parasti ļoti atšķiras no dienas gaismas. Krāsainie priekšmeti šo spuldžu gaismā izskatās ļoti dīvaini (I krāsainais attēls).

Ierosināšana ar gaismu. Jau diezgan sen atklāja, ka dažas vielas gaismas ietekmē spīd — izstaro gaismu. Sevišķi labi tas novērojams, ja vielu apgaismo ar ultravioletiem stariem. Vielas atomi un molekulas šo staru ietekmē tiek ierosinātas un sāk starot. Parasti izstaroto gaismas kvantu enerģija ir mazāka nekā ierosinošās gaismas kvantu enerģija. Tāpēc arī bieži vien vielas ultravioletos starus pārvērš redzamajā gaismā. Šo parādību sauc par fotoluminiscenci, bet pašas vielas par luminoforiem.<sup>1</sup>

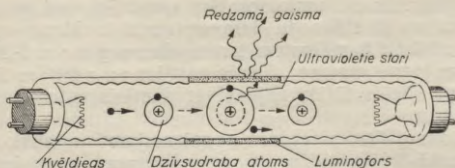
Akadēmiķis S. Vavilovs luminiscējošās vielas salīdzināja ar elektrisko transformatoru. Patiešām, luminofori ierosinošo gaismu ar vienu viļņa garumu pārvērš luminiscentā gaismā ar citu viļņa garumu līdzīgi kā transformators vienu elektrisko spriegumu pārveido citā. Lūk, kāpēc luminoforus dažreiz sauc par gaismas transformatoriem.

Viens no svarīgākajiem luminiscences tehniskajiem pielietojumiem ir dienas gaismas spuldzes. Šīs spuldzes nosaukums cēlies no tā, ka spuldzes izstarotā gaisma ir ļoti līdzīga parastajai dienas gaismai (7. zīm. e).

Dienas gaismas jeb luminiscentās spuldzes (10. zīm.) sastāv no stikla balona, kurā atrodas dzīvsudraba tvaiks pie neliela spiediena (dažas simttūkstošās daļas no at-

<sup>1</sup> Vārds «fotoluminiscence» cēlies no grieķu un latīņu valodas; «foto» — grieķiski nozīmē gaismu, bet «lumen» — latīņu valodā nozīmē gaismu. Vārds «luminofors» cēlies no vārdiem «lumen» un «foros» — grieķiski nesējs. Sikāk ar luminiscenci lasītājs var iepazīties autora brošūrā «Aukstā gaisma», LVI Populāri zinātniskā bibliotēka, 1956.





10. zīm. Gaismas izstarošana luminiscentā spuldzē.

mosfēras spiediena). Uz spuldzes sienām uzklāta luminiscējoša viela. Lai spuldzi varētu darbināt pie parastā elektriskā tīkla sprieguma (220 volti), tajā ir īpaši kvēles elektrodi — sakarsētas metāla stieples, kas izstaro elektronus.

Elektriskai strāvai plūstot caur spuldzi, dzīvsudraba atomi izstaro galvenokārt ultravioletos starus (80 procentus no visa starojuma). Šāds ultravioletais starojums ir piemērots luminofora ierosināšanai uz spuldzes sienām.

Dienas gaismas spuldzēs notiek divkārša enerģijas pārvēršanās. Pirmkārt, elektriskās strāvas enerģija gāzu izlādē tiek pārvērsta ultravioleto staru enerģijā. Otrkārt, ultravioleto staru enerģija luminoforā tiek pārvērsta redzamajā gaismā.

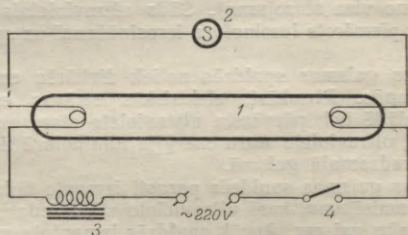
Dienas gaismas spuldzēs parasti izmanto tādu luminoforu maisījumu, kurš ultravioleto staru iedarbībā izstaro baltu gaismu. Agrāk spuldzēs izmantoja magnija volframātu ( $Mg\ WO_4$ ) kopā ar cinka berilija silikātu, kurš satur mangāna piemaisījumus ( $ZnBeSiO_4 \cdot Mn$ ). Pēdējos gados spuldzēs izmanto kalcija halofosfātus [ $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCl_2$ ;  $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$ ].

Salīdzinājumā ar kvēlspuldzēm dienas gaismas spuldzēm ir 3—4 reizes lielāks lietderības koeficients. Šim faktoram ir ārkārtīgi svarīga nozīme tautas saimniecībā. Padomju Savienībā tagad ik gadus ražo pāri par 300 miljardiem kilovatstundu elektroenerģijas, no kuras apmēram 30 miljardus izlieto apgaismošanai. Ja visā elektriskās apgaismošanas sistēmā pārietu no

kvēlspuldzēm uz luminiscentām spuldzēm, tad gadā ietaupītu ap 20 miljardu kilovatstundu elektroenerģijas (tas atbilst 8,8 miljoniem tonnu akmeņogļu vai 5,3 miljoniem tonnu mazuta). Tāpēc partijas un valdības lēmumos paredzēts tālāk paplašināt luminiscento spuldžu ražošanu.

Dienas gaismas spuldžu apgaismojumā ir labāk strādāt nekā kvēlspuldžu gaismā. Arī priekšmetu krāsas šo spuldžu gaismā izskatās dabiskas — tāpat kā Saules gaismā. Šo īpašību izmanto muzejos, tehnikā u. c.

Luminiscentām spuldzēm ir arī daži trūkumi, kas ne daudz ierobežo to lietošanu. Viens no tiem ir spuldžu elektriskais slēgums. Šīs spuldzes drīkst ieslēgt elektriskajā tīklā tikai caur īpašu elektrisku pretestību. Parasti šīm vajadzībām izmanto pašindukcijas spoli jeb «droseli» (11. zīm.). Bez tam spuldzes uzdegšanai lieto īpašu startera ierīci.<sup>1</sup>



11. zīm. Luminiscentās spuldzes elektriskā slēguma shēma.

Kā trūkums jāatzīmē gaismas mirgošana, kas rodas, darbinot spuldzi ar maiņstrāvu. Šī iemesla dēļ spuldzes nedrīkst izmantot pie rotējošām mašīnām, piemēram, virpas. Spuldzes mirgošanas un redzes īpatnības dēļ (cilvēks redzes sajūtu saglabā apmēram vienu desmito

<sup>1</sup> Pēdējos gados arvien plašāk luminiscentām spuldzēm izmanto elektriskus slēgumus bez starteriem.

<sup>2</sup> Atkarībā no apgaismojuma šis laiks mainās apmēram no  $1/30$  līdz  $1/5$  sekundes.

daļu sekundes)<sup>2</sup>, aplūkojot rotējošas detaļas, rodas redzes ilūzijas. Dažreiz pat liekas it kā rotējošā detaļa nekustas. Tas pie darbaldiem var izraisīt nelaimes gadījumu.

Blakus dienas gaismas spuldzēm, kuras lieto apgaismošanai, tehnikā izmanto arī citas luminiscentās spuldzes. Reklāmu vajadzībām, piemēram, lieto luminiscentās spuldzes, kas izstaro krāsainu gaismu. Tehnikā izmanto spuldzes, kurās luminofori, piemēram, bārija silikāts ar svina piemaisījumiem, izstaro ultravioletos starus. Šādas spuldzes izgatavo no stikla, kas laiž cauri ultravioletos starus (uviola stikls). Svarīga nozīme šīm spuldzēm ir luminiscentām analizēm ķīmijā, apstarošanām medicīnā u. c.

**Ķīmiskā ierosināšana.** Šajā ierosināšanas veidā gaisma tiek izstarota, pateicoties ķīmiskajai reakcijai. Būtībā šajā procesā ķīmiskā enerģija tiek pārvērsta gaismas enerģijā.

Vienkāršākais šo reakciju piemērs ir fosfora savienošanās ar gaisa skābekli (oksidēšanās), ko pavada balta spīdēšana. Līdzīgas, kaut gan daudz sarežģītākas oksidēšanas reakcijas notiek dažos dzīvajos organismos, piemēram, jāņtārpiņā, dažādos jūras dzīvniekos, baktērijās u. c. Pūstošu zivju spīdēšana, praula spīdēšana mežā ir dažādu oksidēšanas reakciju piemēri.

Ķīmiskai ierosināšanai ir zināma nozīme dziļūdens



12. zīm. Baktēriju lampa — ķīmiskais gaismas avots.

dzīvniekiem. Jūrās un okeānos, kur dziļāk par 2 km zem jūras līmeņa valda pilnīga tumsa, ķīmiska ierosināšana un to pavadošā spīdēšana (hemoluminiscence) kalpo gan laupījuma sameklēšanai, gan tā pievilināšanai un apžilbināšanai, bet dažreiz arī aizsardzībai — uzbrucēju apžilbināšanai.

Dienvidu rajonos ir sastopamas baktērijas, kas izraisa jūras spīdēšanu. Jūras ūdeni ar spīdošajām baktērijām izmanto kā ķīmisku gaismas avotu — baktēriju lampu (12. zīm.). Šādas lampas tuvumā var pat lasīt. Pagaidām šiem gaismas avotiem plašākas pielietošanas nav, jo spīdošās baktērijas neluminiscē nepārtraukti un ar laiku dažādu iemeslu dēļ aiziet bojā. Tā, piemēram, dažas luminiscējošās baktērijas iznīcina Saules ultravioletie stari.

Iepriekš aplūkoti dažādie atomu un molekulu ierosināšanas veidi. Kaut arī katram no tiem ir savas īpatnības, visos ierosināšanas veidos tomēr kopīgs ir gaismas izstarošanas mehānisms. Gan siltuma starojumā, gan gāzu izlādē, gan luminoforos gaismu kvantu veidā izstaro vielas atomi un molekulas.



---

### III. GAISMA UN KRĀSA

Gaisma un krāsa pieder pie tām parādībām, kurām mūsu dzīvē ir svarīga nozīme. Ar gaismu un krāsu ir saistīts jebkurš cilvēka darba process. Nav daudz tādu darbu, neskaitot fotoplates vai filmas apstrādāšanu, kurus cilvēks veiktu tumsā.

Nav arī gandrīz tādu dabas parādību, kuras nepavada gaisma un krāsa. Varenākais ūdenskritums iegūst daudz krāšņāku izskatu, ja tajā atmirz Saules stari. Nav iespējams iedomāties tagadējo dzīvi bez gaismas un līdz ar to arī bez krāsas.

Gaisma jau kopš seniem laikiem ir saistījusies ar visu labo, visu taisnīgo un progresīvo. Gaismas un tumsas cīņa ir attēlota dažādu tautu mitoloģijā. Par to stāsta senās Indijas un Ķīnas leģendas un sengrieķu teikas. Sengrieķu teikā Prometeju, kas cilvēkiem no debesīm nonesa uguni un gaismu, dievi soda un piekal pie klints. Arī latviešu tautas teikās gaisma simboliski pārstāv visu labo.

Gaismas un krāsas sajūta saistās ar vienu no sarežģītākiem cilvēka maņu orgāniem — aci. Atstājot pagaidām novārtā redzes procesu, kuru aplūkosim nākamajā nodaļā, pievērsīsimies jautājumam, kāpēc apkārtējie priekšmeti ir krāsaini un kas nosaka priekšmetu krāsu.

Sāksim ar labi pazīstamo augu un puķu valsti. Parasti laukā un pļavā mūs sagaida liela krāsu bagātība: dzeltenās purnes, zilās rudzupuķes un vizbulītes, baltās margrietiņas, violetās lauku nelķītes, zvaņiņi u. c.

Glūži dabiski rodas jautājums, kāpēc purnes ir dzel-

tenas, bet rudzupuķes zilas. Kas tad nosaka priekšmetu krāsu?

Saules gaisma, kā zināms, ir balta un tajā ietilpst visas spektra krāsas — no violetās līdz sarkanajai. Gaisma, kas krīt uz priekšmetiem, no tiem daļēji atstarojas, daļēji iziet cauri, bet daļēji tiek aizturēta vielā. Atbilstoši tam, izšķiram krītošo, atstaroto, cauri izgājušo un absorbēto gaismu. Priekšmetu krāsu nosaka atstarotā un cauri izgājušī gaisma.

Aplūkosim dažus vienkāršus piemērus. Sarkans papīrs atstaro galvenokārt sarkanos gaismas starus, bet citas gaismas krāsas aiztur (absorbē). Sarkans stikls turpretim laiž cauri galvenokārt sarkano gaismu, bet citas spektra krāsas absorbē (II krāsainais attēls).

Atkarībā no tā, vai priekšmeti gaismu atstaro vai laiž cauri, tos iedala dzidros un nedzidros. Dzidras vielas, piemēram, ir ūdens, stikls, celofāns. Nedzidras vielas ir papīrs, drēbe, koks, metāls u. c. Kā dzidras, tā nedzidras vielas var būt krāsainas vai bezkrāsainas. Sarkans stikls ir krāsaina, dzidra viela, logu stikls turpretim bezkrāsaina. Balts papīrs ir bezkrāsaina, nedzidra viela, zaļš, sarkans un zils papīrs — krāsainas.

Dzidras, bezkrāsainas vielas vienādi labi laiž cauri visus gaismas starus. Krāsainas, dzidras vielas labi laiž cauri tikai noteiktas krāsas gaismu. Zaļais stikls, piemēram, vislabāk laiž cauri zaļos gaismas starus un aiztur visus pārējos (II krāsainais attēls). Tāpēc, lietojot saules brilles, apkārtējo priekšmetu krāsas mainās.

Nedzidras vielas — papīrs, drēbe, puķu ziedlapas u. c. praktiski gaismu cauri nelaiž vai laiž cauri ļoti maz. Šādas vielas daļu gaismas atstaro (izkliedē) un daļu aiztur (absorbē).

Ja viela aiztur visus gaismas starus un gaismu neatstaro (pareizāk — atstaro ļoti maz), tad tās krāsa ir melna, piemēram, melns papīrs, sodrēji, melna krāsa u. c. Ja viela atstaro visas spektra krāsas vienādi labi, tad tās krāsa ir balta, piemēram, balts papīrs, margrietiņu ziedlapiņas, balts audums. Ja priekšmets atstaro tikai vienu noteiktu spektra krāsu, piemēram, zaļo, bet aiztur visas pārējās, tad mēs sakām, ka tas ir zaļš. Tā

rudzupuķes atstaro galvenokārt zilos starus, bet aiztur visus pārējos, pures — atstaro tikai dzeltenu gaismu utt.

Tātad vielu krāsu — atstarotās gaismas krāsu vai vielai cauri izgājušās gaismas krāsu nosaka tā gaisma, kas tiek aizturēta (absorbēta) vielā. Tāpēc vielas krāsas izskaidrošanai mums būtībā jāizskaidro, kā dažādas vielas absorbē gaismu. I tabulā dots sakars starp absorbētās gaismas viļņu garumu un absorbētās un atstarotās gaismas krāsu.

I tabula. Absorbētās gaismas un atstarotās gaismas krāsa

Absorbētās gaismas viļņu garums ( $m_{\lambda}$ )	Absorbētās gaismas krāsa	Atstarotās gaismas krāsa
400—450	violets	dzeltēni zaļš
450—480	zils	dzeltens
480—510	gaiši zils	oranži sarkans
510—550	zaļš	purpurs
550—575	dzeltēni zaļš	violets
575—585	dzeltens	zils
585—620	oranžs	} zaļgani zils ar dažādu zilo un zaļo nokrāsu
620—760	sarkans	

Lielākā vai mazākā mērā visas vielas, pat dzidras bezkrāsainas aiztur gaismas starus. Vielas caurlaidība ir atkarīga no slāņa biezuma. Tā, piemēram, 1 cm biezs tīra ūdens slānis laiž cauri 73% redzamās gaismas enerģijas, 1 m biezs — 36%, bet 100 m slānis — apmēram 1%. Šī iemesla dēļ labi ir apgaismoti tikai virsējie jūru un okeānu slāņi — līdz 200 m dziļumam. Šādā dziļumā vēl nonāk apmēram simtā daļa no Saules staru enerģijas uz jūras līmeņa. Dziļākie ūdens slāņi ir vāji apgaismoti, un 2000 m dziļumā gaisma praktiski nemaz nenonāk. Te valda mūžīgā tumsa.

Vielas caurlaidību, atstarošanās spēju un absorbciju raksturo ar caurlaidības, atstarošanās un absorbcijas koeficientiem. Par caurlaidības koeficientu  $c$  sauc at-

tiecību starp vielai cauri izgājušo enerģiju  $E_c$  un uz vielu krītošo gaismas enerģiju  $E_o$  ( $c = \frac{E_c}{E_o}$ ). Par atstarošanās koeficientu  $r$  sauc attiecību starp atstaroto  $E_r$  un krītošo gaismas enerģiju  $E_o$  ( $r = \frac{E_r}{E_o}$ ).

Gaismas absorbciju raksturo ar absorbcijas koeficientu  $a$  — attiecību starp vielā absorbēto enerģiju  $E_a$  un uz vielu krītošo gaismas enerģiju  $E_o$  ( $a = \frac{E_a}{E_o}$ ).

