

FIZIKOS
MOKYKLA

8

R. KARAZIJA
NEREGIMUJU
SPINDULIU
PĒDSAKAIS

R. KARAZIJA

NEREGIMUJU
SPINDULIU
PĒDSAKAIS



VILNIUS „MOKSLAS“ 1983

22.346
Ka 403

УДК 535.34+539.18

Каразия Р. По следам невидимых лучей. Вильнюс. «Мокслас», 1983, 104 с.

В книге популярно рассказывается об истории открытия и исследования рентгеновских лучей и их различных применениях. Открытие Рентгена означало начало современного периода развития физики, проникновение в мир субатомных частиц и взаимодействий. В разделах, посвященных исследованию этих лучей, прослежена тесная связь открытий Лауз, Мозли, Комптона и других исследователей с идеями квантовой механики. Среди различных применений рентгеновских лучей в книге основное внимание уделено развитию методов рентгеновской астрономии и ее достижениям, приведшим к существенному пересмотру понятий об эволюции звезд и галактик, а также открытиям в микробиологии, сделанным при помощи метода рентгеновского структурного анализа.

Leidinį recenzavo fiz. mat. m. kand. D. Grabauskas

K 1704050000—109
M 854(08)—83 42—83

© Leidykla „Mokslas“, 1983

VIETOJ ĮVADO, ARBA ATRADIMŲ KASKADAS

Mus supa įvairūs spinduliai. Iš jų geriau pažistame tik regimuosius, sudarančius siaurutį ruožą dažnių skalėje. O kad jų esama ir kitokių, nežinota ligi pat XIX a. Tik tada eksperimentiniai fizikos metodai taip ištobulejo, kad žmogus išiskverbė už pojūčiais suvokiamo pasaulio — senojo fizikos pasaulio — ribų ir atrado čia naujus žemynus.

XIX a. galima būtų pavadinti neregimųjų substancijų amžiumi. Tuo metu pradėti platūs elektros ir magnetizmo reiškinių tyrimai, atkakliai, nors nesėkmingai, ieškota eterio — Visatą užpildančios besvorės medžiagos, ryškėjo lauko sąvoka. Šiame šimtmetyje buvo atrasti įvairūs neregimieji spinduliai: amžiaus pradžioje — infraraudonieji ir ultravioletiniai, viduryje — katodiniai spinduliai, o pabaigoje — radijo bangos, Rentgeno spinduliai, taip pat alfa ir beta spinduliai, kuriuos skleidžia radioaktyviosios medžiagos. Tie spinduliai pasirodė esą svarbūs Žemėje ir Visatoje, o jais naudojantis, buvo galima dar toliau ir giliau išiskverbti į nerigiamasias sritis.

Iš visų tų spindulių visuomenę ir mokslininkus labiausiai sudomino Rentgeno spinduliai. Atrasti 1895 m., jie sukėlė tokią sensaciją, kaip nė vienas kitas XIX a., o gal ir XX a. atradimas. O juk pastaruoju laikotarpiu mokslo istorijos įvykių būta neįprastai daug.

Sensacija kilo ne veltui. Rentgeno spindulių atradimas sukėlė visą kaskadą atradimų, tarp jų ir „amžiaus atradimus“ mikrofizikoje, astrofizikoje ir biofizikoje.

Kaip tik 1895 m. laikomi naujosios, arba šiuolaikinės, fizikos pradžia. Rentgeno spindulių, radioaktyvumo reiškinio (atrasto tyrinėjant Rentgeno spindulius) bei optinių spektrų tyrimai buvo tie langai į mikropasaulį, pro kuriuos fizikai ižvelgė keistus jo dėsnius. Subatominių reiškinių pažinimas buvo svarbiausia XX a. I pusės fizikos raidos kryptis.

Pasirodė, kad Rentgeno spinduliai yra ideali priemonė atomų išsidėstymui kristaluose tirti. Buvo išaiškinta ne tik daugelio neorganinių junginių, bet ir sudėtingų organinių molekulių, susidedančių iš šimtų ir net tūkstančių atomų, vidinė sandara.

Viena iš ryškiausių grandžių šiame atradimų kaskade — genetinio kodo, t. y. dezoksiribonukleino rūgšties molekulės, struktūros išaiškinimas. Nuo tada prasidėjo didžiųjų atradimų periodas mikrobiologijoje.

Rentgeno spinduliams buvo lemta sukelti dar vieną revoliuciją — astrofizikoje. Iš „rentgeninio dangaus“ stebėjimų buvo sužinota apie nepaprastai stiprius ir greitus procesus Visatoje, atrasti keisti kosminiai objektai, kurie, matyt, yra paslaptinges juodosios skylės.

Be to, beveik nuo pat pirmųjų dienų, kai tik buvo paskelbta apie Rentgeno spindulių atradimą, jie imti taikyti medicinoje, technikoje ir kitose srityse.

Simboliška, jog fizikų — Nobelio premijos laureatų — sąrašą pradeda V. Rentgenas. Premija jam buvo paskirta už jo vardinį spindulių atradimą. Vėliau tą garbingą apdovanojimą yra pelnę už Rentgeno spindulių tyrimus dar penki fizikai. Be to, apie dešimt fizikų, chemikų ir biologų buvo apdovanoti Nobelio premijomis chemijos bei medicinos srityje už atradimus, kurie padaryti tiesiogiai naudojantis Rentgeno spinduliais.

Pamėginkime pasekti tų neregimųjų spindulių pédsakais.

DIDŽIOJI LEMTIS

„ČIA SLYPI SUBTILIAUSIOS REALYBĖS“

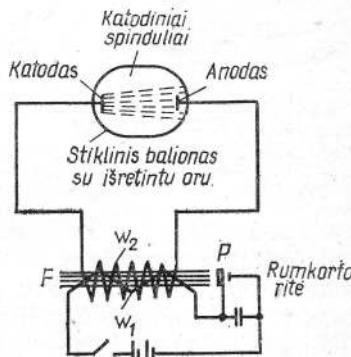
XIX a. antroje pusėje daugelis fizikos laboratorijų tyrinėjo katodinius spindulius. Kaip dabar elementariųjų dalelių, taip tada katodinių spinduliuų tyrimais buvo skverbiamasi į subatominių dalelių pasaulį.

Dar 1838 m. žymus anglų mokslininkas M. Faradėjus (Faraday) (prieš keletą metų atradęs elektromagnetinę indukciją) stebėjo šitokį reiškinį: į stiklinį indą su išretintu oru įkišus du metalinius strypus, juos prijungus prie elektros mašinos polių ir atitraukus vieną nuo kito, erdvė prie anodo nušvisdavo violetinę šviesą.

Sio reiškinio prigimties Faradėjui nepavyko išaiškinti — reiškėjo tobulesnių prietaisų. Po trylikos metų žinomas fizikos aparatu konstruktoriaus iš Paryžiaus H. D. Rumkorfas (Ruhmkorff) išrado naują aukštos įtampos šaltinį — indukcinę ritę, dabar dažnai vadinamą Rumkorfo rite. Joje buvo panaudotas Faradėjaus atrastas indukcijos reiškinys: pertraukinėjant pirmine transformatoriaus grandine tekancią elektros srove, antrinėje grandinėje atsiranda aukštos įtampos impulsai. Dar po kelerių metų stiklapūtys iš Tiuringijos H. Geisleris (Geissler) sukonstravo gyvsidabrinį oro siurblį, kurio pavysko gauti geresnį vakuumą. Fizikai ėmėsi tirti elektros išlydžius išretintosiose dujose.

1859 m. J. Pliukeris (Plücker) sumažino oro slėgi išlydžio vamzdžyje maždaug ligi 1/500 atmosferos slėgio. Tada švytėjimas prie anodo susilpnėjo, bet aplink katodą ir priešais jį pradėjo švytėti vamzdžio stiklas. Pliukeris įtarė, kad stiklą priverčia švytėti nežinomi spinduliai, sklindančios iš katodo (1 pav.). Jie buvo vadinti katodiniais spinduliais.

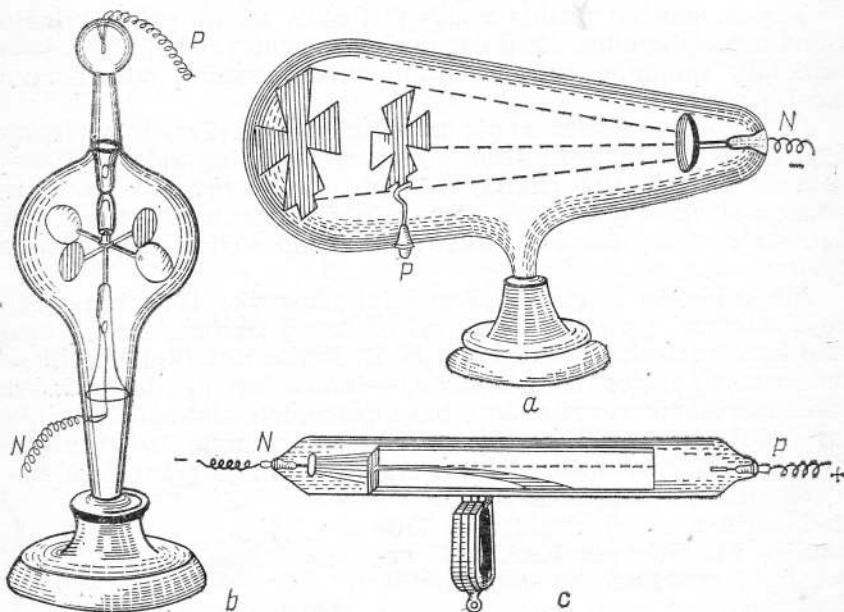
Daug išmonės, tirdamas katodinius spindulius savo asmeninėje laboratorijoje Londone, parodė anglų mokslininkas V. Krūksas (Crookes).



1 pav. Katodinių spinduliuų gavimo schema:

F — magnetinis strypas; w₁ — pirminė apvija; w₂ — antrinė apvija; P — sprukojuanti plokštėlė, kuri vibruoja tarp magneto ir kontakto, pertraukinėdama pirminę grandinę.

Jis sukonstravo įvairių formų išlydžio vamzdžius (2 pav.), kuriuos vėliau naudojo daugelis mokslininkų. Įtaisęs īgaubtą katodą, kad koncentruotų katodinius spindulius viena kryptimi, ir pastatęs jų kelyje metalinį Maltos kryžiaus pavidalo ekrāną, Krūksas stebėjo švytinčiame stikle tamsų šešeli (2 pav.,



2 pav. Išlydžio vamzdžiai katodinių spinduliu savybėms tirti (laidas P sujungtas su anodu, o N — su katodu):

a — vamzdis su viduje įtaisytu ekranu; b — vamzdis su radiometru; c — katodinių spinduliu pluoštelio nukrypimas magnetiniame lauke. (Proceedings of the Royal Institution of Great Britain, 1879).

a). Tai liudijo, jog katodiniai spinduliai sklinda tiesiomis linijomis. Kitame vamzdyje Krūksas įtaisė lengvai besisukanči malūneli — radiometrą (2 pav., b). Kai vamzdyje būdavo išretinamas oras ir į radiometro lapelius krisdavo katodiniai spinduliai, malūnėlis pradėdavo suktis — tarsi į lapelius smogtų neregimos dalelės. Ar jos turi elektros krūvį? Elektringos dalelės keičia savo trajektoriją magnetiniame lauke. Iš tikriųjų, priartinus prie išlydžio vamzdžio magnetą, švytinti démelé pasislinkdavo (2 pav., c). Panašius bandymus atliko J. Pliukeris ir jo mokinys J. Hitorfas (Hittorf). Remdamasis tais rezultatais, Krūksas padarė išvadą, jog katodinius spindulius sudaro mažų elektringų dalelyčių srautas.

Šią Krūkso hipotezę kritikavo radijo bangų atradėjas H. Hercas (Hertz) ir kiti ižymūs vokiečių fizikai. Hercas įrodė, kad katodiniai spinduliai praeina pro ploną aukso foliją. Kaip gali dalelės prasiskverbt i pro metalą? Hercas manė, jog katodiniai spinduliai yra naujo tipo elektromagnetinės bangos. Jo šalininkui F. Lenardui (Lenard) pavyko katodinius spindulius išvesti iš vamzdžio vidaus — pro plyšelį, uždengtą plona folija, kuri neleido orui išskverbt i vamzdžio vidų. Pasirodė, jog katodinius spindulius gerai sugeria oras: jie išnykdavo jau poros centimetru atstumu nuo vamzdžio.

1895 m. jaunas prancūzų mokslininkas Ž. Perenas (Perrin), ruošdamas daktaratą, gavo rezultatus, kurie liudijo Krūkso hipotezės naudai. Vamzdžio viduje prieš katodą Perenas ištaisė tušcia-vidurį metalinį cilindrą, kurį sujungė su elektroskopu. Ant cilindro sienelių patekė katodiniai spinduliai suteikdavo jam neigiamą elektros krūvį. Nukreipus magnetu katodinių spindulių pluošteli į šoną, kad jis nesiekšt cilindro, elektroskopas neįsielektrindavo. Vadinas, katodinius spindulius sudarančios dalelės turi neigiamą elektros krūvį.

Taigi 1895 m. buvo likęs tik vienas žingsnis ligi elektrono atradimo. Kaip dabar žinome, katodiniai spinduliai — tai išlėkė iš katodo elektronai. Vamzdyje esantys teigiami oro duju jonai, elektros lauko veikiami, bombarduoja katodą ir iš jo išmuša elektronus. Neigiami elektronai lekia anodo link ir, pataikę į stiklą, priverčia jį švytėti — fluorescuoti.

Katodiniai spinduliai buvo pirmoji žinia, kad egzistuoja elementariųjų dalelių pasaulis. Ar sugebėjo fizikai šio amžiaus slenkstyje perprasti tą žinią, ar bent numanė, kokią atradimų grandinę sukels katodinių spindulių tyrimai? Pasirodo, žymiausieji fizikai tai nujautė. Štai V. Krūksas pranešime „Apie spindulinę materiją, arba ketvirtąją aggregatinę būseną“, kurį jis skaitė Londono Fizikos institute, pranašiškai teigė: „Tiriant šią ketvirtą medžiagos būseną, susidaro išpūdis, jog mes pagaliau turime „galutines“ daleles, kurias visai pagrįstai galime laikyti sudarančiomis Visatos fizikos pagrindą. Mes matėme, kad kai kuriomis savo savybėmis spindulinė materija yra tokia reali kaip, pavyzdžiu, šita lenta, o kitomis savybėmis ji panaši į spindulinę energiją. Cia mes, be abejo, išskverbėme į sritį, kur materija ir energija, atrodo, sudaro vieningą visumą, į tamšią sritį tarp žino-mybės ir nežinomybės, kuri mane visada vilijojo. Aš drįstu skelbti prielaidą, kad pagrindinės fizikos problemos bus sprendžiamos kaip tik šioje srityje ir netgi už jos. Cia, mano nuomone, slypi galutinės, subtiliausios, esminės, paslaptinės realybės“.

PASLAPTINGAS KRISTALŲ ŠVYTĖJIMAS

Vėlį 1895 m. lapkričio 8 d. vakarą Viurcburgo universiteto profesorius Vilhelmas Konradas Rentgenas (Roentgen) dirbo savo laboratorijoje. Jis mėgo eksperimentuoti vienas, be asistentų. Kai Viurcburgo Fizikos institutas ištuštėdavo, Rentgenas dažnai vėl nusileisdavo iš savo buto antrajame to paties pastato aukšte į laboratoriją ir ten užtrukdavo ligi išnaktų. Jeigu bandymas būdavo sudėtingas, Rentgenas kviesdavosi pagalbon savo žmoną Bertą.

Tarp fizikų Rentgenas garsėjo kaip puikus eksperimentuotojas, sėkmingesni tiriai elektros ir magnetizmo reiškinius, kristalų savybes. Jis turėjo retą talentą surasti paprastą, bet išmoningą būdą atskleisti esminėms tiriamojos reiškinio savybėms. O rezultatų patikimumu ir tikslumu retas mokslininkas galėjo su juo lenktyniauti. Nors neseniai sulaukęs penkiasdešimties metų, Rentgenas dirbo nesigailėdamas jégų — daugiau negu jo jauni asistentai.

Tą vakarą Rentgenas tyrė katodinių spindulių savybes. Bandymai su jais reikalavo kantrybės ir atidumo. Geram vakuumui gauti teko sugaišti ištisas valandas. O stikliniai išlydžio vamzdžiai buvo nepatvarūs — greitai duždavo ir gesdavo.

Laboratorijoje prie lango, sustumti vienas prie kito, stovėjo keli stalai, apkrauti prietaisais, virš jų — elektros laidų raizginyss (5 nuotr.)¹. Nemaža dalis prietaisų pagaminti paties Rentgeno — jis mokėjo atliliki stiklapūčio, šaltkalvio ir mechaniko darbus. Priešais Rentgeną ant stalo stovėjo Krūkso vamzdis, o ant kėdės zirzė Rumkorfo ritė, skleisdama būdingą ozono kvapą. Rentgenas apdengė vamzdį gaubtu, ir laboratorijoje pasidarė visai tamsu. Staiga Rentgenas pastebėjo silpną švytėjimą, kurį skleidė bario druskos kristalai, padėti atokiau ant stalo. Bario druska — plačiai naudojama laboratorijose fluorescuojanti medžiaga; ji pradeda švytę, paveikta saulės spindulių. Betgi dabar naktis. Tiesa, bario druska šviti ir veikiama katodinių spindulių, bet kristalai yra toli nuo vamzdžio, o katodinius spindulius sugeria net plonas oro sluoksnis. Be to, švytėjo ir ekranas, padengtas ta pačia fluorescuojančia medžiaga ir esantis dar toliau nuo vamzdžio. Rentgenas išjungė Rumkorfo ritę, švytėjimas iš karto užgeso. Tai jis pakartotojo keletą kartų. Abejonių negalėjo būti: iš vamzdžio sklido kažkokie nežinomi mokslui spinduliai, „naujos rūšies šviesa“. Rentgenas kyštėlėjo ranką tarp vamzdžio ir ekrano ir išvydo tame tamsius savo kaulų šešélius.

¹ Nuotraukos idėtos tarp 32 ir 33 puslapių.

Rentgenas nemėgo pasakoti apie savo atradimo aplinkybes, o jo laboratorinis dienoraštis bei kiti dokumentai buvo sunaikinti po mokslininko mirties. I vieno įkyraus korespondento klausimą, ką jis galvojės tą vakarą, Rentgenas atsakė: „Aš tyriau, o ne galvojau“. Tad ligi šiol neaišku, ar šis atradimas buvo atsitiktinis. Anot vienų Rentgeno biografų, jis uždengės vamzdži gaubtu, bet pamiršęs ji išjungti. Žinant Rentgeno kruopštumą, net peldantiškumą, tuo sunku patikėti. Gal gaubtas buvo reikalingas kažkokiam bandymui atlikti? Vokiečių mokslo istorikas F. Hernekas (Herneck), remdamasis netiesioginiais faktais, teigia: Rentgenas tą vakarą stengesi išsiaiškinti, kodėl genda fotoplokštelės, pavuvusios netoliše prie katodinių spinduliu vamzdžio. Ši reiškinį buvo pastebėję ir kiti mokslininkai, Krūksas netgi siuntęs protestą plokštelė firmai, kodėl ji teikianti sugedusias plökšteles. Tokius vamzdžius turėjo daugelis fizikos laboratorijų, ir per trisdesimt šešerius metus, praėjusius nuo katodinių spinduliu atradimo, ne vienas fizikas, tarp jų ir tokie žymūs mokslininkai, kaip V. Krūksas, F. Lenardas, Dž. Tomsonas (Thomson), susidūré su nežinomu spinduliu poveikiu, bet neatkreipė į tai dėmesio, palaike kažkokiu antriniu efektu, lydinčiu katodinius spindulius. Antai E. Goldštainas (Goldstein) dar 1880 m. straipsnyje pažymėjo, kad fluorescuojanti medžiaga vamzdyje švyti net ir tada, kai būna apsaugota nuo tiesioginio katodinių spinduliu poveikio. O metai prieš Rentgeno atradimą kitas žymus fizikas Dž. Tomsonas rašė: „Aš stebėjau paprasto vokiško stiklo, esančio per kelias pėdas nuo išlydžio vamzdžio, fluorescenciją, nors, prieš pakliūdama ant fluorescuojančio kūno, šviesa turėjo praeiti pro stiklines vakuuminio vamzdžio sieneles ir pakankamai storą oro sluoksnį...“ Deja, iš šio fakto Tomsonas jokių išvadų nepadarė.

Galbūt Rentgenui padėjo atsitiktinės aplinkybės, bet ne mažesnį vaidmenį suvaidino jo pastabumas, analitinis protas, sugerbėjimas atsitiktiniame fakte ižvelgti naują fizikos reiškinį. Tolesnė įvykių eiga parodė, jog Rentgenas buvo iš tikrujų vertas atradėjo garbės.

50 PARŲ TRUKĘS BANDYMAS

Daugelis Rentgeno kolegų, padarę panašų atradimą, būtų skubėję paskelbti apie tai mokslininkams ir visuomenei. Juk bet kuris fizikas, atliekantis bandymus su išlydžio vamzdžiu, galėjo pakartoti atradimą. Rentgenas pasielgė kitaip. Jam teko didžioji lemčis, ir jis norėjo būti jos vertas: visapusiskai ištirti naujus spindulius ir tik po to skelbti nepriekaištingus rezultatus. Rentgenas nepasigyrė savo bendradarbiams, asistentams, netgi žmonai.

Tik artimiausiam draugui biologui T. Boveriu (Boveri) Rentgenas trumpai pranešė: „Atradau kažką įdomaus, nors dar nesu tikras, ar tikslūs mano stebėjimai“.

Rentgenas pavedė asistentams savo paskaitas universitete, atgabeno į laboratoriją lovą ir ilgam užsidarė tarp prietaisų. Maisią žmona palikdavo prie laboratorijos durų. Anot vienos iš legendų, Rentgenas paprašė instituto sargo sakyti įkyriems interesantams, jog profesorius miręs.

Su jam įprastu kruopštumu ir sumanumu Rentgenas émési tirti naujuosius spindulius, kuriuos jis pavadino X spinduliais. Naudojantis fluorescuojančiomis medžiagomis, jam lengvai pavyko susekti X spindulių šaltinių: juos skleidé išlydžio vamzdžio stiklas, toji vieta, kurią veiké katodiniai spinduliai. Jeigu ten būdavo padéta metalo plokštélė, ji irgi tapdavo X spindulių šaltiniu.

Rentgenas nuosekliai ištyrė įvairių medžiagų skaidrumą X spinduliams. Jis aiškiai maté ekrano fluorescenciją, padéjęs tarp vamzdžio ir ekrano storą, maždaug 1000 puslapių, knygą ar dvigubą kortą kaladę. Spindulius mažai sugerdavo 2—3 cm storio eglinės lentos. 1,5 cm storio aluminio plokštélė gerokai susilpnindavo ekrano švytėjimą, nors jis dar būdavo ižiūrimas. Įvairių rūsių stiklo skaidrumas labai skyrési. Rentgenas nustaté, jog tai priklauso nuo švino procento stikle. Šis elementas labai sugerdavo X spindulius. Apskritai visos medžiagos buvo daugiau ar mažiau skaidrios naujiems spinduliams.

Rentgenui nepavyko pakeisti X spindulių trajektorijos, netgi naudojant stiprius magnetus. Tuo tarpu katodiniai spinduliai, veikiami magnetinio lauko, lengvai keisdavo kryptį. Ši X spindulių savybę (taip pat jų skvarbumas) liudijo, kad tai — ne katininių spindulių atmaina.

Betgi X spinduliai nebuvvo panašūs ir į regimuosius spindulius. Pastarieji atispindi nuo paviršių ir lūžta, pereidami iš vienos aplinkos į kitą. Rentgenas nepastebéjo X spindulių atspindžio netgi nuo poliruotų paviršių. Nepavyko jam aptikti ir praeinančių pro įvairias prizmes, net pagamintas iš aluminio ir gumos, spinduliu lūžio. Medžiaga tiktai išsklaidydavo dalį X spindulių į visas puses, tarsi drumstas skystis šviesą.

Rentgenas panaudojo paprastą būdą lūžio ir atspindžio reiškiniams sustiprinti. Susmulkinus medžiagą, jos skaidrumas turėtų gerokai sumažéti dėl daugkartinio spindulių atspindžio ir lūžio dalelių paviršiuje. Tačiau milteliai praleido X spindulius taip pat gerai, kaip ir vienalytis kūnas.

Mokslininkas daug eksperimentavo fotografiuodamas X spinduliais įvairius daiktus. Jam pavyko gauti labai ryškias svarsčių,

įdėtu į kartoninę déžę, rankos skeleto, metalo gabalo, „kurio nevienualytiškumas išryškėjo X spinduliuose“, nuotraukas.

Rentgenas tyré, kaip X spinduliai veikia jo kūną, netgi akis, visai neįtardamas, kaip tai pavojinga. Jis prikišdavo akis prie pat veikiančio išlydžio vamzdžio, bet nieko nepajusdavo.

Kokia X spinduliu prigimtis? Jų skvarbumas liudijo, jog tai ne dalelių pluoštas: dalelés negalėtų prasiskverbt pro storus įvairių medžiagų sluoksnius, kur keliai pastoja nesuskaičiuojama daugybė atomų. Bet jeigu tai bangos, tai jos turėtų difraguoti, t. y. užlinkti, praeidamos pro mažus plyšius. Deja, visos Rentgeno pastangos aptiki naujų spinduliu difrakciją liko bevaizės. Po ilgų svarstymų Rentgenas padarė prielaidą, jog tai naujos rūšies elektromagnetinės bangos. Gamtoje esama skersinių ir išilginų bangų (skersinėje bangoje dalelés svyruoja statmenai bangos sklidimo kryptčiai, o išilginėje — bangos sklidimo kryptimi). Galbūt, greta skersinių elektromagnetinių bangų (šviesos), egzistuoja taip pat išilginės bangos, kurios lengviau išiskverbia į kietus kūnus, bet sunkiau nukrypsta nuo savo kelio ar lūžta? Kaip matysime, tolesni naujuju spinduliu tyrimai nepatvirtino šios Rentgeno hipotezės. Tačiau visi konkretūs Rentgeno rezultatai, gauti tiriant X spindulius, buvo be priekaištų. Naudodamasis paprasčiausiais prietaisais, jis per septynias įtempto darbo savaites atliko milžinišką darbą; kitam mokslininkui tam būtų reikėjė daugelio mėnesių ar net metų. Gautus rezultatus Rentgenas labai aiškiai ir lakoniškai aprašė trumpame moksliniame straipsnyje, susidedančiame iš 17 tezių.

Gruodžio 22 d. Rentgenas pasikvietė į laboratoriją savo žmoną Bertą, įbaimintą jo nesuprantamo elgesio. Atradėjas paprašė jos padėti ranką ant fotografinės plokšteliės, įvyniotos į tamsų popierį, ir netrukus nustebusi Berta Rentgen pamatė išryškintoje plokšteliėje savo rankos kaulų atvaizdą. Ant piršto buvo aiškiai matomas vestuvinis žiedas (7 nuotr.).

Rentgenas pasakės žmonai: „Dabar galima išleisti velnią iš butelio“. Jis greitai parašė straipsnį į „Viurcburgo fizikų ir medicinės draugijos žinias“ ir gruodžio 28 d. įteikė jį šios draugijos pirmininkui. Pagal tradiciją autorius iš pradžių turėjo papasakoti apie gautos rezultatus draugijos narių susirinkime ir tik kolegom prisitarus straipsnis būdavo spausdinamas žurnale. Betgi dabar buvo prasidėjusios kalėdų atostogos, ir draugijos narių sukvesti buvo neįmanoma. Pirmininkas, suvokęs, koks svarbus yra Rentgeno straipsnis, padarė išimtį: išėjo jį į žurnalą ir netgi nutarė išleisti atskira brošiūra. Ji buvo išspausdinta pirmosiomis sausio dienomis.

RENTGENO SPINDULIU METAI

Rentgeno knygelė „Nauja spinduliu rūšis“ buvo išsiuntinėta fizikos laboratorijoms ir žymiems mokslininkams į įvairias šalis. Visi émesi tikrinti Rentgeno bandymus. Antai garsus išradéjas Tomas Alva Edisonas (Edison), gavęs pranešimą apie X spindulius, dvi paras neišėjo iš savo laboratorijos. Rentgeno tyrimų rezultatai buvo be priekaištų. A. Puankaré (Poincare), L. Bolcmanas (Bolzmann), Dž. Tomsonas ir kiti žymūs fizikai atsiunté Rentgenui sveikinimus. Ne vienas mokslininkas, tyres katodinius spindulius, gailėjosi pražiopsojės ši atradimą; ypač dėl to sielojosi F. Lenardas.

Vieną straipsnio egzempliorių su keliomis X spinduliais gaumis nuotraukomis Rentgenas nusiunté į Vieną savo studijų draugui F. Eksneriui. Šis parodė laišką kitam fizikui, kurio tévas buvo Vienos laikraščio „Neue freie Presse“ redaktorius. Sekančią dieną — sausio 3-iąjį — laikraštis pasirodė su Bertos Rentgen rankos kaulų nuotrauka pirmajame puslapyje. Straipsnyje „Sensacingas pranešimas“ buvo rašoma: „Jei atradimas pasitvirtins, žmonijos rankose atsidurs epochos masto tiksliausiu tyrinėjimų rezultatai, ir tai turés nuostabius padarinius tiek fizikai, tiek ir medicinai“.

Ši pranešimą perspausdino Vokietijos ir Anglijos laikraščiai, ir netrukus žinia apie nuostabią „šviesą, praeinancią pro medi, mésą ir daugelį kitų organinių substancijų“, pasklido visame pasaulyje. Kadangi pirmasis pranešimas pasirodė austrių laikraštyje, tai atradéjas dažnai buvo vadintamas austru, o jo pavardé iškreipta į Routgeną. Kilo visuotiné sensacija, kokios nebuvo sukéléjus joks atradimas nuo Galiléjaus laikų, kai pasirodė jo „Žvaigždžių pasiuntinys“, kuriami aprašyti astronominiai atradimai, padaryti pirmuoju teleskopu. Tais pačiais 1895 m. broliai L. ir O. Lumjeras (Lumiére) Paryžiuje pademonstravo pirmuosius kino filmus, į orą pakilo A. Možaisko lėktuvas, A. Popovas sukûrė pirmajį radijo imtuvą, bet šie mokslo pasiekimai susilauké daug mažesnio visuomenės démesio negu X spindulai.

Per keletą savaičių pasirodė penki Rentgeno knygelés leidimai; be to, ji buvo išversta į anglų, prancūzų, italų ir rusų kalbas. Žmonés veržési į viešas paskaitas, kuriose buvo atliekami bandymai su X, arba Rentgeno, spinduliais, kaip juos pradéta vadinti kai kuriose šalyse. Pavyzdžiu, „Peterburgskij listok“ sausio 25 d. rašé: „Jeigu techninės draugijos didžioji auditorija būtų buvusi penkis kartus didesnė, net jei ji talpintų ne tükstantį, o penkis tükstančius žmonių, vis tiek joje nebūtų sutilpę visi, norintieji paklūti į profesoriaus Borgmano paskaitą. Plojimų aud-

ra, garsūs šūksnai „valio“ atlygino profesoriui už jo pranešimą, pirmą kartą moksliškai supažindinusį mūsų publiką su didžiuoju šiu laikų atradimu“. Gyvo žmogaus kaulų nuotraukos sukeldavo sąmyši, net isterijos priepluočius. Jas perduodavo į salę remuose po stiklų, antraip nuotraukos bemat dingdavo.

Naujuosius spindulius tuo pat buvo pradėta taikyti medicinėje. Jau sausio 20 d. Dortmundė (JAV), naudojantis šiais spinduliais, buvo nustatyta rankos lūžis kažkokiam Edžiui Makarčiui.

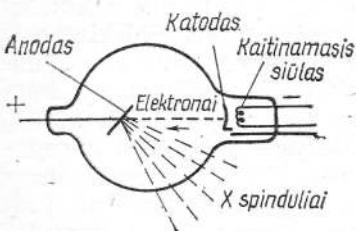
Didžiausią visuomenės susidomėjimą kėlė X spindulių taikymas fotografijoje, jų nepaprastas skvarbumas. Jeigu jie gali praeiti pro drabužius, netgi pro sienas, vadinas, įmanoma atskleisti įvairias paslaptis, sužinoti, kas dedasi kaimynų bute, matyti žmogų nuogą. Merginos raudo, vos išgirdusios X spindulių pavadinimą. Viena Londono firma pradėjo reklamuoti baltinius, nepraleidžiančius X spindulių, krautuvėse pasirodė panašios paskirties rankinukai, piniginės, portfeliai, dėžės. T. Edisonas gavo užsakymą pagaminti žiūronus, veikiančius su X spinduliais. Tuo pat metu Niū Džersio valstijoje buvo pasiūlytas įstatymo projektas, draudžiantis taikyti X spindulius teatriniuose žiūronuose. Laikraščiai bei žurnalai mielai spaudsino karikatūras šia tema: ledi ir džentelmanų kompanija, matoma kaip grupė skeletų, ateities mados su šarvu apkaustais ir pan. (8 nuotr.).

Spauda skelbė dar sensacingesnius pranešimus. Naudojantis X spinduliais, esą galima skaityti svetimas mintis. Apšvieskime X spindulių pluoštų medicinos atlasą, po to studento smegenis, šis jau bus pasiruošęs medicinos egzaminui. Kažkoks atradėjas švitinės jais 3 valandas švino gabalėli, ir šis virtęs auksu. Ne nuostabu, jog Vienos policmeisteris matė reikalą paskelbti šitokį įsakymą: „Kadangi mūsų oficialiose instrukcijose nieko nepasakyta apie naujų spindulių savybes, griežtai draudžiama atlikti su jais kokius nors bandymus, kol šis klausimas bus išaiškintas ir gautas specialus policijos leidimas“. O Londono laikraštis „Pell-Mell Gazette“, apibendrindamas savo skaitytojų laiškus, vedamajame straipsnyje rašė: „Mums igriso Rentgeno spinduliai. Matyt, geriausia, ką gali padaryti civilizuotos šalys,—susijungti ir sudenginti visus Rentgeno spindulius, nubausti mirties bausme visus išradėjus, surinkti visus įrengimus pasaulyje ir paskandinti juos vandenye. Tegu žuvys apžiūrinėja savo kaulus, jeigu joms tai patinka, bet ne mes“.