Tā kā uz vielu krītošā gaismas enerģija no priekšmetiem atstarojas, iziet tiem cauri un absorbējas (tiek aizturēta vielā), tad visu triju koeficientu summa vienlīdzīga vienam:

$$c + r + a = 1.$$

Šo sakarību izmanto, lai noteiktu vielas absorbcijas koeficientu  $a$ . Lai noteiktu  $a$ , izmēra uz vielu krītošās gaismas enerģiju, no vielas atstaroto enerģiju un vielai cauri izgājušo enerģiju. No šiem lielumiem var aprēķināt caurlaidības ( $c$ ) un refleksijas koeficientus ( $r$ ). Zinot  $c$  un  $r$ , var aprēķināt  $a$ :

$$a = 1 - c - r.$$

Atstarošanās koeficienti dzidrām vielām — stiklam, ūdenim u. c. nav lieli — tikai daži procenti. Pulētas metālu virsmas — sudraba, alumīnija u. c. atstaro gandrīz visu uz tiem krītošo gaismas enerģiju (90%).

Zinot, ka ūdens atstarošanās koeficients ir apmēram 2% un ka 100 metrus biezs ūdens slānis laiž cauri tikai 1% no krītošās gaismas enerģijas, var secināt, ka šādā ūdens slānī absorbējas 97% gaismas enerģijas.

Daudz spēcīgāk par ūdeni gaismu aiztur metāli. Zelts, piemēram, gaismu absorbē 40 miljonu reižu spēcīgāk nekā ūdens. Tas nozīmē to, ka trīs simtdaļas mikronu biezs zelta slānis aiztur tikpat daudz gaismas, cik vienu metru biezs ūdens slānis(!).

Absorbcijas koeficients, tāpat kā caurlaidības un atstarošanās koeficients, ir atkarīgs no viļņu garuma.



II krāsainā attēlā redzam, kā dažādi krāsaini stikli (gaismas filtri) aiztur kvēlspuldzes starojumu. Tam nolūkam ar prizmas palīdzību (5. zīm.) iegūts kvēlspuldzes spektrs (II krāsainā attēlā dota šī spektra fotogrāfija). Pēc tam spuldzes priekšā novietoti krāsaini stikli — sarkans, zaļš, zils un atkal fotografēts spektrs.

Kvēlspuldzes spektrā, kas iegūti caur krāsainu stiklu, redzamas tumšas joslas. Spektrā šīs joslas atrodas tajās vietās, kuras atbilst stiklā absorbētajai gaismai.

No fotogrāfijām redzams, ka sarkanais stikls laiž cauri galvenokārt sarkanos starus un aiztur visus pārējos (II krāsainais attēls, 2). Dažas sarkanā stikla šķirnes nedaudz laiž cauri arī oranžos un dzeltenos starus.

Zaļais stikls laiž cauri galvenokārt zaļos starus un tikai nedaudz dzeltenos un zilos. II krāsainā attēlā 3 dota zaļā stikla absorbcijas spektra fotogrāfija. No tās redzams, ka zaļajam stiklam ir vairākas absorbcijas joslas redzamā spektra daļā — šaura josla zaļajā un platas sarkanajā un zilajā.

Zilais stikls laiž cauri zaļos un zilos starus, aizturot visus pārējos (II krāsainais attēls, 4).

Gluži dabiski rodas jautājums, kas tad īsti nosaka vielas absorbciju un līdz ar to vielas krāsu.

Lai atbildētu uz šo jautājumu, mums sīkāk jāiepazīstas ar gaismas un vielas mijiedarbību. Gaismu, kas iedarbojas uz vielu, var uzskatīt par gaismas kvantu plūsmu. Ja viela gaismu absorbē, tad tas nozīmē, ka vielā tiek aizturēti gaismas kvanti. Lai izskaidrotu gaismas absorbciju, mums jānoskaidro, kas vielā aiztur gaismas kvantus un kur paliek aizturēto (absorbēto) kvantu enerģija.

Viela, kā zināms sastāv no atomiem un molekulām. Pie kam, gaismai iedarbojoties uz vielu, viens gaismas kvants var iedarboties tikai uz vienu atomu vai molekulu.

Ja gaismas kvants tiek absorbēts vielā, tad tas nozīmē, ka gaismas kvantu enerģija tiek atdota vielas atomiem un molekulām, — gaismas kvantu enerģija pāriet atomu un molekulu ierosināšanas enerģijā. Enerģijas nezūdamības likums, kam pakļaujas visi procesi

dabā, nosaka, ka enerģija nekur nevar rasties klāt vai izzust; dažādās parādībās enerģija var tikai pārveidoties.

Ar gaismu, kas tiek absorbēta vielā, notiek trīs dažādas pārvērtības. Visbiežāk šī enerģija pārvēršas siltumā — molekulu kustības vai svārstību enerģijā. Par to var viegli pārliecināties, novietojot saulē krāsainus priekšmetus — priekšmeti saulē sasilst. Spēcīgāk sasilst tie priekšmeti, kuri aiztur vairāk Saules staru. Melns papīrs, piemēram, sasilst saulē līdz augstākai temperatūrai nekā balts tāpēc, ka melnais papīrs absorbē ievērojami vairāk Saules staru. Šī iemesla dēļ arī vasarā valkā gaišas drēbes.

Otrs veids, kādā absorbētā enerģija molekulās var pārveidoties, ir luminiscence. Iepriekšējā nodaļā mēs aplūkojam dienas gaismas spuldzes, kurās luminofors absorbēto ultravioleto staru enerģiju pārvērš redzamajā gaismā.

Trešais veids, kādā var pārvērsties absorbētā gaismas enerģija, ir ķīmiska reakcija. Ķīmiskās reakcijas gaismas iedarbībā ir pazīstamas jau sen. Sudraba sāļu pārvēršanos gaismas iedarbībā apraksta jau viduslaiku alkīmiķi.<sup>1</sup> Bija arī zināms, ka lielākā daļa krāsvielu gaismas iedarbībā izbal. Tā, piemēram, Saules gaismā izbal audumi, krāsains papīrs u. c. Izrādās, ka krāsvielu izbalēšana gaismas iedarbībā notiek tāpēc, ka krāsvielas molekulas savienojas ar skābekli — notiek oksidēšanās reakcija. Ar skābekli var savienoties tikai ierosināta krāsvielas molekula. Oksidēšanās rezultātā rodas jauns savienojums, kas absorbē gaismu citādi. Mēģinājumi pierādīja, ka krāsvielu izbalēšana notiek ļoti lēni. Ne katra molekula, kas absorbējusi gaismas kvantu, savienojas ar skābekli. No 10 tūkstošiem ierosinātu molekulu tikai viena savienojas ar skābekli. Pārējās molekulās absorbētā enerģija pārvēršas siltumā.

Ķīmiskās reakcijas, kas notiek tikai tad, ja molekula absorbējusi gaismu un atrodas ierosinātā stāvoklī, sauc

<sup>1</sup> Alkīmiķi centās vienkāršus metālus pārvērst zeltā. Blakus šādiem nezinātniskiem meklējumiem alkīmiķi atklāja arī dažas jaunas parādības ķīmijā.

par fotoķīmiskām reakcijām. Zinātne, kas pēta šīs reakcijas, ir fotoķīmija. Tajā cieši sakļaujas fizikas un ķīmijas specialitātes.

Par fotoķīmijas pamatlicēju jāuzskata lietuviešu zinātnieks K. Grothuss, kas 1818. gadā formulēja fotoķīmijas pamatlikumu: fotoķīmisku reakciju ietekmē tikai tā gaisma, kas tiek absorbēta (aizturēta) vielā. Tā, piemēram, sarkana krāsviela neizbalēs, ja to apstaros ar sarkanu gaismu, jo sarkanos starus šī krāsviela neabsorbē.

Tālākā fotoķīmijas attīstība saistās ar franču zinātnieku Drepēru, vācu ķīmiķi Bunzenu un angļu ķīmiķi Rosko. Bunzens un Rosko noskaidroja, ka fotoķīmiskajā reakcijā radušās vielas daudzums ir atkarīgs gan no krītošās gaismas intensitātes, gan no apgaismošanas laika.

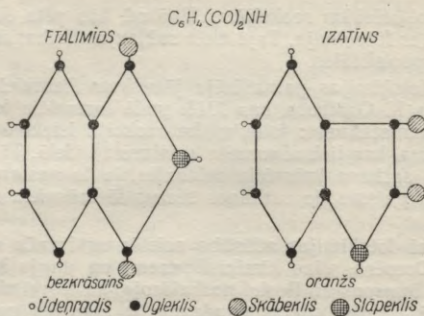
Svarīgākos priekšstatus par gaismas iedarbību uz molekulām mūsu gadsimta sākumā attīstīja ievērojamais zinātnieks A. Einšteins. Viņš formulēja fotoķīmijas pamatlikumu, izejot no priekšstatiem par gaismas kvantiem. Einšteins apgalvoja, ka katrs absorbētais gaismas kvants var aktivizēt ķīmiskajai reakcijai tikai vienu molekulu. Visa tālākā fizikas un fotoķīmijas attīstība parādīja šī uzskata pareizību.

Iepriekš mēs noskaidrojām absorbētās gaismas enerģijas pārvēršanos vielā. Mēģināsim noskaidrot, kas tad īsti nosaka molekulas absorbciju.

Molekulas īpašības nosaka tie ķīmisko elementu atomi, kas tajā ietilpst. Tomēr absorbciju nosaka ne tikai molekulas ķīmiskais sastāvs, bet arī atomu novietojums molekulā. Lai to ilustrētu, aplūkosim divas vielas — izatīnu un ftalimīdu, kurām ir vienāds ķīmiskais sastāvs, bet dažāds atomu sakārtojums molekulā (13. zīm.). Abās molekulās ir 8 oglekļa (C), 5 ūdeņraža (H), 2 skābekļa (O) un 1 slāpekļa (N) atoms. Tomēr abu vielu krāsa ir dažāda. Ftalimīds ir bezkrāsaini kristāli. Izatīna krāsa turpretim ir oranža.

Turpmākie pētījumi pierādīja, kā atomu telpiskais novietojums — molekulas struktūra ļoti būtiski ietekmē





13. zīm. Ftalimīda un izatīna molekulām ir vienāds ķīmiskais sastāvs, bet dažāda struktūra un krāsa.

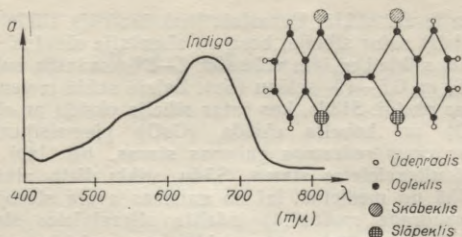
molekulu gaismas absorbciju. Šodien mēs jau zinām diezgan daudz par to, kā molekulu ķīmiskais sastāvs un uzbūve (atomu telpiskais izvietojums) ietekmē vielas absorbciju un krāsu.

Cilvēki jau kopš seniem laikiem centušies mākslīgi iegūt stabilas krāsvielas. Indiāņi jau pirms 2000 gadiem prata no augiem iegūt krāsvielas un izmantoja tās miesas izdaiļošanai. Vēl agrāk krāsvielas pazina senie ēģiptieši, par ko liecina bagātīgi valdnieku kapu greznojumi. Krāsvielu iegūšanas māku no austrumu tautām pārņēma senie grieķi.

Viena no visvecākām krāsvielām ir indigo. Tā ir zila krāsviela, ko ieguva no Amerikā augošā sandalkoka. 14. zīmējumā ir parādīta šīs krāsvielas absorbcijas koeficienta atkarība no viļņu garuma (absorbcijas spektrs). No zīmējuma redzams, ka indigo galvenokārt absorbē garākos redzamos gaismas starus — sarkanos, oranžos un zaļos. Tāpēc arī šī krāsviela atstarotā gaismā izskatās zila.

Augos ir sastopamas ļoti dažādas krāsvielas. Tā, piemēram, narcisu, primulu un kliņģerīšu ziedu krāsas galvenokārt nosaka karotīns un ksantofils. Lapu zaļo





14. zim. Krāsvielas indigo molekulas struktūra un absorbcijas spektrs.

krāsu nosaka augu krāsviela hlorofils.<sup>1</sup> Rudzupuķu zilo krāsu, rožu u. c. puķu krāsas nosaka dažādas pie antocianīnu grupas piederošās krāsvielas.

Praktiska pielietojuma lielākajai daļai ziedu krāsvielām nav, jo tās ir ļoti nestabilas, sadalās un pārvēršas citos savienojumos. Prīmulu dzeltenā krāsa, piemēram, mainās jau mitrumā.

Tikai pagājušā gadsimta beigās organiskās krāsvielas pirmo reizi ieguva mākslīgi laboratorijā. Tagad ķīmiskā rūpniecība ne tikai iegūst visas augu krāsvielas, bet ražo lielu skaitu sintētisko krāsvielu, kuras dabā nemaz nav sastopamas.

Vissvarīgākā izejviela krāsvielu rūpniecībā ir akmeņogļu darva, no kuras iegūst anilīna krāsvielas (anilīnu un tam radniecīgos savienojumus).

Īpašu krāsvielu grupu sastāda neorganiskās vielas. Parastā baltā krāsa satur cinka oksīdu (cinka baltums). Sarkanā krāsa satur svina oksīdu ( $Pb_3O_4$  — mīnijs) vai dzelzs oksīdu ( $Fe_2O_3$  — dzelzs mīnijs), zaļā krāsa satur hroma oksīdu ( $Cr_2O_3$ ), dzeltenā krāsa — svina ( $PbCrO_4$ ), kadmija ( $CdS$ ) vai dzelzs (dzelzs oksīda maisījums ar māliem — dzeltenais okers) savienojumus.

Svarīga nozīme dažādiem neorganiskiem savienojumiem.

<sup>1</sup> Tikai 1960. gadā šo organisko krāsvielu ieguva laboratorijā.

miem ir arī stiklā. Parastais bezkrāsainais stikls galvenokārt satur silīcija, bora un alumīnija oksīdus. Sarkanais stikls bez tam vēl satur 1—2% kadmija sulfīdu (CdS) un 0,5—1% selēnu (Se). Zaļajā stiklā ir vara un hroma oksīdi. Stikls, kas satur silīcija oksīdu ar niķeļa (NiO) un kobalta oksīda (CoO) piemaisījumiem, aiztur visus redzamos gaismas starus, bet ļābi laiž cauri ultravioletos starus. Šādu stiklu lieto zinātnē, tehnikā un medicīnā, lai no gaismas avota starojuma (dzīvsudraba spuldzēm) izdalītu ultravioletos starus.

Aplūkojot dažādo — gan dzidro, gan nedzidro priekšmetu krāsu, noskaidrojām, ka to nosaka gaismas absorbcija vielā. Parasti vielas, kas absorbē gaismu, sasilst. Tomēr dažreiz gaismas ietekmē notiek sarežģītāki procesi — fotoķīmiskas reakcijas. Dažām svarīgām fotoķīmiskām reakcijām ir veltītas turpmākās nodaļas.

## IV. KĀPĒC MĒS REDZAM

Redzes sajūta ir sarežģīta fizioloģiska organisma reakcija uz gaismu. Ar redzes palīdzību mēs nosakām priekšmetu formu, to novietojumu telpā un krāsu.

Redzes procesā ir jāizšķir vairākas pakāpes. Pirmā saistās ar fotoķīmisku reakciju acī. Otrajā pakāpē fotoķīmiskās reakcijas gala produkti izraisa elektriskas parādības redzes nervā. Trešā pakāpe saistās ar sarežģītiem fizioloģiskiem procesiem smadzenēs. Tikai šajā beidzamajā pakāpē rodas redzes sajūta — informācija par apkārtējo pasauli. No šim trim dažādām redzes procesa pakāpēm mēs aplūkosim tikai pirmo — fotoķīmisko reakciju.

Lai izprastu redzes procesu, mums īsumā jāiepazīstas ar acs uzbūvi un tās optiskajām īpašībām.<sup>1</sup>

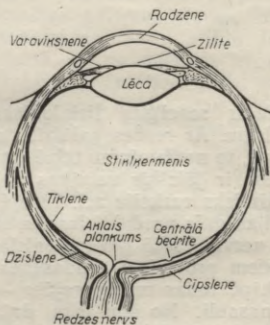
Acs ir visai sarežģīts optisks instruments. Salīdzinot to ar fotoaparātu, varētu teikt, ka acī vienlaicīgi rodas gan priekšmeta attēls, gan arī pats fotouzņēmums.

Acs atrodas t. s. acs dobumā (15. zīm.). No ārpuses aci apņem īpašs apvalks — cīpslene. Tās priekšējā daļa ir caurspīdīga, un to sauc par radzeni. Aiz šī apvalka atrodas krāsaina audu kārtā — varavīksnene, kas piešķir katram cilvēkam raksturīgo acs krāsu. Varavīksnenes vidū ir neliels atvērums — acs zīlīte. Atkarībā no apgaismojuma zīlīte var sašaurināties (spilgtā apgaismojumā) un paplašināties (vājā apgaismojumā).

Zīlītei cieši pieguļ acs lēca — caurspīdīgs olbaltum-

<sup>1</sup> Sīkāk par redzes procesu un telpisko redzi lasītājs var iepazīties LVI Populāri zinātniskās bibliotēkas brošūrā: N. Vaļuss, «Kā redz acs», 1950.

vielu ķermenis. Acs lēcai ir tāda pati loma kā objektīvam fotoaparātā. Tā rada priekšmetu attēlu uz acs gaismas jutīgā slāņa. Šo slāni — tikleni galvenokārt veido dažādas nervu šūnas (16. zīm.). Starp tikleni un acs ārējo apvalku atrodas asinsvadu sistēma — dzīs-



15. zīm. Acs uzbūve.

lene, kas baro acs gaismas jutīgo slāni. Starp acs lēcu un tikleni atrodas īpaša dzidra organiska viela — stiklķermenis.

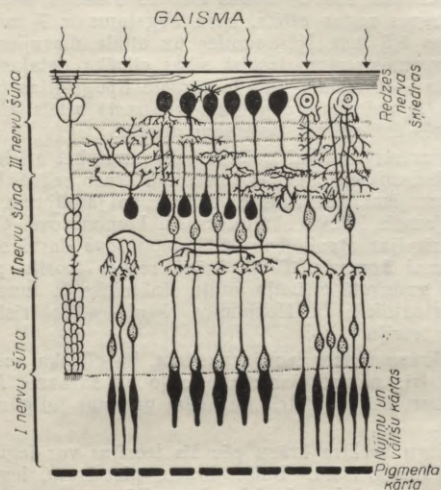
Vissvarīgākā acs daļa, kurā notiek fotoķīmiskā reakcija, ir tiklene. Kaut gan tiklenes biezums ir tikai 0,2 mm, tās uzbūve ir ļoti sarežģīta. Tiklenē pavisam izšķir 10 dažādas kārtas. Vienkāršots tiklenes šķēsgriezums attēlots 16. zīmējumā. Tiklenes galvenās sastāvdaļas ir trīs nervu šūnu kārtas. Ārējās — III kārtas nervu šūnu garie izaugumi veido redzes nervu, kas iet uz redzes centriem galvas smadzenēs. To vietu, kurā redzes nervs iziet no acs dobuma, sauc par aklo plankumu (tajā vietā acs neuztver gaismas kairinājumu). Gaismas jutīgās šūnas atrodas dziļākajā tiklenes daļā — I nervu šūnu kārtā.

Acī ir divu veidu gaismas jutīgās šūnas — nūjiņas un vāļītes. Savu nosaukumu tās dabūjušas pēc ārējā



izskata. Nūjiņu garums ir ap 50 mikronu un diametrs 2 mikroni. Vālišu garums ir nedaudz īsāks, bet diametrs lielāks nekā nūjiņām.

Atsevišķiem cilvēkiem gaismas jutīgo šūnu skaits ir dažāds. Vidēji cilvēka acī ir apmēram 130 miljonu nū-



16. zīm. Acs gaismas jutīgā slāņa — tīklenes uzbūve. I nervu šūnu kārtā redzamas gaismas jutīgās šūnas — nūjiņas (garākās) un vāļītes (īsākās, ar lielāku diametru).

jiņu un 7 miljoni vālišu. Tātad nūjiņu skaits ir ievērojami lielāks nekā vālišu skaits.

Dažāds ir arī nūjiņu un vālišu sadalījums acs tīklenē. Visvairāk vālišu ir dzeltenajā plankumā un it īpaši tā centrālajā bedrītē (16. zīm.), kur uz 1  $mm^2$  laukuma ir ap simttūkstoš vālišu. Nūjiņas acī ir sadalītas vienmērīgāk nekā vāļītes. Acs centrālajā daļā ar katru nervu šķiedru ir saistītas 2—3 gaismas jutīgās šūniņas

(nūjiņas un valītes). Tiklenes pārējā daļa ar katru nervu šķiedru saistītas ap 100 gaismas jutīgās šūnas (galvenokārt nūjiņas).

Priekšmetu attēlu uz tiklenes rada acs lēca. Tāpat kā fotoaparātā attēls acī ir samazināts un apgriezts. Aplūkojot cilvēku, kas no mums atrodas 5 metru attālumā, uz tiklenes rodas attēls, kura augstums ir 7 mm un platums 1,5 mm. Neraugoties uz attēla mazajiem izmēriem, mēs varam izšķirt sīkas cilvēka detaļas. Vēl mazāks — 0,14 mm liels ir parastā tipogrāfijas teksta burtā (tā dabiskais augstums ir 2 mm) attēls. Un tomēr mēs ērti varam lasīt šādu tekstu.

Acis uztver ne tikai gaismas stiprumu, bet arī krāsu. Jau diezgan sen cilvēkus interesēja krāsu redze. Viens no pirmajiem, kas interesējās par šo jautājumu, bija ievērojamais krievu zinātnieks M. Lomonosovs. Cariskās Krievijas atpalcības dēļ Lomonosova darbi nebija pazīstami ārzemēs. Tālāk krāsu redzes teoriju pagājušajā gadsimtā attīstīja angļu zinātnieks T. Jungs un vācu zinātnieks H. Helmholtcs. Viņi radīja trīskrāsu redzes teoriju.

Trīskrāsu redzes teorija uzskata, ka cilvēka acs var izšķirt trīs pamatkrāsas: zilo, zaļo un sarkano. Atbilstoši tam, acī jābūt trīs dažādām gaismas jutīgām šūniņām.

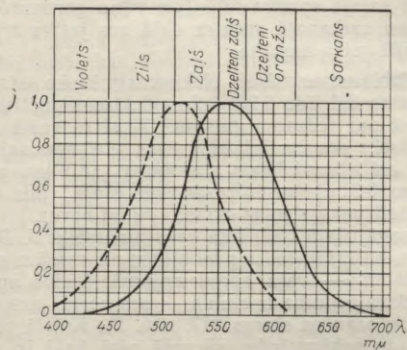
Jebkuru spektra krāsu pēc šīs teorijas var iegūt no trim pamatkrāsām. Balto krāsu, piemēram, iegūsim tad, ja summēsim vienādas intensitātes zilu, zaļu un sarkano gaismu.<sup>1</sup> Oranžu gaismu iegūsim, ja summēsim zaļu un sarkano gaismu.

So apgalvojumu var pārbaudīt ar mēģinājumu. Tam nolūkam ir vajadzīgi 2 vai vairāki gaismas avoti un dažādi krāsaini stikli (gaismas filtri, kas laiž cauri tikai noteiktas krāsas gaismu). Projicējot krāsainos gaismas kūļus uz ekrāna, var noskaidrot gaismas summēšanas likumus.

<sup>1</sup> Baltu gaismu var iegūt arī, saskaitot divas krāsainas gaismas, piemēram, zilgani zaļu un sarkano. Jebkuras divas krāsas, kuru gaismas summējot dod baltu, sauc par papildkrāsām.

Šādā ceļā gan izdevās noskaidrot krāsainās gaismas summēšanās likumus (II krāsainais attēls),<sup>1</sup> tomēr ne-  
atrisināts palika jautājums par to, kā acs uztver un  
analizē krāsainu gaismu.

Aplūkosim, kādi fakti mūsdienu zinātnē ir iegūti par  
krāsu redzi un kā tie saskan ar trīskrāsu redzes teoriju.



1. — Dienas redze 2 - - Krāsas redze

17. zīm. Cilvēka acs dienas un krāsas redzes jutība.

Jau diezgan sen tika noskaidrots, kāda ir acs jutība  
pret dažādas krāsas gaismu. Lai to noteiktu, uz acs  
laida vienkāršainu (monohromatisku) gaismas kūli.  
Gaismas stiprumu izvēlējās tā, lai cilvēkam rastos tik  
tikko manāma gaismas sajūta. Šo vismazāko vienkār-  
sainās gaismas stiprumu nosauca par redzes sliekšni (*i*).

<sup>1</sup> Krāsainās gaismas summēšana atšķiras no ķīmisko krāsvielu,  
piemēram, ūdens krāsu, samaisīšanas. Tā, piemēram, summējot zi-  
las un sarkanas gaismas, iegūst baltu gaismu, bet, samaisot sar-  
kanu un zilu ķīmisko krāsu, iegūst melnu krāsu (ķīmisko). II krā-  
sainajā attēlā parādīts, kādas krāsas rodas, summējot krāsainu  
gaismu un samaisot (summējot) ķīmiskās krāsvielas.

Redzes sliksnim apgriezto lielumu  $j = \frac{1}{i}$  sauc par acs jutību. Acs jutība, tāpat kā redzes sliksnis, ir atkarīga no gaismas krāsas jeb viļņu garuma (17. zīm. 1). Acs jutības atkarību no viļņa garuma sauc par redzamības likni.

No zīmējuma redzams, ka vislielākā jutība acij ir dzeltenī un zaļajā spektra daļā (pie viļņa garuma  $555 \text{ m}\mu$ ). Zilajā un sarkanajā spektra daļā acs jutība ir desmit un vairāk reizi mazāka.

Acs labi uztver tikai elektromagnētisko starojumu robežās no  $0,4$  līdz  $0,76 \mu$ . Šos elektromagnētiskos viļņus sauc par redzamo gaismu.<sup>1</sup> Tikai redzamā spektra daļā cilvēka acs var izšķirt krāsas. Gaismas sajūtu var izraisīt arī ultravioletais starojums (ar viļņu garumu, sākot no  $0,31 \mu$ ) un infrasarkanie stari (līdz  $0,98 \mu$ ). Tomēr šeit par gaismas «krāsu» runāt nevar.

Jau pagājušajā gadsimtā čehu zinātnieks J. Purkinjē ievēroja, ka krāsu redze pasliktinās pie mazām gaismas intensitātēm — vājā apgaismojumā. Šādos apstākļos acs spektrālā jutība ir citāda — acs nespēj uztvert sarkanos un oranžos starus (17. zīm. 2). Krēslā patiešām pareizs ir sakāmvārds: «Tumsā visi kaķi ir pelēki.» Krāsu sajūta mums ir tikai spilgtā apgaismojumā.

Tālākie pētījumi parādīja, ka gaismas un krāsas sajūta saistās ar fotoķīmiskām reakcijām tīklenes gaismas jutīgās šūnās — vālitēs un nūjiņās. Krāsu redze saistīta ar vālitēm, krēslas redze ar nūjiņām.

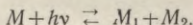
No nūjiņām un vālitēm izdalīja īpašas organiskas vielas — redzes purpuru — rodopsīnu (nūjiņās) un jodopsīnu (vālitēs). Šo vielu ķīmiskais sastāvs vēl nav pilnīgi noskaidrots. Tomēr ir zināms, ka viena no galvenām rodopsīna sastāvdaļām ir A vitamīns. Ja šī vitamīna organismā nav, tad krēslas redze tiek traucēta.

---

<sup>1</sup> Gaismas sajūtu var radīt ne tikai elektromagnētiskais starojums. Tā, piemēram, gaismas sajūta rodas arī pilnīgā tumsā, ja viegli ar pirkstu piespiež acs iekšējo kaktiņu. Par to katrs var viegli pārlicināties.



Abas vielas — rodopsīns un jodopsīns gaismas ietekmē sadalās. Pētot šo sadalīšanos, noskaidroja, ka fotoķīmiskā reakcija rodopsīna un jodopsīna molekulās ir apgriezeniska — pēc apgaismojuma pārtraukšanas tumsā atjaunojās sākotnējās jodopsīna un rodopsīna molekulas. Schematiski reakciju var attēlot šādi:



Ar  $M$  ir apzīmēta redzes purpura molekula (rodopsīns vai jodopsīns), kas absorbē gaismas kvantu ar enerģiju  $h\nu$  un pāriet ierosinātā stāvoklī, kurā molekula nepaliek ilgi. Ierosinātā molekula sadalās divās elektriski lādētās daļās  $M_1$  un  $M_2$ .<sup>1</sup>

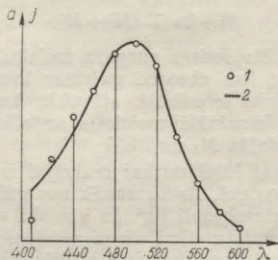
Apgriezeniskai fotoķīmiskai reakcijai ir ļoti svarīga loma redzes procesā. Ar to panāk acs gaismas uztveršanas spēju neierobežoti ilgi. Ja ķīmiskā reakcija gaismas ietekmē notiktu tikai vienā virzienā, tad pēc zināma laika, kad visas krāsvielu molekulas acī būtu sadalījušās, iestātos aklums, — acs vairs nespētu uztvert gaismu un izraisīt redzes sajūtu smadzenēs.

Ja acī nokļūst pārāk spilgts apgaismojums, kas sadala visas tiklīdz esošās redzes purpura molekulas jonus, tad iestājas īslaicīgs aklums, — fotoķīmiskā reakcija acī vairs nevar notikt. Ilgstoša spilgta gaisma var sabojāt redzi un radīt pastāvīgu aklumu. Kaut kas līdzīgs īslaicīgam aklumam rodas, ja cilvēks no pilnīgas tumsas ieiet labi apgaismotā telpā vai ja tumsā mūsu acī iekļūst automašīnas prožektora ugunis.

Svarīga loma redzes procesā ir elektriski lādētiem redzes purpura molekulu sadalīšanās produktiem. Elektriski lādētās molekulas  $M_1$  un  $M_2$  kairina nervu šķiedru galus un izraisa elektriskas parādības nervu vados. Kairinājums pa nervu vadiem nonāk smadzenēs, kur arī rodas redzes un krāsu sajūta. Šiem sarežģītiem procesiem, kas notiek cilvēka organismā, mēs tuvāk nepiešķersimies.

<sup>1</sup> Elektriski lādētus (pozitīvi un negatīvi) atomus un molekulas sauc par joniem. Redzes purpura molekulas fotoķīmiskajā reakcijā sadalās jonus.

Līdz šim mēs aplūkojām rodopsīna un jodopsīna molekulu sadalīšanās reakciju, nepieskaroties jautājumam par krāsu sajūtu. Kaut gan gaismas ietekmē sadalās kā jodopsīna, tā rodopsīna molekulas, krāsu sajūta rodas tikai vienā gadījumā — jodopsīna sadalīšanās rezultātā.



18. zim. Krēslas redzes jutība (1) un nūjiņās esošās krāsvielas — rodopsīna absorbcijas spektrs (2).

Pētot fotoķīmisko reakciju redzes purpurā, noskaidrojās, ka abām gaismas jutīgajām vielām — rodopsīnam un jodopsīnam ir dažāds absorbcijas spektrs. Zinot, ka fotoķīmisko reakciju var izraisīt tikai tā gaisma, ko molekula aiztur (absorbē), pēc absorbcijas spektra var spriest par acs spektrālo jutību.

18. zīmējumā ir salīdzināts rodopsīna (krāsviela, kas atrodas nūjiņās) absorbcijas spektrs un krēslas redzes spektrāla jutība. No zīmējuma redzams, ka abas liknes ļoti labi sakrīt. No tā var secināt, ka krēslas redze patiešām saistīta ar nūjiņām un tajās esošo krāsvielu (rodopsīnu).

Daudz sarežģītāks ir jautājums par krāsu redzi. Krēslas redzē, kad mēs krāsas praktiski neuztveram, acs uzdevums ir uztvert gaismas stiprumu (intensitāti). Krāsu redzei jāizšķir gan gaismas stiprums, gan gaismas krāsa. Tas ir daudz sarežģītāks, un to nevar veikt viena veida gaismas jutīgās šūniņas. Tāpēc arī

uzskatīja, ka acij jābūt vairāku veidu gaismas jutīgo šūniņu, kas spēj analizēt gan dažādas gaismas krāsas, gan gaismas stiprumu.

Junga un Helmholca redzes teorija uzskatīja, ka acī jābūt trim dažādiem gaismas uztvērējiem, kas var atšķirt zilu, zaļu un sarkanu gaismu (trīskrāsu redzes teorija). Tomēr visi mēģinājumi ķīmiski izdalīt no vālitēm trīs dažādus jodopsīna paveidus, izrādījās nesekmīgi. Līdz ar to trīskrāsu redzes teorija līdz pat beidzamajam laikam nebija eksperimentāli pamatota.

Pirmie pārliciecināmie fakti par krāsu redzes mehānismu tika iegūti 1947. gadā. Izšķirošā nozīme te bija zviedru zinātnieka R. Granita pētījumiem.

Granits eksperimentēja ar dzīvniekiem un veica elektrofizioloģiskus pētījumus acī. Pētījumu mērķis bija noskaidrot, kā mainās elektriskā strāva nervu vados, iesaistoties uz tikleni ar dažādu gaismu. Šajos pētījumos tika lietota jutīga radiotehniska aparatūra.

Dzīvniekiem atdalīja acs priekšējo daļu un atsedza tikleni. Tiklenei pieslēdza divus elektrodus — vienu redzes nervam, bet otru — mikroelektrodu, kura diametrs bija 25  $\mu$ , atsevišķai gaismas jutīgai šūnai. Līdz ar to šajos eksperimentos bija iespējams noteikt atsevišķas vālītes vai dažu vālišu optiskās īpašības.

Acī apgaismoja ar vāju, vienkrāsainu (monohromatisku) gaismu, ko ieguva ar prizmas palīdzību. Gaismas ietekmē radās elektriskas strāvas nervu vados, ko reģistrēja ar īpašu elektrisku mērinstrumentu. R. Granits izmantoja vāju gaismas plūsmu un noteica atsevišķām gaismas jutīgām šūnām redzes sliekšni — vismazāko gaismas enerģiju, kas vēl rada izmērāmu elektrisku strāvu nervu vados. Redzes sliekšņa lielums atsevišķām vālitēm izrādījās atkarīgs no viļņa garuma. Ar šādu paņēmieni varēja noteikt dažādu dzīvnieku gaismas jutīgo šūnu spektrālo jutību un līdz ar to redzamības likni.