Rentgeno laboratoriją Viurcburge atakavo korespondentai, mokslininkai ir šiaip smalsuoliai. Atradėjas, kuklus ir uždaro būdo, vengé jų kaip įmanydamas. Vienas amerikiečių korespondentas, kuriam pasisekė patekti į Rentgeno laboratoriją, rašė: „Manau, kad ji nelabai nudžiugino mano vizitas: pokalbiai su lanky-

tojais atima iš jo per daug laiko, o jis linkęs krapštystis su savo vamzdžiais". Korespondentui nepavyko išgauti žinių apie atradimo aplinkybes. Laboratorija jo irgi nesužavėjo: „Palyginus su prabangiomis Londono arba bet kurio stambaus Amerikos universiteto laboratorijomis, Rentgeno laboratorija buvo kukli, netgi skurdi". Mokslininkas nekantravo greičiau užbaigtį interviu: „Kai profesorius Rentgenas atsisveikindamas ištiesė man ranką, jo žvilgsnis buvo nukreiptas ten, kur jis paliko nebaigtą darbą".

Stengdamasis nekreipti dėmesio į visą triukšmą, sukeltą jo atradimo, Rentgenas toliau tyrė X spindulius. Kovo 9 d. jis užbaigė antrąjį straipsnį, kuriame suformulavo 4 naujas tezes. Dar praeitais metais jis buvo pastebėjęs vieną įdomią X spindulių savybę: jie iškraudavo įelektrintą kūną. Betgi šių rezultatų jis neskelbė tol, „kol bus gauti visai nepriekaištingi rezultatai". Tuo tikslu Rentgenas užsisakė specialią metalinę déžę, kurioje tilptu jis pats ir reikalingi prietaisai. X spinduliai patekdavo į ją pro mažą langelį. Rentgenui pavyko irodyti, jog stebimas efektas susijęs su oro ionizacija: paveiktas X spindulių, oras tampa laidininku. Kad neliktu abejonių, jog ši efektą sukelia išsklaidyti X spinduliai, Rentgenas atliko išmoningą bandymą: jis paveikė X spinduliais vamzdyje esantį orą, o po to tą orą pūtė pro įelektrintą kūną — efektas buvo toks pat. Vadinas, elektroskopas, kaip ir fluorescuojantis ekranas, gali būti X spindulių indikatoriumi, o iš jo lapelių prasiskėtimo kampo galima spręsti apie spindulių intensyvumą. Atlikęs daug bandymų, Rentgenas sukūrė gana tobulą X spindulių vamzdį: įgaubtas aluminio katodas koncentruoja išleikiančią iš jo elektronų (katodinių spindulių) pluoštą į istrižą platinos plokštelię — anodą (3 pav.). Elektronams atsimušus į plokštelię, atsiranda X spinduliai, kurie pro šoninę vamzdžio sienelę lengvai išeina į išorę. Panašios konstrukcijos vamzdžiai naudojami ir dabar.



3 pav. Rentgeno sukurto X spindulių vamzdžio schema

kitiems mokslininkams nauju esminiu rezultatų gauti nepavyko.

Žymus fizikas ir matematikas A. Puankaré pateikė hipotezę, jog Rentgeno spinduliai atsiranda ne dėl katodinių spindulių są-

veikos su medžiaga, bet kaip kažkoks antrinis reiškinys, lydintis stiklo švytėjimą. Vadinas, Rentgeno spinduliai turėtų atsirasti ir tada, kai fluorescuojanti medžiaga švyti, veikiama Saulės spinduliu. Net keli eksperimentuotojai — A. Bekerelis (Becquerel), Š. Anri, Nevenglovskis tuojuo émési tikrinti šią hipotezę. Sékmé lydėjo Bekerelį, kuris pasirinko fluorescuojančia medžiaga urano druską. Jis užpylė druskos kristalų ant fotokasetés, kurioje buvo įdėta fotografinė plokštélė, ir palaikė keletą valandų saulés spinduliuose. Išryškinus plokštélé, joje iš tikro buvo matomos kristalélių žymés. Bekerelis norėjo pakartoti bandymą, bet lyg tyčia nesirodė saulé. Po to, kai neapšviesta urano druska keletą dienų praguléjo ant plokštélės, Bekerelis ją išryškino ir pamatęs nustebio, kad plokštélé vis tiek pajuodo. Taigi saulé ir medžiagos fluorescencija čia buvo niekuo détos — urano druska pati skleidé kažkokius spindulius. Taigi 1896 m. vasaryje buvo aptiktas atomų radioaktyvumo reiškinys, kaip tiesioginis Rentgeno atradimo padarinys. Jo tyrimai atvedė fizikus prie atomo branduolio atradimo, padéjo atskleisti vidinę atomo struktūrą.

Paaikinti Rentgeno ir Bekerelio atradimų, mokslininkai puolé ieškoti naujų nežinomų spinduliu. Netrukus Miuncheno universiteto profesorius Gretcas paskelbė atradęs G spindulius, prancūzų akademikas R. Blondlo (Blondlot) — N spindulius, Maskvos universiteto privatdocentas P. Preobraženskis — R spindulius, o kažkoks G. Lebonas — „juodąją šviesą“. Deja, visi šie spinduliai pasirodė esą mokslininkų vaizduotés padariniai: tai buvo blogai atliktų eksperimentų ir skubotų, nekritiskai suformuluotų išvadų rezultatas.

IŠBANDYMAS GARBE

PROFESORIUI BRANDOS ATESTATAS NEBŪTINAS

Vilhelmas Konradas Rentgenas gimė 1845 m. nedideliame Vokietijos miestelyje Lenepe, Olandijos pasienyje. Jo tévas buvo vokietis, gelumbés fabriko savininkas, o motina — olandė, kilusi iš turtinges ir kultūringos šeimos. Didesnę vaikystés dalį Vilhelmas praleido motinos tévynéje Olandijoje, ten jis ir mokësi. Kai Rentgenas buvo paskutinéje Utrecht realinés mokyklos klaséje ir ruošesi tévų noruapti prekybininku, netikétas łyvkiš pakreipéjo gyvenimą kita linkme. Kažkas iš draugų nupiešé nemégstamo mokytojo karikatúrą. Buvo įtarta tai padarius Rentgeną, o šis

nepanoro išduoti draugo ir buvo pašalintas iš mokyklos. Vėliau jis bandė gauti brandos atestatą eksternu, bet vėl nepasisekė,— egzaminų komisijoje pasirodė esąs tas pats mokytojas, kuris, aišku, pasistengė „sukirsti“ savo priešininką. Taigi kelias į aukštąją mokyklą jam buvo užkirstas. Atsitiktinai Rentgenas sužinojo, jog, stojant į Ciūricho aukštąją technikos mokyklą, brandos atestatas nebūtinės, ir 1865 m. jis buvo priimtas į Mechanikos ir technikos skyrių, ruošusį mašinų gamybos inžinierius.

1867 m. Ciūricho technikos mokykloje pradėjo dirbti jaunas fizikos profesorius A. Kundtas (Kundt). Jis sudomino Rentgeną eksperimentine fizika, ir šis, baigęs technikos mokslus, tapo Kundto asistentu. Kundtas buvo ne tik talentingas mokslininkas, pagarsėjęs darbais iš optikos, akustikos, kristalų fizikos, bet ir gabus pedagogas, išugdės daugelį žymų fizikų. Kundtas reikalavo iš savo mokinį precizinio eksperimentų tikslumo, nuodugnios paklaidų analizės, kritiškumo ir ypatingo mokslinio sąžininguo. Visomis šiomis savybėmis vėliau pasižymėjo Rentgenas. Kundto vadovaujamas, jis greitai paruošė disertaciją ir gavo filosofijos mokslų daktaro laipsnį. Tik po to jis ryžosi vesti sužadetinę Bertą, kuri tapo rūpestinga žmona.

1870 m. Kundtas išsiškėlė į Viurcburgo universitetą ir kartu pasikvietė geriausią savo mokinį Rentgeną. Cia pastarasis netrukus panoro dalyvauti konkurse docento vietai užimti, bet pedantiški universiteto profesoriai jo pareiškimą atmetė: nors jis turėjo mokslinių darbų, bet formaliai nebuvo baigęs gimnazijos. Kundtas ir jo asistentas paliko Viurcburgą ir persiškėlė į Strasburgą. Cia Rentgenas, remiamas Kundto ir žymaus chemiko A. Bajerio (Baeyer), išsikovojo teisę dirbti dėstytoju, nors ir neturėdamas brandos atestato, o po kelerių metų tapo profesoriumi, savarankišku mokslininku.

Jau pirmieji Rentgeno moksliniai darbai parodė jį turint neabejotiną eksperimentuotojo talentą. Jis išgarsėjo, išsprendęs daug metų trukusi dviejų žymų fizikų Dž. Tindallo (Tyndall) ir H. Magnaus (Magnus) ginčą, ar sugeria vandens garai infraraujančiuosius spindulius. Tindallo bandymų rezultatai liudijo, jog garai spindulius sugeria, bet Magnus tai neigė, nurodydamas įvairias galimas eksperimento paklaidas. Iš tikrujų reikėjo nustatyti mažą dydį, kuris buvo lygus dviejų didelių dydžių — krintančiųjų ir praėjusiuų spinduliu intensyvum — skirtumui. Siekdamas diidesnio tikslumo, Tindalis netgi atliko bandymą, užkopeę į Monblano viršūnę. Rentgenas sugalvojo paprastą ir originalų bandymą vienareikšmiškam atsakymui gauti. Drėgnas oras išyla su gėrės spindulius, todėl turi padidėti uždarame inde esančio oro slėgis. Rentgenui prireikė tik stiklinės kolbos ir paprasto įtaiso

slėgiui matuoti, kad neginčiamai įrodytų, jog vandens garai iš tikrujų sugeria infraraudonuosius spindulius.

Naudodamasis nesudėtingais prietaisais, Rentgenas sugebėdavo pasiekti rekordinį matavimų tikslumą: kai kurie jo rezultatai nepralenkti dešimtmečiais.

Zymiausias Rentgeno atradimas ligi 1895 m.—efektas, kuris buvo pavadintas Rentgeno srove. Rentgenas įrodė, kad judantis įelektrintas dielektrikas sukuria magnetinę lauką, kaip ir laidininku tekanti elektros srovė, taigi krūvių judėjimas yra ekvivalentiškas elektros srovei. Rentgeno eksperimentas padėjo atskleisti elektros srovės prigimtį.

Elektros krūvis dielektrike atsiranda, įnešus jį į elektrinį lauką tarp kondensatoriaus plokštį. Kad magnetinis laukas būtu pakankamai stiprus, Rentgenas sukdavo dielektriką. Tačiau kondensatoriaus plokštėse galėjo susidaryti sūkurinės elektros srovės, kurios savo ruožtu galėtų sukurti magnetinį lauką. Rentgenas padalijo kondensatoriaus plokštės į segmentus, kuriuos atskyré izoliatoriais. Dabar plokštėmis srovės nebegalėjo tekėti, o magnetinis laukas vis tiek atsirasdavo.

Nors Rentgenas buvo atsidėjęs moksliniams darbui, bet nepasidarė kabinetiniu mokslininku. Laisvalaiku jis mėgo medžioti, sportuoti, buvo neblogas alpinistas. Kasmet atostogauti jis vykdavo į Šveicarijos Alpes.

1888 m. Viurcburgo universitetas — tas pats, kuris prieš dešimtmetį nelaikė jo vertu būti docentu,—dabar jau pagarsėjusiame fizikui pasiūlė fizikos katedrą ir netgi Fizikos instituto direktoriaus pareigas. Rentgenas sutiko, neslėpdamas pasitenkinimo šia savo pergalė.

Cia, Viurcburge, buvo lemta jam padaryti didžiausią savo atradimą.

„TEBŪNA IR JŪSŲ GYVENIME NORS VIENOS EITYNĖS SU FAKELAIS“

Tarsi atsilygindami už ankstesnę skriaudą, kolegos pirmieji pripažino Rentgeno atradimą, o Viurcburgo miestas pagerbė atradėją.

Pirmomis 1896 m. dienomis žinia apie nuostabius spindulius pasklido po miestą. Miestiečių smalsumui patenkinti knygyno vitrinoje buvo išstatyta Rentgeno gauta nuotrauka su rankos kaulų atvaizdu. Prie jos būriavosi smalsuoliai.

1896 m. sausio 23 d. Viurcburgo universiteto didžiojoje auditorijoje įvyko išplėstinis fizikų ir medikų draugijos posėdis. Rent-

genas — aukštas, orus, kaip visada susikaupęs, be šypsenėlės veide — perskaitė pranešimą, kuriame plačiai paminėjo savo pirmą Krūkso, Herco, Lenardo nuopelnus, po to apibendrino savo rezultatus ir pademonstravo keletą bandymų su naujaisiais spinduliais. Visiems matant, jis padarė anatomijos profesoriaus A. Kiolikerio (von Kölliker), pirmininkavusio posėdžiui, rankos skeleto nuotrauką. A. Kiolikeris pasveikino atradęją ir pasiūlė nuo šiol X spindulius vadinti Rentgeno spinduliais. Posėdžio dalyviai tam pritarė ilgais plojimais.

Vakare studentai surengė Rentgeno garbei eitynes su fakelais. Štai kaip ši įvykį prisiminė rusų gydytojas E. Jakovenka, tuo metu studijavęs Viurcburgo universitete: „.... Mieste sustoja iprastinis gyvenimas. Tramvajai nevažinėja, parduotuvės uždaromos, judėjimas nurimsta. Darniomis gretomis praeina studentų korporacijos su margomis vėliavomis ir dailia apranga. Rankose — aukštai iškelti degantys fakelai. Groja orkestrai, gatvėse pilna žmonių. Viurburgas džiūgauja ir iškilmingai pagerbia savo mokslininką. Minia eina prie nedidelio dviaukščio namo — Fizikos instituto. Viršutiniame aukšte į balkoną išeina aukštas vyras su ilga tamsia barzda. Tai iškilmių kaltininkas profesorius Rentgenas. Studentų delegacija jam įteikia adresą. Vienas iš jos narių taria sveikinimo žodį. Profesorius atsako ilga padėkos kalba, kurioje šneka apie mokslo didybę ir jo teikiamus džiaugsmus. Sujaudintas mokslininkas linki studentams: „Tebūna ir jūsų gyvenime nors vienos eitynės su fakelais“.

Tai buvo tik pradžia įvairių pagerbimų, apdovanojimų, iškilmių, netikėtai užgriuvusių Rentgeną. Kuo toliau, tuo mažiau tai ji džiugino. Nenorom sutiko jis nuvykti į Berlyną perskaityti pranešimą reichstage. Kronprincas paskyrė Rentgenui ordiną už nuopelnus Bavarijos karūnai. Tai suteikė jam teisę gauti bajoro titulą, bet Rentgenas atsisakė paduoti pareiškimą. Jis nepriėmė Rusijos caro ir kitų šalių vadovų paskirtų ordinų bei medalių.

Atsirado ir pavyduolių, tarp jų net mokslininkų, kurie, stengdamiesi sumenkinti Rentgeno nuopelnus, teigė, jog atradimas buvo padarytas visai atsitiktinai. Netgi buvo skleidžiami gandai, jog pirmas kristalų švytėjimą pastebėjęs laboratorijos mechanikas, o Rentgenas tik pasisavinės atradimą.

Rentgenas iš principio atsisakė pasinaudoti materialine nauda, kurią jam galėjo duoti atradimas. Įvairios firmos — vokiečių, amerikiečių ir kitų šalių — kvietė Rentgeną bendradarbiauti panaudojant X spindulius, žadėjo puikias darbo sąlygas ir modernias laboratorijas, siūlė daug pinigų vien už monopolinę teisę eksplloatuoti atradimą. Berlyno visuotinė elektros bendrovė netgi

buvo pasiryžusi nupirkti visus būsimus Rentgeno atradimus. Tačiau mokslininkas nesileido į derybas, net atsisakė imti patentą X spinduliams, ir iš dalies dėl to jie buvo greitai pritaikyti medicinoje ir kitose srityse.

PIRMOJI NOBELIO PREMIJA

Švedų inžinierius ir fabrikantas, dinamito išradėjas Alfredas Nobelis (Nobel) buvo Rentgeno priešybė: iš savo atradimų jis susikrovė milžiniškus turtus — keliis milijonus svarų sterlingų. Betgi mirdamas savo įpėdiniams jis nepaliko nė skatiko, o visus turtus paskyrė skatinti mokslininkams, literatams ir visuomenės veikėjams, kurie „atneš žmonijai didžiausią naudą“. Tuo tikslu turėjo būti išteigtos penkios kasmetinės tarptautinės premijos.

Paskutinis Nobelio noras dėsningai išplaukė iš jo parodoksaus gyvenimo: talentingas mokslininkas ir kartu pasaulinio masto biznierius, fantazuotojas, kupinas drąsių, net beprotiškų idėjų, ir kartu daugelio praktinių išradimų autorius. Jis sukonstravo duju degiklį, šaldymo aparą, pasiūlė naują geležies valymo metodą. Tačiau ryškiausiai jo talentas atskleidė kariniai išradimai: detonatorius, raketiniai sviediniai, dinamitas, ballistitas ir kt. sprogstamosios medžiagos. Būtent pastarieji atradimai jam atnešė pasakiškus pelnus. Nobelis kartą pareiškė, kad jo dinamito fabrikai greičiau padarys galą karams negu taikos šalininkų kongresai: „Tą dieną, kai dvi armijos galės sunaikinti viena kitą per keletą sekundžių, visos civilizuotos nacijos, apimtis pasibaisėjimo, išformuos savo armijas“. Ar tai buvo Nobeliui būdingas „juodas“ humoras, ar viena iš jo beprotiškų idėjų?

Dar Nobeliui gyvam esant, buvo paskelbtas jo nekrologas (reporteriai supainiojo jį su broliu). Ten jis be užuolankų pavaudintas „mirties pirkliu“, kurio „turtas užgyventas krauso kaina“. Šis nekrologas padarės Nobeliui didelį išpuodi. Gal savo testamente jis norėjo išpirkti kaltę prieš žmoniją?

Nobelis iki smulkmenų nužymėjo laureatų išrinkimo ir premijų įteikimo tvarką. Penkios premijos turėjo būti skiriamos už svarbiausią fizikos, chemijos bei medicinos mokslų atradimą, už geriausią grožinės literatūros kūrinį ir didžiausius nuopelnus tai-kai. Laureatus iš fizikos srities turėjo išrinkti speciali Švedijos Mokslų Akademijos komisija. Nobelis pageidavo, kad būtų premijuojami geriausi praėjusių metų darbai. Tačiau ši sąlyga pa-sirodė neigyvendinama: tikroji mokslinio darbo vertė dažniausiai paaiškėja tik po kelerių, keliolikos ar net keliasdešimties metų.

Pirmieji Nobelio premijos laureatai turėjo būti paskelbti 1901 m. Išrinkti svarbiausią fizikos atradimą buvo nelengva: neseniai V. Rentgenas buvo atradęs garsiuosius spindulius, Dž. Tomsonas — elektroną, A. Bekerelis — radioaktyvumo reiškinį, M. Plankas (Planck) įvedęs kvanto sąvoką... Visi šie atradimai turėjo fundamentalią reikšmę, bet Rentgeno spinduliai buvo dar ir plačiai taikomi praktikoje. Gal tai ir nulémė komisijos sprendimą.

1901 m. pabaigoje Rentgenas gavo telegramą: „Švedijos Mokslo Akademija 1901 m. lapkričio 10 d. ypatingajame posėdyje už ižymų fizikos atradimą, turintį ypatingą reikšmę žmonijos gyvenimui, nutaré paskirti Nobelio premiją vokiečių fizikui Vilhelmui Konradui Rentgenu“. Mokslininką pradžiugino šis tarptautinis apdovanojimas, nors vykti į Stokholmą dalyvauti iškilmingoje premijos įteikimo ceremonijoje jis ryžosi „ne lengva širdimi“. Iškilmės įvyko gruodžio 10 d.— Nobelio mirties metinių dieną — Stokholmo koncertų rūmu didžiojoje salėje, dalyvaujant daugiau kaip dviej tūkstančiams Švedijos visuomenės atstovų, diplomatų, užsienio svečių, korespondentų. Aidint fanfaroms, i salę įėjo karališkosios šeimos ir vyriausybės nariai, po to laureatai, lydimi Nobelio komiteto narių. Atidarius iškilmes, švedų akademikas išvardijo Rentgeno nuopelnus, o princas įteikė jam diplomą, aukso medalį ir čekį 11 000 svarų sterlingų sumai. Po to buvo apdovanojami kiti laureatai, tarp jų olandų chemikas J. van't Hofas (van't Hoff) ir vokiečių bakteriologas E. Beringas (Bering).

Vakare Stokholmo rotušėje karalius surengė laureatų garbei iškilmingą priėmimą. Kitą dieną van't Hofas ir Beringas perskaitė paskaitas apie savo atradimus. Rentgenas, sužinojęs, jog laureatas néra įpareigotas įstatų skaityti tokią paskaitą, pareiškė, jog visas žinias apie savo atradimą jau yra išdėstęs straipsniuose ir neturiš ko pridurti. Vėliau Rentgeno priešai savaip išaiškino jo nenorą papasakoti atradimo istoriją,— esą jis nesijautė atradimo autoriumi.

Visą savo Nobelio premiją Rentgenas paskyrė Viurcburgo universitetui. Procentai turėjo būti naudojami mokslo darbams skatinti. Deja, dėl finansinės infliacijos Vokietijoje po I pasaulinio karo šie pinigai neteko vertės.

Rentgenas pradėjo šlovingą fizikų — Nobelio premijos laureatų — seką. Dabar ši premija yra tapusi aukščiausiu tarptautiniu apdovanojimu už fizikos atradimus. Ją yra gavę ir septyni tarybiniai fizikai: I. Tamas, I. Frankas, P. Čerenkovas (1958 m.); L. Landau (1962 m.), N. Basovas, A. Prochorovas (1964 m.) ir P. Kapica (1978 m.).

ATRADEJO LIKIMAS

Grįžęs į Vokietiją po Nobelio premijos įteikimo iškilmium, Rentgenas išsitarė, jog kitiems nelinkėtų tos garbės. Jį slégė nuolatinis visuomenės démesys, pagarbos ženklai ir kai kurių mokslininkų pavydas. Net ir aprimus sensacijai, Rentgenas nebegalėjo gyventi taip, kaip buvo gyvenęs iki atradimo: iš jo buvo laukiama naujų svarbių darbų, jis tapo autoritetu moksle, gyvu klasiku.

Pusantrų metų po atradimo Rentgenas tėsė X spinduliu, kaip pats juos vadino visą gyvenimą, tyrimus. 1897 m. jis paskelbė trečiąjį straipsnį, kuriame suformulavo dar 11 išvadų apie jų savybes. Be kita ko, jis nustatė, jog egzistuoja įvairaus skvarbu-mo spinduliai: minkštieji, kuriuos sugeria net nestori medžiagų sluoksniai, ir kietieji — daug skvarbesni (Rentgenas dar nevartoję šių terminų, jis raše: „spinduliai, kuriuos skleidžia kieti ar minkšti vamzdžiai“, turėdamas omenyje didelės ar mažos įtampos vamzdžius). Nedaug trūko, kad Rentgenas būtų atradęs ir X spinduliu difrakciją, bet atsitiktinumas, vieną kartą padėjęs, ši kartą nebuvo jam palankus. Paskelbęs trečiąjį straipsnį ir labai išsamiai ištyręs naujų spinduliu savybes, Rentgenas daugiau prie jų nebegrižo. Jis netgi skeptiškai žiūréjo į kitų mokslininkų bandymus atrasti kažką nauja X spinduliu fizikoje ir nenorėjo, kad jo mokiniai pradėtų mokslinę veiklą nuo tų tyrimų. Vėliau Rentgenas sprendė įvairias fizikos problemas, netgi, nusižengdamas savo principui naudotis tik paprasčiausiais prietaisais, įsigijo unikalų tais laikais mikroskopą. Deja, atradimo, tokio pat reikšmingo kaip X spinduliai, per likusius dvidešimt kelerius gyvenimo metus padaryti nebepavyko. Po to jis išspausdino tik septynis straipsnius; tiesa, kiekvienas iš jų buvo eksperimentinio reiklumo ir tikslumo pavyzdys. Jo bendradarbis, fizikas ir mokslo istorikas Maksas Laujé (Laue) vėliau raše: „Dažnai klausiamā, kodėl šis žmogus po įžymaus atradimo 1895—1896 m. taip atkakliai vengė tolesnių mokslinių publikacijų. Šiam faktui paaiškinti buvo skelbiama įvairių motyvų, kai kurie iš jų nelabai palankūs Rentgenui. Aš manau, jog visi tie motyvai klaidingi. Mano nuomone, įspūdis atradimo, kuri jis padarė turėdamas 50 metų, buvo toks stiprus, jog jis niekada neįstengė išsivaduoti iš jo. Be abejonės, kiekvienas didelis dvasinis žygdarbis prislegia tą, kas jį atliko. Be to, Rentgenas, kaip ir kiti tyrinėtojai, turėjo daug nemalonumų dėl netikusių žmonių savybių“.

Atmetės keletą pasiūlymų pereiti dirbtį į kitus Vokietijos universitetus, Rentgenas vis dėlto 1900 m. sutiko tapti stambaus Miuncheno universiteto Fizikos instituto direktoriumi. Cia jis

dirbo visą likusį laiką, nors vėliau buvo siūlomos Imperatoriškojo fizikos-technikos instituto Berlyne direktoriaus bei akademikō pareigos.

Ilgainiui Rentgenas tapo dar uždaresnis. Jis nedalyvauodavo fizikų suvažiavimuose bei kongresuose ir palaikė ryšius tik su keletu senų draugų ir su savo asistentais. Kai jis, orus, pedantiškai tvarkingas, išsegės gėlelę švarko atlape, pražingsniodavo universiteto koridoriais arba labai ramiai ir rintai skaitydavo paskaitas, buvo galima manyti, kad jis sausas žmogus, netgi savimyla. Betgi artimiausieji mokiniai buvo kitokios nuomonės. Vienas iš jų, V. Frydrichas (Friedrich) rašė savo atsiminimuose: „Tas, kam teko asmeniškai pažinti Rentgeną, pajusdavo, jog prieš jį iš tikro žymus žmogus: pati jo išvaizda buvo labai imponejanti. Nors labai aukšto ūgio, jis turėjo grakštą mokslininko galvą ir rintą, beveik griežtą žvilgsnį. Labai retai ir tik trumpai akimirkai jo lūpose pasirodydavo lengva šypsena. Šis žmogus buvo toks pat didis savo vidumi, kaip ir išore. Garbingumas ir kilnumas — patys ryškiausi jo charakterio bruožai. Griežta veido išraiška slėpė jausmus, kuriuos jis, nors ir būdamas labai uždaras, kartais atskleisdavo, be abejo, tik savo nuoširdiems draugams ir artimiausiemis žmonėms“.

Nors ir kuklus, Rentgenas drąsiai gindavo savo nuomonę, buvo principingas ir nepriklausomas. Plačiai žinoma istorija, kaip Rentgenas įžeidė imperatorių Vilhelmą II. Jo didenybei atvykus į Miuncheną, Rentgenas turėjo jį supažindinti su neseniai Miuncheno muziejuje atidarytu gamtos mokslo ir technikos istorijos skyriumi. Po to Vilhelmas II, manantis esąs didelis karo technikos žinovas, panoro parodyti Rentgenui artilerijos skyrių. Dėja, aiškino jis prastai, ir mokslininkas neiškentės nutraukė imperatorių: „Tai žino kiekvienas vaikas, ar negaléatumė pasakyti ką nors esmingesnio?“. Labai įsižeidęs Vilhelmas II išėjo iš muzejaus.

Fizikos institute Rentgenas įvedė griežtą tvarką. Stažavėsis pas Rentgeną tarybinis fizikas Abramas Jofė taip apraše šio instituto struktūrą ir veiklą: „Institutą sudarė didžioji auditorija, dvi mažos auditorijos, praktikumas šimtui studentų ir apie 20 mokslo darbuotojų. O administracija susidėjo tik iš vieno asistento. Kai man teko šis darbas, jam skirdavau viso labo dvi valandas per savaitę — šeštadieniais. Be to, buvo pastato komendantas Véberis, kuris kartu éjo prietaisų bei mokslinių kolekcijų saugotojo ir demonstruotojo pareigas... Du mechanikai gamindavo reikalingus prietaisus, visus kitus darbus atlikdavo patys moksliniai darbuotojai. Nei laborantų, nei preparatorių nebuvvo. Betgi visi kartu dirbo kaip gerai suderintas mechanizmas“. Kaip skiriiasi

nuo šios ir kitų panašių XX a. pradžios mokslo įstaigų dabartinių didžiuliai moksliniai institutai!

Anot Jofės, Rentgenas neleido niekam iš savo mokinių ar asistentų nukrypti nuo tokio darbo metodo, kokį jis laikė vienintelį tikrą moksliniu, ir kartais būdavo net kategoriskas. Antai, kaip klasikinės fizikos šalininkas, jis ilgą laiką nepripažino elektrono, laikydamas jį nepakankamai pagrįsta ir be būtino reikalo įvesta sąvoka, prieštaraujančia elektrodinamikos dvasiai. Rentgenas tarsi nujautė, kad, įvedus elektroną, iš esmės teks reformuoti fiziką. Tik 1907 m. A. Jofė įtikino savo mokytoją elektrono realumu, ir ši pavadinimą buvo leista minėti Rentgeno institute.

A. Jofė, Rentgeno vadovaujamas, o paskui konsultuodamasis su juo, beveik dešimtį metų tyrė šviesos įtaką kristalų elektros laidumui, atskleidé šio reiškinio prigimtį. Deja, tie rezultatai Rentgenui vis atrodė nepakankamai pagrįsti (i entuziastingą Jofės pranešimą apie pastebétą naują efektą Rentgenas atsakė atviruku: „Aš laukiu iš jūsų rimto darbo, o ne sensacingų atradimų“). Tik po dešimtmecio dalis tų rezultatų buvo paskelbti, o kita dalis liko Rentgeno archyve ir dingo po jo mirties.

I pasaulinio karo metais Rentgenas neteko savo santaupų ir gyveno gana vargingai. Nežiūrint to, jis atsisakinėjo bet kokių privilegių, netgi eidavo į valgyklą su svarstyklėmis, kad galėtų patikrinti, ar jam neįdedama didesnė porcija. Rentgenas neužsi-krėtė šovinistinėmis nuotaikomis, kurios karo metais buvo būdingos daliai vokiečių mokslininkų. Tai dar labiau pakurstė šmeižto ir apkalbų kampaniją, kurios iniciatorius buvo F. Lenardas. Pastarasis stengési X spindulių atradimą priskirti sau pačiam, nes esą Rentgenas juos aptikęs, naudodamasis jo konstrukcijos vamzdžiu. (Po Rentgeno mirties fašizmo metais Lenardui buvo pavykę trumpam laikui juos pavadinti Lenardo spinduliais.) 1919 m. mirė Rentgeno žmona, ir jis pajuto, jog jo „egzistavimo mechanizme trūksta nepakeičiamos dalies“. Netrukus Rentgenas pasitraukė į pensiją, o dar po poros metų sunkiai susirgo. Gydytojai pripažino vėžį. Galbūt tai buvo jo bandymų su X spinduliais padarinys. Tiesa, ši liga buvo nustatyta irgi naudojantis jo atrastaisiais spinduliais. Keli mėnesiai prieš mirtį, vargu ir ligos iškamuotas, Rentgenas rašė: „Mano gyvenimas atrodo man toks betikslis“. Jis pageidavo, kad po mirties visas asmeninis jo archyvas būtų sunaikintas, ir Rentgeno valios vykdytojai akrai išpildė ši norą. Mirė Rentgenas 1923 m. vasario 10 d., turėdamas 78 metus.

Vokiečių mokslo istorikas F. Hernekas, vertindamas Rentgeno mokslinę veiklą, rašė: „Rentgeną galima pavadinti vokiečių eksperimentinės fizikos sąžine. Jis ryškiausiai įkūnijo empiriškai

dirbančio gamtos tyrinėtojo, atidaus ir blaivaus gamtos stebėtojo tipą. Bet jo mokslinės individualybės didingumas, viso jo gyvenimo mokslinės veiklos didingumas pranoksta tos tyrinėtojų klasės, kuriai jis priklausė, ribas".

Rentgenas kartu su A. Lorencu (Lorentc), M. Planku ir kitais žymiausiais tos kartos astovais buvo klasikinės fizikos šalininkai, bet, labai įdėmiai ir sąžiningai tirdami gamtą, jie padarė atradimus, kurie sukėlė klasikinės fizikos krizę ir atvérė kelius naujai keistai XX a. fizikai.

SPINDULIU PRIGIMTIS

X SU DAUGELIU NEŽINOMUJŲ

1896 m. pradžioje Rentgenas rašė buvusiam savo asistentui Cenderiui (Zehnder): „Kokia spinduliu prigimtis, man visai neaišku, ar iš tikrujų jie yra išilginės šviesos bangos, man šalutinis klausimas. Svarbiausia — faktai“. Neturėdamas faktų, kurie atskleistų naujujų spinduliu prigimtį, Rentgenas payadino juos X, t. y. nežinomaisiais, spinduliais.

Katodinius spindulius sudarančios neigiamo krūvio dalelės, stabdomos vamzdžio stiklo arba anodo (antikatodo), īgyja pagreitę, vadinas, turi spinduliuoti elektromagnetines bangas. Todėl Rentgenui, kaip ir kitiems mokslininkams, atrodė labiausiai įtikima hipotezė, jog X spinduliai yra naujos rūšies elektromagnetinės bangos. Tačiau kodėl nepastebėta jų banginių savybių — lūžio, difrakcijos arba poliarizacijos? Rentgeno prielaida, jog tai — išilginės elektromagnetinės bangos (kad tokios bangos galinčios egzistuoti, anksčiau buvo spėjė čekas Jaumanas (Jaumann) ir kiti mokslininkai), deja, nebuvo be priekaištų. I tai tuoju atkreipė dėmesį teoretikai, tarp jų ir A. Puankaré, o vėliau buvo įrodyta, kad elektromagnetinis laukas negali turėti išilginės komponentės. Kiti mokslininkai, pavyzdžiui, anglas V. H. Bragas (Bragg), buvo tos nuomonės, kad Rentgeno spinduliai, kaip ir katodiniai, yra dalelių srautas, nors sunku buvo paaiškinti naujujų spinduliu skvarbumą. Netrukus po Rentgeno atradimo beveik vienu metu ir nepriklasomai P. Lebedevas, E. Vichertas (Wichert) ir A. Šusteris (Schuster) iškėlė hipotezę, kad Rentgeno spinduliai yra „neregimoji šviesa“, panaši į ultravioletinius spindulius, tik dar trumpesnio bangos ilgio. P. Lebedevas savo paskaitoje, skaitytoje 1896 m. sausyje Maskvos visuomenei, pažymėjo,

jog tokiu bangu lūžio rodiklis turėtu būti artimas vienetui, todėl būtų labai sunku stebėti jų lūžį arba atspindį. Anglas Dž. Stokas (Stokes) pateikė dar vieną prielaidą, jog Rentgeno spinduliai yra elektromagnetiniai spinduliai, išspinduliuojami ne periodiškai, o trumpais impulsais, todėl neturintys konkretaus bangos ilgio. Nors „neperiodinis impulsas“ gana miglota sąvoka, toji hipotezė bene labiausiai paplito tarp fizikų.

Kartais mokslininkai atranda reiškinius, kurių prigimtis paaikiėja iš karto. Dažniausiai tai būna seniai laukti, teoriškai numatyti reiškiniai. Rentgeno spinduliai buvo netikėtas atradimas, ir, siekiant atskleisti jų prigimtį, teko eiti ilgu bei vingiuotu eksperimentinių ieškojimų keliu.

Bangos užlinksta — difraguoja, praeidamos pro plyši arba sutikusios kliūti, bet tik tada, kai pastarųjų matmenys yra artimi bangos ilgiui. Antai, jei žiūrėsime į elektros lemputę pro tarpą tarp dviejų pirštų, maždaug lygų 0,5 cm, tai matysime įprastinį vaizdą, bet, tarpą sumažinę maždaug ligi 0,1 mm, pamatysi me difrakciją, — šviesos šaltinio vaizdas tarsi išsitemps skersai plyšio (mat regimosios šviesos bangos ilgis apie 0,0006 mm). Jeigu Rentgeno spinduliai yra elektromagnetinės bangos, dar trumpesnės negu ultravioletiniai spinduliai, tai, kad matytume jų difrakciją, reikia nepaprastai siauro plyšio. 1899 m. olandų fizikai H. Haga (Haga) ir C. Vindas (Wind) apšvietė Rentgeno spinduliais siaurą pleišto formos plyši, išpjautą storuje švino plokštėje, ir ji nufotografavo. Plyšio atvaizdas prie smailumos buvo siek tiek išplitęs. Tuo remdamiesi, Haga ir Vindas padarė išvadą, jog Rentgeno spindulių bangos ilgis ne didesnis kaip viena dešimtoji nanometro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Daugumos mokslininkų šis rezultatas neįtikino: skeptikai teigė, kad toks išplitimas galėjęs atsirasti ir dėl fotografinių efektų. 1907—1908 m. eksperimentą tiksliau pakartojo B. Valteris (Walter) ir R. Polis (Pohl). Jie paneigė savo pirmąjį rezultatą, deja, kaip vėliau paaikiéjo, patys suklydo.

1902 m. R. Blondlo — tas pats, kuris buvo atradęs nesamus N spindulius — atliko gana išmoningą bandymą, norėdamas nustatyti, koks yra Rentgeno spindulių greitis. Rezonansiniai elektros virpesių kontūrai įjungdavo Rentgeno spindulių detektorių, praėjus tam tikram laikui nuo jų impulso generavimo momento. Detektoriaus veikimo principas pagrįstas Rentgeno spindulių geba jonizuoti orą: jais apšvietus tarpą tarp įelektrintų laidininkų, lengviau prašokdavo kibirkštis. Nors Blondlo bandymo paklaidos buvo gana didelės, jo rezultatai liudijo, jog Rentgeno spinduliai sklinda maždaug tokiu pat greičiu kaip šviesa. Deja, netekti pasitikėjimo lengviau, negu ji susigrąžinti. Fizikai patikėjo Blondlo

išvada tik po kelerių metų, kai panašų eksperimentą atliko E. Marksas (Marx).

Skersinėje bangoje dalelės gali svyruoti įvairiomis kryptimis, statmenomis bangos sklidimo krypciai. Jeigu svyravimo kryptis yra apibrėžta arba keičiasi dėsningai, tai sakoma, jog banga yra poliarizuota. XX a. pradžioje manyta, jog, sklindant elektromagnetinei bangai, svyruoja eterio — tam tikros besvorės, mūsų pojūčiais nejuntamos medžiagos, užpildančios Visatą,— dalelės. Tik vėliau, Einšteinui sukūrus specialiąjį reliatyvumo teoriją, eterio idėjos buvo atsisakyta ir įrodyta, jog elektromagnetinei bangai sklisti nereikia jokios medžiaginės aplinkos (bangoje svyruoja elektrinio ir magnetinio lauko stiprumas). Iprastinė šviesa nėra poliarizuota, bet, praėjusi pro tam tikras medžiagas arba išsklaidyta, ji tampa iš dalies ar visiškai poliarizuota. Jeigu Rentgeno spinduliai yra skersinės elektromagnetinės bangos, tai jos taip pat turi poliarizotis. Jų poliarizacijos émési ieškoti 1904 m. anglas Čarlzas Barkla (Barkla). Ištyrës išsklaidytus Rentgeno spindlius, jis parodė, kad jie elgiasi kaip poliarizuotos skersinės bangos.

Naudodamasis tomis pačiomis, gana paprastomis, priemonėmis (matuodamas Rentgeno spindulių intensyvumą elektroskopu), Barkla sugebéjo padaryti dar vieną svarbū atradimą: jis aptiko vadinamuosius būdinguosius Rentgeno spindlius.

Dar Rentgenas savo trečiajame straipsnyje apie X spindlius rašė, jog katodinis vamzdis skleidžia nevienodos skvarbos — kietuosius ir minkštusios — spindlius. Tame pačiame darbe Rentgenas pažymėjo, jog įvairūs kūnai, apšvesti X spinduliais, patys ima skleisti X spindlius, kitaip sakant, išsklaido juos į visas puses. 1908 m. Barkla tyré, ar spindiliuose, išsklaidytuose įvairių elementų, yra toks pat kietųjų ir minkštųjų Rentgeno spindulių santykis, kaip pradiniame jų pluoštelyje. Ištyrë periodinės lentelės elementus nuo cinko ligi chromo, Barkla ir jo bendradarbis Sadleris atrado tarp kiekvieno elemento skleidžiamų Rentgeno spindulių tam tikrus, tik tam elementui būdingos skvarbos spindlius. Regimojoje šviesoje, kurią skleidžia ikaitę įvairūs elementai, jau seniai buvo aptikti būdingų kiekvienam elementui (tam tikrų bangos ilgių) spinduliai, pavyzdžiui, natrio spindulių spektre matoma geltona linija atitinka bangos ilgi 589,6 nm. Taigi Barkla ir Sadleris rado dar vieną optinių ir Rentgeno spindulių bendrą ypatybę.

Atrodytų, šie rezultatai, ypač Rentgeno spindulių poliarizacija, neginčiamai įrodo, jog jie yra skersinės elektromagnetinės bangos. Betgi tuo metu korpuskulinės teorijos šalininkai rado faktų, paremiančių jų nuomonę. 1905 m. žinomas vokiečių fizikas

V. Vynas (Wien) pastebėjo, jog, apšvietus medžiagą Rentgeno spinduliais, iš jos išlekia elektronai. Pastarųjų energija nekinta, net žymiai sumažinus Rentgeno spindulių intensyvumą. Ši rezultatą lengva paaiškinti, tarus, kad Rentgeno spindulius sudaro dalelės: energija, kurią suteikia elektronui smogusi dalelė, nepriklauso nuo dalelių skaičiaus sraute (srauto intensyvumo). Kitoks rezultatas, prieštaraujantis Vyno išvadai, turėtų būti pagal banginę teoriją: bangos suteiktą elektronui tuo daugiau energijos, kuo jos intensyvesnės.

Vyno bandymus pratešė V. Bragas ir Dž. Madsenas, pasinaudoję ką tik išrastu prietaisu — Vilsono kamera. Idėjus į ją metalo plokštelių ir apšvietus Rentgeno spinduliais, buvo galima stebeti išmuštų elektronų pėdsakus. Mat kameroje buvo persotinti vandens garai, o elektronas savo kelyje jonizuodavo atomus, ir šie jonai tapdavo garų kondensacijos centrais. Taip elektrono kelyje susidarydavo vandens lašelių pėdsakas. Mokslininkai nustatė, jog dauguma elektronų lekia prateidami Rentgeno spindulių kelią, o jų energija artima katodinių spinduliu, sužadinusiu Rentgeno spindulius, energijai. Bragas rašė: „Elektronų virsme Rentgeno spinduliais ir priešingame procese nepastebima energijos nuostolių: antrinių elektronų greitis nepriklauso nuo atstumo, kurį praejo Rentgeno spinduliai, taigi judančių Rentgeno spindulių energija neišskaidoma; vadinasi, juos sudaro korpuskulos“.

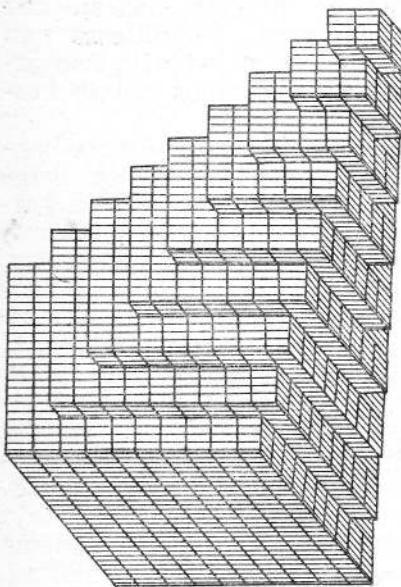
Regis, fizikai susidūrė su paradoksu: spinduliai įvairiuose bandymuose elgési kaip priešybės — tai bangos, tai dalelės. Betgi šis paradoktas buvo ne naujas. Rentgeno spindulių istorija kartojasi šviesos tyrimų istoriją — čia ginčai tarp banginės ir korpuskulines teorijų šalininkų permainingai vyko kelis šimtmecius. XIX a. pradžioje, atrodo, galutinai nugalejo banginė šviesos teorija, paaiškinusi šviesos difrakcijos ir interferencijos reiškinius. Tačiau amžiaus pabaigoje buvo atrastas fotoefektas — reiškinys, panašus į tirtąjį Vyno ir Brago: apšvietus medžiagą trumpesniu bangų spinduliais, iš jos išlekia elektronai. Taigi šiuo atveju šviesa elgési kaip korpuskulu srautas. 1901 m. Plankas, norėdamas paaiškinti spinduliavimo dėsnį, padaré prielaidą, jog šviesa spinduliuojama porcijomis, arba kvantais. Jis gavo formulę $E = hv$, kurioje E — kvanto energija, v — šviesos dažnis, o h — nauja fundamentali konstanta, lygi $6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s (dabar ji vadinama Planko konstanta). O 1905 m. Einšteinas žengė dar vieną žingsnį, išteisindamas šviesos dvilypumą: jis iškélé hipotezę, jog šviesa ne tik spinduliuojama, bet ir sklinda kvantais, nors šių energiją pagal Planko formulę lemia virpesių dažnis — tikrai banginė jos charakteristika. Tuo remdamasis, Einšteinas galėjo paaiškinti fo-

toefektą, nors nei jis, nei kuris kitas fizikas dar negalėjo atsakyti į klausimą, kaip gali tas pats objektas būti ir bangą, ir dalelę. Šis paradoksas paaiškėjo tik sukūrus kvantinę mechaniką.

Galbūt ir Rentgeno spinduliai yra panašūs kentaurai? Jeigu jų bangos ilgis trumpas, tai kvantų energija pagal Planko formulę turėtų būti labai didelė. 1907 m. Vynas kartu su kitu vokiečiu fiziku J. Starku (Stark) apskaičiavo Rentgeno spindulių kvanto energiją, tare, jog elektronas (katodinių spindulių dalelė) perduoda jam visą savo energiją. Naudodamiesi Planko formule, jie apskaičiavo, jog Rentgeno spindulių bangos ilgis turėtų būti maždaug penkios šimtrosios nanometro. Šis rezultatas gerai sutapo su Hagos ir Vindo (taip pat 1912 m. tiksliau pakartojuusių jų bandymą A. Zomerfeldo (Sommerfeld) bei Valterio Paulio (Pauli)), taikiusiu kitą būdą, rezultatais.

Vis dėlto 1912 m. Rentgeno spinduliai tebebuvo reiškinys su daugeliu nežinomųjų. Jų suprasti padėjo tais metais atliktas vienės tikslus ir aiškus bandymas.

LEMIAMAS BANDYMAS



4 pav. XIX a. fiziko A. Hajuji piešinys — taip jis išsivaizdavo vidinę kristalo struktūrą

Dar XVIII a. prancūzas René Hajuji (Haüy) pateikė hipotezę, jog kristalai yra sudaryti iš mažyčių plytelių, kurias jis pavadino „integruojančiomis molekulėmis“ (4 pav.). XIX a. viduryje O. Bravé (Bravais) patobulino kristalo modelį: jis paketė plytėles taškinėmis molekulėmis, išdėstytomis periodiškai pasikartojančia tvarka erdvėje. Toks taisyklingas kristalo sandaros modelis buvo pavadintas kristaline gardele. Kadangi šios hipotezės ilgą laiką nebuvo galima nei patvirtinti, nei paneigti bandymais, fizikai ją primiršo. Vienas iš nedaugelio mokslo centrų, kur kristalinės gardelės idėja išliko gyva, buvo Rentgeno vadovaujamas Miuncheno universiteto Fizikos institutas. Mat čia ligi 1897 m.

dirbo L. Zonkė (Sohncke), kuris matematiškai nagrinėjo atomų išsidėstymo kristale problemą, ir instituto kolekcijose buvo kri-
talų gardelių modelių.

Rentgenas, nors ir būdamas eksperimentuotojas, stengėsi su-
burti Miuncheno universitete ir stiprią teoretikų grupę. Nepai-
sydamas kai kurių matematikų protestų, jis pakvietė vadovauti
teorinės fizikos katedrai žymų fiziką A. Zomerfeldą. Kartu atvyko
ir jo asistentas P. Debajus (Debye). Netrukus iš Berlyno į Miun-
cheną atsikėlė ir jaunas fizikas, geriausias M. Planko mokinys
M. Laujė. Jis nesenai buvo apgynęs daktaratą iš šviesos difrak-
cijos reiškinii ir toliau domėjos tais klausimais, garsėdamas tarp
kolegų kaip matematikos žinovas.

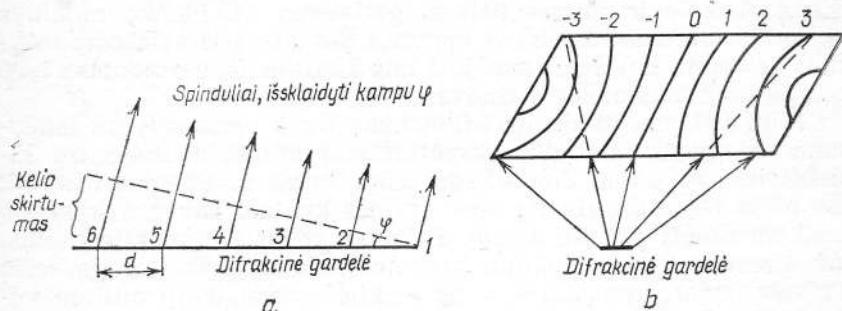
Taigi 1912 m. pradžioje Miunchene buvo visos sąlygos lemia-
mam Rentgeno spinduliu eksperimentui atliliki. Reikėjo tik ki-
birkštėlės. Ją iškélé Zomerfeldo doktorantas P. Evaldas (Ewald),
tuo metu rašęs disertaciją apie optines kristalų savybes ir atėjęs
pasikonsultuoti pas M. Laujė. Pokalbio metu Laujei kilo mintis,
jog atstumai tarp molekulių kristale (tada manyta, jog gardelės
karkasą sudaro molekulės, o ne atskiri atomai, kaip nustatė vė-
liau tévas ir sūnus Bragai) yra maždaug to paties dydžio, kaip
Rentgeno spinduliu bangos ilgis, todėl kristalas sudaro natūralią
difrakcinę gardelę Rentgeno spinduliu difrakcijai stebeti.

Dirbtinės difrakcinės gardelės jau seniai buvo naudojamos
bandymuose su regimaja šviesa. Tokia gardelė — tai stiklo arba
kvarco plokštélė su daugybe lygiagrečių réželių, iрéžtų vienodais
atstumais vienas prie kito. Gardelę apšvietus, kiekvienas réželis
išsklaido spindulius ivairiomis kryptimis — tampa tarsi mažyciu
spinduliu šaltiniu. Išsklaidytį nuo ivairių réželių to paties ban-
gos ilgio spinduliai ivairiose vietose sustiprina arba susilpnina
vienas kitą (interferuoja), žiūrint koks ten būna jų fazų skirtumas.
Pavyzdžiui, jeigu tam tikra kryptimi vienos šviesos bangos
maksimumas susideda su kitos bangos minimumu, tai jos panai-
kina viena kitą, o priesingu atveju, kai bangų fazės vienodos,
jos viena kitą sustiprina. Kad susidarytų difrakcinis vaizdas, gar-
delė turi būti apšviečiama pluošteliu monochromatiniu (vienodo
bangos ilgio) spinduliu, kurių bangos ilgis maždaug lygus atstu-
mui tarp réželių (5 pav.). Kadangi buvo manoma, jog Rentgeno
spinduliu bangos ilgis — tik apie 10^{-10} m, tai atrodė neįmanoma
pagaminti jiems difrakcinės gardelės.

Anot Bravés, kristale yra daug lygiagrečių sluoksnii, kuriuo-
se molekulės arba atomai sudaro taisyklingas eiles ir kolonas.
Tad Laujė išivaizdavo kristalą kaip daugybę dvimačių gardelių,
sudėtų viena už kitos (6 pav.). Jis apskaičiavo, kad, spindu-
liams praėjus pro tokią sistemą, turėtų susidaryti sudetingas

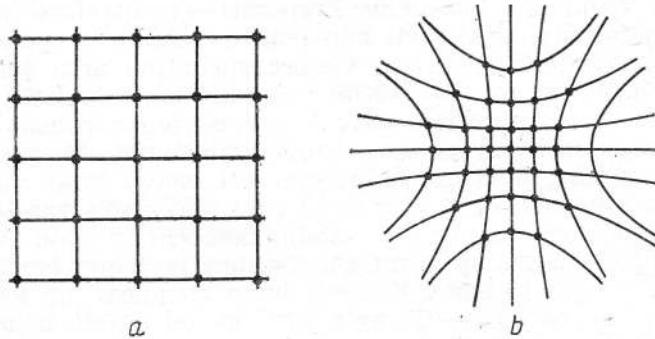
difrakcinis vaizdas: šviesūs taškai, išsidėstę tam tikrais atstumais simetriškai Rentgeno spinduliu krypties atžvilgiu.

Šią idėją Laujé aptarė su savo draugais. Sekmadieniais jie susirinkdavo kavinėje, diskutuodavo įvairiais klausimais. Ši kartą irgi nebuvo prieita vieningos nuomonės. Rentgeno asistentas E. Vagneris priminė, jog panašų bandymą — apšvesti kristalą Rentgeno spinduliais — buvo atlikęs dar jų atradėjas ir gavęs



5 pav. Vienmatės (tiesinės) difrakcinės gardelės, sudarytos iš lygiais atstumais išdėstytyų sklaidančiųjų centrų, veikimas:

a — schema, iliustruojanti spinduliu, kuriuos išsklaido tam tikru kampu įvairūs centrali ($n=1, 2, 3, 4, 5, \dots$), kelio skirtumą (spinduliu sustiprina vienas kita, jei kelio skirtumas $d \sin \psi$ lygus sveikam bangų skaičiui $m\lambda$); b — difrakcinis vaizdas, susidarančius plokštumoje, kai į gardelę krinta vienodo bangos ilgio spinduliu pluoštas. Intensyvumo maksimumai sudaro hiperbolės, kurios tenkiniai aukščiau nurodytą sąlygą (skaičiai reiškia m vertes — spektro eilę).

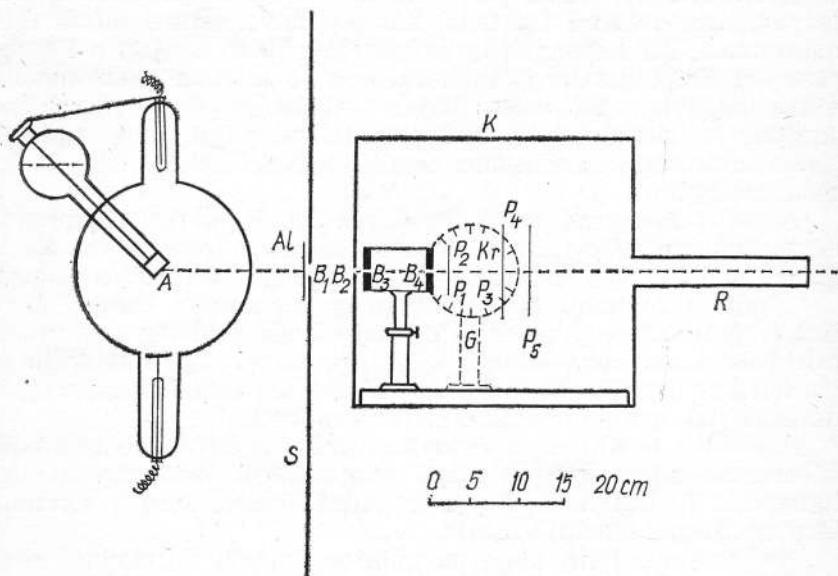


6 pav. Dvimatė (plokšcia) difrakcinė gardelė, sudaryta iš vienmačių gardelių, išdėstytyų lygiagrečiai viena kitai dviem kryptimis (a), ir jos difrakcinis vaizdas (b)

Difrakcinį vaizdą sudaro sistema taškų, esančių dviejų hiperbolų šeimų susikirtimuose. Erdvinių gardelėi galioja dar viena papildoma sąlyga: difrakcinis vaizdas pamašus, kaip ir dvimatės gardelės, bet jis susidaro krintant ne bet kokio, o tik tam tikro bangos ilgio spinduliams.

neigiamą rezultatą. O juk jis praktiškai nedarąs klaidų. Vis dėlto jaunas eksperimentuotojas Frydrichas pasiryžo patikrinti Laujės idėją, o Vagneris susiginčijo su Laujė iš šokolado dėžutės, jog eksperimentas nepavyksts.

Frydricho mokslinis vadovas Zomerfeldas nepritarė savo assistento entuziazmui ir nesutiko, kad jis, atidėjęs numatytaus darbus, imtusi naujo bandymo. Anot Zomerfeldo, kristalas neturėtų duoti difrakcinio vaizdo, nes atomai gardelėje svyruoja apie pusiausvyros padėtis, iškraipydami jo taisyklingą struktūrą. Frydrichui teko atliliki eksperimentą slapčiomis arba po darbo. Iš pradžių jam nesisekė, išlydžio vamzdžio traškėjimas trukdė atliliki bandymus Rentgeno doktorantui Pauliui Knipinguui (Knipping), dirbusiam tame pačiame kambaryje. Knipinges atėjo į pagalbą Frydrichui. Jis pristatė fotografinių plokštelių įvairose vietose apie kristalą (7 pav.), kad ką nors pavyktų pastebėti. Ir iš tikro toje plokštéléje, kuri buvo padėta Rentgeno spindulių pluoštelio ašyje, atsirado lauktas difrakcinis vaizdas (13 nuotr.).



7 pav. V. Frydricho ir P. Knipingo bandymo Rentgeno spindulių difrakcijai stebėti schema

Iš Rentgeno spindulių pluošto, kurį skleidžia Rentgeno vamzdžio anodas A, diafragmos B_1 , B_2 , B_3 , B_4 išskirta staurų spindulių pluošta. Jis krinta į kristalą Kr, įtaisyta ant goniometro G, kad būtų galima pasukti kristala norimi kampu. Įvairose vietose apie kristalą išdėstytos fotoplokštėles P. Prietaisas sumontuotas švininlame gaubte K. S — švininis ekranas, R — vamzdis, pro kurį iš prietaiso išleidžiama dalis Rentgeno spindulių. (Annalen der Physik, 1912, 41 t., p. 979.)

Zomerfeldui šis rezultatas padarė įspūdį, ir atradėjams buvo sudarytos visos sąlygos teсти bandymą su geresniais kristalais. Tuo tarpu Rentgenas nustebo ir ne iš karto patikėjo, kad rezultatas teisingas.

Kodėl gi Rentgenui prieš 17 metų nepavyko aptikti šio reiškinio? Tiesa, jam nebuvo atėjusi mintis, kad kristalą galima panaujoti kaip difrakcinę gardelę, bet, manydamas, jog atomai kristale išsidėstę taisyklungai, jis panašiu bandymu stengėsi patikrinti, ar kristalas sugeria bei išsklaido X spindulius nepriklausomai nuo jų sklidimo krypties. Deja, Rentgenas prispausdavo fotografinę plokštelynę prie pat kristalo, o antra, jis naudojo daug silpniesnius spindulių pluoštelius, todėl, net padėjus plokštelynę į reikiamaą vietą, efektas būtų buvęs sunkiai pastebimas.

Gautus rezultatus Laujé, Frydrichas ir Knipinges išdėstė bendrame straipsnyje. F. Hernekas knygoje „Atomo amžiaus pionieriai“ rašo: „Tai, kad publikacijos pradžioje buvo išdėstyta teorinė dalis, kurios autorius buvo Laujé, neatitiko tikrosios ivykių eigos, kuria buvo prieita prie atradimo. Išsamiai kiekybiškai Laujé paaiškino reiškinį tik tada, kai jau buvo gautos difrakcinės nuotraukos. Bet kadangi pagrindinė idėja buvo Laujés, o Frydrichas bei Knipinges be jo iniciatyvos ir jo teorinio plano nebūtų atlikę bandymo, tai visas darbas teisėtai aprašytas bendrame straipsnyje. Darbe taip pat atsispindi, kad pagrindinis vaidmuo šiame atradime, nutiesusiamе naujus mokslo kelius, teko teoriām mąstymui“.

Atradus Rentgeno spinduliuų difrakciją, iš karto išsisprendė dvi problemos. Visų pirma, buvo akivaizdžiai įrodyta, jog Rentgeno spinduliai yra elektromagnetinės bangos, tos pačios prigimties, kaip ir regimoji šviesa, tik daug trumpesnio bangos ilgio. Antra, pasitvirtino hipotezė, jog kristalinės medžiagos, kurioms priskiriama dauguma kietujų kūnų, yra sudarytos iš taisyklungų gardelių. O svarbiausia, buvo rastas metodas tiek Rentgeno spinduliams, tiek ir vidinei kristalų struktūrai tirti.

Frydricho ir Knipingo bandymas įminė ir Rentgeno spinduliuų skvarbumo mišlę: kietieji kūnai yra skaidrūs Rentgeno spinduliams, nes jų bangos ilgis yra to paties dydžio, kaip ir atstumai tarp medžiagos dalelių kristale.

Laujegramos (taip buvo pavadinčios kristalų difrakcinės nuotraukos) sukėlė ne mažesnį fizikų susidomėjimą, kaip pirmosios Rentgeno nuotraukos. Einšteinas susižavėjęs rašė savo draugui: „Tai nuostabiausias dalykas, kokį aš kada nors esu matęs. Difrakcija nuo atskirų molekulų, kurių išsidėstymas tampa toks akivaizdus!“ Reikia pripažinti, jog ligi 1912 m. nemaža dalis fizikų dar abejojo atomų realumu. Dabar, anot Laujés, taip pat

patikimai įrodyta, kad egzistuoja atomai, kaip ir žvaigždės. „Atomai tapo matomi“, — 1913 m. pripažino vienas iš atkakliausių atomų priesininkų Vilhelmas Ostvaldas (Ostwald).

Laujé pasitenkinio gavęs bendrą įrodymą ir nesiémė jo taikyti bei konkretių kristalų tirti. Vėliau jis sėkmingai sprendé reliatyvumo teorijos, superlaidumo bei kitas problemas. V. Frydrichas netrukus perėjo dirbtį į Freiburgo universiteto Medicinos fakultetą, kur taikė Rentgeno spindulius medicinoje ir biologijoje. P. Knipingas liko ištikimas Rentgeno spindulių difrakcijos tyrimams, bet žymesnių rezultatų nepasiekė.

1915 m. M. Laujeli už Rentgeno spindulių difrakcijos atradimą buvo paskirta Nobelio premija. Kodėl vien tik Laujeli? Iš šių klausimų turbūt atsako aukščiau cituoti F. Herneko žodžiai. Frydrichas ir Knipingas be Laujės nebūtų atlikę šio bandymo, tuo tarpu, jeigu ne jie, Laujės idėją būtų patikrinę kiti eksperimentatoriai. Be to, Nobelio premijų komitetas atsižvelgia ir į visus mokslininko darbus, jo vietą mokslo hierarchijoje; iš trijų atradėjų tik Laujé buvo pirmojo ryškio mokslo žvaigždė, — tai patvirtino ir tolesnis jų likimas. Vis dėlto Laujé trečdalį savo premijos viešai perdavė atradimo bendraautoriams.

BANGOS ATSISPINDI NUO KRISTALU

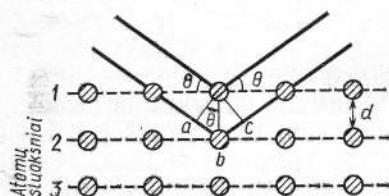
Laujé, priešingai Rentgenui, neišpuoselėjo savo atradimo. Jo Rentgeno spindulių difrakcijos teorija buvo gana sudėtinga, ja naudojantis, buvo galima nustatyti tik santykinius Rentgeno spindulių bangos ilgius ir atstumus tarp atomų kristale. Auklių vaidmenį atliko anglai Bragai — tévas Viljamas Henris ir sūnus Viljamas Lourensas.

Bragas tévas buvo vienas iš atkakliausių korpuskuliniés Rentgeno spindulių prigimties šalininkų. Betgi dar labiau negu savo teorija jis tikėjo faktais. Bragas iš karto įvertino galimybes, kuriuos atvérė Laujės atradimas, ir émési taikymų. „Dél to (apie Rentgeno spindulių prigimti) galima pasiginčyti atskirai, — rašė jis savo draugui E. Rezerfordui (Rutherford), nujausdamas, jog elektromagnetinių bangų korpuskulinių savybių problema dar laukia savo sprendimo, — o dabar aš jums pateiksiu faktus“.

Bragas sūnus, prisimindamas tuos laikus, vėliau rašė: „Man atrodo, jog viena iš svarbiausių priežasčių, kodėl rentgeninė analizė buvo tobulinta mano tévo laboratoriuje Lidse, nors pagrindinis atradimas buvo padarytas Vokietijoje, buvo ta, jog tévas turėjo didžiulį patyrimą atlikti jonizacinius matavimus su prieinama tais laikais gana primityvia aparatūra“. Jaunesnysis Bra-

gas kukliai nutylėjo, jog ne mažesnį vaidmenį suvaidino ir jo paties, ką tik baigusio Kembridžo universitetą, jaunatviškas entuziazmas ir teorinės idėjos.

Lourensas Bragas išvystė ir patikslino Laujės teoriją. Jis įro-dė, jog difrakcinis vaizdas turi susidaryti ne tik Rentgeno spinduliams praėjus pro kristalą, kitoje jo pusėje, bet ir prieš jį, jei tik spindulių pluošteliš krinta ištrižai kuriai nors vidinei kristalo plokštumai (8 pav.). Atomai išsklaido Rentgeno spindulius į visas puses, bet bangos gesina viena kitą visomis kryptimis, išskyrus vieną, kuri yra plokštumoje, statmenoje kristalo plokštumai (atomų sluoksnui), ir sudaro su ja tą patį kampą, kaip ir krintantieji Rentgeno spinduliai. Toji kristalo plokštuma tarsi atspindi Rentgeno spindulius. Bet taip būna tik tuomet, kai krintančiuju



8 pav. Šitaip kristalo atomų sluoksniai išsklaido Rentgeno spindulius

Iš spinduliu, išsklaidytu atispindint nuo 1, 2 (ir tolimesnių) sluoksniių, vienas kitą supaprina tik sklindantieji tokiu kampu, kur papildomas kelių skirtumas abc yra lygus sveikam bangų skaičiui. d — gardelės konstanta.

Rentgeno spinduliu bangos ilgis λ tenkina lygti:

$$m\lambda = 2d \sin \Theta;$$

čia d — gardelės konstanta (atstumas tarp dviejų plokštumų — dviejų atomų sluoksniių), Θ — kampus, papildantis kritimo kampą ligi stačiojo, o m — sveikas teigiamas skaičius (kampu Θ atispindi ne tik λ ilgio, bet ir kartotinio jam bangos ilgio spinduliai).