Eksperimentos lietoja kaķus, jūras cūciņas, čūskas, vardenes. Rezultāti izrādījās visai interesanti. Dažādu dzīvnieku acs tiklenēs R. Granits atklāja septiņas dažādas gaismas jutīgas šūnas. To spektrālā jutība bija

II tabula. Gaismas jutīgo šūniņu veidi — modulatori, kas atklāti dažādu dzīvnieku acs tiklenē

	Modulatora vislielākās jutības rajons (mikronos)	Kaķis	Jūras cūciņa	Žurka	Čūska	Varde
Dzelteni oranžs	0,60	+	+	+	+	+
	0,53	+	-	-	-	+
Zaļgans	0,54	+	-	-	-	+
	0,53	-	+	-	+	+
	0,50	-	+	+	-	-
Zilgani violeti	0,46	+	+	-	-	+
	0,42	+	-	-	-	-

«+» atrasts acs tiklenē

«-» nav atrasts acs tiklenē

šaurā redzamā spektra daļā, un tās nosauca par modulatoriem. II tabulā ir parādīts, kādi gaismas modulatori ir atklāti izmēģinājumu dzīvnieku acs tiklenē.

Dzīvnieku acs tiklenē ir dažāds skaits atšķirīgu modulatoru. Tā, piemēram, kaķa acī ir atrasti 5 dažādi modulatori. Parasti acs tiklenē ir modulatori, kas ir ar attiecīgu vislielāko jutību zilajā, zaļajā un sarkanajā spektra daļā.

Blakus modulatoriem dzīvnieku acī atklātas arī citas šūnas ar gaismas jutību visā redzamajā spektra daļā. Šādas šūnas Granits nosauca par dominatoriem.

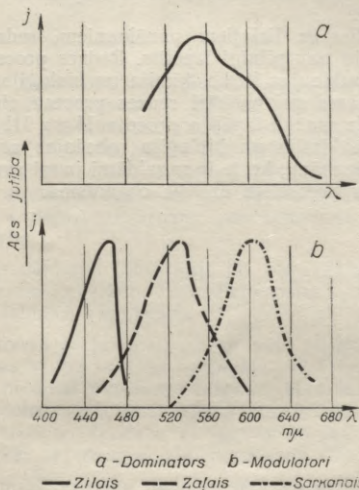
19. zīmējumā attēlota kaķa acs dominatora un modulatoru spektrālā jutība. Pēc Granita domām, dominatori uztver un analizē gaismas stiprumu (intensitāti), kamēr modulatori analizē gaismas krāsu.

Dabiski, rodas jautājums, ko no izdarītajiem pētījumiem var secināt par cilvēka krāsu redzi. Zinātne vēl



nevar dot tiešu atbildi uz šo jautājumu, jo visi līdzīnējie eksperimenti veikti ar dzīvniekiem.

Trīs dažādie modulatoru veidi dzīvnieku acs tiklenē labi saskan ar trīskrāsu redzes teoriju. Tomēr Granita mēģinājumus var arī citādi izskaidrot. Pēc vairāku zinātnieku domām, iespējams, ka acī ir arī vairāk nekā



19. zīm. Kaķa acs gaismas jutīgo šūniņu spektrālā jutība:  
*a* — dominators; *b* — modulatori.

trīs dažāda veida gaismas jutīgas šūnas, piemēram, kaķa acī ir 5 dažādi modulatori. Uz šādiem uzskatiem balstās daudzkrāsu redzes teorija.

Iepriekš aplūkotā fotoķīmiskā reakcija acs tiklenē ir visai sarežģīts process, kuru eksperimentāli sāka pētīt jau pirms apmēram 100 gadiem. Šajā laikā ir daudzas noskaidrojies par redzes procesa fotoķīmiju. S. Va-

vilovs un viņa līdzstrādnieks prof. S. Maizels pierādīja, ka acs ir viens no jutīgākiem gaismas uztvērējiem, kas var uztvert ļoti vājas gaismas plūsmas, piemēram, dzelteni zaļajā spektra daļā — 5 līdz 7 gaismas kvantus. Pagaidām optikā nav otra tik jutīga gaismas uztvērēja. Visiem tehniskākiem gaismas uztvērējiem — fotoelementiem, fotoelektronu pavairotājiem u. c. ir mazāka jutība.<sup>1</sup>

Neraugoties uz lielajiem panākumiem, redzes process vēl tālu nav pilnīgi izpētīts. Redzes procesa pētīšanā cieši sakļaujas fizika, ķīmija un bioloģija. Pagaidām ir zināma galvenokārt redzes procesa pirmā pakāpe. Daudz mazāk izpētīta procesa II un III pakāpe, kurā fizika, ķīmija un bioloģija robežojas ar fizioloģiju. Neapšaubāmi, ka te ir sagaidāmi jauni svarīgi atklājumi par procesiem dzīvajā organismā.

---

<sup>1</sup> Lielas nākotnes perspektīvas paver nesēn atklātie kvantu pastiprinātāji, kuros izmanto gaismas absorbciju un luminiscenci kristālos, piemēram, rubīnā. Iespējams, ka ar tādām iekārtām tāpat kā ar aci varēs reģistrēt atsevišķus gaismas kvantus.

---

## V. NEREDZAMĀIS FOTOGRĀFISKAIS ATTĒLS

Grūti iedomāties otru tādu zinātnes nozari kā fotogrāfiju, kura ieguvusi tik dažādu un daudzpusīgu pielietojumu. Nostaigājusi vairāk nekā simtgadēju attīstības ceļu no melni baltās līdz krāsainajai, fotogrāfija ir kļuvusi nepieciešama visiem. Fotouzņēmums kā paliellošs attēls pavada mūs gan dzīves priecīgajās stundās, gan nopietnos brīžos, gan ceļojumos un atpūtā, gan darbā.

Tomēr modernā fotogrāfija jau sen izgājusi no ģimenes albuma ietvariem. To pielieto visur — zinātnē, medicīnā, tehnikā, rūpniecībā.

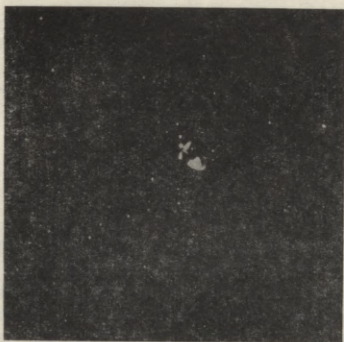
Astronomi ar fotoplati uztver vājo zvaigžņu gaismu, kuru mēs ar aci saskatīt nespējam. Ar fotoplati var reģistrēt ne tikai redzamo zvaigžņu starojumu, bet arī ultravioletos un infrasarkanos starus. Ar šādu paņēmienu atklātas daudzas zvaigznes un miglāji, kas izstaro tikai neredzamos siltuma starus (20. zīm.).

Ne mazāk svarīgu pielietojumu fotogrāfija ieguvusi medicīnā, kur to izmanto uzņēmumiem gan redzamajā gaismā, gan arī infrasarkanos un ultravioletos staros, kā arī rentģena caurskates uzņēmumiem.

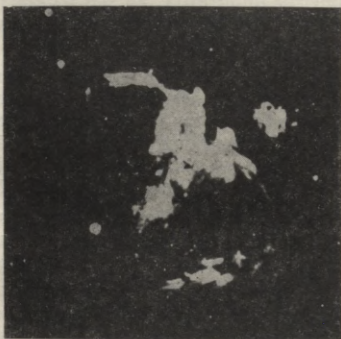
Fotogrāfiju izmanto arī elektronu mikroskopijā, kur attēlu rada elektroni (23. zīm.). Šādam mikroskopam ir svarīga nozīme fizikā, ķīmijā, bioloģijā, medicīnā. Ar elektronu mikroskopu var pat saskatīt lielākās molekulas, piemēram, olbaltumvielu.

Arī spektroskopijā, kur nodarbojas ar atomu un molekulu starojuma pētīšanu, ar fotoplati reģistrē redza-

*a*



*b*



20. zīm. Debess rajons fotografēts cauri Oriona miglājam ar parasto fotoplati (*a*) un fotoplati (*b*), kas jutīga pret infra-sarkanajiem stariem.





21. zīm. Kodola reakcijas reģistrēšana ar fotoplati (pallelināts uzņēmums mikroskopā). Ar  $\alpha$  apzīmēts antiprotona izraisītais nomelnojums.

mos, ultravioletos un infrasarkanos starus. Fotoplati izmanto arī rentgena un gamma staru reģistrēšanai.

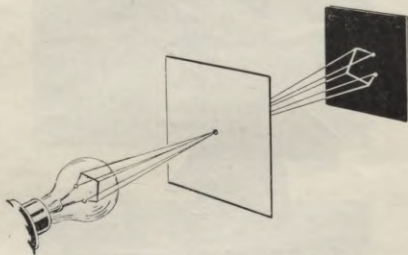
Padomju fiziķi L. Misovskis un A. Ždanovs pirmie izmantoja fotoplati atomu kodolu sabrukšanas procesu pētīšanai. Tagad šai metodei ir svarīga nozīme kodolfizikā gan kodolu sabrukšanas procesu pētīšanai, gan arī elementāro daļiņu reģistrēšanai. Ar šo metodi nesin atklāja jaunu elementāro daļiņu — antiprotonu (21. zīm.).

Fotoplates jutība tagad ir tik liela, ka labvēlīgos apstākļos pietiek to apgaismot vienu desmitmiljono daļu sekundes, lai iegūtu fotoattēlu.<sup>1</sup> Šo fotoplates īpašību

<sup>1</sup> Vēl īsākā laikā — vienā simtmiljonā daļā mikrosekundes ( $1 \mu \text{ sec} = 0,000001 \text{ sec}$ ) nomelnojumu rada ātra elementārā daļiņa.

izmanto ātri mainīgu procesu, piemēram, kristāla deformācijas, sprādzienu u. c. kinouzņēmumiem.

Fotoattēla iegūšana parāsti saistās ar divām parādībām. Pirmā ir priekšmeta optiskā attēla iegūšana. Otrā ir šī attēla saglabāšana, t. i., paliekoša attēla iegūšana. Pirmā fotogrāfiskā procesa pakāpe ir tīri optiska parādība. Otrā pakāpe ir sarežģītāka un saistās ar fotoķīmisku reakciju.



22. zīm. Tumšās kameras (camera obscura) darbības princips.

Attēla iegūšanu pazina jau sen — apmēram pirms 1000 gadiem. Ilgu laiku priekšmetu attēlus ieguva ar vienkāršu ierīci — tumšo kameru, kuras latīniskais nosaukums ir «camera obscura». Pirmais to sīki aprakstīja ievērojamais itāliešu mākslinieks un dabas zinātnieks Leonardo da Vinči. «Camera obscura» ir kaste, kurā ir neliels caurums un tam pretējā pusē caurspīdīgs ekrāns (matstikls, papīrs vai audums). Šādā vienkāršā ierīcē iegūst apgrieztu un samazinātu priekšmeta attēlu.

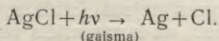
Par tumšās kameras darbību katrs viegli var pārlicināties. Tam nolūkam ir vajadzīgs kartona gabals, kurā izdurts neliels caurums ar diametru 1—2 mm. Novietojot kartonu ar caurumiņu pret ieslēgtu elektrisko spuldzi, uz papīra var viegli iegūt kvēldiega attēlu (22. zīm.). Tumšā kamera darbojas tāpat kā lēca —

īpaši apstrādāts stikls, ko tagad izmanto visos fotoobjektīvos.

Kaut gan stikla lēcas attēla iegūšanai izmantoja jau sen — kopš 1568. gada, labi fotoobjektīvi parādījās tikai pagājušā gadsimta otrajā pusē.<sup>1</sup> Fotogrāfijas attīstības sākumā attēla iegūšanai izmanto galvenokārt tumšo kameru.

Fotogrāfijas otro pakāpi — paliekoša attēla iegūšanu cilvēce apguva daudz vēlāk nekā optiskā attēla iegūšanu.

Paliekoša attēla iegūšana saistās ar fotoķīmisku reakciju sudraba ķīmiskajos savienojumos. Sudraba sāļus pazina jau alķīmiķi. Šo sāļu nomelnošanos gaismā aprakstīja jau 17. gadsimtā. Tomēr tikai 1777. gadā zviedru ķīmiķis K. Sēle pierādīja, ka nomelnojums saistīts ar metālisku sudrabu. Izmantojot ķīmisko elementu simbolus (Ag — sudrabs, Cl — hlors), reakciju var pierakstīt šādi:



Tagad ir zināms, ka sudraba sāļu sadalīšanās gaismas ietekmē — fotolīze notiek, gaismas kvantiem ( $h\nu$ ) iedarbojoties uz AgCl kristālu, pie kam viens gaismas kvants var atbrīvot tikai vienu sudraba un hlora atomu. Šī reakcija parasti noris ļoti lēni. Apgaismojot AgCl saulē pusgadu, sadalās tikai 8% no visām AgCl molekulām.

No Sēles atklājuma līdz fotogrāfijai bija vēl diezgan tālu. Attēlus uz gaismas jutīgiem sudraba sāļiem jau 1727. gadā ieguva vācu ārsts J. Sulce. Tam nolūkam viņš sudraba sāļus sajauca ar krītu un ūdeni un uzieda plānā kārtā uz plakanas virsmas. Pēc tam virsmu pārklāja ar papīru, kurā bija izgriezumi. Saules gaismā izgriezuma vietās sudraba sāļi sadalījās un tās nomelnojās.

<sup>1</sup> Tas izskaidrojams ar to, ka ap šo laiku teorētiskā optika attīstījās tik tālu, ka varēja norādīt praktiskos ceļus, kā novērst lēcu radītos attēla kropļojumus (lēcu kļūdas jeb aberācijas).

1802. gadā angļu zinātnieki T. Vedžvuds un H. Dēvi uz sudraba hlorīda ieguva ēnas projekcijas (cilvēka profila attēlus). Tomēr neviens no šiem attēliem nebija saglabājams, jo Saules gaismā pamazām nomelnojas visa virsma.

1822. gadā francūzis Ž. Ņeps izmantoja gaismas jutīgas organiskas vielas (asfalta laku). Apgaismotās plātes Ņeps apstrādāja šķīdumā, kas izšķīdināja organiskās vielas tajās attēla vietās, kuras nebija apgaismotas. Ar šādu paņēmieni varēja iegūt stabilus, paliekošus attēlus.

Kopš 1829. gada Ž. Ņeps sāka strādāt kopā ar Parīzes gleznotāju L. Dageru, kas šai laikā ieguva attēlus ar sudraba plātēm, kuras pirms uzņemšanas apstrādāja joda tvaikos. Pēc šādas apstrādes uz sudraba plātes radās plāns gaismas jutīgs sudraba jodīda slānis. Apgaismojot plāti daudzas stundas, Dagers ieguva redzamu attēlu.

1837. gadā Dagers nejauši atklāja, ka apgaismoto sudraba jodīda plāti, uz kuras attēls vēl nav saredzams, var apstrādāt dzīvsudraba tvaikos. Dzīvsudraba tvaiki galvenokārt nosēžas tajās plātes vietās, uz kurām iedarbojusies gaisma. Dzīvsudrabs spožu metālisku graudu veidā radīja redzamu attēlu.

Dagers atklāja fotogrāfijā ārkārtīgi svarīgu parādību — attēla attīstīšanu, kas «neredzamo» fotogrāfisko attēlu pārvērš redzamajā. Tomēr attīstītais attēls vēl nebija stabils, jo fotoplatē bija arī nesadalījis sudraba jodīds.

Lai radušos attēlu nostiprinātu, Dagers plāti apstrādāja ar nātrija tiosulfāta ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) ūdens šķīdumu, kas izšķīdināja nesadalījušos sudraba jodīdu<sup>1</sup>. Pēc šādas apstrādes Dagers ieguva ļoti augstvērtīgus stabilus attēlus.

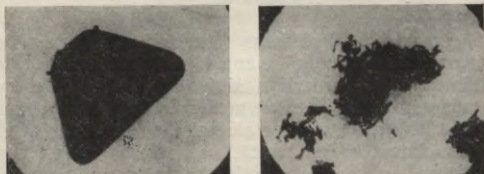
Dagera atklātajam attīstīšanas paņēmienam bija ārkārtīgi svarīga nozīme. Izmantojot attīstīšanu, Dagers

<sup>1</sup> Nātrija tiosulfātu šādām vajadzībām pirmais 1819. gadā izmantoja angļu astronoms D. Heršels.



samazināja apgaismošanas laiku no daudzām stundām līdz 5—6 minūtēm.

Dagera paņēmieni jau ir ļoti tuvs tagadējai fotogrāfijai. Tāpēc Dagers un Ņeps uzskatāmi par modernās fotogrāfijas nodibinātājiem, kaut gan šodien mēs iz-



*a*

*b*

23. zīm. Fotoemulsijas uzņēmums elektronu mikroskopā (17 000-kārtējs palielinājums): *a* — sudraba bromīda kristāls neapgaismotā emulsijā; *b* — metālisks sudrabs apgaismotā emulsijā pēc attīstīšanas.

mantojam daudz jutīgākus fotomateriālus un citādas attīstīšanas paņēmienus.

Fotogrāfijas progress līdz mūsu dienām galvenokārt saistās ar jutīgu fotomateriālu iegūšanu, uz kuriem attēlu var iegūt ļoti īsā laikā.