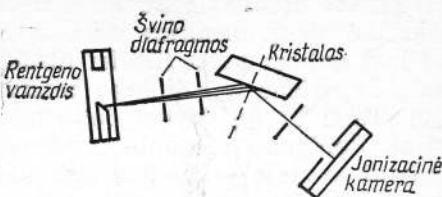
Lygtį Bragas gavo, pareikalavęs, kad Rentgeno spinduliu, atispindėjusių nuo dviejų atomų sluoksniių, kelio skirtumas būtų lygus sveikajam bangų skaičiui,— tik tuo atveju bangos supaprina viena kitą.

Nepriklausomai šią lygtį gavo ir maskvietis mokslininkas Vulfas. Jis tuo metu buvo pasitraukęs iš Maskvos universiteto, protestuodamas prieš reakcingus švietimo ministro veiksmus. Draugai perspėjo Vulfą, jog angliskame žurnale pasirodė Bragų preliminarinis pranešimas apie jų darbus iš Rentgeno spinduliu difrakcijos, bet Vulfas pavélav'o išspausdinti savo rezultatus.

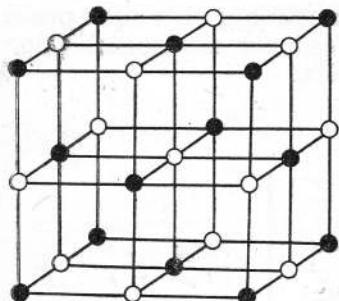
Kol Bragas sūnus kūrė difrakcijos teoriją, tėvas sukonstravo prietaisą, kurį pavadino jonizaciniu spektrometru. Rentgeno spinduliai praeidavo pro dvi diafragmas — plyšius švino plokšteliése — ir siauras jų pluošteliš krisdavo į kristalą, padėtą ant suka-mo stalelio (9 pav.). Difragavusių spinduliu intensyvumas buvo matuojamas jonizacine kamera (Rentgeno spinduliai jonizuoda-

vo dujas, susidare jėjai ir elektronai, elektros lauko veikiami, sukurdavo srove, kurios stiprumas proporciniag spindulių intensyvumui).

Su šiuo prietaisu abu Brago ėmësi terti vieną iš pa- prasciausią kristalinių me- džiagų — valgomają druską. Naudodamiesi klaidų ir bandymų metodu — spėdami jos gardelės struktūrą, po to apskaičiuodami, koks difrakcinis vaizdas susidaro, atispindėjus nuo įvairių gardelės plokštumų, ir lygin- dami tai su matavimų rezultatais, jie nustatė druskos kristalo struktūrą. Ji priminė trimatę šachmatų lentą, sudarytą iš teigiamų natrio ir neigiamų chloro jonų (10 pav.). Ligi tol fizikai ir chemi- kai manė, jog gardelės mazguose yra ne atomai, bet molekulės. Taigi, naudodamiesi Rentgeno spinduliais, mokslininkai pirmą kartą tiesiogiai nustatė, kaip išsidėstę atomai kristalo viduje. Se- nas kristalografijos mokslas tarsi atgimė iš naujo.

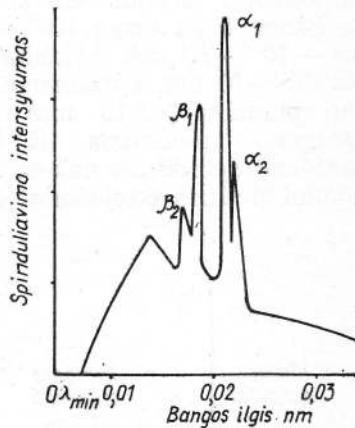


9 pav. V. H. Brago sukonstruoto ioniza- cinio spektrometro schema.



10 pav. Valgomosios druskos kristalinė struktūra, pirmoji nu- statyta Rentgeno spindulių dif- rakcijos metodu.

Juodi skritulėliai vaizduoja neigiamus chloro jonus, o balti — teigiamus nat- rijo jonus.

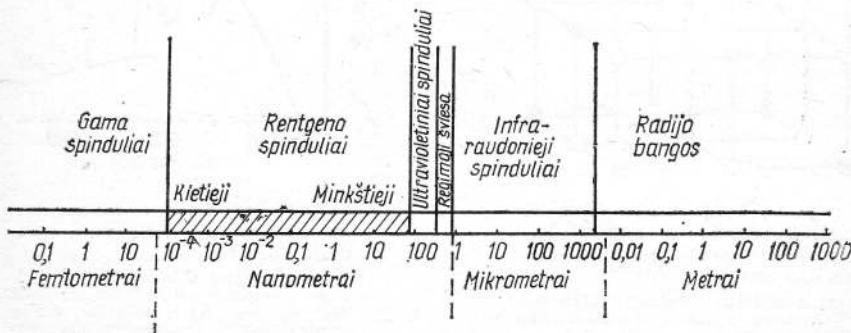


11 pav. Masyvaus volframo anodo (antikatodo) Rentgeno spin- duliu spektras

Tolydinį spektrą skleidžia anodo stab- domi elektroni. Siauri maksimumai (α_1 , α_2 , β_1 , β_2) — volframo atomų spinduliuojamos būdingosios Rentgeno linijos. Iš trumpesnių bangų pusės tolydinis spektras staigiai baigiasi (λ_{\min}), nes kvanto energija ($h\nu$) negali būti didesnė už stabdomojo elektrono energiją (eU), igyta elekt- rišiame lauke, kurio itampa U .

Zinant druskos gardelės struktūrą, taip pat jos tankį ir molekulinę masę, nesunku buvo apskaičiuoti gardelės konstantą. O tuomet galima gana tiksliai nustatyti absolutinį (o ne santykinį, kaip Frydricho ir Knipingo bandyme) Rentgeno spinduliuų bangos ilgi. Taigi Bragų darbai davė pradžią ir rentgeninei spektroskopijai. Rentgeno spinduliuų spektrui tirti tiko tas pats prietaisas. Sukant kristalą — keičiant spinduliuų kritimo kampą,— atsisprendavo vis kito bangos ilgio spinduliai. Taip Bragai nustatė, jog Rentgeno vamzdis spinduliuoja įvairaus dažnio spindulius, sudarančius tolydinį spektrą. Be to, jei vamzdžio įtampa yra pakankamai aukšta, spektre atsiranda viena ar kelios linijos, kurių bangos ilgis būdingas anodą sudarančiam elementui (11 pav.).

Paaiškėjo, kad spinduliu, kurie, sekant Rentgenu, buvo paveldinti minkštaisiais, bangos ilgis yra didesnis negu kietujų spinduliu. Dabar minkštaisiais Rentgeno spinduliais vadinamos elektromagnetinės bangos, kurių ilgis λ didesnis kaip 1 nm (kartais kaip 0,2 nm), o kietaisiais — kurių λ mažesnis kaip 0,1—0,2 nm. Elektromagnetinių bangų skalėje Rentgeno spinduliai užima tarpatarp tarp ultravioletinių ir gama spinduliu (12 pav.). Natūralių ribų tarp jų nėra, netgi nėra griežtai nustatyta sąlyginė ribų. Antai, Didžioji tarybinė enciklopedija Rentgeno spinduliams prisiskiria bangų ilgių tarpatarp 10^{-5} — 10^2 nm, Fizikos enciklopedinis žynynas — 10^{-5} —80 nm, o leidinys „Rentgeno spindulai technikoje“ tik 10^{-3} —10 nm. Pereinamoji sritis tarp Rentgeno ir ultravioletinių spinduliu ($\lambda > 10$ nm) dažnai vadina ultraminkštaisiais Rentgeno spinduliais. Iš kitos — trumpesniųjų bangų — pusės Rentgeno spindulius pakeičia vėliau atrasti dar skvarbesni gama spinduliai. Juos skleidžia atomų branduoliai.



12 pav. Rentgeno spinduliai elektromagnetinių bangų skalėje

1 mikrometas (μm) = 10^{-6} m, 1 nanometras (nm) = 10^{-9} m, 1 femtometras (fm) = 10^{-15} m.

Laujės ir Bragų darbai labai sudomino mokslininkus Rentgeno spinduliais. Jų tyrimai tapo viena iš „karščiausių“ fizikos sričių. Apie tai liudija net triju iš eilės Nobelio premijų paskyrimas už atradimus, susijusius su Rentgeno spinduliais: po Laujės 1915 m. ją gavo tėvas ir sūnus Bragai, o 1917 m. Barkla už anksčiau atlikus darbus (1916 m., vykstant karui, Nobelio premija nebuvo skirta).

KEISTOS ELEKTRONŲ ELGSENO TAISYKLĖS

MAŽYTĖ SAULĖS SISTEMA

Įspėti būdingųjų Rentgeno spindulių prigimties mišlę buvo galima tik atskleidus atomo sandarą, todėl tolesnė jų istorija persipynusi su atomo tyrimų istorija. Eksperimentai su Rentgeno spinduliais buvo viena iš gijų, atvedusiu fizikus į mikropasaulio labirintą.

1897 m. Dž. Tomsonas, tirdamas katodinius spindulius, atrado elektroną ir nustatė, kad jo masė daug kartų mažesnė už lengviausio (vandenilio) atomo masę. Paaiškėjo, jog atomai — sudetingos sistemos. Atomas turi būti elektriškai neutralus, vadinas, greta elektronų jo viduje yra ir teigiamų krūvių.

Tomsonas pabandė sukurti atomo modelį. Jo paties žodžiais tariant: „Kadangi mes nieko nežinome apie teigiamą krūvį, tai išdėstėme jį vienodu tankiu rutulyje“. O iš tų teigiamo krūvio debesėli jis tam tikra tvarka, kad sistema būtų mechaniskai stabili, prismaigstė elektronų „tarsi raziną į tešlą“ (tai irgi paties Tomsono posakis). Padaręs prielaidą, jog kiekvienas atomo elektronas nepriklausomai sklaido krintančius Rentgeno spindulius, Tomsonas iš išsklaidytųjų spindulių intensyvumo apskaičiavo, kad atomo elektronų skaičius nelabai didelis — maždaug lygus jo atominiei masei.

Gauti tikresnių žinių apie atomo sandarą padėjo radioaktyvumo tyrimai. Tomsono mokinys Rezerfordas nustatė, jog iš daugelio radioaktyviųjų medžiagų išleikia α dalelės, kurių masė lygi helio atomo masei. Šių dalelių kelyje padėjus ploną metalinę foliją, daugelis α dalelių pralekia pro ją, tarsi jų kelyje nebūtų jokių kliūčių. Tačiau 1908 m. Rezerfordo bendradarbiai H. Geigeris (Geiger) ir E. Marsdenas (Marsden) pastebėjo, jog kai kurios α dalelės, pralékdamos pro foliją, nukrypsta gana dideliais kampanais. Rezerfordas padarė išvadą, jog atomo sandara turėtų būti šitokia: centre — mažutis, bet masyvus atomo branduolys, turin-

tis teigiamą krūvi, o aplink jį sukas lengvi elektronai. Radioaktyvumo reiškinys, dėl kurio vienas elementas gali virsti kitu, yra susijęs su atomo branduoliu, o medžiagos chemines savybes, jos spalvą lemia elektronų debesėlis.

Idėja, jog atomas panašus į miniautūrinę Saulės sistemą, buvo ne nauja. Ją dar XIX amžiuje kėlė airių fizikas Dž. Stonis (Stoney), o vėliau nepriklausomai nuo jo prancūzas Ž. Perenės (Perrier), japonas H. Nagaoka, rusas P. Lebedevas. Betgi anksčiau tai buvo tik lakios vaizduotės vizija, dabar — faktinis pagrīsta hipotezė.

Deja, pagrūstas vienais faktais Rezerfordo atomo modelis prieštaravo kitiems faktams. Visuotinai pripažinta Maksvelio elektromagnetinio lauko teorija teigė, jog elektringga dalelė, judėdama su pagreičiu, privalo spinduliuoti elektromagnetines bangas. Vadinasi, elektronai, sukdamiesi aplink branduolių, turi greitai netekti energijos, priartėti prie branduolio ir nukristi ant jo,— atomas negali būti stabili sistema. O tai prieštarauja ne tik moksliui, bet ir mūsų kasdienei patirčiai. Štai kodėl, netgi pripažindami Rezerfordo, kaip mokslininko, autoritetą, kolegos nežiūrėjo rimtai į jo modelį.

Jaunas danų fizikas Nilsas Boras (Bohr), 1911 m. atvykęs stažuotis į Angliją, tik po pusmečio sužinojo apie Rezerfordo atomo modelį. Priešingai daugeliui mokslininkų Boras patikėjo, kad jis teisingas. Jam kilo drąsi mintis: jeigu modelis prieštarauja klasikinės fizikos dėsniams, vadinasi, atome galioja kiti dėsniai. Kokie? Jie turėtų būti susiję su spinduliavimo kvantu ir Planko konstanta.

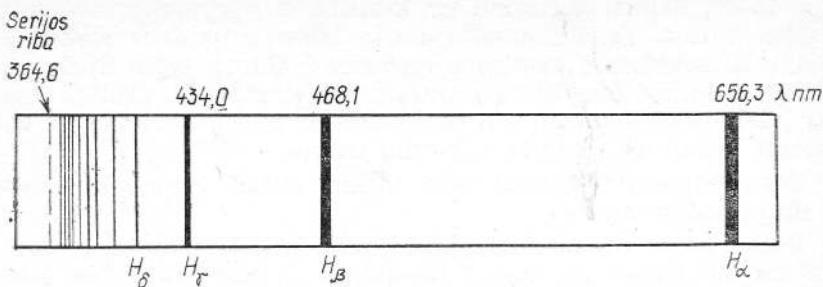
Atspėti elektronų elgsenos atome taisykles Borui padėjo optimai spektrai. Jau seniai buvo pastebėta, jog vandenilio ir kai kurių kitų elementų būdingosios spektro linijos išsidėsto taisyklingomis serijomis. Pavyzdžiui, vandenilio spektre labai ryški J. Balmerio atrasta serija, vadinama jo vardu (13 pav.). Pats Balmeris rado paprastą formulę šios serijos linijų bangų dažniams aprašyti:

$$v = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right);$$

čia R — tam tikra konstanta, m — sveikasis skaičius, didesnis kaip 2. Kai $n=3$, iš formulės randamas pirmosios linijos dažnis, kai $n=4$, — antrosios linijos dažnis ir t. t.

Panašios empirinės formulės buvo rastos ir kitoms spektriniems serijoms: dažnis išreiškiamas kaip skirtumas dviejų narių, kuriuose esantis kintamasis įgyja tik sveikų skaičių vertes.

Nagrinėdamas šias formules, Boras padarė išvadą, jog atome elektronas gali būti tik tam tikrose orbitose, atitinkančiose griež-

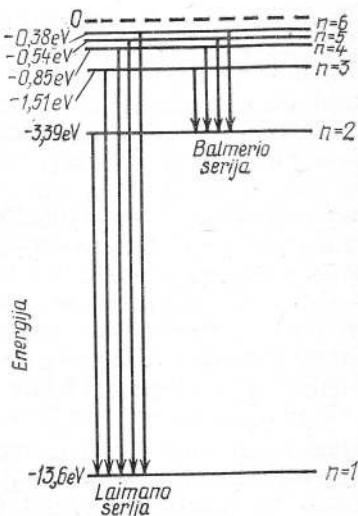


13 pav. Balmerio serija vandenilio spektre

tai apibrėžtas — kvantuotas — energijos vertes. Kitos orbitos atome yra uždraustos, todėl elektrono energija negali kisti palaipsniui. Nors leistine orbita elektronas juda pagal klasikinės mechanikos dėsnius, bet jis nespinduliuoja bangą ir jo energija nesikeičia (tokią būseną Boras pavadinio stacionarine). Tik peršokdamas iš vienos leistinės orbitos į kitą, elektronas išspinduliuoja elektromagnetinę bangą, kurios dažnis išreiškiamas pradinės ir galutinės būsenų energijų skirtumu ($E_1 - E_2$) pagal Plankio formulę: $v = (E_1 - E_2)/h$.

Remdamasis šiomis prielaidomis, Boras apskaičiavo vandenilio atomo, sudaryto iš protono ir vieno elektrono, energijos lygmenis — galimas elektrono energijos vertes protono lauke (14 pav.). Jos yra neigiamos, nes, norint elektroną išmušti iš atomo, jam reikia suteikti papildomos energijos.

Jeigu elektronas yra artimiausioje prie branduolio orbitoje, tai jo energija atitinka žemiausią leistinės energijos lygmenį, sekanti orbita atitinka antrajį energijos lygmenį ir t.t. Kuo toliau nuo branduolio yra elektronas, tuo mažesnės energijos „laiptų“ pakopos. Skaičių, atitinkančių orbitos numerį, Boras pavadinio pagrindiniu kvantiniu skaičiumi. Jis turi įeiti į energijos išraišką, — tai ir



14 pav. Vandenilio atomo energijos lygmenys ir galimi šuoliai n — pagrindinis kvantinis skaičius.

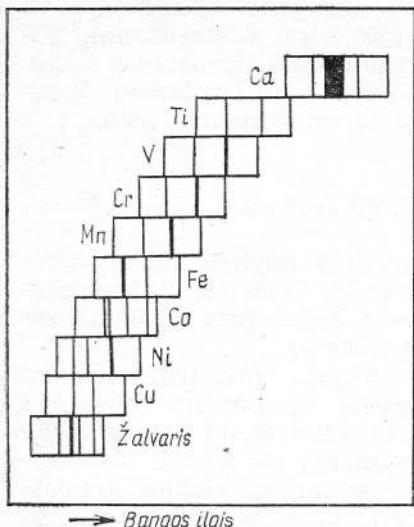
yra tasai Balmerio formulės kintamasis, įgyjantis sveikuju skaičių vertes. Taigi Balmerio serija atitinka galimus elektroно šuolius iš aukštesnių energijos lygmenų į antrąjį lygmenį (kitaip sakant, iš tolimesnių orbitų į antrąjį nuo branduolio orbitą). Šuoliai į žemiausią lygmenį atitinka Laimano seriją, kuri yra ne regimųjų, bet ultravioletinių spindulių srityje.

Boro teoriniai rezultatai labai tiksliai atitiko išmatuotų spektro linijų bangų ilgius.

Boro teorija sujaudino fizikus. Vieni ją karštai gynė ir gyré, kiti negailestingai kritikavo. Klasikinės fizikos šalininkus šoki-ravo keistos, neišplaukiančios iš bendrų fizikos dėsnii Boro prie-laidos. Žinomas spektroskopininkas K. Rungé (Runge) skundėsi: „Nuo šiol spektroskopinė literatūra bus užteršta baisiais dalykais“. O. Sternas (Stern) vėliau prisipažino, jog jis ir M. Laujė buvo prisiekę vienas kitam mesti fiziką, jeigu „šiose Boro nesąmonėse kažkas slypy“. Kiti mokslininkai kritikavo Boro nenuoseklumą: greta kvantinių dėsnii jis taikė ir klasikinės fizikos dėsnius. Anot Brago vyresniojo, Boras siūlė fizikams pirmadie-niais, trečiadie-niais ir penktadie-niais naudotis klasikiniais dėsniais, o antradie-niais, ketvirtadie-niais ir šeštadie-niais — kvanti-niais dėsniais. Tuo tarpu jauniosios kartos fizikai žavėjos Boro idėjomis, kaip naujosios fizikos apreiskimu.

Vienas iš karščiausių Boro šalininkų buvo jaunas talentingas anglų fizikas H. Mozlis (Moseley). Optiniai spektrai padėjo Bo-rui atskleisti atomo sandarą, o Rentgeno spektrai turėtų duoti papildomos informacijos ir naujų argumentų jo teorijos naudai. Naudodamas Bragu spektrometru, Mozlis émési tirti visų elementų būdinguosius Rentgeno spektrus. Apie jo darbą Boras vėliau rašė: „Sis tyrimas buvo susijęs su dideliais eksperimenta-vimo sunkumais, nes daugelis elementų dėl savo cheminės pri-gimties negalėjo būti Rentgeno vamzdžių antikatodais, o antra vertus, daugelis elementų labai stipriai sugerdavo spindulius. Ir vis dėlto energingasis Mozlis, naudodamas genialiai paprastu įrenginiu Rentgeno spektrams fotografuoti, trumpiau negu per pusmetį išmatavo didesnės dalies elementų intensyviausių spektro linijų bangų ilgius (15 pav.) ir atrado fundamentalų dėsnį, ku-ris visada bus vadinamas jo vardu“.

Pereinant nuo vieno elemento prie gretimo, optiniai spektrai kinta sudėtingai. Mozlis nustatė, jog Rentgeno spektro linijų dažniai tik pasislenka, didėjant atomo eilės numeriui, ir tenkina šitokį dėsnį: šaknis iš dažnio yra proporcinga atomo eilės numeriui (16 pav.). Prieš pussimtį metų D. Mendelejevas, sudarydamas periodinę elementų lentelę, išdėstė juos atominių masių didėjimo



→ Bangos ilgis

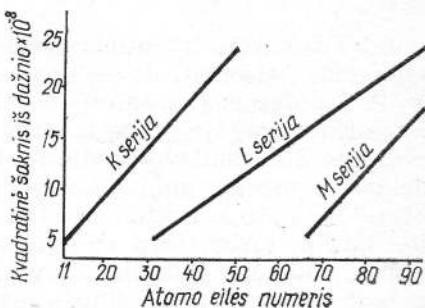
15 pav. Mozlio išmatuoti 9 elementų ir žalvario lydinio Rentgeno emisijos spektrai (K serija)

Kuo didesnis branduolio krūvis (atomo eilės numeris), tuo elektronai stipriau surišti su atomu, todėl energijos lygmenys žemėja ir spinduliu bangos ilgis didėja. (Philosophic Magazine, 1913, 26 t., 18 pav.)

esama fundamentalaus dydžio, kuris monotoniskai auga, pereinant nuo vieno elemento prie kito. Toks dydis gali būti tik centrinio teigiamo branduolio krūvis". Padareš išvadą, jog atomo eilės numeris lygus branduolio krūviui, Mozlis išsprendė kai kurias periodinės elementų lentelės misles. Antai, išdėstant elementus pagal atomines mases, reikėjo nikeli (atominė masė 58,69) išrašyti prieš kobaltą (atominė masė 58,94), nors dėl kai kurių cheminių savybių juos tektų sukeisti vietomis. Remdamasis šių elementų Rentgeno spektrais, Mozlis įrodė, jog kobalto atominis numeris yra 27, o nikelio — 28. Tuo pačiu būdu jam pavyko nustatyti retųjų žemų grupės elementų skaičių. Vėliau pagal Rentgeno spektrą linijas buvo atrasti nauji elementai — hafnis ir renis, kuriems D. Mendelejevas buvo palikęs laisvas vietas periodinėje elementų lentelėje.

Paprastas Rentgeno spektrų linijų sąryšis su branduolio krūviu liudija, jog būdingieji Rentgeno spinduliai atsiranda, kai elektronai peršoka tarp vidinių, artimų branduoliui orbitų.

tvarka. Atomo eilės numeris atrodė esąs tik ženklas, neturintis fizikinės prasmės kaip kad namo numeris gatvėje. Iš Rentgeno spektrų paaiškėjo gili jo prasmė. „Mes čia turime įrodymą,— rašė Mozlis,— jog atome



16 pav. Mozlio diagrammos, iliustruojančios paprastą sąryšį tarp Rentgeno emisijos spektrų linijų dažnio ir elemento eilės numero periodinėje lentelėje

Boro teorija įtikinamai paaiškino Rentgeno spektrus. Savo ruožtu Mozlio rezultatai jai suteikė gan tvirtą eksperimentinį pagrindą. Deja, įdomius Mozlio darbus nutraukė I pasaulinis karas. Mozlis savanoriu išėjo į frontą ir 1915 m. žuvo Dardanelų ekspedicijos metu. Mokslui jis buvo skyrės tik ketverius metus.

SPEKTRAS — ATOMO PASAS

Boro sukurtas kvantinis atomo modelis buvo tikslinamas, tobulinamas, taisomas. Jo teoriją plėtojo A. Zomerfeldas Miunchene, P. Erenfestas (Ehrenfest) Leidene ir, aišku, pats N. Boras, subūrės Kopenhagoje grupę talentingų mokinį.

Boras suformulavo vadinamąjį atotyko principą: didėjant elektrono orbitos spinduliu, jo elgseną aprašančios kvantinės formulės virsta klasikinėmis. Juk, orbitoms tolstant nuo branduolio, mažėja tarpai tarp energijos lygmenų, jos verčią diskretišumas, vadinasi, palaipsniui nyksta ir kvantiniai efektai. Remiantis šiuo principu, iš klasikinės fizikos formulų pavyko nuspėti ne vieną kvantinės mechanikos formulę.

Atsižvelgiant į panašumą tarp atomo ir Saulės sistemos, elektrono elgsenai atome aprašyti buvo panaudoti kai kurie dangaus mechanikos metodai.

Boras spėjo, jog elektrono orbita yra apskrita. Zomerfeldas greta pagrindinio kvantinio skaičiaus — orbitos numerio, įvedė antrą, vadinamąjį orbitinį kvantinį skaičių (elektrono judėjimo kiekio momentą, atsirandantį dėl jo sukimosi orbita ir išmatuotą $h/2\pi$ vienetais). Dviem skaičiais jau galima buvo apibūdinti ir elipsės formos orbitas.

Jeigu atomas turi ne vieną elektroną, kaip vandenilio, bet daug, tai pagrindinis kvantinis skaičius žymi ne orbitas, bet jų grupes — žiedus arba sluoksnius. Elementų cheminės savybės, jų periodiškas pasikartojimas turi būti susiję su elektronų skaičiumi išoriniame sluoksnyje. Norint paaikiinti, kodėl visi elektro-nai nesusirenka viename sluoksnyje arčiausiai prie branduolio, kur jie turėtų mažiausią energiją, teko padaryti prielaidą (tada jos prasmė buvo neaiški), jog kiekviename sluoksnyje gali būti tik tam tikras nedidelis elektronų skaičius. Jeigu visos vietos užimtos — elektronų sluoksnis užpildytas, tai daugiau joks elektro-nas nebegali peršokti į tą sluoksnį ir kiti elektronai užima jau tolimesnius nuo branduolio sluoksnius, kuriuose jų energija yra didesnė. Taigi periodinėje elementų sistemoje, pereinant nuo vieno elemento prie gretimo atominių numerių didėjimo linkme, vienetu padidėja atomo branduolio krūvis, o artimiausiai prie

branduolio (mažiausios energijos) dar neužpildytame elektronų sluoksnyje atsiranda naujas elektronas,—toks pagrindinis periodinės elementų sistemos sandaros principas.

Taip žingsnis po žingsnio, nagrinėdami atomų optinius bei Rentgeno spektrus, iš jų nustatydami elektronų elgsenos atome taisykles, jas aprašydamai formulėmis ir gautus rezultatus vėl lygindami su eksperimentiniais spektrais, mokslininkai tobulino Rezerfordo ir Boro atomo modelį. Ši darbą apvainikavo 1922 m. N. Boras. Jis Getingene šešis vakarus iš eilės dėstė atomo teoriją. Pradėjės nuo vandenilio atomo, nuo paprasčiausių Rentgeno ir optinių spektrų, Boras perėjo prie daugiaelektronų atomų, prie periodinės elementų sistemos mišlių. Šis paskaitų ciklas vėliau buvo pavadintas Boro festivaliu. Klausytojams, tarp kurių buvo ir daug garsių fizikų — A. Zomerfeldas, V. Paulis (Pauli), V. Heisenbergas (Heisenberg) ir kt., Boro paskaitos padarė didžiulių išpuštį, nors, anot vieno dalyvio, „kai kurios šios apžvalgos vietas buvo paslaptingos ir ne visai suprantamos“. Septintą vakarą įvyko diskusija.

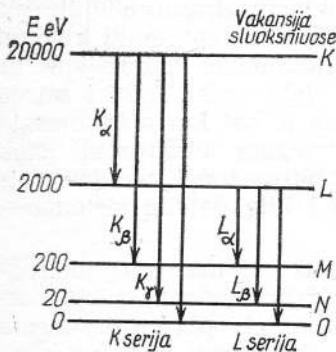
Dalis pranešimo rezultatų, papildytų ir patikslintų, atsižvelgiant į naujus D. Kosterio (Koster) gautus Rentgeno spektrus, 1923 m. buvo paskelbta bendrame Boro ir Kosterio straipsnyje „Rentgeno spektrai ir periodinė elementų sistema“.

Jeigu vidiniai elektronų sluoksniai atome yra užpildyti, tai kaip atsiranda Rentgeno spindulių emisijos spektras? Juk elektronui draudžiama peršokti į artimesnį prie branduolio užpildytą sluoksnį. Dar 1916 m. tai paaiškino vokiečių eksperimentatorius V. Koselis (Kossel). Kad atomas išspinduliuotų rentgeninį kvantą, iš atomo vidinio sluoksnio, veikiant katodiniams spinduliams ar kitokioms dalelėms, turi būti išmuštas elektronas. Tada į laisvą vietą (vakansiją) gali peršokti elektronas iš bet kurio tolimesnio nuo branduolio sluoksnio. (Peršokant vienam elektronui, šiek tiek deformatuojasi ir kitų elektronų orbitos, todėl tiksliau reikėtų sakyti: pereina iš vienos būsenos į kitą dalelių sistema — atomas.)

Boras ir Kosteris savo straipsnyje pateikė atomo energijos lygmenų schemą. Elektronui peršokant iš vieno lygmens į kitą, atsiranda būdingosios emisijos spektro linijos (17 pav. toji schema pateikta supaprastinta). Čia naudojami žymėjimai, vėliau prigiję Rentgeno spektroskopijoje: raidėmis K , L , M , N , $O\dots$ žymimi sluoksniai, kuriuos atitinka pagrindinio kvantinio skaičiaus vertės 1, 2, 3, 4, 5 ... Schema primena apverstą vandenilio lygmenų schemą (14 pav.), ir tai lengva suprasti — vietoj elektrono čia yra atomas, turintis vakansiją viename sluoksnuje. Kuo arčiau prie

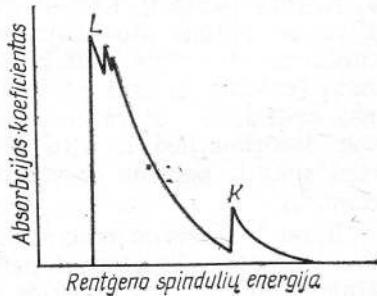
branduolio yra elektronas, tuo mažesnė jo energija ir priešingai, kuo gilesniame sluoksnyje yra vakansija, tuo labiau sužadintas atomas.

Jeigu elektronas išmušamas iš K sluoksnio, tai i \downarrow jo vietą gali peršokti elektronas iš L , M , N ir aukštessnių sluoksninių; tuos šuolius atitinka K_α , K_β , K_γ ir kitos K serijos linijos. Jeigu trūks ta elektrono L sluoksnyje, tai atsiranda L serija ir t.t. (iš tikrujų kiekvienas sluoksnis dar skaidosi į kelis pasluoksnius, kuriuos aprašo kiti kvantiniai skaičiai, tad kiekvieną liniją sudaro kelios ar net keliolika artimų linijų.) Kuo didesnis pradinės ir galutinės būsenų energijų skirtumas, tuo aukštessnio dažnio (pagal Plancko formulę) Rentgeno spindulius skleidžia atomas. Vadinas, K seriją sudaro patys kiečiausieji Rentgeno spinduliai. L , M , $N\dots$ serijų spinduliai vis minkštėja ir galop pereinama į ultravioletinių spindulių sričių. Regimieji spinduliai atsiranda ne išmušus elektroną iš atomo, bet tik atomą sužadinus — išorinio sluoksnio elektroną perkėlus į tolimesnę laisvą orbitą. Atviru, t. y. neužpildytu, sluoksninių elektronai gana sudėtingai tarpusavyje sąveikauja, dėl to papildomai suskyla optinio spektro linijos. O sluoksnis su vakansija elgiasi tarsi dalelė (teisingiau kvazidalelė), turinti elektrono masę, bet teigiamą krūvį. Štai kodėl Rentgeno spektro linijos, pereinant nuo vieno elemento prie gretimo, tik pasislenka (vidinės vakansijos elgsenai turi įtakos padidėjęs branduolio krūvis, bet beveik neturi įtakos naujas elektronas, atsiradęs išoriniame



17 pav. Atomo, turinčio vakansiją vidiniame elektronų sluoksnyje, supaprastinta lygmenų schema

Vykstant šuoliams tarp lygmenų, spinduliuojamos būdingosios Rentgeno spektro linijos K_α , K_β , K_γ , L_α , L_β .



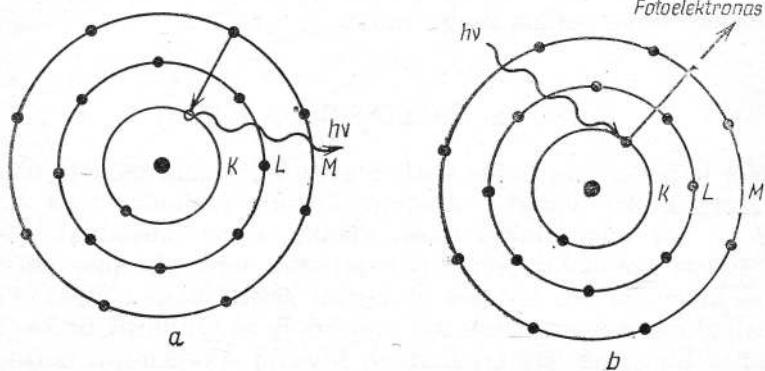
18 pav. Rentgeno absorbcijos spektros

L sluoksnis sudarytas iš trijų pasluoksninių, todėl šio sluoksnio absorbciją atitinka trys spektro maksimumai.

sluoksnje), o optinių spektrų struktūra keičiasi iš esmės (ją lemia elektronų skaičius išoriniame sluoksnje).

Tokia atomo būsena, kai yra vidinė vakansija, ypatinga dar tuo, kad ji — trumpalaikė. Kuo gilesniame sluoksnje yra vakansija, tuo greičiau ją užpildo kito sluoksnio elektronas. Būsenos su vakansija K sluoksnje gyvavimo trukmė — tik apie 10^{-15} — 10^{-17} sekundės. Tuo tarpu sužadinus išorinius elektronus, atomai grįžta į normalią būseną, išspinduliuodami regimąją šviesą, per milijonus ir net milijardus kartų ilgesnį laiką (nors ir čia — tik sekundės dalelės).