Mūsu dienās fotomateriālos visvairāk izmanto sudraba bromīdu ( $\text{AgBr}$ ) un sudraba jodīdu ( $\text{AgI}$ ), mazāk — sudraba hlorīdu ( $\text{AgCl}$ ). Šīs gaismas jutīgās vielas iejauc želatīna slānī, kuru uzklāj uz stikla (fotoplate), celuloīda (filma) vai papīra (fotopapīrs). Želatīna slāni kopā ar gaismas jutīgo vielu sauc par emulsiju.

Emulsijā sudraba sāļi atrodas nelielu kristālisku graudiņu veidā, kuru izmēri atkarībā no fotomateriālu īpašībām ir robežās no mikrona simtdaļām līdz dažiem mikroniem. 23. zīmējumā ir redzama šāda sudraba bromīda kristāliņa fotogrāfija elektronu mikroskopā.

Emulsija parasti satur arī organiskas krāsvielas, kuras maina emulsijas spektrālo jutību. Emulsija bez krāsvielām ir jutīga tikai pret ultravioletajiem un zila-

jiem redzamās gaismas stariem<sup>1</sup>. Krāsvielas (eritrozīns, cianīna krāsvielas u. c.) padara emulsiju gaismas jutīgu arī pret zaļajiem, oranžajiem, sarkanajiem un pat infrasarkanajiem stariem.

Moderno fotogrāfiskā attēla iegūšanu var iedalīt trīs daļās: uzņemšanas process, negatīvu process un pozitīvu process.

Uzņemšanai nepieciešams fotoaparāts, ar kura palīdzību uz gaismas jutīgā slāņa iegūst priekšmeta attēlu. Apgaismojot fotomateriālu zināmu laiku jeb eksponējot, gaismas jutīgajā slānī notiek fotoķīmiska reakcija, kuras rezultātā rodas t. s. slēptais jeb latentais attēls<sup>2</sup>. Šis nosaukums cēlies no tā, ka radušos attēlu nevar saskatīt ne ar aci, ne ar vislabākajiem mikroskopiem (ieskaitot elektronu mikroskopu). Attēls patiešām ir «neredzams» jeb slēpts attēls. Neraugoties uz to, tas satur visas fotouzņēmuma detaļas. Attīstīšanas procesā slēptais attēls pārvēršas redzamajā attēlā.

Ar slēptā attēla attīstīšanu un nostiprināšanu (fiksēšanu) saistās negatīvais process. Attīstīšanai izmanto dažādu ķīmisko savienojumu (piemēram, hidrohinona, metola u. c.) ūdens šķīdumus, kas iedarbojas uz fotoemulsiju un slēptā attēla vietās izdala metālisku sudrabu. 23. zīmējumā *a* un *b* redzama neattīstīta un attīstīta sudraba bromīda kristāliņa fotogrāfija elektronu mikroskopā. Pēc attīstīšanas (23. zīm. *b*) AgBr kristāliņa vietā ir radies metālisks sudrabs.

Attīstīšanas procesā izmanto tādu ķīmisku reakciju, kurā attīstītājs galvenokārt iedarbojas uz slēptā attēla centriem, bet mazāk iedarbojas uz pārējo neapgaismoto fotoemulsiju.

Tomēr attīstīts fotoattēls vēl nav stabils, jo emulsijas vietas, kuras nav skārusi gaisma, satur nesadalī-

<sup>1</sup> Ultravioletos starus Saules spektrā neatkarīgi viens no otra 1801. gadā atklāja vācu fiziķis I. Riters un angļu fiziķis U. Volastons pēc šo staru izraisītās fotoķīmiskās reakcijas sudraba hlorīdā. Ultravioletos starus, pateicoties to aktīvai fotoķīmiskai darbībai, sākumā nosauca par «ķīmiskajiem stariem».

<sup>2</sup> Nosaukums latentais attēls saistās ar latīņu vārdu «latens» — slēpts, neredzams.

jušos sudraba sāļus. Lai attīstīto fotoattēlu saglabātu un padarītu nejutīgu pret tālāko gaismas iedarbību, to nostiprina jeb fiksē. Sajā procesā emulsiju apstrādā ar tādu ķīmisku vielu (nātrija tiosulfāta ūdens šķīdumu), kura izšķīdina no emulsijas nesadalījušos sudraba sāļus. Pēc fiksēšanas emulsijā paliek tikai metāliskais sudrabs, kas attīstīšanas procesā ir radies slēptā attēla vietās. Attīstīts un fiksēts fotomateriāls vairs nav jutīgs pret gaismu.

Sādā ceļā iegūto fotoattēlu sauc par negatīvu. Nomelnojuma sadalījums negatīvā ir pretējs gaismas sadalījumam uz priekšmeta, jo metāliskais sudrabs attīstīšanas procesā vairāk izdalās tur, kur fotoemulsijā ir bijis lielāks apgaismojums. Visspilgtākās priekšmeta vietas negatīvā ir melnas, ēnu vietas turpretim ir dzidras.

Lai iegūtu fotoattēlu, kurā nomelnojums raksturotu gaismas intensitātes sadalījumu uz fotografējamā priekšmeta, izmanto pozitīvu procesu. Šis process būtībā ir negatīva otrreizēja fotografēšana jeb kopēšana uz otru gaismas jutīgu materiālu. Visvienkāršākais kopēšanas paņēmiens ir kontakta kopēšana. Negatīvu uzliek uz gaismas jutīga materiāla, parasti fotopapīra, un apgaismo. Pēc tam apgaismoto fotopapīru attīsta un fiksē. Iegūtajā attēlā gaismas un ēnu sadalījums ir tāds pats kā uz priekšmeta. Tādu uzņēmumu sauc par pozitīvu, un tādi ir parastie fotoattēli.

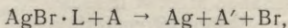
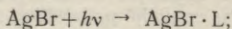
Lai gan fotogrāfija savā vairāk nekā 100 gadu ilgajā pastāvēšanā ir guvusi milzīgus panākumus, viens no galvenajiem jautājumiem, kas nosaka attēlu rašanos, vēl līdz pat beidzamajam laikam nebija pilnīgi atrisināts. Šis jautājums ir slēptais jeb latentais attēls un tā rašanās.

Fotoamatieri un profesionālie fotogrāfi galvenokārt interesējas par labiem pozitīviem. Viņus mazāk interesē fizikālie procesi emulsijā. Tomēr šo procesu zināšana ir nepieciešama, lai attīstītu fotogrāfijas teoriju, kas dod iespēju radīt jaunus augstvērtīgus fotomateriālus.

Atšķirībā no sudraba sāļu sadalīšanās gaismas ietekmē — fotolīzes, kas rodas tikai pie lielām gaismas in-

tensitātēm, slēptais attēls rodas pie daudz mazākām gaismas intensitātēm, kas ir pat 10 miljardu reizu mazākas (1).

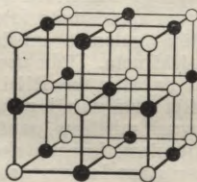
Slēptā attēla rašanos un tā attīstīšanu shematiski var attēlot šādi:



kur L — slēptais attēls, A — attīstītājs pirms iedarbības uz sudraba bromīdu, A' — attīstītājs pēc attīstīšanas (šajā procesā attīstītāja ķīmiskais sastāvs mainās). Attīstīšana un redzamā attēla rašanās iespējama, tikai pateicoties slēptajam attēlam.

Fiziķus un fotogrāfijas speciālistus jau daudzus gadus nodarbināja jautājums par to, kas īsti ir slēptais attēls.

Lai izprastu slēptā attēla būtību, mums sīkāk jāiepazīstas ar sudraba sāļu īpašībām un uzbūvi. Sudraba sāļi (AgCl, AgBr un AgJ) ir kristāli, kuriem raksturīgs noteikts atomu sakārtojums telpā. Sudraba sāļu kristāli nesastāv vis no neitrāliem atomiem, bet gan no elektriski pozitīvi un negatīvi lādētiem joniem.



24. zīm. Sudraba bromīda kristāla režģis.

Ar melnajiem aplīšiem apzīmēti sudraba, ar baltajiem — broma joni.

Aplūkosim sudraba bromīda kristāla (AgBr) uzbūvi. Sudraba atomi atdod vienu elektronu broma atomiem un līdz ar to sudraba atomi pārvēršas pozitīvajos jonus ( $\text{Ag}^+$ ) un broma atomi — negatīvajos ( $\text{Br}^-$ ). Starp pozitīvajiem sudraba un negatīvajiem broma joniem darbojas elektriski pievilkšanas spēki.



Sudraba bromīda kristālā negatīvie un pozitīvie joni novietoti tā, ka telpā izveido kubu (24. zīm.). Attālums starp  $\text{Ag}^+$  un  $\text{Br}^-$  joniem ir ļoti mazs — dažas desmitstūkstošās daļas mikrona.

Fotogrāfiskajā emulsijā atrodas mazi sudraba sāļu kristāliņi, kuros notiek fotoķīmiskā reakcija un veidojas slēptais attēls.

Slēpto attēlu sāka jau pētīt pagājušajā gadsimtā. Krievu zinātnieks V. Ļermantovs 1877. gadā izdarīja mēģinājumus, no kuriem secināja, ka slēptais attēls saistīts ar metālisku sudrabu. Viņš apgaismoja divas fotoplates vienādi ilgi. Pēc tam vienu fotoplati attīstīja un fiksēja kā parasti, bet otru pirms attīstīšanas apstrādāja slāpekļskābes šķīdumā. Attīstot šādi apstrādāto fotoplati, attēls uz tās neradās. No šiem mēģinājumiem Ļermantovs pareizi secināja, ka slēptais attēls saistīts ar metālisku sudrabu. Slāpekļskābe izšķīdina metālisko sudrabu (uz sudraba sāļiem —  $\text{AgCl}$ ,  $\text{AgBr}$  un  $\text{AgI}$  slāpekļskābe neiedarbojas) un līdz ar to iznīcina slēpto attēlu.

Ilgu laiku par slēpto attēlu arī vairāk neko nezināja. Jautājumu par tā dabu varēja atrisināt tikai mūsu gadsimtā, pateicoties kristālfizikas un fotoķīmijas attīstībai. Zinātnieki iemācījās laboratorijā iegūt lielus sudraba sāļu kristālus. Pētot šo kristālu optiskās īpašības, noskaidroja arī daudzas fotogrāfiskā procesa īpatnības.

1921. gadā K. Fajanss un S. Šepards pierādīja, ka slēptā attēla rašanās saistās ar fotoelektrisko efektu sudraba sāļos. Eksperimentos ar sudraba bromīda kristāliem noskaidrojās, ka tā gaismā, kas aktīvi iedarbojas uz fotoplati, maina arī kristāla elektrisko pretestību. Apgaismota  $\text{AgBr}$  elektriskā pretestība ir mazāka nekā neapgaismota. Šo parādību — dažādu vielu elektriskās pretestības samazināšanos gaismā sauc par iekšējo fotoefektu<sup>1</sup>. Tas saistās ar elektrisko lādiņu — elektronu atbrīvošanu vielā gaismas iedarbībā.

<sup>1</sup> Iekšējo fotoefektu izmanto praktiskām vajadzībām — fotopretestībās. Par šo interesanto jautājumu lasītājs var iepazīties A. Apiņa un L. Jansona brošūrā «Pusvadītāji zinātnē un tehnikā», LVI, 1958.

Iekšēja fotoefekta atklāšanai sudraba sāļos bija svarīga loma slēptā attēla dabas noskaidrošanai. Visi eksperimentālie fakti liecināja, ka iekšējais fotoefekts ir viena no slēptā attēla rašanās stadijām.

Izšķiroša loma slēptā attēla dabas noskaidrošanai bija fotoķīmisko reakciju pētījumiem sudraba bromīda un tam radniecīgajos kristālos. Lielu ieguldījumu te deva V. Pola un viņa līdzstrādnieku pētījumi Vācijā, T. Kraveca, M. Savostjanovas un J. Kirilova un viņu līdzstrādnieku pētījumi Padomju Savienībā.

Pētot fotogrāfiskā attēla rašanos, zinātnieki sastapās ar gluži jaunu parādību. Izrādījās, ka fotomateriālu īpašības ievērojami uzlabojas, ja sudraba sāļi (AgJ, AgBr un AgCl) satur dažādus piemaisījumus vai dažādus kristāliskā režģa defektus. Līdz tam domāja, ka tehnikai ir vajadzīgas galvenokārt tīras vielas un kristāli bez defektiem. Tagad ir zināms, ka piemaisījumi un režģa defekti ietekmē visas kristāla īpašības. Tam ir ārkārtīgi svarīga nozīme pusvadītāju materiālos, luminošos u. c.

Lai izprastu slēptā attēla rašanos, mums nepieciešami iepazīties ar reālo kristālu uzbūvi. Atšķirībā no ideālajiem kristāliem, kuros atomi ir telpā izvietoti pilnīgi regulāri, reālajos kristālos ir sastopami dažādi defekti (25. zīm.).

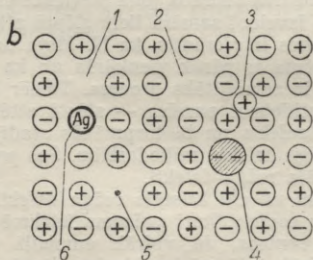
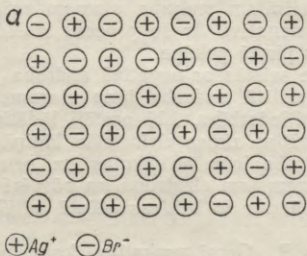
Visbiežāk AgBr un citos līdzīgos kristālos ir sastopami šādi defekti (25. zīm. *b*): negatīvo broma (1) un pozitīvo sudraba jonu iztrūkumi (2); pozitīvie joni starpmezglu telpā (3); piemaisījuma joni, piemēram, divvērtīgie sēra joni (4); negatīvo jonu iztrūkums, kas piesaistījis elektronus (5); neitrāli sudraba atomi (6).

Ar kristāla režģa defektiem saistīts arī slēptais attēls. Svarīga loma slēptā attēla rašanās procesā ir arī sudraba sulfīdam. Tas sudraba sāļu kristālos rada tādus defektus, ap kuriem gaismas iedarbībā izveidojas sudraba atomi, kas arī ir slēptā attēla gala produkts.

Slēptā attēla centru veido vairāki sudraba atomi. To skaits ir atkarīgs no apgaismojuma, tomēr nepārsniedz dažus desmitus. Ņemot vērā, ka viena sudraba atoma izmēri ir aptuveni viena desmittūkstošā daļa mikrona,

pat desmit sudraba atomu kopējais izmērs nepārsniedz 0,001 mikronu. Tāpēc arī slēpto attēlu nevar saskatīt nevienā mikroskopā.

Fiziķiem vajadzēja izskaidrot, kā kristāla režģī šāds sudraba atomu sakopojums var rasties. Pirmo slēptā



25. zim. Ideāla sudraba bromīda kristāla (a) un reāla kristāla (b) shēma.

attēla rašanās teoriju 1938. gadā deva amerikāņu zinātnieki Gerni un Mots. Šīs teorijas pamatā bija uzskats, ka slēptā attēla rašanās ir divpakāpju process. Pirmā pakāpe ir iekšējais fotoefekts kristālā. Otrā pakāpe sasaistās ar jonu kustību kristālā.



N. Mots un R. Gernī uzskatīja, ka slēptā attēla rašanos ietekmē šādi režģa defekti — sudraba joni  $Ag^+$  starpmezglu telpā un neitrāli sudraba atomi režģa mezglos. Par slēptā attēla rašanās pirmo stadiju viņi uzskatīja iekšējo fotoefektu, kurā gaismas kvants  $AgBr$  kristālā atbrīvo vienu elektronu. Atbrīvotais elektrons pievienojas neitrālam sudraba atomam režģa mezglā un uzlādē to negatīvi. Ar šo procesu izbeidzas slēptā attēla rašanās pirmā pakāpe.

Otrā pakāpe saistās ar negatīvā sudraba jona režģa mezglā un pozitīvā sudraba jona starpmezglu telpā savstarpējo mijiedarbību. Abi pretēji lādētie joni pievelkas kā dažādas zīmes elektriskie lādiņi. Rezultātā pozitīvais sudraba jons pārvietojas uz negatīvo sudraba jonu, atņem tam elektronu un pārvēršas neitrālā sudraba atomā. Ar to beidzas slēptā attēla rašanās otrā stadija.

N. Mots un R. Gernī uzskatīja, ka viens sudraba atoms režģa mezglā var vairākkārt atkārtot elektrona un pēc tam pozitīvā sudraba jona pievienošanās procesu un līdz ar to izveidot samērā lielu slēptā attēla centru.

Pēdējos gados ir pierādīts, ka N. Mota un R. Gernī aprakstītā shēma ir pārāk vienkārša un ka slēptā attēla rašanās ir sarežģītāks process. Tomēr šīs pirmās teorijas pamatideja ir pareiza — slēptā attēla rašanās sākums ir fotoefekts un tā turpmākās stadijas saistās ar dažādu režģa defektu mijiedarbību. Šos procesus ļoti ietekmē kristāla režģa defekti.

Piemaisījumi un citi kristāla režģa defekti ir it kā īpaši «jutības centri», kuri gaismas ietekmē pārvēršas slēptā attēla centros. Jo vairāk emulsijā ir jutības centru, jo vairāk tajā arī izveidosies slēptā attēla centru un līdz ar to jo lielāka ir emulsijas gaismas jutība. Ar fotoemulsiju gaismas jutības un «jutības centru» pētījumiem ilgus gadus nodarbojās Maskavas universitātes profesors K. Čibisovs. Pateicoties viņa pētījumiem, Padomju Savienībā tagad ražo vismodernākos fotomateriālus.

Slēptā attēla rašanās ir vissvarīgākais fizikālais process emulsijā. Parastajos fotomateriālos slēptais attēls



pēc uzņemšanas var saglabāties apmēram vienu gadu. Izdarot pēc gada attīstīšanu, vēl iegūst augstvērtīgu fotoattēlu.

Ja pēc uzņemšanas fotomateriālus neattīsta ļoti ilgi (vairākus gadus), slēptais attēls sāk bojāties. Šo bojāšanās procesu paātrina temperatūras paaugstināšana un mitrums.

Fotogrāfijas vēsturē tomēr ir zināmi gadījumi, kad slēptais attēls saglabājies ļoti ilgi. 1897. gadā zviedru zinātnieka S. Andrē ekspedīcija gāja bojā Ziemeļpolā. Šīs ekspedīcijas fotomateriālus atrada tikai pēc 33 gadiem — 1930. gadā. Attīstot negatīvus, izrādījās, ka slēptais attēls visu šo laiku bija labi saglabājies un pēc attīstīšanas deva augstvērtīgus fotouzņēmumus.

Slēptā attēla rašanās ir viena no svarīgākām fotoķīmiskām reakcijām tehnikā. Tagad šai interesantai problēmai ik gadus veltī simtiem darbu. Fotoķīmiskās reakcijas mehānisma noskaidrošana sudraba sāļos deva ne tikai milzīgu ieguldījumu fotogrāfiskā attēla teorijā, bet palīdzēja izprast daudzus kristālfizikas un pusvadītāju fizikas jautājumus.

---

## VI. AUGU ZAĻĀS FABRIKAS

Cilvēks neapšaubāmi ir dabas valdnieks. Pateicoties zinātnes un tehnikas attīstībai, rūpnīcās un laboratorijās tagad rada tādas vielas, kuras dabā nemaz nav sastopamas. Cilvēks izgudrojis un radījis daudzas mašīnas, tai skaitā arī elektronu skaitļojamās mašīnas, kas aizvieto tūkstošu matemātiķu darbu. Tehnikas attīstības ceļš no vēja dzirnavām līdz modernajam raķešu dzinējam ir garš un sarežģīts.

Neraugoties uz milzīgajiem sasniegumiem visās mūsu dzīves nozarēs, vienā no tām pārmaiņas ir bijušas ievērojami mazākas. Šī nozare ir pārtikas vielu ražošana. Bez šīm vielām mēs nevaram iztikt nevienu brīdi. Barības vielas ir nepieciešamas organisma augšanai un attīstībai. Pateicoties barības vielām, mēs varam strādāt, domāt, celt jaunu sabiedrisko iekārtu.

Jau kopš seniem laikiem cilvēki iegūst barības vielas no augu un dzīvnieku valsts. Galvenās barības vielu sastāvdaļas ir ogļhidrāti, olbaltumvielas un tauki. Visas šīs vielas ir sastopamas gan augu, gan dzīvnieku produktos. Tomēr dzīvnieki neeksistē patstāvīgi, bet ir atkarīgi no augiem. No tiem pārtiek augēdāji dzīvnieki, bet gaļas ēdāji — savukārt no augēdājiem.

Līdz ar to arī cilvēku barības vielas tieši vai netieši ir augu valsts produkti. Ja nebūtu augu, tad cilvēks nevarētu eksistēt. Augu valsts eksistence ir dzīvības nepieciešamais priekšnosacījums uz mūsu planētas.

Barības vielas ir sarežģīti organiski savienojumi, kuru galvenā sastāvdaļa ir seši ķīmiskie elementi — ogleklis, ūdeņradis, skābeklis, slāpeklis, sērs un fosfors. Barības vielas ir ķīmiski savienojumi ar lielu

iekšējo (ķīmisko) enerģiju. Organismā barības vielas noārdās — pārvēršas vienkāršākos ķīmiskos savienojumos, pie kam šajā procesā atbrīvojas daudz enerģijas. Savukārt, lai iegūtu barības vielas, jāpatērē daudz enerģijas.

Ķīmiskās reakcijas parasti noris tā, ka tās gala produktiem ir mazāka iekšējā enerģija nekā reakcijas sākuma produktiem. Tā, piemēram, lielākā daļa organisko vielu skābekļa ietekmē sadalās — sadeg, izveidojot ogļskābo gāzi ( $\text{CO}_2$ ), ūdeni ( $\text{H}_2\text{O}$ ) un dažus citus oksīdus. Oksidēšanās reakcijas notiek arī pūšanas un trūdēšanas procesos.

Organisko vielu uz Zemes ilgstoši nepietiktu, ja tās sistemātiski nerastos no jauna. Augi ir tās brīnišķīgās fabrikas, kurās no neorganiskām vielām — ūdens, minerālvielām un ogļskābās gāzes tiek radītas sarežģītās organiskās vielas — ogļhidrāti, olbaltumvielas un tauki. Šāda reakcija augos notiek tikai gaismas ietekmē, un to sauc par fotosintēzi.<sup>1</sup>

Saule ar savu praktiski neizsīkstošo enerģiju dod iespēju augiem pastāvīgi radīt jaunas organiskās vielas.

Fotosintēzē ik gadus rodas apmēram 450 miljardu tonnu organisko vielu, no tām 90% rada ūdens augi un tikai 10% sauszemes augi. Pašreiz mēs lietderīgi izmantojam tikai nelielu daļu sauszemes augu produkcijas un gandrīz nemaz neizmantojam ūdens augus. Te nākotnē paveras plašas iespējas.

Fotosintēze ir vienīgā reakcija dabā, kurā Saules enerģija tiek pārvērsta ķīmiskajā enerģijā. Akmeņogļēs, kūdrā, naftā, koksnē faktiski ir fotosintēzē uzkrātā Saules enerģija, kas ilgu laiku bija vienīgais enerģijas avots rūpniecībā (ja neskaita hidroenerģiju). Un pat vēl tagad — atomenerģijas laikmetā — akmeņogles un nafta ir ļoti svarīgs enerģijas avots rūpniecībā. Saules enerģijas praktiska izmantošana šodien ir aktuāla problēma.

Ja mums šodien tehnikā būtu Saules staru uztvērējs,

<sup>1</sup> Vārds «fotosintēze» ir cēlies no grieķu vārdiem «foto» — gaisma un «sintēze» — savienošanās.

kas vienu desmito daļu no Saules enerģijas, kas nokļūst uz Zemi, pārvērstu elektroenerģijā, tad no katra kvadrātkilometra mēs iegūtu 8 miljardus kilovatstundu elektroenerģijas gadā. Šī enerģija ir gandrīz tikpat liela, cik Kuibiševas hidroelektrostacijas saražotā enerģija gadā (!). Tāpēc daudzi zinātnieki uzsver, ka Saules enerģijas izmantošana tehnikā nav mazāk svarīga problēma par atomenerģijas izmantošanu mierlaika vajadzībām.

Augi ir ne tikai enerģijas, bet arī izejvielu avots rūpniecībai. Kaučuks, koksne, akmeņogles, nafta, linu šķiedras ir svarīgas izejvielas ķīmiskajai rūpniecībai. No akmeņoglēm iegūst medikamentus, krāsvielas, šķīdinātājus, sintētisko benzīnu, plastmasas u. c. No naftas iegūst kapronu un citas sintētiskās šķiedras.

Aplūkosim mazliet sīkāk augos notiekošās ķīmiskās reakcijas. Augi fotosintēzē saista atmosfēras vai jūras un okeānu ūdeņos esošo ogļskābo gāzi un reakcijā izdala skābekli. Gadā augi atmosfērā izdala apmēram 460 miljardu tonnu skābekļa. 3000 gados augu izdalītais skābekļa daudzums ir vienlīdzīgs skābekļa daudzumam Zemes atmosfērā. Zinātnieki uzskata, ka Zemes attīstības sākuma periodā, pirms vairākiem miljardiem gadu, atmosfērā nemaz nav bijis skābekļa. Domājams, ka skābeklis, kas ir nepieciešams dzīvības eksistencei, atmosfērā radies tikai augu darbības rezultātā.

Akadēmiķis A. Oparins, kas ir viens no ievērojamākajiem pasaules biokēmiķiem, uzskata, ka dzīvības izcelšanās uz Zemes saistīta ar augiem. Tikai augu valsts rada lielas organisko vielu rezerves dabā un bez tam izdala atmosfērā skābekli, bez kura nevar eksistēt dzīvnieki. Tikai pateicoties fotosintēzei, uz Zemes varēja rasties tik daudzveidīgas dzīvības formas un arī pats cilvēks. Šai nozīmē, kā to uzsvēra ievērojamais krievu augu fiziologs akadēmiķis K. Timirjzevs, fotosintēze ir kosmisks process. Ļoti iespējams, ka fotosintēze ir nepieciešamais nosacījums dzīvības attīstībai jebkuros apstākļos — arī uz citām planētām.

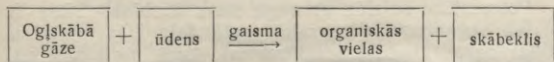
Fotosintēze atklāta jau diezgan sen. 1772. gadā angļu zinātnieks P. Pristlijs novēroja, ka augi gaismas



ietekmē uzlabo gaisa sastāvu, kurā ir dzīvnieku elpošanas produkti. Tai laikā vēl nebija atklāts ķīmiskais elements skābeklis. Tagad mēs zinām, ka elpošanas procesā dzīvnieki uzņem gaisa skābekli, bet izelpo ogļskābo gāzi. Elpošanas rezultātā gaisa skābekļa daudzums samazinās.

Augos notiek elpošanai pretējs process — augi uzņem no gaisa ogļskābo gāzi un izdala skābekli. Pristlija eksperiments mūsdienu izpratnē nozīmē, ka augi, saistot ogļskābo gāzi un izdalot skābekli, uzlabo gaisa sastāvu — bagātina to ar skābekli.

Tālāk noskaidrojās, ka augi ne tikai izdala gaisā skābekli un saista no gaisa ogļskābo gāzi, bet arī uzņem no augsnes ūdeni un minerālvielas. Gaismas ietekmē no šīm neorganiskām vielām rodas sarežģīti organiski savienojumi. Šāda reakcija augos notiek tikai gaismā, un to var uzrakstīt šādi:



R. Meiers pirmais norādīja, ka šajā reakcijā gaismas enerģija pāriet vielas ķīmiskajā enerģijā.

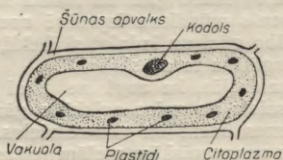
Mūsdienu priekšstatus par fotosintēzi savos darbos attīstīja krievu zinātnieks K. Timirjzevs, kas ilgu laiku nodarbojās ar fotosintēzes problēmām. Pētījumu rezultātā noskaidrojās, ka fotoķīmiskā reakcija notiek augu zaļajās lapās, kas satur organisku krāsvielu — hlorofilu. Fotosintēzi galvenokārt veicina tie gaismas stari, ko absorbē hlorofils, kuram reakcijā ir īpaša katalizatora loma.<sup>1</sup>

Svarīgi ir Timirjzeva pētījumi par fotosintēzi kā augu fizioloģisku procesu, kas notiek dažādās augu daļās — lapās, stublājā u. c. Timirjzevs radīja arī jaunas fotosintēzes pētīšanas metodes. Tagad ar fotosin-

<sup>1</sup> Par katalizatoriem ķīmijā sauc vielas, kas veicina ķīmisko reakciju, bet kuras pašas šajā reakcijā nepiedalās, t. i., nemainās reakcijas gaitā.

tēzes pētījumiem nodarbojas daudzi zinātnieki gan Padomju Savienībā, gan ārzemēs.

Fotosintēze notiek tikai dzīvajā lapā. Bojāta lapa nespēj radīt organiskas vielas. Ja ar stikla nūjiņu pārbrauc lapai, kas uzlikta uz cieta pamata, tās spēja sintezēt organiskās vielas izzūd.



26. zīm. Augu šūna.

Fotosintēze saistās ar augu šūnu darbību. Šūna ir dzīvā organisma vismazākā sastāvdaļa (tās izmēri ir tikai dažas simtdaļas milimetra), kurā norisinās visi dzīvības procesi. Dažādās augu šūnas veido sakni, stublāju un lapas.

Augu šūnu galvenās sastāvdaļas ir apvalks, kodols un citoplazma (26. zīm.). Apvalks norobežo šūnas citu no citas. Šūnas svarīgākā sastāvdaļa ir citoplazma un kodols, kuri sastāv galvenokārt no olbaltumvielām, taukiem un oghidrātiem. Šajās šūnu daļās notiek galvenie dzīvības procesi. Augu šūnās bez tam vēl ir vakuolas, kas satur barības vielu rezerves.

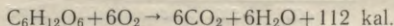
Svarīga citoplazmas sastāvdaļa ir īpašas organiskas vielas — plastīdi. Augos, kuros notiek fotosintēze, svarīga loma ir hloroplastiem — plastīdiem, kuri satur zaļo krāsvielu — hlorofilu. Hloroplastiem ir svarīga nozīme brīnišķīgajās ķīmiskajās pārvērtībās, kuru rezultātā rodas organiskās vielas.

Agrāk zinātnē valdīja aplams uzskats, ka augi uzņem organiskās vielas gatavā veidā no augsnes. Šo uzskatu nepareizību pierādīja holandiešu zinātnieks van Helmonts (1577.—1644. g.), kas izdarīja interesantu

mēģinājumu. Māla traukā, kurā atradās 9,1 kg augsnes, viņš iestādīja kārkla zaru, kura svars bija 2,25 kg. Trauku regulāri laistīja ar ūdeni. Piecu gadu laikā traukā izauga liels koks. Nosverot atsevišķi koku un zemi (augšni), noskaidrojās, ka koka svars pieaudzis par apmēram 75 kg, bet augsnes svars praktiski nav mainījies.<sup>1</sup>

Kopš Pristlija atklājuma ir pagājuši vairāki simti gadu, tomēr līdz pat šim laikam nav izdevies pilnīgi izpētīt fotosintēzes reakciju augos.

Aplūkosim īsumā, kas jau tagad ir zināms par fotosintēzi. Daudzos augos fotosintēzes gala produkts ir augļu cukurs —  $C_6H_{12}O_6$ . Lai rastos šāds savienojums, ir jāpatērē liela enerģija. Enerģijas nezūdamības likums nosaka, ka, savienojumiem sadaloties, atbrīvojas tāds pats enerģijas daudzums, kāds nepieciešams tā radīšanai. Cukura sadalīšanās reakcija ir labi izpētīta.



Tās gala produkti ir ūdens un ogleņskābā gāze. Reakcijā uz vienu grammolekulu<sup>2</sup> cukura izdalās 112 kalorijas<sup>3</sup> siltuma.

Teorētiskie aprēķini parādīja, ka apgriezeniskam procesam — vienas cukura molekulas sintēzei no ogleņskābās gāzes un ūdens ir vajadzīga enerģija, kas atbilst 4 sarkanās gaismas kvantiem. Turpretī eksperimentālie mērījumi pierādīja, ka vienas cukura molekulas radīšanai (sintēzei) ir nepieciešami 8—12 sarkanās gaismas kvanti, tātad lielāks skaits kvantu, nekā to paredz teorija. Tas nozīmē, ka tikai daļa gaismas enerģijas, ko absorbē hlorofils, tiek pārvērsta ķīmiskajā

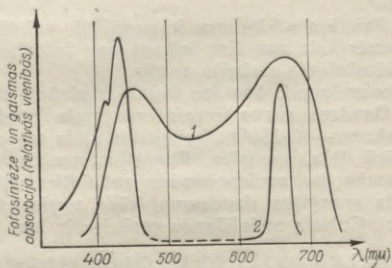
<sup>1</sup> Van Helmonts nepazīna fotosintēzi, tāpēc savu eksperimentu rezultātus izskaidroja nepareizi, uzskatot, ka auga svara pieaugums radies tikai no ūdens.

<sup>2</sup> Par grammolekulu sauc vielas daudzumu gramos, kas skaitliski vienlīdzīgs vielas molekulsvaram. Vielu molekulsvars rāda, cik reižu dotā molekula ir smagāka par ūdeņraža atoma svaru (precīzāk — par  $1/16$  skābekļa atoma svaru).

<sup>3</sup> 1 kalorijs ir siltuma daudzums, kas nepieciešams, lai 1 g ūdens sasildītu par 1° C.

enerģijā. Lielākā daļa gaismas enerģijas augos tiek izmantota citām vajadzībām.

Lai noteiktu, kāda gaisma vislabāk ietekmē fotosintēzes procesu augos, izdarīja šādus mēģinājumus. Ar gaismas filtru palīdzību no Saules gaismas izdalīja dažāda viļņa garuma gaismu. Iedarbojoties ar filtrētu



1-Fotosintēzes aktivitātes līkne  
2-Hlorofila (a) absorbcijas līkne

27. zīm. Fotosintēzes aktivitāte un hlorofila absorbcijas spektrs.