Greta Rentgeno emisijos spektrų, mokslininkus domino ir jų absorbcijos spektrai, t. y. spektrai, gaunami spinduliu pluošteliui praėjus pro įvairias medžiagas. Medžiagos sugeria įvairių dažnių spindulius nevienodai, taigi absorbcijos koeficientas (dydis, apibūdinantis spinduliu sugėrimo medžiagoje laipsnį) priklauso nuo dažnio. Rentgeno spinduliu absorbcijos spektre ryškūs pjūklo dantelių formos maksimumai (18 pav.). Jų kilmę pirmasis paaikino V. Koselis: maksimumai atitinka tokią Rentgeno spinduliu kvantų energiją, kurios užtenka elektronui išplėsti iš kurio nors vidinio sluoksnio, jam išlaisvinti iš atomo. (Kaip prisimename, dar amžiaus pradžioje V. Vynas stebėjo laisvuosius elektronus, išlekančius iš Rentgeno spinduliais apšviestos medžiagos.) Tai suprantama: spinduliu absorbcija yra procesas, priešingas emisibai: ten elektronas peršoka į vidinę vakansiją, išspinduliuodamas Rentgeno spinduliu kvantą, o čia spinduliuai išmuša elektroną iš vidinio sluoksnio, sukurdami vakansiją (19 pav.). Betgi yra vienetas esminis skirtumas: išmuštas iš vidinio sluoksnio elektronas



19 pav. Šitaip atomas išspinduliuoja (a) ir absorbuoja (b) Rentgeno spinduliu kvantą $h\nu$

negali persokti į kurį nors aukštėsnį vidinį sluoksnį (iš kurio galėtų grįžti į tą pačią vakansiją, išspinduliuodamas tokį pat kvantu), nes visi jie yra užpildyti. Tikimybė perkelti vidinį elektroną į laisvą išorinę orbitą — labai maža. Vadinas, absorbcijos maksimumas gaunamas būtent tada, kai Rentgeno spindulių energijos užtenka elektronui iš atomo išmušti. Šis procesas yra rezonansinio pobūdžio (jo tikimybė didžiausia, kai kvanto energija lygi elektrono ryšio energijai atome), todėl, toliau didėjant Rentgeno spindulių energijai (aukštėjant jų dažnui), spindulių absorbcija silpnėja. Sekantis maksimumas atsiranda, kai spindulių kvanto energija pasidaro pakankama elektronui išmušti iš kito, dar gilesnio, sluoksnio. Taigi iš Rentgeno spindulių absorbcijos spektro galima tiesiogiai nustatyti elektronų energijas atome.

Regimosios šviesos kvantą absorbuojančiam išorinio sluoksnio elektronui niekas nedraudžia persokti į gretimą laisvą orbitą, todėl regimosios šviesos absorbcijos spektrai yra tokie pat sudėtingi, kaip ir emisijos spektrai.

Kuo daugiau elemento atomai turi elektronų, tuo didesni Rentgeno spindulių nuostoliai toje medžiagoje. Štai kodėl sunkieji elementai, pavyzdžiu, švinas ar gyvsidabris, taip labai sugeria Rentgeno spindulius.

Boro atomo teorija paaikino visų elementų Rentgeno spektro dėsningumus. Tačiau, ją pritaikius optimiams spektrams, teisingi rezultatai buvo gauti tik tokioms elektronų konfigūracijoms (elektronų pasiskirstymui sluoksniuose), kai virš užpildytų sluoksninių yra vienas elektronas. Betgi svarbiausia — buvo neaiškūs patys kvantinės teorijos pagrindai. Kodėl tokios keistos elektronų elgsenos taisyklės? Kokia jų fizikinė prasmė? Tik atsakius į šiuos klausimus, buvo galima žengti toliau.

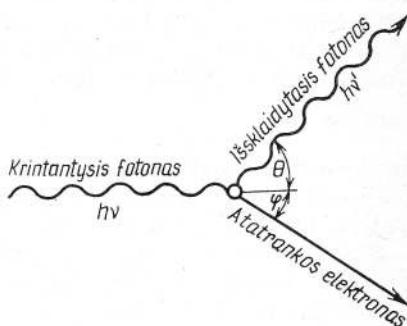
BANGOS, DALELĖS IR BANLELĖS

Net ir po to, kai Boras sukūrė kvantinį atomo modelį, daugelis mokslininkų vis dar abejojo kvantu realumu. Pats Boras 1922 m. dar buvo linkęs tikėti Planku, o ne Einšteinu: sutiko, jog šviesa spinduliuojama ir sugerama tam tikromis porcijomis — kvantais, bet erdvėje ji turinti sklisti kaip bangos. Planckas atkakliai stengėsi suderinti savo idėją su klasikine fizika. Siūlydamas Einšteiną išrinkti Berlyno Mokslų Akademijos nariu, jis paminėjo, jog Einšteinas, pripažindamas kvantu realumą, „nuėjo per toli“.

Mokslininkų nepatiklumą nesunku suprasti. Banginė šviesos teorija buvo pasiekusi tokį akivaizdžių laimėjimą, jog ją pa-neigti buvo tiesiog neįmanoma. Antra vertus, atrodė visiškai ne-įtikima, kad tas pats objektas būtų ir banga, ir dalele. Kvintinės teorijos istorikai vieningai teigia: priešiškas arba abejingas fizikų požiūris į kvanto realumą pasikeitė tik atradus Komptono reiškinį.

Jaunas amerikiečių fizikas A. Komptonas (Kompton) 1922 m. teoriškai išnagrinėjo klausimą, kas atsitiktų, susidūrus laisvajam elektronui su Rentgeno spindulių kvantu, jeigu jį laikytume „nor-malia“ dalele, turinčia ne tik apibrėžtą energiją, bet ir impulsą. Tarkime, ligi susidūrimo elektronas buvo ramybės būsenos. Susidūres su elektronu, kvantas išskaidomas tam tikru kampu, o elektronas, gavęs iš jo dalį energijos, nulekia į kitą pusę kaip atatrankos elektronas (20 pav.). Iš energijos ir impulso tvermės dėsnii išplaukia, jog kuo dides-niu kampu išskaidomas kvan-tas, tuo daugiau energijos jis netenka. Dėl to pagal Planko formulę turi pažemėti kvanto dažnis. Komptonas įrodė, jog efekto stiprumas nepriklauso nuo pradinės kvanto energijos — priklauso tik nuo kampo tarp krintančio ir išskaidyto fotono krypcią Θ . Kvantu, iš-skaidytų 90° kampu, bangos ilgis turi pasikeisti 0,0024 nm. Taigi tokį pakitimą galima pa-stebeti tik su labai mažo ban-gos ilgio spinduliais — kietai-siais Rentgeno spinduliais.

Komptonas pats eksperimentiškai patikrino teorinius rezul-tatus. Rentgeno kvantų energija yra daug didesnė negu išorinių atomo elektronų ryšio energija, todėl šiuose bandymuose pasta-ruosius elektronus praktiškai galima laikyti laisvaisiais. Komptonas apšvietė grafitą konkretaus dažnio Rentgeno spinduliais ir iš tikrujų pamatė liniją, pasislinkusią į ilgesnių bangų pusę. Ban-gos ilgio pokytis gerai atitiko teorinę prognozę. Greta buvo matyti ir nepasislinkusi linija: Rentgeno kvantui susidūrus su vidi-niu atomo elektronu, kurio jis nepajégia išmušti iš atomo, smūgi „priima“ visas atomas; pastarojo masė tokia didelė, jog kvantas atšoka kaip tamprus kamuoliukas.



20 pav. Komptono efekto schema

Fotonas ($h\nu$) susiduria su nejudančiu elektronu, ir perduoda jam dalį savo energijos ir impulsu, todėl fotono dažnis pažemėja ir pa-sidaro lygus v^1 .

Po Komptono darbų abejoti elektromagnetinių bangų kvanto realumu nebebuvo galima. Netrukus ši dalelė gavo netgi atskirą pavadinimą — fotonas.

Ohajo valstijos fermerio sūnus įteisino paradoksalias bangas-daleles. Jas pavertė kertiniu naujosios fizikos akmeniu Prancūzijos karalių Burbonų palikuonis.

Du broliai princai de Broiliai (de Broglie) — Morisas ir Luji, skirtingai nuo savo pirmakų, gyvenimą pašventė fizikai. Vyresnysis Morisas buvo eksperimentuotojas, o jaunesnysis pasirinko teorinę fiziką. Morisas de Broilis tyrinėjo Rentgeno spektrus; susidomėjęs Komptono reiškiniu, jis išmatavo bangos ilgio pokytį kai kurioms medžiagoms. Tuo tarpu jaunesnysis brolis suko galvą dėl kvantų prasmės.

Jeigu banga yra susijusi su dalele,— svarstė Luji de Broilis,— tai galbūt ir dalelė yra susijusi su banga? Gal elektroną veda ar lydi kažkokia banga ar esama dar kitokio ryšio? Iš elektrono, besiskančio aplink atomo branduolių leistine orbita, būsenos pastovumo išplaukia, jog šiuo atveju jo banga turi būti stovinčioji,— orbitoje turi tilpti sveikas bangų skaičius. Tuo remdamasis, de Broilis išvedė šitokią formulę, aprašančią elektrono bangos ilgį:

$$\lambda = \frac{h}{mv};$$

čia h — mūsų pažistama Planko konstanta, m — elektrono masė, o v — jo greitis. Jeigu, pavyzdžiui, elektronas juda 10 000 km/s greičiu, tai jo bangos ilgis lygus 0,1 nm.

Sias mintis de Broilis išdėstė disertacijoje „Kvantų teorijos tyrimai”, kurią 1924 m. apgynė Sorbonos universitete. Žymus prancūzų fizikas P. Lanževenas (Langevin), susitikęs moksliniame kongrese savo pažistamą A. Jofę, taip apibūdino de Broilio darbą: „Disertanto idėjos, aišku, nerimtos, bet išvystytos taip grakščiai ir elegantiškai, jog aš priėmiau disertaciją gynimui”.

Per gynimą Ž. Perenas uždavė disertantui tradicinį klausimą — ar jo rezultatus galima patikrinti bandymais. De Broilis atsakė, jog elektronų bangos turėtų difraguoti, praeidamos pro kristalus, panašiai kaip Rentgeno spinduliai.

De Broilis pasiūlė pažistamam eksperimentuotojui atlikti tokį eksperimentą, bet šis buvo užsiémės kitais, kaip jam atrodė, perspektyvesniais, tyrimais. Keista, jog ir Morisas de Broilis nesiémė tikrinti brolio hipotezés. Tik po trejų metų — vienu metu ir neprilausomai — eksperimentą su elektronais atliko K. Deivisonas (Davisson) su savo bendradarbiu L. Džermeriu (Germer) Amerikoje ir Dž. Tomsonas, elektrono atradėjo sūnus, Anglijoje. Jie gavo tą patį teigiamą rezultatą: greiti elektronai, praeidami pro kristalą arba atsispindėdami nuo jo, difraguoja, t. y. elgiasi kaip

bangos. Devisonas prisiminė, jog dar prieš šešerius metus pastebėjo panašų difrakcinį vaizdą: tada jis apšvietė kristalą elektroiniais, atlikdamas kitokį bandymą, bet nesuprato, ką buvo atradęs.

Vėliau buvo įrodyta, jog ne tik elektronai, bet ir kitos mikrodalelės turi bangų savybių. Tos bangos buvo pavadintos materijos, arba de Broilio, bangomis. Keistuosius mikropasaulio kentaurus — daleles-bangas — buvo siūloma vadinti specialiu pavadinimu — angliskai „wavelet“ (iš žodžių „wave“ — banga ir „particle“ — dalelė); jo lietuviškas atitinkmuo būtų banlelė. Betgi šis pavadinimas neprigijo, ir ligi šiol iš tradicijos sakome „elementariosios dalelės“ arba „elektromagnetinės bangos“, nors ir vieną, ir kitų savybės dvejopos.

De Broilio formulė aprašo bendrą fizikos dėsnį, kuriam paklūsta netgi makroskopiniai kūnai, pavyzdžiu, Žemė. Betgi Žemės masė $6 \cdot 10^{54}$ kartų didesnė už elektrono masę, vadinas, šie tiek kartų Žemės banga trumpesnė už elektrono bangą. Taigi planetoms kvantiniai efektai yra neišmatuojamai maži, o elementariosioms dalelėms jie — lemiami.

PARADOKSU SPRENDIMAS

1925 m. Getingeno universiteto profesorius M. Bornas (Born) — vienas iš atomo teorijos žinovų — išleido knygą „Atomų mechanikos paskaitos“. Aprašės kvantinės teorijos pasiekimus ir nurodės daugelį neišsprėstų klausimų, jis padarė išvadą, jog „kelias į galutinę kvantinę teoriją dar gana tolimas“.

Betgi tuo metu vokietis V. Heisenbergas ir austras E. Šredingeris (Schrödinger) jau įkopė, tik iš skirtingų pusiu, į tą teorinę viršukalnę. 1925—1927 m., per trejus metus, buvo sukurta kvantinė mechanika, kuri išsprendė visus Boro teorijos paradoksus ir griežtai teoriškai apraše mikrodalelių elgseną. Idomu, jog pirmiau buvo gautos matematinės lygtys ir tik po to — per ilgas diskusijas — suvokta jų prasmė. Kuriant grakštą kvantinės mechanikos teoriją, dalyvavo plejada talentingų fizikų iš įvairių šalių: greta Boro, Heisenbergo, Šredingerio, taip pat Paulis, Bornas, Dirakas (Dirac), Ėrenfestas, Landau ir kiti. Kvantinės mechanikos idėjos iš esmės susikristalizavo Kopenhagoje ir Getingene nepabaigiamų diskusijų, atkaklių ieškojimų ir intelektualinių varžybų atmosferoje.

Nenaudojant aukštosios matematikos formulų, sunku perteikti kvantinės mechanikos esmę. Vienas iš labiausiai pavykusiu bandymu — 1977 m. išleista lietuvių kalba L. Ponomariovo knygė „Anapus kvanto“. Čia tik trumpai papasakosime, kaip buvo

išspresti senosios kvantinės teorijos paradoksa, tarp jų ir bango-dalelės paradoksa.

Jie atsirado todėl, kad mokslininkai išsivaizdavo mikrodaleles tarsi sumažintas klasikinių dalelių kopijas, stengési pritaikyti mikropasauliui įvaizdžius, sąvokas ir dėsnius, tinkamus visai kitiem reiškiniams.

Klasikinėje fizikoje galioja griežtas priežastingumas, arba determinizmas: dalelių sistemos ateitis vienareikšmiškai išplaukia iš jos dabarties. Išmatavę kuriuo nors momentu visų dalelių padėtis ir greičius, iš princiopo galime apskaičiuoti, kaip jie bus išsidėstę ateityje (pvz., kur bus Saulės sistemos planetos po daugelio metų). Mikropasaulis pasirodė esąs tikimybinis pasaulis: čia iš dalelės ar jų sistemos dabarties vienareikšmiškai neišplaukia jų ateitis. Turėdami kiek galima pilną informaciją apie mikrodalelę, galime tik apskaičiuoti tikimybę, kur ji bus kitu laiko momentu. Taip yra todėl, kad ir mikrodalelės dabartis negali būti griežtai apibréžta,— ją aprašančią dydžių vertes negali būti tiksliai žinomas vienu metu. Tai išplaukia iš Heisenbergo neapibrėžtumų savyšio — pagrindinio kvantinės mechanikos principio. Jis teigia, jog neįmanoma vienu metu žinoti tikslią dalelės padėties ir jos greičio verčių. Padėties matavimo neapibrėžtumas, t. y. matuojamųjų verčių intervalas Δl , ir dalelės impulsu (dalelės masės ir jo greičio sandaugos) neapibrėžtumas Δp visada turi tenkinti nelygybę:

$$\Delta l \cdot \Delta p \geq h/2\pi.$$

Heisenbergas rašo: „Jeigu pakanka palyginti mažo tikslumo, tai, be abejo, galima kalbėti ir apie elektronu padėti, ir apie jo greitį; beje, tasai leistinis tikslumas pagal mūsų kasdienio gyvenimo kriterijus yra nepaprastai didelis. Tačiau, turint omenyje labai mažus atomų matmenis, šis tikslumas pasirodo esąs nedidelis, ir šiam mažybių pasauliui būdingas gamtos dėsnis neleidžia žinoti ir dalelės padėties, ir jos greičio tokiu tikslumu, kuriuo mes norėtume. Nors ir galime atlikti bandymus, kuriais nustatytume dalelės padėti dideliu tikslumu, bet, atlikdami tuos matavimus, mes priversti stipriai iš išorės paveikti dalelę, o todėl pasidaro labai neapibrėžtas jos greitis. Taigi gamta prieštarauja tiksliai šiu mūsų apibrėžtų dydžių fiksacijai, nes su bet kokia stebėjimu neišvengiamai susiję pokyčiai. Jeigu anksčiau kiekvieno mokslinio tyrimo tikslas buvo aprašyti gamtą tokią, kokia ji yra, t. y. be mūsų stebėjimo sukeltą padarinių, tai dabar suprantame, jog būtent šis tikslas néra pasiekiamas. Atomo fizikoje neįmanoma išvengti pokyčių, kuriuos bet koks stebėjimas sukelia stebimajame objekte“.

Šio neapibrėžtumo priežastis — ne mūsų prietaisų netobulumas, bet pati mikrodalelių prigimtis, todėl jo negalima išvengti jokiais išradingais ir preciziais bandymais.

Jeigu kuriuo nors bandymu gana tiksliai nustatoma mikrodalelės padėtis, tai ji stebima kaip dalelė. Kitas bandymas, kuriuo fiksuojamas dalelės greitis, o padėtis lieka neapibrėžta, išryškina jos bangines savybes. Taip išsprendžiamas bangos-dalelės paradoksas. Gali kilti klausimas: bet kas gi yra dalelė iš tikrujų, kai su ja neatliekama jokio bandymo? Tai — savitas objektas, sutinkamas tik mikropasaulyje, nepanašus nei į mažą biliardo kamuoļi, nei į klasikinę bangą. Jo neįmanoma išsivaizduoti, nes jis neturi atitikmenę mūsų kasdieniame pasaulyje. Kvanticė mechanika jo savybes aprašo matematinėmis lygtimis, kurias išsprendę galime paaiškinti visų bandymų su mikrodalelėmis ir jų sistemos rezultatus.

Yra dar vienas neapibrėžtumų sąryšys — dalelės energijos ir jos matavimo laiko. Kuo trumpesnį laiko tarpą matuojama dalelės energija, tuo labiau neapibrėžta yra jos vertė. Aišku, matavimo laikas negali būti ilgesnis už sužadintos atomo būsenos gyvavimo trukmę. O tokia atomo būsena, kai yra vakansija vidiniame elektronų sluoksnyje, itin trumpalaikė. Todėl tokias būsenas atitinka ne viena apibrėžta energijos vertė, bet gana platus galimų energijų intervalas. Grįždami iš tokios būsenos į normalias, atomai skleidžia Rentgeno spindulius, kurių dažnis taip pat kinta gana plačiame intervale. Štai kodėl Rentgeno spektrų linijos daug platesnės už optinių spektrų linijas.

Mikrodalelės elgseną aprašo vadinamoji ψ (psi) funkcija, kuri randama, išsprendus Šrédingero lygtį — pagrindinę kvantinės mechanikos lygtį:

$$H\psi = E\psi;$$

čia H — vadinamasis Hamiltono operatorius — gana sudėtingas matematinis reiškinys, kuriuo išreiškiamos sąveikos tarp mikrodalelių, E — dalelės energija. Išsprendus šią lygtį, randama ψ funkcija, kurios kvadratas išreiškia tikimybę dalelę aptikti tame ar kitame erdvės taške. Jeigu dalelė negali laisvai judėti (pvz., elektronas, besiskantantis aplink branduoli vandenilio atome), tai lygtis turi sprendinius tik tam tikroms energijos vertėms, ir pastarosios sudaro leistinių dalelės energijos verčių spektrą. Žinant ψ funkcijas, aprašančias įvairias atomo būsenas, galima apskaičiuoti Rentgeno ar kitokių spektrų linijų dažnus bei intensyvumus ir kt. Sie dydžiai yra griežtai apibrėžti, nes spinduliuoja daugybė atomų. Tačiau, nagrinėjant tik vieną sužadintos būsenos atomą, jokiais kvantiniai skaičiavimais neįmanoma sužinoti, į kuria būseną jis peršoks, kurią Rentgeno spektro liniją išspindu-

liuos. Panašiai, turėdami vieną monetą ir kartą ją išmetę, negalime pasakyti, kuria puse ji nukris ant žemės, bet išmetę 10^{10} monetų (tokie ir didesni būna spinduliuojančių atomų skaičiai), rezultatą galime numatyti labai tiksliai: pusė monetų atsivers herbui ir puse — skaičiumi.

Kvantinė mechanika įrodė, jog atomas visai nepanašus į mažytę Saulės sistemą. Elektronai atome nesisuka nei apskritimais, nei elipsėmis — išvis nėra orbitų, suvokiamų taip, kaip klasikinėje mechanikoje. Kvantinės orbitos — tai tikimybų (ψ funkcijos verčių kvadrato) pasiskirstymas erdvėje. Vaizdžiai, nors nelaibai tiksliai, galima sakyti, jog elektrono krūvis pasiskirsto tarsi tam tikras debesėlis erdvėje aplink atomą. Šio debesėlio formą lemia ir atomo dalelių sąveikos, ir elektrono kvantiniai skaičiai (14 nuotr.). Be jau mums žinomų kvantinių skaičių — pagrindinio kvantinio skaičiaus ir elektrono orbitinio momento kvantinio skaičiaus (jis išliko, nors elektrono sukimas orbita neteko prasmės), 1925 m. buvo atrastas dar vienas labai svarbus elektrono kvantinis skaičius, susijęs su vadinamuoju jo sukiniu. Jis neturi atitikmens klasikinėje fizikoje, nors, naudojantis senuoju Boro atomo modeliu, sukinį būtų galima laikyti dydžiu, aprašančiu elektrono, tarsi vilkelio, sukimąsi apie savo aši. Elektrono sukinys, išmatuotas $h/2\pi$ vienetais, visada lygus $1/2$. Tai ir yra sukinio kvantinis skaičius. Elementariosios dalelės, kurios turi pusinį sukinį (jos vadinamos fermionais), elgiasi visai kitaip negu dalelės, kurių sukinys lygus sveikajam skaičiui. Fermionams galioja tokis bendras dėsnis: sistemoje, susidedančioje iš fermionų, dvi dalelės negali būti tos pačios būsenos — negali būti lygūs visi jų kvantiniai skaičiai. Kaip tik iš šio dėsnio išplaukia atomo elektronų sluoksnių užpildymo taisyklė: elektronų skaičius kiekviename sluoksnyje negali būti didesnis už tam tikrą skaičių. Suvinio buvimu paaškinamas ir papildomas linijų suskilimas, pastebimas eksperimentiniuose Rentgeno spektruose.

Jeigu mikrodalelės būseną aprašančio dydžio (pvz., energijos ar judesio kiekio momento) vertės yra didelės, palyginus su skirtumais tarp gretimų leistinių verčių (dideli kvantiniai skaičiai), tai kvantinės mechanikos dėsniai pereina į mums žinomus klasikinės mechanikos dėsnius. Tais atvejais Planko konstantą galima laikyti labai mažu dydžiu.

ATOMO MİŞLÉS IR RENTGENO SPEKTRAI

SUKŪRUS KVANTINĘ MECHANIKĄ

Kvantinė mechanika — tvirti ir patikimi atomo teorijos pamatai. Betgi ant pamatų dar reikia statyti patį pastatą. Atomo teoria kuriama jau daugiau kaip penkiasdešimt metų, bet dar ne laikas jos kūrėjams kelti vainiką.

Ir dabar Rentgeno spektrai yra pagrindiniai „daiktinių įrodymai“, iš kurių mokslininkai sprendžia apie atomo savybes. Ir atvirkščiai, atomo teorija paaiškina Rentgeno spektrų susidarymo aplinkybes, išsifruoja informaciją, kurią slepia spekto linijos. Tad, prieš kalbėdami apie šiuolaikinę Rentgeno spektroskopiją, pabandykime įsivaizduoti, kur link eina, kokias problemas sprendžia atomo teorija.

Visa informacija apie atomą slypi ψ , arba banginėje, kaip ji dažnai vadinama, funkcijoje. Bet kuriam atomui, netgi turinčiam daugiau kaip šimtą elektronų, iš principo ją galima rasti, išsprenodus Šrédingero lygtį. Deja, šia galimybe ne taip lengva pasinaudoti. Analiziniu būdu Šrédingero lygtį įmanoma išspręsti tik pačiam paprasčiausiam — vandenilio — atomui. Sekantis helio atomas yra trijų kūnų sistema. O trijų kūnų problemos fizikai nemoka išspręsti tiksliai netgi klasikinėje mechanikoje. Vis dėlto heliu banginė funkcija gali būti rasta gana dideliu tikslumu skaitmeninio pavidalo. Daugiaelektroniams atomams ir šiuo būdu lygties išspręsti neįmanoma, netgi pasitelkus skaičiavimo mašiną, kuri atlieka milijonus aritmetinių operacijų per sekundę.

Jeigu atome yra N elektronų, tai atomo ψ funkcija yra $3N$ kintamųjų funkcija (kiekvieno elektrono padėties aprašoma trimis koordinatėmis). Pasirinkime palyginti paprastą gelezies atomą, turintį tik 26 elektronus. Jo banginėje funkcijoje — 78 kintamieji. Stai ką apie Šrédingero lygties skaitmeninio sprendimo gelezies atomui sunkumus rašo Boro mokinys D. Hartris (Hartree): „Pagnagrinkime, pavyzdžiui, lygties sprendinio tabuliavimą neutralaus gelezies atomo vienai stacionarinei būsenai. Tokioje lentelėje turi būti pateiktos sprendinio vertės, atitinkančios diskretines kintamųjų vertes. Tačiau, jeigu mes imsime tik po 10 kiekvieno kintamojo verčių, tai gausime labai jau apytiksle lentelę, bet ir jai sudaryti reikės suskaičiuoti 10^{78} verčių. Net jeigu mes, atsižvelgę į sprendinių simetrijos savybes, sumažinsime verčių skaičių ligi $5^{78} \approx 10^{55}$, vis tiek visoje Saulės sistemoje neužtektų medžiagos jai išspaustinti. O jeigu šią lentelę ir ištengtume išspaustinti, tai

ji būtų pernelyg didelė, kad ja būtų galima naudotis. Ir visa tai — tik vienai stacionarienei būsenai, tik vienam jonizacijos laipsniui ir tik vienam atomui".

Taigi pagrindinis atomo teorijos tikslas — rasti tokius supaprastintus metodus, kuriais būtų galima praktiškai išspręsti uždavinį, o rezultatai būtų artimi eksperimentiniams: pavyzdžiui, apskaičiuoti spektro linijų dažnus, artimus išmatuotiems.

Elektronai atome nėra nepriklausomi,— tai gana stipriai sąveikaujančių dalelių kolektyvas. Vis dėlto apytikriai galima laikyti, jog ir atome jie tebetri individualių savybių: kiekvienas elektronas, judantis atomo branduolio ir kitų elektronų lauke, yra stacionarinės vienelektronės būsenos (panašiai, kaip elektronas vandenilio atome). Tada jo elgsena aprašoma viendalele ψ funkcija, kuri yra Šrédingero lygties elektronui (o ne visam atomui) sprendinys. Tą lygtį galima dar supaprastinti, atsižvelgus į tai, jog laukas atome yra beveik sferiškai simetriškas,— mažai keičiasi, sukant atomą apie bet kurią aši, einančią per jo branduoli. Lygtis sprendžiama atskirai kiekvienam elektronui, atsižvelgiant į lauką, kurį sukuria kiti elektronai; tai daroma keletą kartų, norint suderinti sprendinius tarpusavyje. Šis metodas vadinamas Hartrio ir Foko metodu — ji sukūrusių mokslininkų anglo D. Hartlio ir tarybinio fiziko V. Foko vardu.

Į daugiaelektrones sąveikas galima atsižvelgti kaip į pataisas. Yra sukurti gana sudėtingi metodai vis mažesniems pataisoms palipsniui apskaičiuoti. Jie vadinami perturbacijų teorijos metodais.

Kaip jau minėjome, atomo teorijos uždavinius galima gerokai supaprastinti, atsižvelgus į atomo simetriją. Greta paprasčiausios sferinės simetrijos, atome galima aptikti sudėtingesnių, labiau paslėptų simetrijos savybių. Jas aprašo grupių teorija — matematinės šaka, ilgai laikyta vien abstrakčia išmone, bet XX a. tapusi vienu iš svarbiausių metodų, atskleidžiant atomo branduolio, atomo, molekulių, kristalų savybes. Grupių teorija ypač naudinga, konstruojant viso atomo banginę funkciją iš atskirų elektronų funkcijų, taip pat skaičiuojant atominius dydžius.

Kuo mažesnis vidutinis elektrono atstumas nuo branduolio ir kuo didesnis branduolio krūvis, tuo greičiau elektronas sukasi aplink branduoli (vaizdumo dėlei tenka dar kartą pasinaudoti pusiau klasikiniu Boro modeliu). Taigi vidiniams atomo elektrownams, ypač sunkiųjų atomų, yra svarbūs ir reliatyvistiniai efektai, aprašomi specialiosios reliatyvumo teorijos.

Pagaliau atomas geba įvairiausiai, beveik neatpažistamai, keisti. Stai, apšvietus atomus lazerio spinduliu, jo elektronus galima

efektyviai sužadinti, perkeliant į labai tolimas orbitas, kurių pagrindinis kvantinis skaičius siekia dešimtis ir net šimtą. Atomo matmenys tada labai padidėja, susidaro bakterijos dydžio atomas milžinas. Stiprus elektrinis ar magnetinis laukas taip pat keičia elektronų orbitas bei energijos lygmenis. Pavyzdžiu, labai stipriame magnetiniame lauke atomas gali pasidaryti ilgos adatos pavaldalo. Sužadintuose atomuose pastebėtas įdomus reiškinys, vadinas elektroно kolapsu: pasikeitus elektronų konfigūracijai ar atomo būsenai, elektroно orbita staiga susitraukia daugelį kartų.

Sudėtinga teorinė problema — aprašyti atomų susidūrimus su kitomis dalelėmis (elektronais, protonais, jonais). Kuo greitesnė ir kuo didesnio krūvio dalelė smogia į atomą, tuo reikšmingesnių pokyčių sukelia tame: išmuša iš įvairių sluoksnų elektronus arba perkelia juos į aukštesnes laisvas orbitas. Susidūrės su greitu jonu, atomas gali netekti netgi didesnės dalies savo elektroно, — susidaro daugiakrūvis jonas (pvz., geležies jonas, kurio elektroninis apvalkalas — kaip deguonies ar net kaip helio). Tyrinėti tokius atomus labai svarbu, norint suprasti, kas vyksta žvaigždžių gelmėse, taip pat siekiant gauti valdomą termobranduolinę reakciją. Smūgio momentu ir po jo, grįždamas į normalią būseną, atomas išspinduliuoja elektronus bei įvairių dažnių fotonus. Šiuose Rentgeno ir elektroniniuose spektruose slypi informacija apie tai, kas vyksta dalelėms susiduriant, kaip po to persitvarko atomas.

Atskirų laisvų atomų gamtoje reta. Dujose jie dažniausiai susijungę į molekules, skysčiuose — į dar didesnes grupes, kietuosiuose kūnuose sudaro kristalinę gardelę. Betgi molekulėje ar kristale atomų vidiniai sluoksniai nedaug pasikeičia, iš esmės persitvarko tik išoriniai sluoksniai. Todėl molekulių ir kietojo kūno fizikoje plačiai taikomi atomo teorijos rezultatai ir metodai.

1981 m. pavasarį Heidelberge (VFR) įvyko pirmoji Europos atomo fizikos konferencija, joje dalyvavo apie 800 mokslininkų. Tai tik maža dalis fizikų, teoriškai ir eksperimentiškai tiriančių atomą. Tarp šios konferencijos delegatų buvo ir trys atstovai iš Lietuvos, akademiko Adolfo Jucio mokiniai. A. Jucys — vienas iš daugiaelektronés atomo teorijos kūrėjų. Dar 1938 m., praėjus vos dešimtmečiui po kvantinés mechanikos sukūrimo, jis savarankiškai émė dirbtį šioje srityje. Vėliau A. Jucys tobulinosi pas D. Hartį ir V. Foką, o grįžęs į Vilnių, sukūrė savo teorinę mokyklą. Jo darbų ir rūpesčių déka atomo fizika tapo viena iš pagrindinių fizikos mokslo krypcijų Tarybų Lietuvoje. Po staigios A. Jucio mirties 1974 m. jo darbus tęsia nemaža mokinių grupė, susibūrusi Mokslų Akademijos Fizikos institute.

RENTGENO SPEKTRAI — ATOMO ŠAUKNIAI

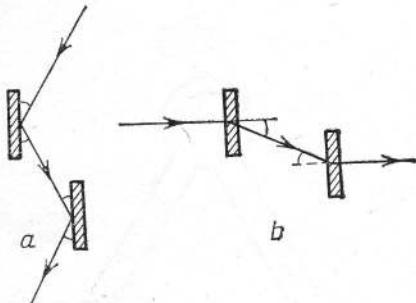
Po Mozlio mirties pagrindiniu Rentgeno spektrų tyrimo centru tapo Lundas (Švedija), kur susibūrė mokslininkų grupė, vadovaujama K. M. Zygbano (Ziegbahn). Vėliau Upsaloje jis įkūrė specialų institutą (pastaruoju metu jam vadovauja Zygbano sūnus Kajus). Praėjus vos keliems mėnesiams po Spalio revoliucijos, A. Jofės ir kitų mokslininkų rūpesčiu Petrograde buvo įkurtas Rentgenologijos ir radiologijos institutas. Netrukus trys jo skyriai — fizikos bei technikos, medicinos ir biologijos bei rentgenologijos — virto atskirais institutais. Maždaug tuo pat metu susiformavo Rentgeno spindulių tyrimo centralai ir Olandijoje, JAV, Francūzijoje.