Saules gaismu uz augiem, noteica organisko vielu svara pieaugumu. Salīdzinot radušos organisko vielu daudzumu, iedarbojoties uz tiem ar dažādas krāsas gaismu, iegūst fotosintēzes aktivitātes līkni (27. zīm. 1). No zīmējuma redzams, ka vislabāk uz augiem iedarbojas sarkanā gaisma un zilā gaisma, bet vājāk — zaļā gaisma. Fotosintēzes aktivitātes līkne labi sakrīt ar hlorofila absorbcijas spektru (27. zīm. 1 un 2). Tas nozīmē, ka fotosintēzē aktīvi iedarbojas galvenokārt tā gaisma, ko absorbē hlorofils. Šo svarīgo faktu pirmais pierādīja K. Timirjazevs.

Fotosintēze krasi atšķiras no visām citām ķīmiskām reakcijām dabā. Parasti reakcijas noris tā, ka to gala produkti ir vielas ar mazāku ķīmisko enerģiju nekā reakcijas sākuma produkti. Tādās ķīmiskajās reakcijās izdalās siltums, piemēram, degšana, pūšana u. c. Šis



reakcijas var salīdzināt ar akmeni, kas ripo no kalna, līdz, noskrējis kādu gabalu, apstājas. Akmens samazina savu potenciālo enerģiju, t. i., enerģiju, kas piemīt paceltam priekšmetam.

Fotosintēze ir citāda veida reakcija. Tās gala produktiem ir lielāka ķīmiskā enerģija nekā sākuma produktiem. Salīdzinot šo reakciju ar iepriekš aplūkoto piemēru par akmeni, fotosintēze atbilst akmens pacelšanai kalnā — gaismas enerģija pārvēršas ķīmiskajā enerģijā, gaisma «paceļ» akmeni kalnā.

Fotosintēzes reakcija ir atkarīga no ļoti daudziem apstākļiem. To ietekmē ogļskābās gāzes daudzums gaisā, augsnes mitrums, temperatūra, Saules staru intensitāte u. c.

No fizikālā viedokļa interesanta ir fotosintēzes atkarība no gaismas intensitātes. Izrādās, ka laika vienībā fotosintēzē radies vielu daudzums palielinās, ja palielinās gaismas intensitāte. Tomēr šāda sakarība starp reakcijas gala produktiem un gaismas intensitāti pastāv tikai līdz zināmai robežai. Tālāk gaismas stipruma palielināšana vairs nepastiprina fotosintēzi — iestājas reakcijas piesātinājums.

Pētījumi pierādīja, ka fotosintēzes reakcijā jāizšķir 2 pakāpes. Pirmā pakāpe ir fotoķīmiskā reakcija, kas notiek tikai gaismā. Otrā pakāpe ir tumsas reakcija, kas notiek bez gaismas, un saistās ar sarežģītām pārvērtībām augos.

Amerikāņu zinātnieks E. Rabinovičs fotosintēzi salīdzina ar pasažieru pārvadāšanu no viena kontinenta uz otru. Ja pasažieru pārvadāšanai izmanto kuģa un vilcienu satiksmi, tad veltīgi ir palielināt vilcienu sastāvu skaitu, kas pasažierus nogādā ostā, ja visi ostā esošie kuģi jau ir pilni. Pasažieru pārvadāšanas ātrums palielināsies tikai tad, ja palielinās gan vilcienu skaitu, gan kuģu skaitu.

Kaut kas līdzīgs notiek arī fotosintēzē. Pielīdzinot gaismas reakciju vilcienu satiksmei un tumsas reakciju kuģa satiksmei, var izprast, kāpēc fotosintēzē radušos vielu daudzums, pietiekami pastiprinot spilgtu apgaismojumu, vairs nepalielinās: gaismas reakcijā rodas

pārāk liels molekulu skaits, no kura tikai zināma daļa var turpināt pārveidoties.

Aplūkojot šo salīdzinājumu, rodas jautājums, — kāpēc gaismas reakcijas gala produkti nevar «uzgaidīt ostā», līdz pienāk tukšie kuģi? Šis jautājums vēl galīgi nav atrisināts. Vairums zinātnieku uzskata, ka starpprodukti ir pārāk nestabili un ar laiku atkal sadalās. Domājams, ka enerģija, kas atbrīvojas no šiem starpproduktiem, tiek patērēta dažādos augu dzīvības procesos.

Līdz pat mūsu dienām gaismas reakcijā radušos vielu ķīmiskais sastāvs nav atklāts. Labāk izpētīti ir tumsas reakcijas gala produkti, kas reizē ir arī fotosintēzes gala produkti. Augos fotosintēzē tiek radītas dažādas organiskas vielas: augļu cukurs, ciete, olbaltumvielas, tauki, organiskās skābes. Augam attīstoties, fotosintēzē radušās vielas no jauna pārveidojas.

Fotosintēzes gaismas un tumsas reakcijas ir cieši saistītas viena ar otru. Par to liecina pēdējos gados izdarītie pētījumi ar iezīmētiem atomiem. Šādus pētījumus Padomju Savienībā izdarījis A. Vinogradovs.

Par iezīmētiem atomiem sauc ķīmiskos elementus, kas sabrūkot izstaro radioaktīvos starus.<sup>1</sup> Radioaktīvos starus var viegli reģistrēt un līdz ar to izsekot iezīmēto atomu kustībai ķīmiskajās reakcijās.

Fotosintēzes reakciju pētīja ar radioaktīvā oglekļa izotopa  $C^*$  palīdzību.<sup>2</sup> Iegūstot radioaktīvo oglekļa gāzi  $C^*O_2$ , iespējams izsekot tās darbībai fotosintēzes reakcijā. Ar šādu metodi pierādīja, ka oglekļa gāzi augi nelielos daudzumos saista arī tumsā.

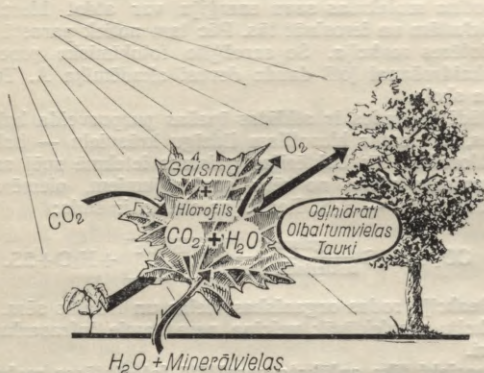
Izmantojot jutīgas ķīmiskās analīzes metodes un lietojot parastā ūdens vietā ūdeni, kurā ietilpst skābekļa izotops<sup>3</sup> ar atomsvāru 18 ( $O^{18}$ ), pierādīja, ka fotosintēzē

<sup>1</sup> Ar iezīmēto atomu īpašībām lasītājs var iepazīties akadēmiķa N. Nesmejanova brošūrā «Iezīmētie atomi», LVI, 1953.

<sup>2</sup> Par izotopiem sauc ķīmisko elementu paveidus, kuru ķīmiskās īpašības ir vienādas un kuri atšķiras viens no otra ar atoma svāru un nedaudz izmainītām fizikālām īpašībām. Radioaktīvos izotopus turpmāk apzīmēsim ar zvaigznīti\* pie ķīmiskā elementa simbola.

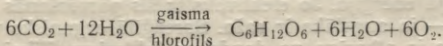
<sup>3</sup> Skābekļa izotops  $O^{18}$  nav radioaktīvs, tāpēc tā klātbūtne jāpierāda ar ķīmiskām metodēm, kas ir daudz sarežģītākas nekā iezīmēto atomu metodes.

izdalītais skābeklis rodas nevis no ogļskābās gāzes, bet gan no ūdens. Līdz ar to noskaidrojās, ka fotosintēzes reakcijā ūdens molekula tiek sadalīta un no tās izdalās brīvs skābeklis.



28. zīm. Fotosintēze augos: no ūdens, minerālvielām un ogļskābās gāzes augos gaismas ietekmē rodas sarežģītas organiskas vielas.

Saskaņā ar pēdējo gadu pētījumiem fotosintēzes reakciju varam shematiski uzrakstīt šādi (28. zīm.):



Gaismas absorbcijas rezultātā hlorofila molekulas tiek ierosinātas. Ierosinātā hlorofila molekula darbojas kā katalizators. Tās ietekmē sadalās ūdens molekula (no tās atdalās skābeklis) un savienojas ar ogļskābo gāzi. Reakcijas gala produkts ir augļu cukurs (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>).

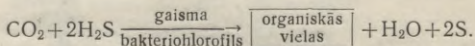
Ilgu laiku hlorofilu uzskatīja par vienīgo vielu, kas aktīvi piedalās fotosintēzē. Tomēr pēdējos gados



pierādīts, ka arī citas augos esošās krāsvielas ietekmē fotosintēzi.

Daudzi augi blakus hlorofilam satur karotīnu, ksantofilu u. c. krāsvielas. Šīs vielas absorbē galvenokārt zilos un zaļos gaismas starus. Izrādās, ka ierosinātās karotīna molekulas savu enerģiju var atdot hlorofila molekulām un ierosināt tās. Pēc tam notiek parastā fotosintēzes reakcija. Šo sarežģīto fotoķīmisko procesu noskaidrošanai ļoti daudz devusi akadēmiķa A. Tereņina skola.

Pēdējos gados ir atklātas īpašas purpurveida baktērijas, kas satur hlorofilam līdzīgu krāsvielu — bakteriohlorofilu. Šīs baktērijas gaismas ietekmē spēj radīt organiskas vielas no sēra savienojumiem, piemēram, sērūdeņraža —  $H_2S$ . Reakcijas shēma ir šāda:



Reakcijā rodas organiskas vielas un izdalās sērs. Šo reakciju visefektīvāk veicina neredzamie infrasarkanie stari.

Iepriekš tika aplūkota sarežģītā fotosintēzes reakcija augos. Šīs reakcijas pētījumiem ir ļoti svarīga nozīme. Tā ir vienīgā ķīmiskā reakcija dabā, kurā rodas organiskas vielas. Daudzi zinātnieki uzskata, ka fotosintēze ir nepieciešamais nosacījums dzīvības attīstībai.

Fotosintēzes pētījumi bez tam ir ārkārtīgi svarīgi lauksaimniecībā. Augi Saules staru enerģiju pārvērš ķīmiskajā enerģijā. Jo efektīvāks ir šis pārvēršanās process, — jo augstāka ir raža. Sarežģītā organisko vielu sintēze ir atkarīga no daudziem faktoriem. Tikai labi zinot šo reakciju, var augiem nodrošināt vislabvēlīgākos augšanas apstākļus. Fotosintēzes pētījumi ir zinātnisks pamats augstu ražu iegūšanai.



---

## VII. GAISMA UN CILVĒKS

Jau kopš seniem laikiem cilvēki ir nojautuši, cik nepieciešama dzīvības procesiem ir gaisma. Nezinādami dabas parādību patiesos cēloņus, cilvēki gaismu uzskatīja par dievu, t. i., radīja paši savu dievu. Daudzām tautām ir bijuši saules un gaismas dievi.

Saules gaismu jau senās tautas izmantoja ārstniecībā. Pirmās rakstiskās ziņas par to sniedz sengrieķu vēsturnieks Herodots (484.—425. g. p. m. ē.). Tomēr jau ilgi pirms tam par saules ārstniecību jeb helioterapiju liecina zīmējumi uz seno ēģiptiešu kapenēm.

Helioterapiju kā ārstniecības līdzekli izmantoja ievērojamais sengrieķu ārsts Hipokrāts (460.—377. g. p. m. ē.). Senajā Grieķijā un Romā saules vannas bija līdzeklis veselības stiprināšanai.

Saules terapiju ieteic arī ievērojamais viduslaiku dabaszinātnieks un filozofs Avicenna (Ibn-Sina).

Tagad helioterapija ir vispār atzīts ārstniecības veids, pie kam uz organismu iedarbojas visi Saules stari — gan redzāmie, gan neredzāmie — ultravioletie un infrasarkanie. Vislielākā ietekme uz organismu ir ultravioletiem stariem.

Šo staru iedarbība uz organismu vienmēr saistīta ar fotoķīmisku reakciju, kura notiek organisma šūnās un audos.

Pirmkārt, fotoķīmiskā reakcija skar tieši tās šūnas un audus, kas absorbē starojumu. Tā ir vietējā jeb lokālā iedarbība. Otrkārt, fotoķīmiskās reakcijas audos caur asins un limfu rīti un nervu sistēmu ietekmē visu organismu. Tā ir vispārējā organisma reakcija uz starojumu.

Ultravioleto staru iedarbībā notiek fotoķīmiska reakcija atsevišķās šūnās esošajās molekulās, tā rezultātā mainās šūnas ķīmiskais sastāvs. Ja fotoķīmiskā reakcija skar lielāko daļu šūnās esošo molekulu vai ļoti svarīgu šūnas sastāvdaļu, piemēram, kodolu, šūna iet bojā. Ja turpretī fotoķīmiskā reakcija skar tikai noteiktas vielu grupas šūnās, tad šūna bojā neiet.

Tas, kādu iedarbību ultravioletie stari rada organismā, ir atkarīgs gan no ultravioleto staru īpašībām, no to viļņu garuma, gan arī no apstarošanas laika.

Pirmais iedarbības veids, kas iznīcina šūnu, organismam ir kaitīgs. Otrajā iedarbības veidā šūnā rodas jaunas vielas, kuras var ietekmēt daudzus šūnas dzīvības procesus, it īpaši vielu maiņu. Šāda ietekme parasti ir labvēlīga.

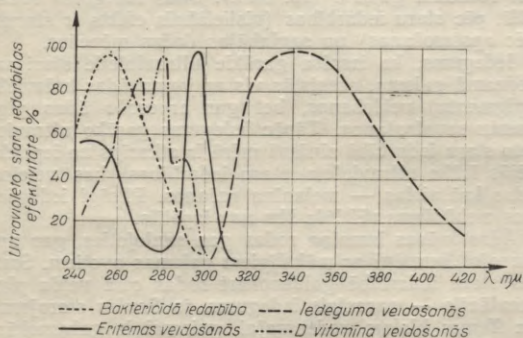
Ultravioleto staru iedarbība ir atkarīga arī no organisma attīstības pakāpes. Vienkāršākie organismi — baktērijas un vīrusi, kas ir daudzu slimību izraisītāji, staru iedarbībā iet bojā. Uz augstākiem organismiem ultravioleto staru iedarbība ir daudz sarežģītāka. Šūnu sabrukšanas procesi un šūnu ķīmiskā sastāva izmaiņas ietekmē visus organisma dzīvības procesus. Ja ilgstoša staru iedarbība parasti ir kaitīga organismam, tad īslaicīga apstarošana ļoti labvēlīgi ietekmē organismu. Tāpēc apstarošanu ar ultravioletiem stariem plaši izmanto medicīnā gan slimību ārstēšanai, gan arī organisma pretestības spēju uzlabošanai un tā nostiprināšanai.

29. zīmējumā grafiski attēlota ultravioleto staru bioloģiskās iedarbības efektivitāte atkarībā no viļņu garuma. Īsie ultravioletie stari galvenokārt iznīcina baktērijas (ultravioleto staru baktericīdā darbība). Šādi stari rada arī ādas piesarkumu — eritēmu un veicina organismā D vitamīnu rašanos. Garākie ultravioletie stari, sākot no 300 m  $\mu$  līdz pat redzamajiem zilajiem stariem, rada ādā pastāvīgu iedegumu.

Visbiežāk ultravioletie stari iedarbojas uz cilvēku caur ādu, izraisot tajā fotoķīmisku reakciju. Ultravioleto staru iedarbībā āda kļūst sarkana. Šo piesarkumu

sauc par eritēmu, un tā pastāv tikai zināmu laiku — 5—6 stundas pēc apstarošanas<sup>1</sup>.

Ādas piesarkums ultravioleto staru ietekmē ir atkarīgs no cilvēka individuālajām īpašībām. Pārāk ilga apstarošana tomēr vienmēr rada ādas iekaisumu un pat apdeguma brūces. Tāpēc nedrīkst pārsniegt zināmu apstarojuma devu (dozi).



29. zīm. Ultravioleto staru bioloģiskā iedarbība.

Visspēcīgāk eritēmu rada stari ar viļņa garumu ap 300 mμ. Šo starojumu labāk laiž cauri ādas virsējais slānis. Ultravioleto staru iedarbībā no šūnām izdalās organiska viela — histamīns, kas izraisa ādas siko asinsvadu — kapilāru paplašināšanos. Tā rezultātā āda kļūst sārta (eritēma).

Zināmu laiku pēc apstarošanas ādas krāsa mainās — kļūst tumšāka. Šo parādību izraisa īpaša krāsviela — melanīns, kas rodas ādā pēc apstarošanas un, pateicoties eritēmai, nonāk ādas virsējos slāņos. Šāda

<sup>1</sup> Ādas staru eritēma jāizšķir no siltuma eritēmas — piesarkuma, kas rodas, ādai sasilstot, piemēram, sēdot pie vaļējas krāsns. Siltuma eritēma ātri pāriet un nav paliekoša.

ādas krāsa saglabājas vairākas nedēļas un izzūd līdz ar tās virskārtas nolobīšanos.

No šādas ādas krāsas izmaiņas, kas rodas galvenokārt īso ultravioleto staru (ar viļņa garumu mazāku par 310  $m\mu$ ) ietekmē, ir jāatšķir cita, brūngana ādas krāsas izmaiņa — iedegums, ko izraisa garākie ultravioletie stari (ar viļņa garumu lielāku par 310  $m\mu$ ) un arī redzamā gaisma (29. zīm.). Šāds iedegums rodas tūlīt pēc staru iedarbības (vislielākais efekts ir stundu pēc apstarošanas) un saglabājas dažus mēnešus.

Iedegums, ko izraisa garākie ultravioletie stari un redzamā gaisma, nesaistās vis ar jaunu ādas krāsvielu (pigmentu) veidošanos, bet gan ar esošo ādas pigmentu savairošanos. Tāpēc iedegums garāko ultravioleto staru iedarbībā zināmā mērā ir atkarīgs no iepriekšējās īsāko ultravioleto staru iedarbības, kas veicina ādas krāsvielas — melanīna rašanos. Pilnīgi iedegšanas mehānisms vēl līdz šim nav izpētīts.

Ādas krāsas izmaiņa rodas gan saulējoties, gan apstarojot ķermeni ar mākslīgiem gaismas avotiem. Saules staru iedarbībā galvenokārt rodas otrā veida pigmentācija — parastais iedegums, jo Saules starojumā uz Zemes blakus redzamajai gaismai ir galvenokārt garākie ultravioletie stari.

Apstarojoties ar mākslīgiem gaismas avotiem — dzīvsudraba spuldzēm jeb «kalnu saulēm», rodas ādas eritēma un pirmā veida pigmentācija, gan arī parastais iedegums.

Atkarībā no cilvēka individuālajām īpašībām citi iedeg spēcīgāk, citi vājāk. Parasti gaišmataini cilvēki ir jutīgāki pret gaismu nekā tumšmataini. Tas izskaidrojams ar ādā esošām krāsvielām (pigmentiem), kuras ir dažādas gaišmatainiem un tumšmatainiem cilvēkiem.

Iedegumu ietekmē arī vecums. Vislabāk iedeg vecumā no 20 līdz 50 gadiem. Bērni parasti iedeg labāk nekā pusaudži.

Atsevišķo ķermeņa daļu gaismas jutība arī ir dažāda. Visjutīgākās ir krūtis un vēders. Mazāk jutīgas ir mugura, seja, rokas un kājas.

Ļoti sarežģīta un vēl līdz galam neizpētīta ir orga-



nisma reakcija uz gaismu dažādos gadalaikos. Pavasārī — martā, aprīlī, maijā āda iedeg labāk. No jūnija līdz augustam ādas gaismas jutība samazinās, bet rudenī atkal sāk pieaugt.

Ādas pigmentācija — iedegums ir zināma organisma aizsargreakcija pret gaismu. Iedegumu veidojošie pigmenti visvairāk aiztur tos gaismas starus, kas iedegumu rada. Ar to izskaidrojama ādas gaismas jutības samazināšanās vasarā. Iedeguši cilvēki arī vieglāk pānes ilgstošu Saules iedarbību.

Iedegums tomēr nav vienīgā organisma reakcija uz gaismu. Starojums — gan redzamā gaisma, gan ultravioletie stari iedarbojas uz nervu sistēmu, pastiprina vielu maiņu, veicina dažādu dziedzeru darbību. Tas labvēlīgi ietekmē visu organismu.

Ultravioletie stari uzlabo arī asins sastāvu. Sistemātiska īslaicīga apstarošana stiprina organismu un palielina tā pretestības spējas pret dažādām saslimšanām. Tas izskaidrojams ar to, ka starojuma iedarbībā organismā izstrādājas noteiktas olbaltumvielas, kas, būdamas asins sastāvā, palīdz organismam iznīcināt slimības izraisītājus.

Apstarošana ar ultravioletiem stariem ir ieteicama, slimojot ar cukurslimību, ādas slimībām, dažādām mazasinības formām.

Slimojot ar Bazedova slimību, plaušu tuberkulozi u. c., apstarošana ar ultravioletiem stariem un sauļošanās ir kaitīga.

Īpaša loma ultravioletiem stariem ir cīņā pret rahītu, kas agrāk bija plaši izplatīta bērnu slimība. Šo saslimšanu izraisa D vitamīna trūkums organismā, kā rezultātā rodas vielu maiņas traucējumi kaulos. Rahīta slimniekiem kauli kļūst mīksti un deformējas.

Rahītu var ārstēt divējādi. Pirmkārt, trūkstošo D vitamīnu organismā var ievadīt mākslīgi. Otrkārt, slimniekus var apstarot ar ultravioletiem stariem. kā rezultātā pašā organismā rodas D vitamīns. Medicīnā šodien valda uzskats, ka cīņā ar rahītu apstarošana dod labākus rezultātus.

D vitamīns organismā rodas no īpašiem ādā esošiem

savienojumiem — provitamīniem. Savlaicīga veselā organisma apstarošana ar ultravioletiem stariem ir drošs līdzeklis, kā aizsargāties no rahīta. Pat, apstarojot ar ultravioletiem stariem grūtnieces, jaunpiezimušie bērni retāk slimo ar rahītu.

Apstarošanu ar ultravioletiem stariem izmanto ne tikai medicīnā, bet arī lauksaimniecībā, lai pasargātu dažādus jaunus dzīvniekus (cāļus, teļus, sivēnus) no rahīta. Arī pārtikas produktos — raugā, pienā u. c. pēc apstarošanas ar ultravioletiem stariem rodas D vitamīns. Šo apstākli izmanto D vitamīna ražošanā.

Ievērojot ultravioleto staru labvēlīgo ietekmi uz cilvēka organismu, saulīšanai nebūt nav tikai kosmētiska nozīme. Viens no svarīgākajiem ultravioleto staru avotiem ir Saule. Līdz Zemei cauri atmosfērai praktiski nonāk tikai stari ar viļņa garumu, lielāku par 290 m.μ. Ultravioletie stari tiek aizturēti putekļainā gaisā. Tāpēc jācenšas sauloties ārpus pilsētas, kur ir mazāk rūpnīcu, un saulējoties jāizmanto rīta stundas. Vislabākie saulīšanās apstākļi ir augstu kalnos, kur Saules staros ir sevišķi daudz ultravioleto staru.

Svarīgi ir izvēlēties pareizu saulīšanās ilgumu. Tas nedrīkst pārsniegt 45 minūtes. Ilgāk, vismaz nepieradušam cilvēkam, saulē uzturēties nav vēlams.

Bieži vien tomēr cilvēki grib saulē uzturēties ilgāk. Lai tas nebūtu organismam kaitīgi, jālieto īpaši aizsarglīdzekļi. Kā aizsarglīdzekļus lieto dažādas eļļas, ziedes vai krēmus, kuri aiztur ultravioletos starus. Parasti aizsarglīdzekļus uztriež plānā — ap 10 mikronus biezā kārtā uz ādas. Šāda aizsargkārtā laiž cauri tikai ap 20% no Saules ultravioletiem stariem. Līdz ar to uzturēšanās ilgums saulē var tikt piekārtīgi pagarināts. Īpaši aizsarglīdzekļi, kas vēl vairāk aiztur ultravioletos starus, lietojami kalnos.

Kā ādas aizsarglīdzekļus izmanto dažādus organisko vielu šķīdumus, vazelīna eļļu, cinka oksīdu u. c. Diegan izplatīts ir uzskats, ka aizsargkrēmi labvēlīgi ietekmē ādas pigmentāciju. Šāds uzskats līdz šim zinātniski nav apstiprinājies. Liekas, ka aizsargkrēmi

paldzina cilvēka uzturēšanās spēju saulē un tāpēc sekmē iedegumu.

Kalnos blakus ādas aizsardzībai vēl jāgādā par acu pasargāšanu no ultravioletiem stariem. Adai ir dabiska aizsargāšanās spēja — iedegums, kas aiztur daļu staru. Acīm šādas aizsardzības spējas nav. Ultravioletie stari rada acī sāpīgu iekaisumu, kas parādās apmēram pēc 10 stundām. Iekaisums ir tik sāpīgs, ka dažreiz nevar ne skatīties, ne lasīt, ne gulēt. Pēc vienas dienas iekaisums pāriet bez manāmām sekām. Iekaisums var rasties ne tikai kalnos, bet visbiežāk — apstarojoties ar mākslīgiem gaismas avotiem. Pietiek dažas minūtes skatīties uz dzīvsudraba spuldzi, lai pēc vairākām stundām rastos iekaisums. Lai pasargātos no tā, jālieto aizsargbrilles, kas aiztur ultravioletos starus.

Tā kā ultravioletie stari mazās devās ļoti labvēlīgi ietekmē organismu, bet Saule gadalaiku un meteoroloģisko apstākļu dēļ nav vienmēr pieejama, bieži vien izdara mākslīgo apstarošanu, lietojot dzīvsudraba spuldzes.

Šādu apstarošanu izmanto mazbērnu novietnēs un bērnodārzos, rūpniecības nozarēs, kas saistās ar veselībai kaitīgu darbu u. c. Tā, piemēram, to izmanto Donbasa ogļraktuvēs. Pēc darba ogļračī iziet cauri speciālai telpai, kurā ir uzstādītas dzīvsudraba spuldzes («kalnu saules»). Dažreiz bez šīm spuldzēm vienlaicīgi lieto arī kvēlspuldzes, kas sasilda ādu un sekmē ultravioleto staru iedarbību.

Medicīnā un tehnikā izmanto arī ultravioleto staru<sup>1</sup> nāvējošo iedarbību uz slimību izraisītājiem. Medicīnā to izmanto svaigu brūču dezinficēšanai un ķirurģiskās operācijās, piemēram, vēdera plēves iekaisuma gadījumos. Dažu minūšu ilga apstarošana ar īsajiem ultravioletajiem stariem jau pilnīgi iznīcina mikrobus uz ādas virsmas un brūcē. Apstarotās brūces ātrāk un labāk sadzīst.

<sup>1</sup> Interesanti atzīmēt, ka no Saules īso ultravioleto staru iedarbības mūs pasargā gaisā esošais skābeklis, kas aiztur visus Saules īsos ultravioletos starus. Bez atmosfēras skābekļa dzīvība uz Zemes ilgstoši nevarētu pastāvēt.



Ne mazāk svarīga ir ultravioleto staru izmantošana slimību izraisītāju — mikrobu un vīrusu iznīcināšanai gaisā, ūdenī un uz dažādiem priekšmetiem. Šāds paņēmieni bieži ir efektīvāks nekā citi. Ultravioletie stari spuldžu tuvumā dažās minūtēs iznīcina apmēram 90% no gaisā esošajiem slimību izraisītājiem. Tos izmanto operāciju telpās, slimnīcās, bērnudārzos u. c.

Lietojot tehniskos ultravioleto staru avotus, jāgādā, lai šie stari neiedarbotos uz redzi. Šim nolūkam izmanto spuldzes ar aizsegu un gaisa cirkulācijai lieto ventilatorus.

Sterils gaiss ir nepieciešams arī medikamentu rūpniecībā, it īpaši ārstniecības līdzekļus iepildot ampulās. To izmanto penicilīna, streptomīcīna u. c. medikamentu ražošanā.

Pārtikas rūpniecībā blakus gaisa sterilizēšanai ir vajadzīga arī ūdens sterilizēšana. Tā nepieciešama, piemēram, sviesta skalošanai, alus un limonādes rūpniecībā u. c.

Ultravioletos starus arvien vairāk izmanto visdažādākajās mūsu dzīves nozarēs. No iepriekš aplūkotajiem piemēriem izriet, ka šo staru iedarbībā dzīvajos organismos notiek fotoķīmiska reakcija. Tās rezultātā zemākie vienišņu organismi — baktērijas un vīrusi iet bojā. Fotoķīmiskā reakcija cilvēka organismu ietekmē labvēlīgi (uzlabo vielu maiņu, rada D vitamīnu, uzlabo organisma pretestības spēju pret dažādām saslimšanām u. c.). Tāpēc sistemātiska, īslaicīga apstarošana ar ultravioletiem stariem gan saulē, gan ar mākslīgo «kalnu sauli» ir labs līdzeklis cīņā par stipru un veselīgu organismu.



## NOSLĒGUMS

No iepriekšējām nodaļām uzzinājām, ka ar gaismas staru un tā pārvērtībām ir saistītas daudzas parādības.

Katram gaismas staram ir savs sākums, sava «dzimšanas vieta», t. i., savs gaismas avots. Dabā un tehnikā ir sastopami visdažādākie gaismas avoti: Saule un zvaigznes, zibens un polārblāzma, vulkāna izvirdumi, spīdoši dzīvnieki, dažādas spuldzes, kuras lieto apgaismošanai. Lai gan gaismas avotu ir ļoti daudz un tie atšķiras viens no otra, tiem visiem ir arī kaut kas kopīgs, kas padara tos citu citam līdzīgus. Kopīga visiem gaismas avotiem ir gaismas izstarošana. Gan zvaigznēs, gan kvēlspuldzēs, gan jāņtārpiņā gaismu izstaro vielas atomi un molekulas. Gaismas stars ir it kā atomu un molekulu valoda. Tāpat kā cilvēka runa dod iespēju spriest par runātāju, tā gaismas stars sniedz mums ziņas par atomiem un molekulām.

Gaisma vienmēr tiek izstarota atsevišķu enerģijas porciju jeb kvantu veidā. Gaismas stars būtībā ir atsevišķu kvantu plūsma.

Gaismas kvantu kustība var būt ļoti dažāda. Tā, piemēram, gaismas kvanti, kurus izstaro zvaigznes, miljoniem gadu var kustēties pasaules telpā bez manām pārmaiņām. Tomēr reiz katram gaismas kvantam pienāk gals — tas tiek aizturēts jeb absorbēts vielā.

Gaismas absorbcija nebūt nenozīmē, ka gaismas enerģija izzūd. Enerģija nevienā dabas procesā nezūd — tā tikai pārveidojas citos enerģijas veidos. Arī gaismas kvanta absorbcija ir sākums brīnišķīgiem gaismas enerģijas pārvēršanās procesiem vielā. Ar

gaismas absorbciju saistās redze, fotogrāfiskais attēls, fotosintēze, ādas iedegums u. c.

Gaismas un vielas mijiedarbība ir spilgts piemērs dažādo parādību kopsakarībai, piemērs tam, ka nobeigums vienai parādībai — gaismas kvantam — ir sākums citām — gaismas ķīmiskajai darbībai. Dabā nekas neizzūd, bet vienmēr tikai pārveidojas, turpinot mūžīgo matērijas attīstības ceļu. Arī gaismas parādības pakļaujas šim matērijas attīstības likumam.

## SATURS

Ievads . . . . .	5
I. Kas ir gaisma . . . . .	7
II. Gaismas avoti . . . . .	17
III. Gaisma un krāsa . . . . .	29
IV. Kāpēc mēs redzam . . . . .	39
V. Neredzamais fotogrāfiskais attēls . . . . .	51
VI. Augu zaļās fabrikas . . . . .	66
VII. Gaisma un cilvēks . . . . .	77
Noslēgums . . . . .	85

K. Svarec  
GAISMAS ĶIMIJA

A. Peņģerota vāks

Redaktore E. Vulfone. Māksl. redaktore  
Ņ. Sakirjanova. Tehn. redaktors V. Siliņš.  
Korektore A. Dombure. Nodota salikšanai  
1961. g. 21. septembrī. Parakstīta iespieša-  
nai 1961. g. 6. decembrī. Papīra formāts  
 $84 \times 108/32$ . 2,81 fiz. iespiedl. 4,56 uzsk.  
iespiedl. 3,98 izdevn. l. JT 25235. Metiens  
5000 eks. Maksā 14 kap.

Latvijas Valsts izdevniecība Rīgā, Padomju  
bulv. 24. Pasūt. 14730-Z1196. Iespiesta Lat-  
vijas PSR Kultūras ministrijas Poligrāfiskās  
rūpniecības pārvaldes 23. tipogrāfijā Jel-  
gavā, Raiņa ielā 27. Pasūt. 3168.



LATVIJAS NACIONĀLĀ BIBLIOTĒKA



0311016903

LATVIJAS VALSTS IZDEVNIECIBAS  
POPULARI ZINĀTNISKĀ  
BIBLIOTEKA

IZNĀKUSAS

- Aleksandrovs A.** Neredzamo daļiņu un starojumu skaitītāji  
**Angarska M.** Daba, kuru rada cilvēks  
**Apinis A. un Jansons L.** Pusvadītāji un to izmantošana  
**Bubļeņikovs T.** Zemes noslēpumi  
**Cestnovs P.** Neredzamais ceļvedis  
**Daņins D.** Labais atoms  
**Ebele V.** Ķīmiskās šķiedrvielas  
**Jašunska F.** Sintētiskais kaučuks  
**Kitaigorodskis A.** Polimēru struktūra  
**Kuguševs A.** Radioelektronika  
**Ļovovs N.** Elektriskā acs  
**Matvejevs V.** No gaisa balona līdz kosmiskajai raketī  
**Perelmans R.** Kodoldzinēji  
**Polaks I.** Laiks un kalendārs  
**Rafikovs S.** Plastmasas  
**Reutovs O.** Organiskā sintēze un tās perspektīvas  
**Serebrjanijs L.** Uguns un ledus zeme  
**Sviridovs V.** Radioreleju sakaru līnijas  
**Sternfelds A.** No mākslīgiem pavadoņiem līdz starplanētu lidojumiem  
**Titovs V.** Jonīti  
**Veldre V.** Relatīvitātes teorija  
**Zabeļins I.** Astroģeogrāfija  
**Zuhovickis A.** Iezīmētie atomi