Tais laikais Rengeno spektrai, palyginti su optiniais spektrais, buvo registruojami labai netiksliai. Pažaboti energingus jų kvantus pasirodė gana sudėtinga, tad lemiama pažanga buvo pasiekta tik per pastaruosius du tris dešimtmečius. Dabartiniai Rentgeno spindulių tyrimo prietaisai, palyginti su dvidešimtų metų pirmatais,— tarsi šiuolaikinės lenktyninės mašinos greta nepaslankių pirmųjų automobilių. Patobulėjo ir spindulių šaltiniai, ir spektrinės analizės bei registravimo prietaisai.

Vietoj Rentgeno spindulių vamzdžių moksliniams tyrimams vis plačiau naudojami greitujų elektronų žiedai. Pagreitinti elektro ringų dalelių greitintuve, elektronai nukreipiami į žiedinę vakuuminę kamerą, kur jie, stipraus magnetinio lauko veikiamai, ima suktis ratu. Priešpriešais elektronams toje pačioje kameroje juda kitas elektronų arba jų antdalelių — pozitronų — pluoštas. Tam tikrose kameros vietose dalelės susiduria ir atsiranda naujos elementariosios dalelės. Elektronai, sukdamiesi žiedinėje kameroje, skleidžia elektromagnetines bangas — vadinamuosius sinchrotroninius spindulius (sinchrotronais vadinami greitintuvai, kuriuose greitinamos dalelės juda apskritimu). Jeigu dalelių greitis artimas sviesos greičiui, tai pagrindinę sinchrotroninių spindulių dalį sudaro Rentgeno spinduliai. Elementariųjų dalelių specialistams šis spinduliaivimas sukelia papildomą rūpesčių: kad létēdami elektronai nekeistų trajektorijos, juos nuolat tenka pagreitinti kintamuoju elektriniu lauku. Betgi tas neigiamas efektas gali būti panaudotas kaip galinges Rentgeno spindulių šaltinis; jų intensyvumas mažai kinta plačioje dažnių srityje.

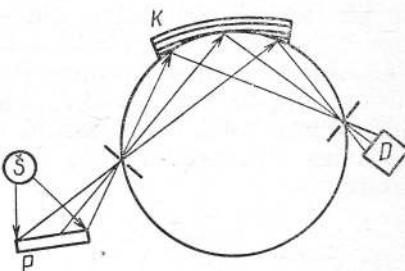
Neseniai atrastas naujas perspektyvus būdas Rentgeno spinduliams gauti. Greitų elektronų pluoštas nukreipiamas į ploną taisyklingo kristalo plokštelynė. Judēdami kanalais tarp atomų eilių jų krūvio sukurtame periodiniame lauke, elektronai ima skleisti intensyvų ir kryptingą Rentgeno spindulių pluoštą.

Bet kokio prietaiso, skirto Rentgeno spinduliams tirti, pagrindinė dalis — spinduliu monochromatorius. Jis iš įvairių dažnių spinduliu pluošto išskiria vieno dažnio spindulius — monochromatinį pluoštą (iš tikrujų pluošto spinduliu dažniai šiek tiek skiriiasi — sudaro siaurą dažnių intervalą). Kaip prisimename, pirmajame Brago spektrometre monochromatorius buvo kristalas. Dėl difrakcijos skirtingo dažnio spinduliai atispindi nuo kristalo skirtingais kampais — tai išplaukia iš Brago ir Vulfo lyties. Šiuolai-



21 pav. Dvieju kristalu spektrometro veikimo principas:

a — naudojama Brago difrakcija; b — naudojama Laujės difrakcija.



22 pav. Spektrometas su lenktu kristalu:

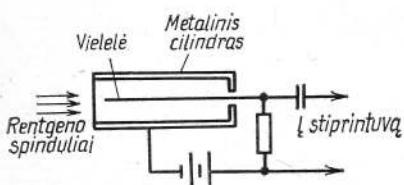
S — Rentgeno spinduliu šaltinis; P — tiriamasis pavyzdys; K — lenktas kristolas; D — detektorius.

kiniai monochromatoriai būna sudaryti iš dviejų ar net trijų kristalų, nuo kurių paeiliui atispindi (Brago metodas) ar pro kuriuos paeiliui praeina (Laujės metodas) Rentgeno spinduliu pluoštas (21 pav.). Kadangi pradinis pluoštas paprastai būna išsiškleidžiantis, tai intensyvesnį monochromatinį spindulį galima gauti lenktu kristalu, kuris sufokusuoja skirtinges kampais krintančius spindulius (22 pav.).

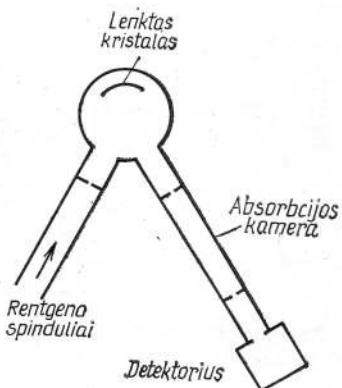
Minkštujų Rentgeno spinduliu bangos ilgis daug didesnis negu atstumai tarp atomų kristale. Tokiems spinduliams tirti gaminamos dirbtinės difrakcinės gardelės. Jose viename milimetre būna įbrėžta tūkstančiai ir net dešimtys tūkstančių ruoželių. Be to, spinduliams krintant į gardelę mažu kampu Θ , t. y. beveik šliauziant jos paviršiumi, — gardelė veikia taip, tarsi atstumas tarp gretimų ruoželių būtų sumažėjęs $1/\sin\Theta$ kartu.

Dar viena būtina rentgeninio spektromетro dalis — detektorius, t. y. spinduliu registratorius. Kažkada Rentgenas naudojo kaip detektorių fotografinę plokštę. Dabar fotografinis registravimo būdas gerokai patobulintas: naudojamos fotojuostos, padengtos specialia, kartais net kelių sluoksnių emulsija. Labiau pa-

plitej ionizaciniai detektoriai, kuriu tolimas prototipas buvo Rentgeno naudotas elektroskopas. Prietaisą sudaro metalinis cilindras, kurio viduje įtaisyta plona vielelė (23 pav.). Cilindras pildytas dujų, dažniausiai argono ar kriptono. Patekę į cilindrą, Rentgeno spinduliai ionizuoją dujų atomus — iš jų išmuša elektronus. 0,1 nm bangos ilgio Rentgeno spindulių kvantas gali sukurti apie 400 elektronų ir jonų porą. Normaliomis sąlygomis Jonai vėl greitai rekombinuoja — prisijungia elektronus. Sukūrus tarp cilindro ir vielelės elektrinių laukų, vielelė pritraukia elektronus ir joje atsiranda elektros srovė. Jos stiprumas proporcingsas absorbuotų fotonų skaičiui, todėl ionizacinis detektorius dažnai va dinamas proporcinguoju skaičikliu.



23 pav. Rentgeno spindulių detektorius — ionizacinis skaitiklis



24 pav. Rentgeno absorbcijos spektro matavimo schema

Rentgeno kvantams skaičiuoti yra sukurti ir kitokie detektoriai, kurių veikimas pagrįstas kristalų fluorescencija, puslaidinininkų savybėmis ir kt.

Kaip gaunamas Rentgeno absorbcijos spektras? Spinduliai iš elektronų greitintuvo ar Rentgeno spindulių vamzdžio patenka į spektrometrą, kuriame praeina pro vieną ar kelią nedideles angas — kolimatorius; šie suformuoja siaurą spindulių pluošteli (24 pav.). Jis krinta į kristalą-monochromatorą, išskiriantį tam tikro bangos ilgio spindulius. Po to jie patenka į absorbcijos kamерą, kurioje įtaisyta plona tiriamosios medžiagos plėvelė (jei nagrinėjama kietojo kūno absorbcija) arba prileista dujų (jei tiriamas laisvujų atomų ar molekulių absorbcija). Praėjusius pro kameras spindulius registruoja detektorius. Po to monochromatorius pasukamas nedideliu kampu, ir į detektorių patenka kito bangos ilgio spinduliai. Taip palaipsniui išmatuojamas absorbcijos spektras tiriamajame dažnių intervale.

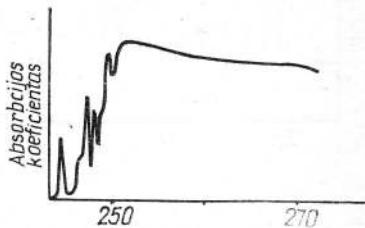
Tas pats spektrometas gali būti panaudotas ir Rentgeno emi-

sijos spektrams regiszruoti. Tada tiriamoji medžiaga dedama ne absorbcijos kameroje, o spektrometro iėjimo angoje, kur į ją krinta elektronai arba monochromatiniai Rentgeno spinduliai (22 pav.). Jie išmuša elektronus iš vidinių sluoksnių, o į susidariusias vakansijas peršoka kiti atomų elektronai, skleisdami būdinguosius Rentgeno spindulius. Jų pluoštas taip pat kolimuoja mas, monochromatorius išskiria iš jo vieno dažnio spindulius ir nukreipia į detektorių. Vėlgi, sukant monochromatorių, paeiliui ištiriamas visas spektras. 25 ir 26 pav, matome Rentgeno absorbcijos ir emisijos spektrų pavyzdžius.

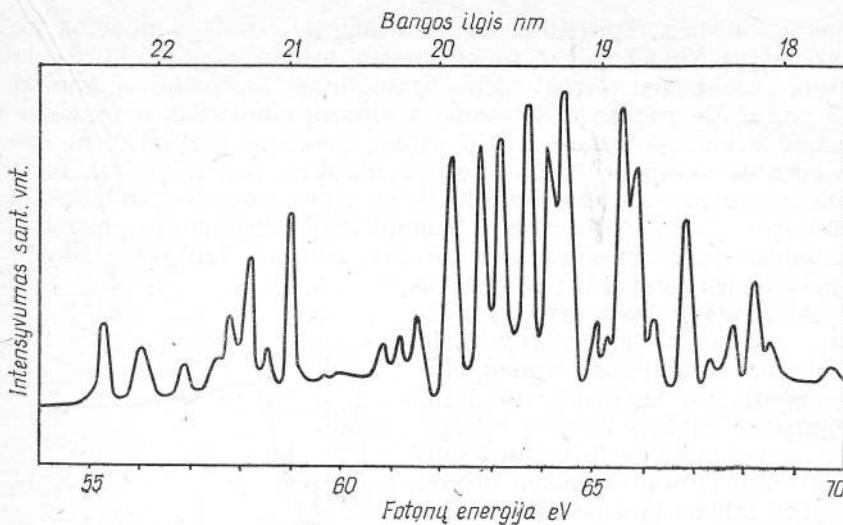
Absorbcijos spektras yra gautas, apšvietus sinchrotroniniais Rentgeno spinduliais argono dujas. Nedidelės energijos spinduliu sugeriamą mažai: kvanto energijos nepakanka nei L sluoksnio elektronui perkelti į laisvą orbitą, nei tuo labiau jam išmušti iš atomo. Šuoliškas absorbcijos padidėjimas — vadinamasis absorbcijos kraštas — atitinka fotoefekto proceso pradžią. Nedideli siauri maksimumai, matomi prieš absorbcijos kraštą didelio tikslumo spektre, atitinka elektrono perkėlimą į M (jis néra argone visai užpildytas), N ir tolimesnius sluoksnius.

26 pav. pavaizduotas ultraminkštųjų Rentgeno spindulių spektras, kurį skleidžia ksenono atomai, bombarduojami elektro nais. Jų energijos užtenka išmušti elektronams iš N bei O sluoksnį. Kaip matome, spektras gana sudétingas, nors normalios būsenos ksenono atomų visi elektronų sluoksniai yra užpildyti. Kiekviena spekto linija teikia tam tikrą informaciją apie atomo energijos lygmenų išsidėstymą ir sąveikas atome, apie procesus, kurie vyksta, susiduriant atomams su elektronais ir suyrant nestabilių jono būsenai. Norint šią informaciją išsifruoti, reikia atlkti sudétingus teorinius skaiciavimus.

Maždaug ligi šio amžiaus vidurio Rentgeno spektroskopijos metodai daugiausia buvo taikomi tirti ne laisviesiems atomams, bet kietiesiems kūnamams. Tiesa, ir kristale atomas iš dalies išlaiko savo individualumą: jo vidiniai elektronų sluoksniai mažai pasikeičia. Betgi išoriniai elektronų sluoksniai yra bendri keliems atomams. Kadangi keli elektronai negali būti tos pačios būsenos, tai kolektyvinių elektronų energijos lygmenys išsidėsto vienas



25 pav. Argono absorbcijos spektras ties absorbcijos kraštu Smulkioji struktūra atitinka elektronų peršokinį į neužimtus lygmenis. (Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1980, т. 79, с. 1671.)



26 pav. Ksenono, sužadinto elektronų smūgių, ultraminkštujų Rentgeno spinduliu emisijos spektras

Linijos atitinka radiacinius šuolius tarp atskirų lygmenų ksenono jonuose su viena ir dvemis vakansiomis N bei O sluoksniuose. (Journal of Physics. Atomic and Molecular Physic, 1980, v. 15, p. 3535.)

greta kito — sudaro savotiškas juostas. Tų juostų savybės lemia kristalų pobūdį — laidininkas, dielektrikas ar puslaideininkis. Absorbuojant Rentgeno spindulius, elektronai peršoka iš vidinio sluoksnio į laisvąją juostą, o vykstant emisijai, juostos elektronai peršoka į vakansijas vidiniuose sluoksniuose. Tad kietųjų kūnų Rentgeno emisijos ir absorbcijos spektrus galima panaudoti elektronų tankiui ir pasiskirstymui juoste, cheminiams ryšiams tarp atomų tirti.

Dujose medžiagos tankis daug mažesnis negu kietajame kūne, todėl dujų Rentgeno spektrai daug silpnesni. Tik pastaraisiais dešimtmečiais, žymiai patobulinus Rentgeno spektroskopijos metodus, pradėta plačiai juos taikyti ir dujomis bei metalų garams tirti.

Būdingieji Rentgeno spektrai, tarsi pirštų atspaudai, leidžia identifikuoti elementus, netgi dar nežinomus supersunkiuosius elementus. Labai maži tokiių elementų kiekiai gaunami dirbtiniu būdu, sunkiesiems atomams susiduriant su jonais. Vienas iš svariausių įrodymų, jog iš tikruju gautas naujas supersunkusis elementas,— jo Rentgeno spektrio linijos sutampa su teoriškai apskaičiuotomis.

Elektronai, esantys arti atomo branduolio, gerai „jaučia“ jo savybes. Todėl Rentgeno spektrai naudojami ir atomų branduoliams tirti. Kartais branduolys pagrobia iš artimiausio jam K sluoksnio vieną elektroną. Apie tai praneša Rentgeno spinduliu kvantas, kurį išspinduliuoja elektronas, peršokdamas į susidariusią vakansiją. Skildami radioaktyvieji branduoliai skleidžia vadinamusius α , β , γ spindulius. Betgi skilimo energija gali būti perduodama ir vidinio sluoksnio elektronui, kuris išlekia iš atomo. Šis procesas vadinamas vidine konversija.

Apie Rentgeno spektroskopijos taikymą astrofizikoje ir technikoje kalbésime tolesniuose šios knygelės skyriuose.

OŽÉ ŠUOLIAI IR ELEKTRONŲ SPEKTRAI

Tarkime, iš atomą, smogę elektronas arba fotonas ir iš vidinio elektronų sluoksnio išmusę elektroną. Susidariusi nestabili atomo būsena gali suverti mums žinomu būdu: elektronas iš tolimesnio sluoksnio peršoka į vakansiją, išspinduliuodamas Rentgeno spinduliu kvantą. Betgi yra ir kitas būdas atomui pereiti iš labai sužadintos į normalią būseną — vadinamas Ožé šuolis.

1923 m. prancūzas P. Ožé (Auger), švitindamas Rentgeno spinduliais pavyzdėli, esantį Vilsono kameroje, pastebėjo dvigubus, primenančius V raidę, pėdsakus. Tai reiškė, jog iš kai kurių atomų išlekia du elektronai — fotoelektronas ir kitas nežinomas kilmés elektronas. Kamera buvo magnetiniame lauke, kuris iškreipia elektrono trajektoriją, ir tuo labiau, kuo mažesnė elektrono energija. Fotoelektronų pėdsakai keitėsi, didėjant pirminių Rentgeno spinduliu energijai. Tuo tarpu Ožé pastebėtų kitų elektronų energija nepriklausė nuo bombarduojančių kvantų energijos. Ne-trukus G. Ventcelis (Wentcel) paaiškino Ožé atrasto reiškinio prigimtį. Iš vidinio sluoksnio išmušus elektroną, kitas elektronas užima jo vietą, savo energijos perteklių perduodamas išoriniam, silpnai susietam su branduoliu, elektronui, o šis išlekia kaip laisvasis elektronas. Tas procesas buvo pavadintas Ožé šuoliu, arba Ožé reiškiniu. Kokiu būdu vienas elektronas perduoda kitam savo energiją? Iš pradžių buvo spėjama, jog tai įvyksta dviem pakopomis: vienas elektronas peršokdamas išspinduliuoja Rentgeno kvantą, o šis pataiko į kitą elektroną ir išmuša jį iš atomo. Tokiu atveju Ožé šuolio tikimybė būtu lygi abiejų elementariųjų procesų tikimybių sandaugai. Tačiau taip apskaičiuotos šuolių tikimybės neatitinko eksperimentinių rezultatų. Tai įrodė, jog Ožé šuolis yra vienas procesas, o energija perduodama ne kvantu, o per atomo elektronų sąveiką.

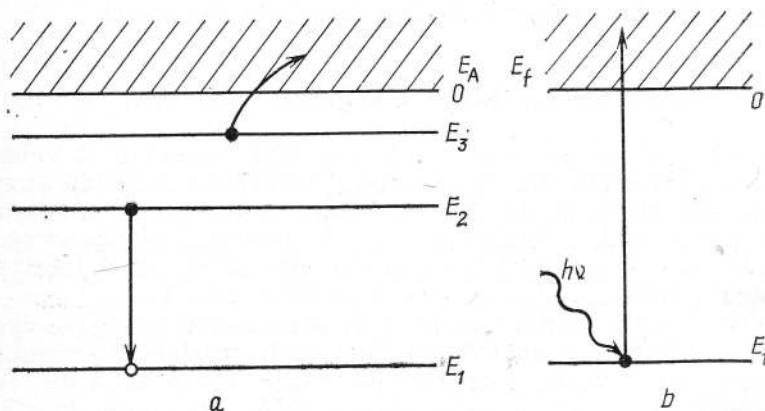
Radiacinių šuoliai ir Ožė šuoliai konkuruoja tarpusavyje. Lengvuosiuose atomuose ir išoriniuose sunkiujų atomų sluoksniuose vyrauja Ožė šuoliai, o vakansija giliame vidiniame sluoksnuje dažniausiai užpildoma, išspinduliuojant Rentgeno kvantą.

Naudojantis energijos tvermės dėsniu, lengva nustatyti Ožė elektrono ir fotoelektrono energijas (27 pav.):

$$E_A = -E_1 + E_2 + E_3,$$

$$h\nu = E_f - E_1;$$

čia v — Rentgeno spindulių, sukuriančių pradinę vakansiją, daž-



27 pav. Ožė (a) ir fotojonizacijos (b) procesų schemas

Užbrūkšniuota teigiamų energijų sritis, atitinkanti laisvojo elektrono judėjimą.

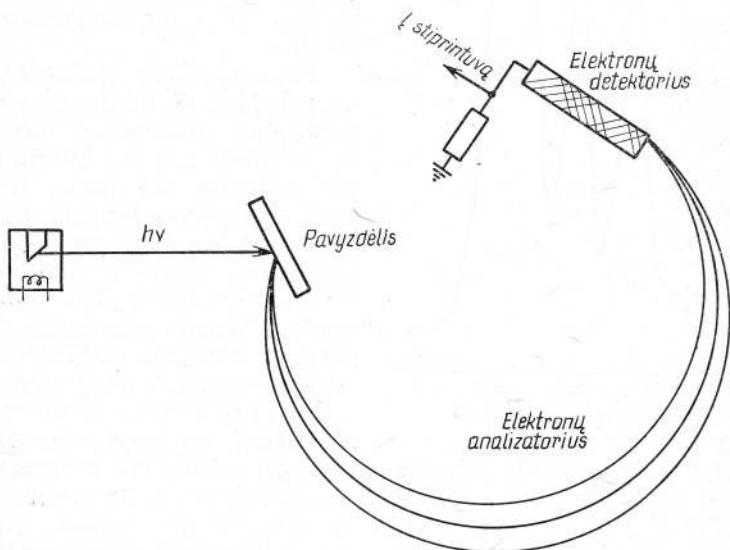
nis, E_1 — išmušamo elektrono energija atome, E_2 , E_3 — dalyvaujančių Ožė šuolyje elektronų energijos (kuris iš jų peršoka į vidinę vakansiją, o kuris išleksia iš atomo, deja, nustatyti negalima dėl elektronų tapatingumo), E_A — Ožė elektrono, o E_f — fotoelektrono energija (ji yra teigiamą, o surištųjų elektronų energijos E_1 , E_2 ir E_3 yra neigiamos).

Pastarosios lygtys gautos, tarus, jog kitų, procesuose tiesiogiai nedalyvaujančių elektronų energijos nesikeičia. Toji prielaida priimtina tik skaičiuojant tam tikru tikslumu.

Apšvietus atomus gana didelės energijos Rentgeno spinduliais, iš jų gali išlékti įvairios energijos fotoelektronai ir Ožė elektronai. Išmatavus jų energijos vertes — elektronų energijų spektrą, galima sužinoti, iš kokių sluoksninių išlékė elektronai, kokiais energijas jie turėjo atome.

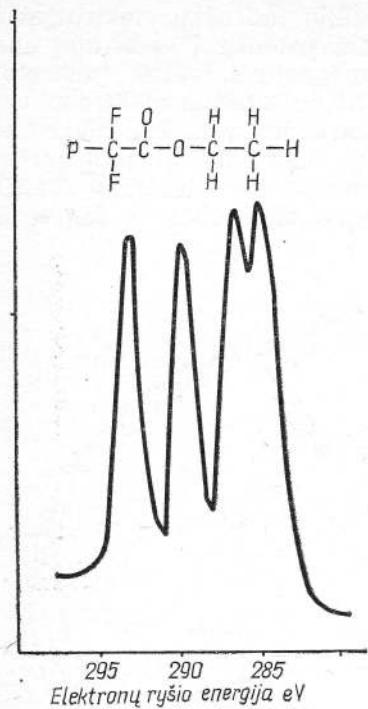
Fotoelektronų ir Ožė elektronų energijos yra matuojamos elektroniniu spektrometru (28 pav.). Jo veikimas pagrįstas aukš-

čiau minėtu magnetinio lauko poveikiu judančiai elektringai dailei. Išlėkė iš pavyzdėlio elektronai patenka į elektronų analizatorių. Cia juos veikia stiprus magnetinis laukas (nukreiptas statmenai paveikslėlio plokštumai). Kuo didesnė elektronų energija, tuo didesnio spindulio trajektorija jis juda. Tuo būdu elektronų pluoštas išskleidžiamas pagal jų energijas. Vienodos energijos elektronai yra nukreipiami į detektorių — elektronų skaitiklį. Po to jis registruoja kitos energijos elektronus ir taip — visą elektronų spektrą.



28 pav. Fotoelektronų spektrometru schema

Deja, šią paprastą idėją praktiskai įgyvendinti yra labai sunku. Elektronų analizatoriuje turi būti sukurtas vakuumas, antraip, susidūrusi su oro molekulėmis elektronų energijos pasikeis. Be to, reikia labai stipraus nuolatinio magnetinio lauko. Prietaisą būtina izoliuoti nuo pašalinėj magnetinių laukų, kartu ir nuo Žemės magnetinio lauko. Pavyzdėlio, iš kurio išlekia elektronai, paviršiuje susidaro elektros krūvis, galis iškreipti tų elektronų energijas. Dėl šių sunkumų pirmieji elektronų spektrų matavimai, atlikti apie 1920 m., buvo labai netikslii. Tik 1954 m., vadovaujant K. Zygbaniui, Upsaloje buvo pagamintas pirmas šiuolaikinis elektroninis spektrometras. Tai sukėlė sensaciją, ir elektroninė spektroskopija iš Pelenės staiga virto princese.



29 pav. I etiltrifluoracetatą ieinančios anglies K sluochnio elektronų spektras. Viršuje užrašyta junginio struktūrinė formulė. Keturios linijos spektre atitinka keturias skirtingas C atomo padėtis junginio molekulėje. (Зигбан К. и др. Электронная спектроскопия.— М.: 1971, с. 33.)

Siuolaikiiniuose elektronių spektrometrose sukuriamas vakuumas apie 10^{-10} pascalio. Prietaisas sujungiamas su specialiu kompiuteriu, kuris valdo eksperimentą pagal duotąją programą. Jo eigą eksperimentuotojas gali sekti televiziniame ekrane. Kompiuteris kartoja eksperimentą, nustato paklaidas ir nubraižo elektronų spektrą.

Fotoelektronų spektroskopija, palyginti su Rentgeno spektroskopija, pranašesnė tuo, jog čia matuojamas ne dviejų atomo energijų skirtumas, o tiesiog elektrono energija atome.

29 pav. matome spektrą elektronų, išmuštų monochromatiniu Rentgeno spinduliu iš anglies atomų, ieinančių į sudėtingą organinį junginį — etiltrifluoracetatą. Vietoj vienos linijos, atitinkančios K sluochnio elektronų energiją laisvajame anglies atome, cia matome keturias anglies K linijas, vadinaisi, molekulėje anglies atomai užima keturias skirtingas pozicijas. Tai padeda nustatyti molekulės struktūrinę formulę.

SKVARBIEJI SPINDULIAI IR ORGANIZMAS

PERMATOMAS ŽMOGUS

Atradus Rentgeno spindulius, išsipildė sena ir, rodės, neigvendinama gydytojų svajonė — matyti žmogaus vidų. Fizikų laboratorijas užplūdo ligoniai bei gydytojai. Žymūs fizikai — V. Vynas Berlyne, A. Popovas Petrograde ir kiti émési rentgenologinių

žmogaus tyrimų. 1896 m. Rentgeno aparatas atsirado ir Vilniuje,— jį įsigijo gydytojas F. Dembovskis.

Pirmiausia Rentgeno spinduliai buvo panaudoti kaulų lūžiams nustatyti, kulkoms bei kitokiams pašaliniam daiktams, patekusiems į žmogaus organizmą, aptikti. Kažkada garsiausi italų ir prancūzų gydytojai du mėnesius stengési nustatyti, ar žymaus italų revoliucionieriaus D. Garibaldžio (Garibaldi) žaizdoje yra kulta, ir, jeigu yra, tai kurioje vietoje. Dabar tokį tyrimą gali greitai atlikti bet kuris gydytojas.

Netrukus Rentgeno spinduliai buvo panaudoti plaučių ligų diagnostikai, kovai su tuberkulioze — viena iš pavojingiausių to meto ligų.

Vidaus organai, esantys pilvo ertmėje, maždaug vienodu laipsniu sugeria Rentgeno spindulius; be to, užstoja vienas kitą. Betgi gydytojai išmoko išryškinti reikiamaą organą, išleidę į jį specialių medžiagų, gerai sugeriančių spindulius, bet nepavojingų žmogaus organizmui. Tokiu būdu galima padaryti matomu netgi kraujagyslių tinklą, trachéjas ir bronchus ar nugaros smegenų kanalą. Gydytojai įgijo galimybę stebeti atskirų organų veiklą.

Dabar, kai kūno peršvietimas Rentgeno spinduliais įprastas dalykas, netgi nelabai maloni procedūra, sunku įsivaizduoti, kokią nuostabą ir emocijas tai sukeldavo šio amžiaus pradžioje. Tai įspūdingai aprašyta T. Mano romane „Užburtas kalnas“. Jo herojus Hansas Kastorpas patenka į Rentgeno kabinetą, ir gydytojas pasiūlo pažvelgti į savo draugo atvaizdą ekrane. Kastorpas visų pirma atsklausia pastarojo leidimo ir tik po to, apimtas baimės ir pagarbos, jausdamasis aiškiaregiu, pažvelgia į savo draugo vidų. „Smarkiai susijaudinės nuo to, ką pamatė, arba, veikiau, nuo to, kad visa tai pamatė, jis pājuto, kad jo širdį apninka abejonės, ar visa, kas čia darosi, nėra koks nelabojos darbas, abejonės, ar leistina šitaip žiūréti į tai drebančioje ir tratančioje tamsoje; ir šiurpus malonumas, kad nekukliai regi, kas dedasi svetimame kūne, jo krūtinėje émė maišytis su grauduliu ir pietizmu“. To vaizdo Kastorpas ilgai negalėjo pamiršti, o iš mylimosios gautą jos Rentgeno nuotrauką jis saugojo kaip brangiausią talismaną. O juk Kastorpas — tiksliuju mokslų studentas, vos ne inžinerius.

Rentgeno spinduliai, radijas, televizija, atominė energija — kaip greitai netikėti fizikos atradimai tampa įprastais mūsų gyvenimo reiškiniais!

Šiuo metu, prof. P. Vlasovo duomenimis, 70 % vidaus ligų diagnozijų nustatoma, naudojantis rentgenologinių tyrimų rezultatais. Taigi Rentgeno spinduliai padarė tikrą perversmą medicinoje.

Deja, nėra šviesos be šešelių: dar 1896 m. paaikškėjo, jog Rentgeno spinduliai aktyviai veikia žmogaus organizmą. P. Lebedevas, vienas iš entuziastingų naujujų spindulių tyrinėtojų Rusijoje, karta truktelėjo savo barzdele, kuria bandymų metu prikišdavo prie Rentgeno vamzdžio, ir ši liko jo rankoje. Edisono asistentas mirė nuo sunkių nudegimų, po to Edisonas nutraukė bet kokius bandymus su Rentgeno spinduliais. Gydytojams ir fizikams, kurie dirbo su jais, odoje atsirasdavo démių ir sunkiai gyjančių žaizdų, nuslinkdavo plaukai, imdavo trupeti nagai, atsirasdavo piktybiinių navikų, jie susirgda leukemija. Pats Rentgenas gana atsargiai elgesi su X spinduliais; be to, neilgai juos tyrė, tačiau, kaip žinoma, jis mirė nuo naviko, kuris galbūt atsiradė dėl spindulių poveikio. 1928 m. Londone buvo atidengtas obeliskas Rentgeno ir gama spindulių aukoms, kuriame įrašyti 136 pavardės. 1936 m. panašus paminklas pastatytas Vokietijoje: čia jau buvo 169 pavardės „gydytojų, fizikų, chemikų, technikų, laborantų ir seselių, paaukojusių gyvybę, kovojant su ligomis“. Ligi 1959 m. aukų skaičius oficialiais duomenimis pasiekė 360 žmonių.

Rentgeno spinduliai kėlė pavojų ir ligoniams. Juk pirmaisiais metais rankos rentgenogramai (Rentgeno nuotraukai) padaryti reikėjo 20 minučių ekspozicijos, o plaučių rentgenogramai netgi 1,5—2 valandų. Didelės Rentgeno spindulių dozės buvo naudojamos, sergant kai kuriomis odos ligomis — neskausmingai plaukams pašalinti.

Paaikškėjus, kad Rentgeno spinduliai kenksmingi, buvo imtasi efektyvių apsaugos priemonių. Rentgeno spindulių aparatai buvo ekranuoti švino plokštėmis, gydytojai ėmė dėvėti specialius rūbus. Patobulinus Rentgeno vamzdžius, gerokai sutrumpėjo ekspozicijos laikas. Plačiai pradėtas naudoti fluorografijos metodas: Rentgeno spindulių vaizdas fiksuojamas nuotraukoje, po to gydytojas ji nagrinėja, neveikdamas paciento spinduliais. Nustatytos leistinės radiacijos dozės gydytojams ir ligoniams. Antra vertus, ardomasis Rentgeno spindulių veikimas buvo panaudotas terapijos tikslais: gydyti navikams, ypač esantiems odos paviršiuje, uždegimams, kai kurioms nervų ir kaulų ligoms.

Rentgeno spinduliais galima nustatyti diagnozę netgi žmonėms, mirusiems prieš šimtus ir tūkstančius metų. Ištyrus skeletus bei mumijas rentgenografiniais ir kitais fizikiniais bei cheminiais metodais, paaikškėjo, jog ir senovėje žmonės sirgo panašiomis ligomis: rachitu, ostitu, vėžiu, podagra, tuberkulioze, raupsais ir kt., nors kur kas daugiau mirdavo ne sava mirtimi — dėl išvairių sužeidimų. Paaikškėjo, jog TSRS teritorijoje geležies, netgi akmens amžiuje buvo kartais atliekamos sudėtingos operacijos,

pavyzdžiui, kaukolės trepanacija, aišku, primityviais įrankiais ir be narkozės.

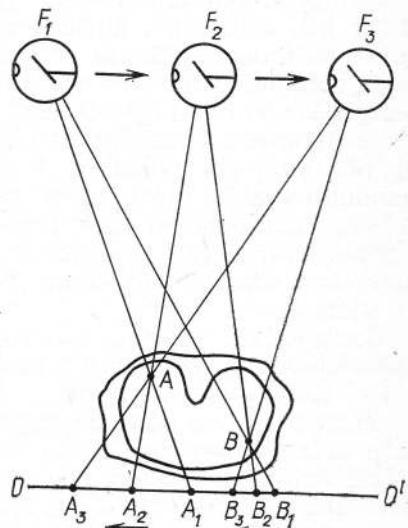
Pastaraisiais dešimtmečiais medicininiai Rentgeno aparatai ir diagnostikos metodai sparčiai tobulėja.

Rentgeno nuotraukos gali būti gaunamos ant paprasto popieriaus, naudojantis elektrografijos metodu: Rentgeno spinduliams veikiant įelektrintą plokštélę, joje susidaro slaptas atvaizdas, kuris išryškinamas ir perkeliamas ant popieriaus, naudojantis dažų milteliais. Toks aparatas yra sukurtas Vilniaus Elektrografijos mokslinio tyrimo institute.

Užpatentuoti net keli būdai spalvotoms Rentgeno nuotraukoms gauti. Nespalyvota nuotrauka daroma kelis kartus, naudojantis įvairaus skvarbumo spinduliais, po to kiekvienas negatyvas nuodažomas kita spalva ir jie sujungiami vienoje nuotraukoje; arba skirtingomis spalvomis pažymimos įvairaus ryškumo zonas toje pačioje nuotraukoje. Tuomet nuotrauka teikia daugiau informacijos, bet gydytojas privalo turėti specialių iğudžių.

Jau sukurta rentgeninė televizija ir rentgeninis kinas. Pastaraisiais metais vis dažniau minima tomografija. Tai būdas žmogaus kūno (ar kito objekto) dalies — vidinio sluoksnio — Rentgeno nuotraukai gauti (30 pav.). Vienu metu iš abiejų žmogaus kūno pusų sinchroniškai juda Rentgeno vamzdžis ir fotografuojantis įrenginiys. Taip nuotraukoje gaunamas kelių mm sluoksnio atvaizdas; žemiau ir auksčiau esančių sluoksnių atvaizdas būna neryškus. Serija tokų nuotraukų leidžia tirti atskiras vidaus organo dalis.

Kaip ir daugelyje kitų mokslo ir technikos sričių, rentgenologijoje vis plačiau naudojami kompiuteriai. Jie valdo įrengimus, atliekant sudėtingus, pavyzdžiui tomografinius, tyrimus, apdoroja gautą informaci-



30 pav. Tomogramos gavimo schema
Rentgeno vamzdžiu judant iš padėties F_1 i^š padėti F_3 , kūno, apšviesto Rentgeno spinduliais, taško A atvaizdas nueina kelią $A_1 - A_3$, o taško B atvaizdas — kitokį kelią $B_1 - B_3$. Jeigu fotografinė plokštélė judės priešinga vamzdžio judėjimui kryptimi $O' - O$ taip, kad taško A atvaizdas visą laiką liktų toje pačioje plokštélės vietoje, tai šio taško (ir jų supančio sluoksnio) atvaizdas plokštélėje bus ryškus, o taško B atvaizdas bus išplitęs ir neryškus.

ja. Kompiuterio archyve gali būti saugoma daug tipinių Rentgeno nuotraukų; bet kurią iš jų galima greitai perkelti į televizinį ekraną ir palyginti su tiriamaja nuotrauka. Nors atpažinti ligos simptomus — gana sudėtinga problema kompiuteriui, bet, be abejo, ateityje pati mašina galės nustatyti diagnozę, bent jau tipiškais atvejais.

Sie sudėtingiausi rentgenografiniai prietaisai kol kas yra gana brangūs (jų kaina tarptautinėje rinkoje siekia šimtus tūkstančių dolerių) ir dar nėra plačiai paplitę.

DIDELĖS DOZĖS, MAŽOS DOZĖS

Norėdami išsiaiškinti, kokie Rentgeno spindulių kiekiai yra pavojingi žmogaus organizmui, visų pirma turime mokėti juos matuoti, turėti matavimo vienetus.

Rentgeno spinduliai veikia gyvą organizmą, panašiai kaip gamina ir kiti spinduliai, kuriuos skleidžia radioaktyviosios medžiagos,— jie ardo sudėtingas organines molekules. Tad įvairių skvarbiųjų spindulių kiekiams matuojamas tas pats vienetas — rentgenas. Jis buvo įvestas 1937 m. Tarptautinio radiologinio konгресo nutarimu. Spindulių kiekis, arba dozė, įvertinami, remiantis jų jonizuojančiu poveikiu. Vienas rentgenas — tai skvarbiųjų spindulių kiekis, kuris 1 cm^3 sauso oro sukuria tiek elektrinę dalelių, kad bendras kiekvieno ženklo krūvis lygus $(1/3) \cdot 10^{-9}$ kulono. Dažnai yra naudojamas milirentgenas (mR) — tūkstantoji rentgeno dalis. Spinduliavimo galios vienetas — rentgenas per laiko vienetą.

Jonizuodami atomus, spinduliai netenka energijos. Nesunku apskaičiuoti, jog, veikiant 1 rentgenui 1 cm^3 oro, susidaro $1,13 \times 10^{-8}$ džiaulio (J) energijos.

Žmogaus kūno audiniai sugeria Rentgeno spindulius, panašiai kaip oras. Apšvitinus žmogų vieno rentgeno doze, Jame vidutiniškai išsiskiria $9,3 \cdot 10^{-6}$ J/g energijos. Tai — biologinis rentgeno ekvivalentas, arba remas. Šis spindulių kiekio vienetas, atitinkantis rentgeną, kartais naudojamas, nagrinėjant skvarbiųjų spindulių biologinį poveikį.

Įvairūs žmogaus kūno organai sugeria Rentgeno spindulius nevienodai, tad biologai išsivedė dar vieną vienetą — radą. Tai tokia skvarbiųjų spindulių dozė, kuriai paveikus 1 g audinių, juose absorbuojama 10^{-5} J energijos. Taigi 1 rentgenas = 1 remas $\approx 0,93$ rado.

Energijos kiekis, išsiskiriantis žmogaus organizme, gavus tūkstančio rentgenų spindulių dozę, visai mažas — jis galėtų pakelti

kūno temperatūrą tik 0,001 °C. Maždaug tiek pat energijos žmogus gauna, išgéręs stiklinę karštąs arbatos. Betgi svarbu ne visas gautas energijos kiekis, o vieno kvanto energija. Rentgeno kvantai veikia kaip mikrokulkos. O blogiausia, žmogus netgi nejaučia pavojaus: jis gali gauti didelę spinduliu dozę, o joks pojūtis nesignalizuoti apie tai. Tik vėliau žmogus pajunta lengvą negalavimą: silpna, pykina, dingsta apetitas. Netrukus ir tai praeina, ir keletą dienų žmogus jaučiasi visai sveikas. Tuo tarpu organizme vyksta negrižtami irimo procesai, ir prasideda spindulinė liga.

Mirtina dozė žmogui — 600 rentgenų. Gavus 400 rentgenų dozē, spindulinė liga baigiasi mirtimi tik 50% atvejų. Silpnus ligos požymius sukelia netgi 25 rentgenų dozē, gauta per trumpą laiką. Deja, jeigu žmogus pagijo nuo spindulinės ligos, tai nereiškia, jog jo kūne neliko pragaištingų spinduliu pédsakų. Jam daug didesnė tikimybė susirgti vėžiu, organizmas mažiau atsparus ligoms, gali gimti nesveiki vaikai. Be to, kitą kartą šiam žmogui reikės daug mažesnės spinduliu dozés, kad vėl prasidėtų spindulinė liga. Gautosios dozés tarsi kaupiasi — jų efektas sumuoja si (nors bendra mirtina dozé yra didesnė negu vienkartinė).

Įvairūs žmogaus kūno organai nevienodai jautrūs Rentgeno spinduliams. Lengviausiai pažeidžiami kaulų čiulpai, limfmazgai, blužnis, kurie gamina kraują kūnelius, taip pat žarnyno gleivinė, plaukų šaknelės. Galioja dėsningumas: organas tuo jautresnis skvarbiesiems spinduliams, kuo daugiau naujų ląstelių tame susidaro. Dėl to buvo manoma, jog smegenys gana atsparios spinduliu veikimui — juk subrendusio žmogaus smegenų ląstelės nesidalija. Betgi gyvulių stebėjimai parodė: pakanka nedidelių spinduliu dozių, kad pasikeistų salyginiai refleksai, elgsena, sutriktu medžiagų apykaita organizme. Ypač pavojingi skvarbieji spinduliai lytinėms liaukoms, kur kaupiasi paveldimoji informacija.

Žemesnieji gyvūnai, palyginti su žmogumi, yra atsparesni Rentgeno spinduliams. Kuo paprastesnis organizmas, kuo žemesnė evoliucijos pakopą yra pasiekęs, tuo nejautresnis jis skvarbiai radiacijai. Antai pelėms mirtina dozé — 650 rentgenų, karosams — 1800, gyvatėms — 8—10 tūkstančių, mielėms — 30 tūkstančių, ameboms — 100 tūkstančių, o infuzorijoms — net 300 tūkstančių rentgenų. Yra mikrobų, kurie dauginasi net atominių reaktorių viduje, nors tokia radiacija ardo netgi neorganines medžiagas: plastmasė pasidaro trapi ir sueižėja, stiklas nustoja skaidrumo. Tai liudija, jog mikrobai sugeba atstatyti savo pažeistas ląstelės.

Augalai taip pat nevienodai atsparūs radiacijai: pavyzdžiu, kopūsto sėklas lieka daigios ir po 64 000 rentgenų dozés, o lelijos sėkloms pakenkia jau 2000 rentgenų.

Kokias spinduliu dozes žmogus gauna dėl medicininių tyrimų, ar jos nepavojingos?

Peršviečiant kūną Rentgeno spinduliais, pacientas gali gauti įvairias dozes, žiūrint kokio pobūdžio rentgenologiniai tyrimai, kokia jų trukmė ir kitos aplinkybės,— nuo 0,1 ligi 5 radų.

Norėdami ivertinti, daug tai ar mažai, žiūrėkime, kokias radiacijos dozes žmogus gauna iš jų supančios aplinkos: Žemę pasiekiančią iš kosmoso greitą elementariųjų dalelių, šiek tiek esančių žemėje ir ore radioaktyviųjų medžiagų, buitinų prietaisų.

Mūsų planetą dieną ir naktį bombarduoja kosminiai spinduliai — greitos dalelės, atlekančios iš kitų žvaigždžių ir galaktikų. Šioms dalelėms susidūrus su Žemės atmosferos molekulėmis, atsiranda antriniai kosminiai spinduliai — elementariųjų dalelių ir gama kvantų srautai. Be to, Saulė skleidžia į Žemę ne tik regimuosius ir ultravioletinius spindulius, bet taip pat Rentgeno spindulius, elektronus ir protonus. Jeigu visa ši radiacija pasiektų Žemę, gyvybę čia, bent aukštesniųjų formų, žūtų. Laimei, Rentgeno spindulius sugeria Žemės atmosfera. Daugumą dalelių nukreipia į šalis Žemės magnetinis laukas,— jos apteka planetą, sudarydamos radiacines juostas.

Žemės paviršiuje kosminė radiacija veikia žmogų vidutiniškai 26 mR per metus doze. Skvarbiųjų spinduliu daugėja, kylant į viršų. 10 km aukštyje, kur skraido reaktyviniai lėktuvai, jų jau 10 kartų, o 20 km aukštyje — per 100 kartų daugiau negu jūros lygyje. Dar stipresnė radiacija kosminėje erdvėje, tad kosmonautų apsauga sudaro nemaža rūpesčių orbitinių stocių ir erdvėlai vių kūréjams.

Skvarbieji spinduliai sklinda ne tik iš dangaus, bet ir iš žemės. Įvairose uolienose yra, nors ir labai mažai, natūralių radioaktyviųjų medžiagų — urano, radžio, nestabilių kalio ir švino izotopų. Jų skilimo pusamžis — milijonai, net milijardai metų. Medicinės namo sienos ir grindys iš dalies ekranoja nuo šių spinduliu, o plytos ir akmenys, patys turintys radioaktyviųjų izotopų, keletiopai padidina dozę. Žemės radiacija gerokai skiriasi įvairose vietovėse. Vidutinė galia — 30 mR per metus, o kai kuriose vietovėse ji dešimties, net tūkstančius kartų didesnė. Šias anomalijas sukelia uolienų, turinčių urano ar torio, kladai arba į žemės paviršiu išsiveržiantys radioaktyvieji vandenys. Didesnio radioaktyvumo vietoviu žinoma Indijoje (Keralos valstijoje), Brazilijoje (Atlanto vandenyno pakrantėje) ir kitur. Kai kuriose iš jų nuo seno gyvena žmonės, nors, pavyzdžiui, Keralos valstijos gyventojai gauna ligi 2,6 rentgeno per metus.

Radioaktyviųjų medžiagų yra ir pačiam žmogaus kūne. Kaip jos ten patenka? Viršutiniuose atmosferos sluoksniuose, veikiant

kosminiams spinduliams, susidaro radioaktyvusis anglies izotopas ^{14}C . Jo skilimo pusamžis 5720 metų. Iš atmosferos su anglies dvideginiu jis patenka į augalus. (Kaip tik pagal šio izotopo kiekį organinėse iškasenose mokslininkai nustato jų amžių.) Per maistą radioaktyvioji anglis atkeliauja į žmogaus organizmą, tam-pa jo sudėtine dalimi. Dar didesnio skilimo pusamžio yra radioaktyvusis kalio izotopas, kurio maži kiekiei būna gamtiniame kalyje. Radioaktyvusis kalis bei kalcis, taip pat uranas, radis kau-piasi žmogaus kauluose. Ore, ypač rūsių, blogai vėdinamų patal-pų būna radono, kuris atsiranda, skylant kitoms radioaktyvioms medžiagoms; ji žmogus įkvepia su oru. Šiuo būdu žmogus gauna dar trečią natūralaus spinduliaivimo dalį. Bendra dozė sie-kia apie 0,1 rentgeno per metus.

Ar daug ši natūralų foną padidino atominių bei vandenilinių bombų sprogdinimai? Sprogimo vietoje ir ten, kur nusėda radioaktyviosios dulkės, susidaro mirtinos spindulių dozės. Radioaktyviosios medžiagos, patekusios į aukštésnius atmosferos sluoksnius, išsisklaido po visą planetą. Kol kas jų sukuriamos vidutinės dozės néra didelės — tik apie 10 milirentgenų per metus.

Dažnai diskutuojama dėl atominių elektrinių keliamo pavojaus. Patikimai ištirta, jog, griežtais laikantis tokijų elektrinių eksplloatavimo taisyklių, jos teršia aplinką mažiau negu šiluminės. Tiesa, JAV ir kitose šalyse yra įvykusios kelios avarijos atominėse elektrinėse, per kurias į aplinką pateko daug radioaktyviųjų medžiagų. Visos ligi šiol veikiančios atominės elektrinės kol kas padidino gamtinį radioaktyvumą tik maždaug 0,2 milirentge-no per metus.

Nors iš pirmo žvilgsnio gali pasirodyti keista, bet žmogui yra pavojingesni kai kurie buitiniai prietaisai ar daiktai, pavyzdžiui, televizorius. Jo elektroninis vamzdis yra Rentgeno spinduliu vamzdžio modifikacija. Vaizdas televizoriaus ekrane susidaro, elektronų pluošteliui bombarduojant ekraną. Betgi elektronų smūgis į stiklą sukelia ne tik jį dengiančios luminescencinės medžia-gos švytėjimą, bet ir nepageidaujamą reiškinį — Rentgeno spin-dulius. Nespalvotame televizoriuje, kurio įtampa lygi 15 kilovoltų, atsiranda 0,5—1 mR/h radiacija. Laimei, tai minkštėjii Rentgeno spinduliai, kuriuos sugeria ekrano stiklas ir oras. 5 cm atstumu nuo ekrano Rentgeno spinduliu praktiškai jau néra. Daug skvarbesnius Rentgeno spindulius skleidžia spalvotieji televizo-riai, kurių vamzdžių įtampos yra didesnės. 5 cm atstumu nuo ekrano jų radiacija sudaro 0,5—150 mR/h. Jeigu vidurkį padaugintume iš 2—3 valandų (tieki dažnas žiūri televizorių per dieną) ir iš dienų skaičiaus metuose, gautume gana didelės dozes. Laimei, televizoriaus nežiūrime, prikišę nosis prie ekrano. O tolstant nuo

jo, dozė mažėja atvirkščiai proporcingai atstumo kvadratui. Žiūrint televizorių iš 3 metrų atstumo ir ne ilgiau kaip 1—2 valandas per dieną, iš jo gaunamos dozės sudaro tik nedidelę dalį natūralaus spinduliuavimo.

Vienu metu buvo paplitę laikrodžiai su šviečiančiu ciferblatu; juose naudojamos luminescencinės medžiagos, kuriose yra radžio druskos. Radioaktyviųjų spindulių nuolat veikiamas, rankos plaštaka gauti 2—4 radus per metus.

Kaip matome, dozės, gaunamos iš natūralių šaltinių, yra tos pačios eilės ar net didesnės negu vidutinė medicininė dozė (17,8 mR/metams). O radiacija, kuri paveikia net kelis kartus per metus peršviečiamą ligonį, praktiškai ne didesnė kaip 5 rentgenai. Tai ir ribinė leistinė dozė asmenims, dirbantiems atominėse elektarinėse, mokslininkams, atliekantiems bandymus su Rentgeno spinduliais arba radioaktyviosiomis medžiagomis.

RADIACIJA IR GYVYBINIAI PROCESAI

Pažvelkime atidžiau, kas vyksta organizme, kai jį paveikia skvarbieji spinduliai.

Pagrindinis gyvojo organizmo elementas — ląstelė. Jos svarbiausios dalys — branduolys, citoplazma ir membrana, arba apsauginė plėvelė. Branduolys — ląstelės valdymo centras, jo viduje įrašyta genetinė informacija apie ląstelės struktūrą (dėl to ląstelė gali gaminti tokias pat ląsteles). Nenuostabu, jog kaip tik ląstelės branduolys yra labiausiai pažeidžiamas skvarbiųjų spindulių. Genetinė informacija užkoduota sudėtingose organinėse molekulėse, primenančiose dvigubas spirales,— dezoksiribonukleino rūgšties (DNR) molekulėse. Spinduliai suardo DNR spiralės atskiras dalis, pakeičia ryšius tarp fragmentų, iškreipdam i ją įrašytą informaciją. Jie ardo ir membraną, per kurią vyksta ląstelės medžiagų apykaita su aplinka. Ląstelėje atsiranda nuodinę medžiagų, todėl sulėtėja dalijimosi procesas, ląstelė išsigimsta.

Aišku, ląstelė, kaip elementarus gyvasis organizmas, nepasi duoda be kovos — pasitelkia visas savo apsaugos priemones. Pakitimai vienoje DNR spiraleje ištaisomi pagal antrą tos molekulės spirale, — tai atlieka įvairūs fermentai. Ląstelė stengiasi pašalinti iš savęs kenksmingas medžiagas. Betgi kuo daugiau paželdimų, tuo sunkesnė toji kova.

Paveikus spinduliams, keičiasi ir sąveikos tarp ląstelių, atskirų organų, išsiderina medžiagų apykaitos procesai organizme. Tiesa, organizmo viduje veikia galingas imuninis (organizmo apsaugos) mechanizmas, kuris šalina išsigimusias ląsteles bei toksines me-

džiagas, bet ir jis nevisagalnis. Įvairios medicininės priemonės gali padėti organizmui kovoti su radiacija: tai medžiagos, neutralizuojančios aktyviuosius radikalus, létinančios neigiamus procesus ir kt.

Netgi laimėjus gyvybinėms jégoms, organizme lieka negrižtamų pokyčių. Kur ir kodėl jie įvyksta, kokius pavojus slepia? Biologai ir medikai dar ieško atsakymų į šiuos klausimus. Juk netgi atskira ląstelė yra labai sudėtinga sistema, gerokai pranokstanti kibernetinius žmogaus kūrinius.

Ligi šiol mokslininkai tebesiginčia, ar žalingos organizmui mažos skvarbių spinduliu dozés.

Vieni tvirtina, jog nėra minimalios ribos ar slenkščio, kurį pasiekus skvarbieji spinduliai nebepavojingi organizmui. Mažos dozés — mažas pavojus, bet vis tiek padidėja tikimybė susirgti vėžiu, akių katarakta, sutrumpėja amžius, gali būti nepageidaujamų padarinių palikuonims. Viena išsigimusi — piktybinė — ląstelė gali pradėti gaminti kitas panašias ląsteles. Mažos radiacijos dozés, kurias žmogus gauna iš aplinkos, taip pat esančios pavojingos, — kaip tik dėl jų poveikio dalis naujagimių turi sunkius genetinius defektus. Ši požiūri, regis, patvirtina ir dozių kaupimasis organizme.

Mokslininkai, ginantys priešingą nuomone, irgi randa svarių argumentų. Bandymai su augalais liudija, jog mažos radiacijos dozés veikia stimuliuojančiai: didina sėklų daigumą, spartina augimą, gausina derlių. Ir priešingai, izoliuoti nuo natūralaus skvarbių spinduliu fono augalai vystosi lėčiau. Buvo atlikta panašių bandymų ir su gyvūnais — pelémis, paukščiais ir kt. Pavyzdžiui, apšvietus peles 1 rentgeno per dieną doze, jų vidutinis amžius padidėjo 5%.

Kai kurie mokslininkai teigia, jog mažos radiacijos dozés yra būtinos ląstelėms dalytis. Didelės energijos kvantai sukuria aktyvią medžiagas, kurios išjudina ląstelę, esančią ramybės būsenoje. Radiacija taip pat aktyvina ir imuninę sistemą.

Pastebėta, jog daugiausia ilgaamžių gyvena kalnų rajonuose, kur yra stipresnis radiacijos fonas. Gal dėl tos pačios priežasties tokie vešlūs augalai kalnų alpinėse pievose?

Cchaltuboje, Piatigorske, Visbadene ir kituose žymiuose kurortuose yra gydoma radioaktyviaisiais vandenimis, turinčiais greitai suyrančio elemento — radono. Kad jie gerai veikia žmogaus organizmą, buvo pastebėta seniai, dar iki atrendant radioaktyvumą. Ir dabar ligoniai maudosi radono voniose, geria radioaktyvų mineralinių vandenį, kvépuoja oru, pašodrintu radonu. Gydymo kursas — 15—20 vonių, per tą laiką ligonis gauna 70—80 miliradų dozę. Dar didesni spinduliu kiekiai paveikia organiz-

mą, gydantis vandeniu, o ypač kvėpuojant oru, turinčiu radono,— plaučiai gauna nuo 16 ligi 48 radų dozę, kurios jau nebegalima laikyti visai mažą.

Įvairiose šalyse nuolat kyla gripo ir kitų ligų epidemijos. Negrinėjant jų periodiškumą, buvo pastebėtas epidemijų ryšys su Saulės aktyvumo ciklu. Viena iš hipotezių, aiškinančių šio atitinkamo priežastį, šitokia: tropikuose kyylančiosios oro srovės išneša į stratosferą bakterijų, kurios po kurio laiko su krituliais grįžta į žemę. 10—15 km aukštysteje bakterijas veikia didesnė radiacija, ypač kai saulė būna aktyvesnė; čia jos yra suaktyvinamos ir, patekusios į palankias sąlygas, pradeda sparčiai daugintis.

Kažkada ir Žemės paviršiuje radiacija buvo gerokai didesnė. Galbūt ji stimulavo gyvybės atsiradimą mūsų planete? Spinduliai sukelia genų pokyčius — jų mutacijas, kurios gali būti netik neigiamos, bet ir palankios. Mutacijos ir yra pagrindinė gyvybės evoliucijos varomoji jėga. Antra vertus, radiacijos lygio pokyčiai žemėje galėjo būti viena iš priežascių, kodėl tam tikrais laikotarpiais planeteje išnyko senieji ropliai ir kitos gyvybės formos.

Skvarbieji spinduliai nėra mirties spinduliai,— jų poveikis priklauso nuo dozės. Didelės dozės naikina gyvybę, bet mažos dozės, matyt, veikia dvejopai: kartu ir kenkia organizmui, ir jį stimuliuoja.

SPINDULYS DETEKTYVAS

PĒDSAKAI IŠRYŠKĖJA

Kaip jau rašėme, Rentgenas, atradęs X spindulius, ilgam užsidarė savo laboratorijoje. Vieną dieną jis pasikvietė stalių ir liepė išardyti laboratorijos duris. Po to stalius turėjo duris vėl sudėti ir pastatyti į vietą. Toks profesoriaus Rentgeno elgesys kolegom, jau apstulbintiems savanoriško įsikalnimimo, sukėlė įtarimų dėl jo sveikatos. Tuo tarpu Rentgenas elgesi visai logiškai: jis peršvietė X spinduliais duris ir pamatė nuotraukoje baltas juostas. Tai jis sudomino. Kai stalius išardė duris, paaiškėjo, jog tarpai tarp lentų buvo užpildyti baltais švino dažais. O švinas, kaip Rentgenas žinojo, gerai sugeria X spindulius.

Taip pirmą kartą šie spinduliai buvo panaudoti detektyviniais tikslais.

Sekančiais metais, kai žinia apie X spindulius sukelė visuotinę sensaciją, buvo daug rašoma apie jų taikymą įvairiomis pa-slaptims atskleisti, neretai nukrypstama į fantastiką. Iš tikrujų Rentgeno spinduliai kriminalistikoje nepadarė tokio perversmo kaip medicinoje.

Šiuolaikinė kriminalistika naudoja įvairius fizikinius ir cheminius metodus menkiausiems nusikaltimo pėdsakams aptikti, daiktinių įrodymų kilmei bei prigimčiai nustatyti. Šiemis tikslams tarsi nauja, ir neregimieji spinduliai — infraraudonieji, ultravioletiniai, Rentgeno bei gama.

Rentgeno spinduliai patogūs tada, kai norima ištirti daikto vidinę sandarą, jo neardant ir negadinant. Jais peršviečiami sprogstamieji įtaisai ar neaiškios paskirties daiktais, ginklais, ypač jeigu jie surūdiję arba savos gamybos. Muitinėje ar aerouoste Rentgeno spinduliai padeda greitai aptikti bagaže paslėptus draudžiamus pervežti metalinius daiktus, nors jie būtų po dvigubu dugnu. Peršvietus laišką, iš karto matyti, ar Jame nėra įdėta pinigų ar obligacijų — mat valstybiniams popieriams spaudsinti parastai naudojami mineraliniai dažai, kurie gerai absorbuoja Rentgeno spindulius.

Nusikaltėliai, bandantys suklastoti dokumentus, išskusti ar iš-ésdinti įrašus ir pakeisti juos naujais, suklastoti obligacijų numerius, net neįtaria, kaip lengvai tas taisymų žymes parodo įvairūs neregimieji spinduliai. Apšviestas Rentgeno spinduliais tam-pa matomas slaptaraštis, jeigu jis rašytas, naudojantis sunkiuju metalų druskų tirpalu.

Kaip atskirti dirbtinį perlą ar deimantą nuo tikro? Klastotojai stengiasi, kad jie nesiskirtų įprastinėje šviesoje. Rentgeninės „akies“ apgauti jiems nepavyksta. Natūralus perlas sudarytas iš kalcio karbonato, dirbtinis — tai stiklo burbulius, iš vidaus padengtas specialiu laku. Rentgeno nuotraukoje pirmasis atrodo daug tamsesnis. Netikras deimantas, priešingai, duoda tamsų še-selį, nes Jame būna švino ar bario priemaišų, o tikras brangakmenis — lengvai peršviečiama anglies atmaina. Be to, deimantas, veikiamas Rentgeno spinduliu, ima liuminescuoti — švytėti ryškia melsva šviesa. Tuo naudojamas, ieškant deimanto kruopelių smėlyje.

Atradus Rentgeno spindulius, buvo siūloma registruoti ir atpažinti nusikaltėlius pagal jų skeleto arba vien rankos kaulų nuotraukas. Šis metodas neprigijo, nes buvo rasta tobulesnių identifikavimo būdų, pavyzdžiui, pagal pirštų atspaudus. Dabar Rentgeno spinduliai taikomi teismo medicinoje lavonams atpažinti bei jų amžiui nustatyti, aptikti kūne esantiems pašaliniam daiktams

(kulkoms, skeveldroms ir pan.), taip pat nuodams, į kuriuos įėja gyvusidabris, švinas ir kiti sunkieji elementai.

Kai norima nustatyti mažo medžiagos kiekio cheminę sudėtį jos nesunaikinant, naudojamas vadinamasis rentgeninis mikroanalizatorius: į pavyzdėlį nukreipiama elektronų pluoštas ir tiriamas jo būdingasis Rentgeno spektras. Plačiau kriminalistikoje paplitę struktūrinės analizės metodai, nes metalai, lydiniai, kai kurie dažai, sprogstamosios medžiagos, narkotikai yra kristalinės struktūros, kurią galima atpažinti iš Rentgeno spinduliuų difrakcijos vaizdo.

ŠEDEVRAI IR FALSIFIKATAI

1945 m. pavasarį Amsterdame buvo suimtas žinomas olandų dailininkas Hanas van Megerenas (Meegeren). Jis buvo apkaltintas kolaboracionizmu: 1943 m. pardavės vienam iš nacistinio reicho vadovų Geringui nacionalinį turą — žymaus XVII a. olandų dailininko Jano Vermejerio Delftiečio (Vermeer van Delft) paveikslą „Kristus ir nusidėjelė“. Prispirtas įrodymų, Megerenas netikėtai prisipažino — taip, jis pardavės Geringui paveikslą, bet tai ne Vermejerio, o jo paties, Megereno kūrinys. Be to, jis sakė nutapęs dar penkis tam pačiam dailininkui priskiriamus paveikslus, esančius žymiausiuose Olandijos muziejuose ir privačiose kolekcijose, taip pat du paveikslus, laikomus P. de Hooch (de Hooch) darbais.

Tardytojas nepatikėjo Megerenu. Juk šių paveikslų autentišumas patvirtintas žinomų meno ekspertų, o Vermejeris — vienas iš savičiausių olandų tapytojų, mokėjęs pertiekti subtilius šviesos ir spalvų efektus.

Norėdamas įrodyti savo sugebėjimus, Megerenas kalėjime nutapė dar vieną „vermejerį“. Jis buvo gerai išstudijavęs senųjų dailininkų techniką, jų naudotus receptus, mokėjo tobulai imituoti kito dailininko stilių. Paveikslą jis tapydavo barsuko plaukų teptuku, kaip XVII a. dailininkai, ant to amžiaus drobės, kuriai panaudodavo blogai išlikusį ar nedidelés vertės seną paveikslą. Po to Megerenas savo kūrinį „pasendindavo“: dengdavo laku, džiovindavo aukštoje temperatūroje, kočiodavo ant cilindro, o atsiradusius jtrūkimus — krakeliūras — išstepdavo juodu tušu. Megerenas laikė save nepripažintu genijumi ir šitaip norėjo įrodyti, jog jis ne menkesnis dailininkas kaip garsusis Vermejeris. Iš tikrujų Megereno tapytą paveikslą „Kristus Emause“ specialistai pripažino vienu iš geriausių Vermejerio kūriinių.

Pagrindinių įrodymų, jog šie paveikslai yra tik tobula imitacija, turėjo duoti jų fizikinė ir cheminė analizė. Paveikslai buvo

peršvesti Rentgeno spinduliais. Rentgenogramose išryškėjo senųjų paveikslų dažų likučiai, kurių Megerenas nebuvo gerai nugalės. Be to, buvo matyti, jog krakeliūros apatiniaiame ir pagrindiniame dažų sluoksniuose nesutampa. Cheminė analizė padėjo neginčiamai irodyti, jog paveikslai tapyti XX, o ne XVII amžuje. Megerenas buvo nuteistas metams kalejimo.

Ši istorija — ne vienintelė. Paveikslų falsifikavimas Vakarų Europoje ir Amerikoje igavo neregėtą mastą. Antai vien JAV įvairiuose muziejuose ir privačiose kolekcijose priskaičiuojama apie 10 000 prancūzų dailininko Ž. Koro (Corot) paveikslų, dar 30 000 jų yra Europoje, nors žinoma, jog Koro per visą gyvenimą nutapė tik apie 3000 paveikslų. JAV esama virš 9 tūkstančių Rembrantui (Rembrandt) priskiriamų kūrinių. Dar plačiau imituojami ir kopijuojami kai kurių madingų XIX—XX a. dailininkų A. Modiljanio (Modigliani), Van Gogo (van Gogh), P. Pikaso (Picasso) kūriniai. Greta primityvių falsifikatų pasitaiko ir talentingu imitacijų, kurių iš pirmo žvilgsnio negali atskirti ne tik specialistas, bet kartais net pats dailininkas. Cia į pagalbą ateina fizikos ir chemijos metodai, iš kurių bene plačiausiai naudojamas peršvietimas minkštasis Rentgeno spinduliais. Rentgeno nuotraukoje išryškėja slaptoji paveikslų pusė: užtepti dažų sluoksnių, net jų likučiai, skutimų ir taisymų žymės ir pan. Tai įdomu ne tik ekspertui ar detektyvui, bet ir meno istorikui, tiriančiam paveikslų sukūrimo aplinkybes. Specialūs Rentgeno kabinetai yra prie visų didžiųjų muziejų. Antai Ermitaže kiekvienas paveikslas praeina rentgeninę kontrolę. Kartais padaroma netikėtų atradimų, pavyzdžiui, aptinkami vadinamieji palimpsestai — paveikslai, nutapytai ant kito, ankstesnio, paveiksllo. Po valstiečių vado, maištininko Jemeljano Pugačiovo portretu buvo rastas... carienės Jakaterinos II portretas. Galbūt dailininkas neturėjo tinkamos drobės, o gal toks buvo paties Pugačiovo igeidis. Kartais dailininkai pasinaudodavo sena drobe, stokodami lėšų naujai įsigyti. Pasitaiko, jog po nedidelės vertės paveikslu surandamas daug vertingesnis, ir restauratoriai sugeba ji atkurti. Neretai paveikslas būdavo perdirbamas, vadovaujantis religiniais ar politiniais motyvais, mados reikalavimais ar tiesiog savininko igeidžiu. I centrinės restauracines dirbtuvės Maskvoje iš Smolensko muziejaus buvo atsiustas nežinomo XVII a. dailininko paveikslas. Jo rentgenograma parodė, jog po jaunos mergaitės portretu slypi pradinis piešinys, kuris skiriasi veido išraiška, plaukų kontūru, drabužių detalėmis ir pan. (17 nuotr.). Ankstesnysis portretas buvo išraiškingesnis ir meniškesnis. Kai restauratoriai pašalino visus taisymus, paaškėjo, jog paveiksllo autorius yra žymus ispanų XVII a.

dailininkas F. Surbaranas (Zurbaran), o jame pavaizduota mergaitė — šv. Justina.

Zinoma menotyrininkė I. Nemilova taip rašo apie mokslinius paveikslų tyrimus Ermitažo laboratorijoje: „Manau, kad svarbiausias tyrimas, teikiantis daugiausia informacijos,— paveikslų rentgenoskopija. Ja naudojantis, galima atpažinti dailininko braižo savitumą, nes Rentgeno spinduliai puikiai perteikia kiekvieno potėpio charakterį, o jo formos, polinkio individualumas, jéga, su kuria jis buvo uždėtas ant paveikslą, visiškai atitinka tokią pat individualią raidžių rašybą tekste. Galima daug sužinoti apie paveikslą kūrimo eigą, nes Rentgeno spinduliuose išryškėja ir pirminiai apmatai, ir visi tolimesni perdirbimai, jeigu dailininkas juos atliko toje pačioje drobėje ar lentoje, o ne atskirame eskiže. Be abejo, galima pastebėti visus vėlesnius taisymus. Rentgenogramoje gerai matomi ir vėlesni paveikslų formos pasikeitimai, jeigu jis nutapytas ant audeklo arba medžio.“

Knygoje „Senųjų paveikslų paslaptys“ I. Nemilova pasakoja įdomią istoriją, kaip jai, naudojantis Rentgeno spinduliais, pavyko atkurti XVIII a. prancūzų dailininko Antuano Vato (Wateau) šedevro „Keblus pasiūlymas“ sukūrimo aplinkybes. Jame vaizduojama galantiška scena iš aukštūmenės gyvenimo.

Paveikslų paviršiuje ir paprasta akimi buvo pastebimi nelygumai. Rentgeno nuotrauka parodė, jog jie atsirado, autoriu ne gailestingai sunaikinus ankstesnį paveikslą variantą. Su dažais kai kur buvo atšokęs ir gruntas, tai liudijo, jog Vato nuskuto ne šviežią, o gerai išdžiūvusį dažą sluoksni. Remdamasi dailininko piešiniais bei jo biografijos duomenimis, Nemilova nustatė, jog Vato perdirbo paveikslą praėjus 3—4 metams. Kadangi dailininkas pradinių variantų nuvalė gana nerūpestingai, tai iš rentgenogramoje matomų fragmentų pavyko nustatyti ankstesnę kompoziciją ir pasekti meninės idėjos brendimą, Vato stiliaus evoliuciją.

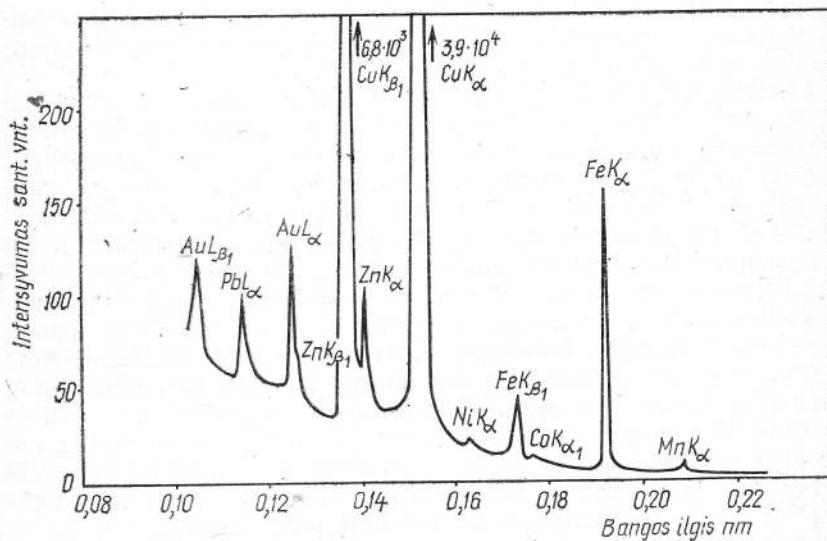
Reikia pasakyti, jog tirti paveikslą Rentgeno spinduliais ne īmanoma, jeigu gruntu panaudoti balti švino dažai (arba jais užtepta antroji paveikslų pusė), kurie gerai sugeria spindulius. Be to, kaip ir medicininės nuotraukos, paveikslų Rentgeno nuotraukos interpretacijai reikia specialių žinių.

Rentgenografiniai metodai naudojami ne tik paveikslams, bet ir kitoms muziejinėms vertybėms tirti. Antai dažnai į muziejus patenka netikros antikinės monetos. Senovėje jas gamindavo tokiu būdu: išliedavo iš metalo rutuliuką, po to ji suplodavo į monetą, todėl viduryje ji likdavo storesnė negu kraštuose. Tuo tarpu netikros monetos dažniausiai būna lygaus storio. Nors anti-

kinės monetos storio skirtumas — tik procento dalelės, jis pastebimas Rentgeno nuotraukoje. Monetoms tirti taikomi ir Rentgeno spektroskopijos metodai. 31 pav. matome senovinės monetos Rentgeno spektrą, iš kurio galima nustatyti jos cheminę sudėtį.

Peršviečiant senus baldus, déžutes, knygų apdarus, kartais parvyksta atrasti paslėptas brangenybes, monetas, medalius, slaptavietes su senais dokumentais. (Gaila, jog Ostapui Benderiui, ieškant milijono vienoje iš dylikos kėdžių, nešovė mintis pasinaudoti Rentgeno spinduliais.)

Medžio skulptūroms ar paveikslams, tapytiems ant medinių lentų, dažnai pakenkia medgraužio lervos. Rentgeno nuotraukoje matyti ne tik jų padaryti takai, bet ir pačios lervos; taip galima sužinoti, ar takai yra seni, ar kūriniui tebegresia pavojus. Pastaruoju metu mediniams eksponatams tirti pradėti naudoti medicininiai tomografijos aparatai: iš atskirų sluoksnių Rentgeno nuotraukų galima tiksliai nustatyti pažeidimo dydį ir vietą.



31 pav. Senovinės monetos Rentgeno spindulių spektras

Limiju padėtys ir jų intensyvumai leidžia nustatyti monetos cheminę sudėtį: Au — 0,41%, Pb — 0,38%; Zn — 0,77%, Cu — 25%, Co — $2,6 \cdot 10^{-3}\%$, Fe — 1,6%, Mn — 0,18%, Ag — 73%. (Intensyvios sidabro linijos yra už šio banqų ilgių intervalo ribų.)

DEFEKTAI, AVARIJOS, KONTROLĖ

1981 m. įvairių šalių laikraščiai perspausdino nuotrauką — 40 tūkstančių tonų talpos tanklaivis, vežęs anglį iš JAV į Japoniją, atvyko į paskyrimo uostą su didžiule skyle viršutinėje korpuso dalyje. Metalo gabolas staiga atitrūko nuo plaukiančio laivo ir nuskendo Ramiajame vandenyne. Panašios istorijos, deja, dažniausiai pasibaigiančios kur kas liūdniau, neretos. 1943 m. amerikiečių tanklaivis, vos priėš parą nuleistas į vandenį ir ramiu oru stovėjęs prieplaukoje, lūžo pusiau, nuo borto ligi borto, ir aki-mirksniu nuskendo. Per sekantinius penkiolika metų panašus likimas ištiko dar apie dvidešimt laivų, pastatytyų vien JAV laivų statyklose.

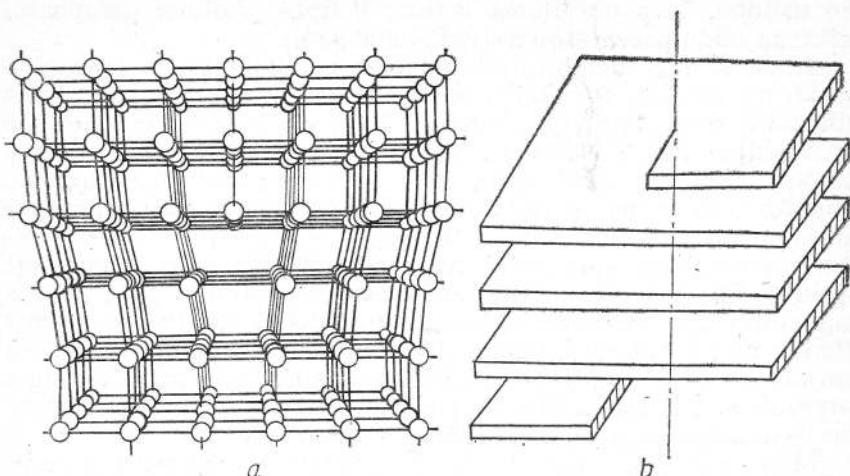
Šių avarijų priežastys — ne konstruktorių klaidos ar diversijos, bet blogos suvirinimo siūlės, klastingos tuščumos metalinių dalių viduje.

Liejant, presuojant ir kitais būdais apdorojant metalą, detalų viduje gali susidaryti tuščumų, ištrūkimų, gali patekti priemaišų. Ypač pavojingi tokie defektai pagrindinėse mašinos ar įrenginio dalyse — vaire, šautuvo mechanizme ir kt.

Skaitytojas jau, be abejo, atspėjo, jog vienas iš plačiausiai naudojamų būdų vidiniams defektams aptikti — peršvietimas Rentgeno spinduliais. Taip tikrinami ne tik gaminiai iš metalų ir lydinių, bet ir iš gelžbetonio ar plastmasės. Tiesa, detalė turi būti ne per stora: plieninė ne storesnė kaip 8 cm, o lengvųjų metalų — 25 cm. Masyvesnės detalės tikrinamos dar skvarbesniais gama spinduliais. Aptikti įvairius defektus taip pat galima ultragarsu, radijo bangomis, elektros bei magnetiniais laukais ir kt.

Elektronikai ir moksliniams tyrimams labai reikalingi kristalai — kuo didesni ir tobulesni. Gamtoje randami kristalai, nors ir žavi taisyklinga forma ir skaidrumu, iš tikro turi gana daug priemaišų. Laboratorijose, specialiuose kristalizatoriuose, galimi išsauginti itin grynuos ir didelius kristalus, netgi tokius, kokių neišsaugina gamta. Betgi ir juose būna defektų: kristalinės gardelės mazge gali trūkti atomo (vadinamoji vakansija), vienoks atomas gali būti pakeistas kitokiu. Dažniausiai pasitaikantys defektai — dislokacijos. Kraštinė dislokacija — tai nutrūkusi atomų eilė kristale (32 pav., a). Kitos eilės susispaudžia, iškreipdamos taisyklingą gardele. Sraigtinė dislokacija (32 pav., b) susidaro, jei, kristalui augant, atomai ne palaipsniui užpildo naujas eiles, bet pagal kurią nors ašį.

Informaciją apie visus kristalo defektus galima gauti iš Rentgeno spindulių difrakcijos vaizdo. Tiesa, ir patys Rentgeno spinduliai, ypač kietieji, gali sukurti kristale defektų. Su tuo kovo-



32 pav. Defektai kristaluose:

a — atomų išsidėstymas kraštinės dislokacijos atveju; b — kristalo struktūra, esant sraigtinei dislokacijai (pavaizduoti tik atomų sluoksnių).

jama, o kartais, priešingai — tuo pasinaudojama puslaidininkiu ir dielektrikų savybėms keisti, nes pastarosios labai jautrios struktūros defektams. Antai, pasinaudojus kadmio sulfido elektrinio laidumo kitimu apšvietus Rentgeno spinduliais, Vilniaus V. Kapuko universiteto Fizikos fakulteto Rentgeno laboratorijoje buvo sukurtas jautrus defektoskopas, gavęs TSRS LÜPP aukso medalį ir įdiegtas į gamybą (šioje laboratorijoje Rentgeno spindulių poviekis įvairių medžiagų elektriniams laidumui tiriamas nuo 1953 m.).

Metalai ir jų lydiniai nesudaro monokristalų; stingdami jie virsta daugybe chaotiškai išsidėsčiusių mažų kristalélių. Nuo tų kristalinių grūdelių dydžio, jų išsidėstymo bei mikrodefektų tarp jų — plyšelių, vadinančių „kriauklelių“, priklauso metalo ar lydinio tvirtumas, atsparumas. Atrodytų, jog, apšvietus Rentgeno spinduliais tokį polikristalą, difrakciniai vaizdai nuo įvairių kristalélių turėtų užsikloti ir sudaryti neryškų foną. Betgi, panagrinėjus atidžiau, pasirodo, jog ir lydiniai, ir net susmulkintos į milteilius kristalinės medžiagos turi sudaryti žiedų pavidalų difrakcinį vaizdą. Tai pirmieji įrodė dar 1916 m. P. Debajus ir P. Šereris (Scherrer), todėl polikristalinių medžiagų difrakcinės nuotraukos vadinamos debajegramomis. Metalo mikrostruktūrą galima tirti ir elektroniniais mikroskopais, bet jie gana sudėtingi ir brangūs, todėl metalurgijoje paplitusi struktūrinė analizė Debajaus ir Šere-

rio metodu. Taip nustatoma lydinių kokybė, vidiniai įtempimai, ieškoma būdų patvaresniems lydiniams gauti.

Šiuolaikinėje metalurgijoje plačiai naudojama ir rentgenospektrinė analizė. Stambioje metalurgijos gamykloje per metus atliekama pora milijonų analizių — žaliavos, tarpinės ir galutinės produkcijos. Per 10—20 minučių reikia nustatyti kelių ar net keiliokos elementų kiekį lydinyje (ši metodą iliustruoja monetos sudėties nustatymas iš jos Rentgeno spektro — 31 pav.). Rentgeninės spektroskopijos metodo tikslumas — 10^{-2} — $10^{-4}\%$. Dar tikslėnė yra optinė spektrinė analizė, betgi Rentgeno būdingieji spektrai turi privalumų: jie paprastesni už optinius, juos galima registruoti per neskaidrius įrengimus sieneles, jie beveik neprieklauso nuo medžiagos fizinės būsenos bei cheminių ryšių. Kai kuriais atvejais Rentgeno spektrinė analizė yra nepakeičiamā, pavyzdžiui, kai reikia išskirti panašių cheminių savybių elementus — lantanidus, platinos grupės elementus ir kt.

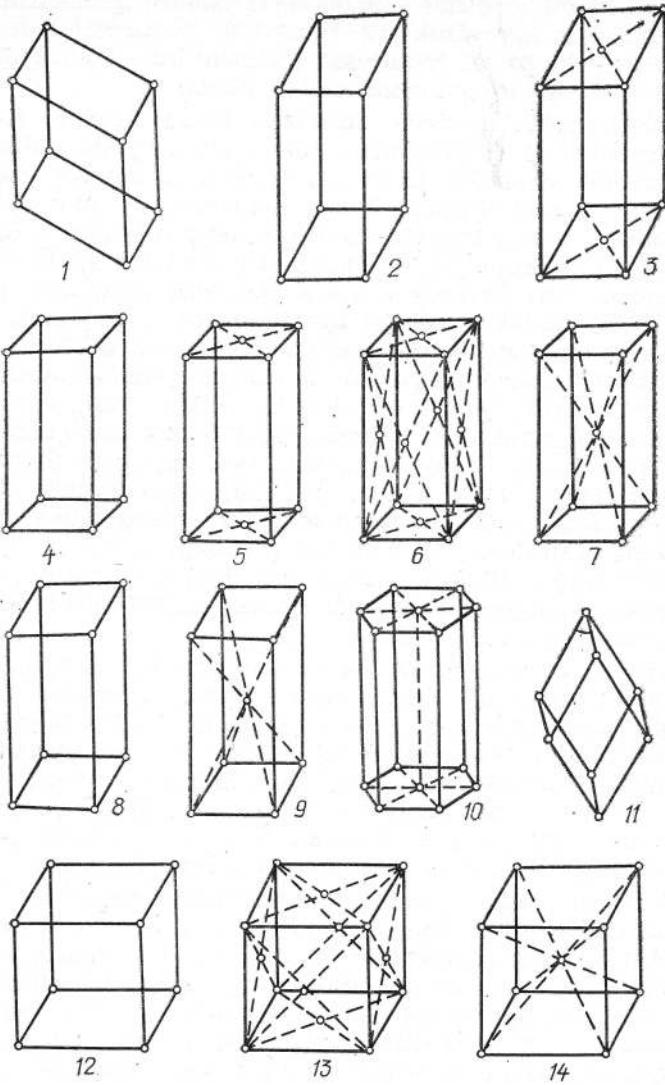
Mūsų šalyje įvairius Rentgeno prietaisus — mokslui, techniniai, medicinos tyrimams — gamina Leningrado susivienijimas „Burevestnik“.

NUO VALGOMOSIOS DRUSKOS LIGI DNR

Kai 1913 m. tévas ir sūnus Bragai, naudodamiesi Rentgeno spindulių difrakcija, iššifravo valgomosios druskos gardelės struktūrą — ją sudarančią 27 chloro ir natrio jonų padėtis, šis laimėjimas jiems atrodė nepralenkiamas. Betgi tolesni įvykiai pranoko drąsiausias fantazijas. Bragai ir kiti tyrinėtojai vieną po kito nustatinėjo naujų, vis sudétingesnių neorganinių junginių struktūrą. Sékmę lémė įvairios priežastys.

Buvo pasiūlyti tobulesni difrakcinio vaizdo registravimo ir dešifravimo metodai. Vietoj jónizacinės kameros atspindėtiems Rentgeno spinduliams registruoti buvo panaudota fotografinė juosta, kuri iš karto užfiksuodavo įvairius refleksus (difrakcinio vaizdo taškus). Dar daugiau informacijos apie gardelės struktūrą teiké difrakcinis vaizdas, uzregistruotas, kristalą tolygiai sukant arba siūbuojant. Vaizdai interpretuoti — iš jo nustatyti, kaip atomai išsidėstę gardelėje,— buvo pritaikytas matematinis Furjė analizés metodas.

Sifravimo darbą lengvino tai, jog bet kokios medžiagos elementarioji gardelė turėjo sutapti su viena iš standartinių gardelių. Kaip taisyklingųjų briaunainių, taip ir elementariųjų kristalinių gardelių yra baigtinis skaičius,— tai lemia jų simetrija. Tiesa, briaunainiai gali būti vos 5 tipų, elementariųjų gardelių yra



33 pav. Keturiolika galimų elementariųjų gardelėj

Jas išaiškino O. Bravé XIX a., o jų realizacija konkrečiuose kristaluose buvo nustatyta Rentgeno spindulių difrakcijos metodu. Skritulėliais pažymėtos atomų padėtys. Iš pažiūros našios gardelės skiriasi briaunų ilgis arba kampais tarp jų.

trigubai daugiau — 14 (33 pav.), o įvairūs atomai ar molekulės gali pasiskirstyti jose net 230 būdų. Iš bendrų geometrinių samprotavimų visus tuos struktūrų tipus 1891 m. nustatė rusas I. Fiodorovas ir vokietis A. Šionflynas (Schoenflies) — lenktyniaudami tarpusavyje ir talkininkaudami vienas kitam.

Elementariosios gardelės struktūra lemia kristalo fizines ir chemines savybes. Ir priešingai, žinant tas savybes, galima spėti apie gardelės struktūrą (nors atvirkštinis uždavinys daug sunkesnis ir nevienareikšmis). Tokiu netiesioginiu būdu chemikai buvo sukūrė įvairių kristalų modelius. Ištyrus gardeles Rentgeno spinduliais, paaiškėjo, jog tie modeliai buvo labai apytikriai (kaip prisimename, valgomosios druskos gardelės mazguose pasirodė esą ne NaCl molekulės, kaip ligi tol manyta, o jonai), bet vis dėlto jie galėjo būti išeities taškas. Ir chemikų nustatytos empirinės taisyklės padėdavo gerokai sumažinti galimų variantų skaičių. Antra vertus, rentgenostruktūrinė analizė (taip buvo pavadintas kristalų struktūros tyrimas, naudojantis Rentgeno spindulių difrakcija) įliejo naujų jėgų chemijai, taip pat mineralogijai. Kaip sakoma M. Džua (Giuia) „Chemijos istorijoje“, „Chemija surinko gražius vaisius rentgenografinių tyrimų lauke“. Remdamasis šiais rezultatais, L. Polingas (Pauling) — vienas žymiausių XX a. chemikų — 1929 m. nustatė neorganinių junginių struktūros dėsnius. Rentgenostruktūrinė analizė padėjo atskleisti ir metalų lydinių prigimtį.

Taisyklinga vidinė struktūra gali būti ne tik neorganinių, bet ir organinių junginių — šiuo atveju kristalinę gardelę sudaro taisyklingai išsidėsciusios molekulės. 1922 m. V. H. Bragas émési organinių junginių — naftalino ir antraceno — rentgenostruktūrinės analizės. Netrukus dauguma mokslininkų pripažino, jog tai idealus ir praktiškai vienintelis būdas organinių molekulių architektūrai nustatyti, nes chemikų bandymai sukurti jų modelius tradiciniais metodais dažniausiai būdavo bevaisiai.

1948 m. Bivo įspėjo, kaip išsidéstę atomai strichnino molekulėje, sudarytoje iš 44 anglies, vandenilio, deguonies ir azoto atomų. Oksfordo universitete, vadovaujant D. Hodžkin-Kroufut (Hodgkin Crowfoot) buvo nustatyta penicilino ir vitamino B₁₂ struktūra. Pastarojo molekulė turi 181 atomą, o jos difrakcinių nuotraukų dešifravimas užtruko 8 metus. Tą darbą V. L. Bragas pavadino rentgenostruktūrinės analizės saga. Jis rašė: „Šis pavyzdys akivaizdžiai rodo patrauklias ir unikalias rentgenostruktūrinės analizės savybes. Darbas šioje srityje kažkuo primena darbą, išsfiruojant kodus ir senovės raštus, pavyzdžiui, egiptiečių ieroglifus arba dantiraštį“.

Iš tūkstančių difrakcinio vaizdo refleksų išsidėstymo ir jų intensyvumą nustatyti, kaip įvairių rūsių atomai išsidėstę sudėtingoje molekulėje,— iš tikro supersunkus uždavinys, kuriam išspręsti reikia aukštos kvalifikacijos ir detektyvo sugebėjimų. Sunkiausia problema — nustatyti įvairių atomų išsklaidytų bangų fazes. Jų neužfiksuoja difrakcinis vaizdas, tad tenka pasinaudoti įvairia pagalbine informacija, pavyzdžiui, pakeisti molekulėje vieną atomą kito elemento atomu ir žiūréti, kaip pakis difrakcinis vaizdas, arba numatyti bandomąją struktūrą ir ją patikrinti teoriniais skaičiavimais ir pan.

Maždaug ligi 1930 m. buvo manoma, jog sudėtingi organiniai junginiai — balytmai — nesudaro kristalinės struktūros. Šią nuomonę paneigė L. Polingas ir D. Hodžkin-Kroufut: apšvietę balytus Rentgeno spinduliais, jie gavo taisyklingą difrakcinių vaizdą. Taigi ir balytų molekules galima tirti Rentgeno spinduliais.

1955 m. Dž. Kendrius (Kendrew) išaiškino balytumo mioglobino molekulę, sudarytą net iš 2500 atomų. Betgi ir šis pasiekimas greitai buvo pralenktas. 1959 m. M. Perutcas (Perutz) užbaigė 20 metų trukusius tyrimus, kurių sėkmę tikėjo gal tik jis pats: įspėjo labai svarbaus balytumo — hemoglobino — molekulės misę. Šią molekulę sudarė apie 10 000 atomų!

Betgi svarbiausias atradimas, padarytas rentgenostruktūrinės analizės metodu, buvo genetinio kodo iššifravimas. Atradimo autorai — amerikietis Dž. Vatsonas (Watson) ir anglai F. Krikas (Crick), M. Vilkinsas (Wilkins), vieta — Brago laboratorija Kembirdže, laikas — 1953 m.

Informacija apie gyvojo organizmo sandarą yra užrašyta deoksiribonukleino rūgšties (DNR) molekulėse. Dž. Vatsonas ir F. Krikas, naudodamiesi M. Vilkinso rentgenogramomis, įrodė, jog ši molekulė yra dviejų atomų grandinėlių, susuktų viena apie kitą dviguba spirale, formos (20 nuotr.). Atradimo istoriją labai vaizdžiai ir atvirai papasakojo Dž. Vatsonas knygoje „Dviguba spiralė“ (ši mokslo populiarinimo (!) knyga JAV ilgą laiką buvo dešimties labiausiai skaitomų bestselerių sąraše, ji išversta į daugelį kalbių, tarp jų ir į rusų kalbą). Nustačius DNR molekulės struktūrą, paaiškėjo, kokiu būdu užrašoma genetinė informacija ir kaip ji atkuriama, kokiu būdu genai — DNR dalyys — valdo biochemines reakcijas. Taip fizikos metodais (verta pažymeti, jog du iš trijų atradėjų — fizikai) buvo atskleista viena iš esminių gyvybės paslapčių. „Gyvybės kodo“ atradimas sukelė grandininę atradimų reakciją mikrobiologijoje. Jos pasiekimai mus ir žavi, ir baugina savo padariniais — galimybėmis ne tik pažinti, bet ir valdyti gyvujų organizmų paveldimumo procesą.

Trys šio epochinio atradimo autoriai, kartu su M. Perutcu ir Dž. Kendriu, 1962 m. tapo Nobelio premijos laureatais iš medicinos ir chemijos srityčių.

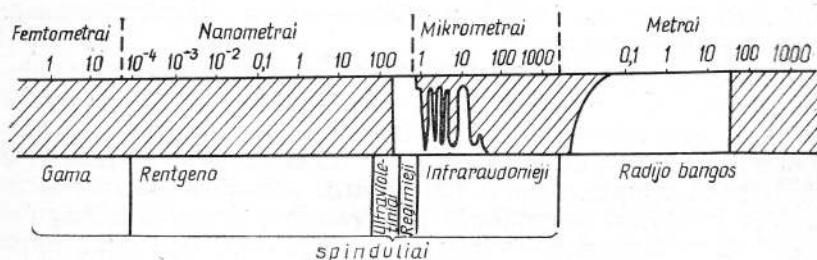
Po tų atmintinų įvykių rentgenostruktūrinės analizės metodas dar patobulėjo,— i pagalbą atėjo kompiuteriai, automatiškai registruojantys difrakcinį vaizdą ir apdorojantys rezultatus. Galbūt ateityje bus sukurta ir rentgeninė holografija.

Rentgenostruktūrinę analizę papildo elektronografija ir neutronografija (elektronai ir neutronai taip pat difraguoja, praeidami pro kristalus), betgi šie metodai sudėtingesni ir mažiau plite.

RENTGENINIS DANGUS

NAUJOS ASTRONOMIJOS GIMIMAS

Rodos, kas gali būti skaidresnis už orą. Betgi Žemės atmosfera nepraleidžia daugumos elektromagnetinių bangų (34 pav.). Yra tik du „langai“ elektromagnetinių bangų spektre. Pirmasis, kuriuo mes naudojamės nuo seno,— regimieji spinduliai (ir greta



34 pav. Žemės atmosferos skaidrumas elektromagnetinėms bangoms
Baltos vietos atitinka skaidrius ar pusiau skaidrius „langus“.

esanti ultravioletinių spindulių spekto dalis): Žemės atmosfera praleidžia elektromagnetines bangas, kurių ilgis — nuo 300 ligi 1000 nm. Antrasis langas, atrastas tik šiame amžiuje, atitinka radijo bangas — atmosfera skaidri bangoms nuo kelių milimetru ligi 20 metrų ilgio. Tiesa, infraraudonųjų bangų srityje yra dar keletas pusskaidrių langelių.

Ilgus amžius astronomai sémési žinių apie Visatą vien iš optinių stebėjimų. 1932 m. atradus kosminius radijo spindulius, susikûrė radioastronomija. Jos dëka per trumpą laiką buvo atrasti labai keisti ir įdomūs Visatos objektai — kvaazarai ir pulsarai, aptiktas vadinamasis reliktinis spinduliuavimas, liudininkas gigantiško Visatos sprogimo, įvykusio prieš 15—18 milijardų metų, ir daug kitų netikėtų dalykų. Infraraudonieji spinduliai padėjo pamatyti objektus, esančius mūsų Galaktikos centre, nes jie prasiskverbia pro šią sritį gaubiančius dulkių debesis, kurie sulaiako regimuosius spindulius.

Nauja astronomijos šaka — tai tarsi dar vienas žmogaus pojūtis, īgalinantis pilniau suvokti pasaulį.

Deja, Rentgeno spindulius, sugebancius prasiskverbti net pro metalą ar medį, sugeria Žemės atmosferoje esančios azoto ir deguonies molekulés bei deguonies atomai. Be to, astronomai nedaug tikėjos iš Rentgeno spinduliu. Šie didelés energijos kvantai gali atsirasti tik vykstant labai greitiems ir aktyviems procesams, o žvaigždés ir galaktikos, kaip buvo manoma nuo seno, keičiasi labai létai (išskyrus retas išimtis). Tiesa, Žemės jonasferos buvimas liudijo, jog viršutinius atmosferos sluoksnius veikia didelés energijos spinduliai, jonizuojantys atomus. Buvo spéjama, jog šiek tiek Rentgeno spinduliu skleidžia Saulę.

Proga patikrinti ši spéjimą pasitaikė po II pasaulinio karo. Troféninės „Fau-2“ raketos, kurių fašistai nespéjo paleisti į Angliją, buvo atiduotos mokslininkams. 1948 m. amerikiečiai su tokia raketa iškélé jonizacinių skaitiklų į stratosferą ir užregistruavo Saulés skleidžiamus Rentgeno spindulius, kurių energija buvo maždaug milijoną kartų mažesnė negu jos skleidžiamą regimųjų spinduliu. Taigi aptikti žvaigždžių Rentgeno spindulius buvo maža vilties.

O gal kartais Ménulis, veikiamas „Saulés vėjo“ (iš jos sklidančiu dalelių srauto) ir jos Rentgeno spinduliu, pats tampa šių spinduliu šaltiniu? Šis spéjimas buvo patikrintas 1962 m. Rezultatai pranoko visus lükesčius: danguje buvo užregistruotas Rentgeno spinduliu šaltinis, tik 2 kartus silpnėsnis už Saulę. Betgi jis nesutapo su Méniliu, o pasirodė esas Skorpiono žvaigždyne. Netrukus buvo nustatyta, jog Rentgeno spindulius skleidžia ir Krabo ūkas, ir Gulbės žvaigždynas,— sie šaltiniai tik 10 kartų silpnėsniai už Saulę. Taigi rentgeniniame danguje ne viena, o keilių saulės.

Pirmieji kosminių Rentgeno spinduliu matavimai buvo labai netikslūs. Kad nepatektų regimieji ir ultravioletiniai spinduliai, ionizacinio skaitiklio anga buvo uždengiama metaline folija, bet pro ją praeidavo kosminės dalelés, kurios sukurdavo nemažą fo-

ną. Rentgeno spindulių šaltinio padėčiai danguje nustatyti prieš skaitiklį buvo įtaisomi kolimatoriai — plokšteliés ar vielų tinkleliai, ribojantys jo „matymo lauką“. Betgi tokio prietaiso skiriamoji geba ne didesnė už vieną kampinę minutę. Raketas pakeltas skaitiklis išbūdavo viršutiniuose atmosferos sluoksniuose tik 5—7 minutes. Nežiūrint visų sunkumų, ligi 1970 m. raketos padėjo aptikti apie 30 Rentgeno spindulių šaltinių, tarp jų kelis už Galaktikos ribų.

1970 m. amerikiečiai iš poligono Kenijoje paleido specialų palydovą kosminiams Rentgeno spinduliams tirti, pavadintą „Uhu-ru“ (suahelių kalba „laisvė“). Jis veikė pustrečių metų ir sukélė tikrą „rentgeninį bumą“ astronomijoje, nes buvo padaryta daug netikėtų atradimų.

1971 m. buvo paleistas tarybinis palydovas „Kosmos-428“, kuris registravo dangaus kietuosius Rentgeno spindulius. Vėliau Rentgeno žvaigždes tyré įvairių šalių palydovai: „Copernicus“, OSO-7, OSO-8, SAS-3 (JAV), „Ariel 5“ (Anglija), ANS (Olandija), „Ariabata“ (Indija). Tokius stebėjimus atliko ir kosmonautai stotyje „Saliut-4“ bei kosminiamame laive „Apollo“. Žinomų kosminių Rentgeno šaltinių skaicius išaugo ligi keturių šimtų.

1977—1979 m. JAV iškėlė į orbitą tris didelių energijų astronomines observatorijas (HEAO), skirtas stebeti kosminius Rentgeno ir gama spindulius (ši programa kainavo apie 300 mln. dolelių). Palydove HEAO-2 — Rentgeno spindulių observatorijoje, pavadintoje Einšteino vardu,— buvo įtaisyta galanga Rentgeno teleskopas, sugebantis aptikti šaltinius, 10 milijonų kartų silpniesnius negu ryškiausia Rentgeno žvaigždė Sco X 1 (Skorpiono žvaigždyne) ir nustatyti jų padėtis kelių kampinių sekundžių tikslumu. Tai jau prilygsta optinių ir radio teleskopų jautrumui.

Kokiu principu veikia Rentgeno teleskopas, jeigu, kaip žinome, nėra lėšių ar prizmių, kreipiančių šiuos spindulius?

Teleskope (35 pav.) pasinaudota Rentgeno spindulių savybe atispindėti nuo metalo paviršiaus, jeigu jie krinta labai mažu kampu, beveik šliaužia paviršiumi. Kosminiai Rentgeno spinduliai, patekę į teleskopą pro daugelį siaurų angų (bendras jų plotas apie 200 cm²), atispindėti nuo paraboloidinių bei hiperboloidinių paviršių ir susirenka židinyje, kurio nuotolis 3,4 m (21 nuotr.). Cia juos — žiūrint koks bangos ilgis — registruoja tam tikro tipo skaitiklis, iš kurio duomenys perduodami kompiuteriui. Pastarasis kaupia rezultatus, o vėliau juos persiunčia į valdymo centrą Žemėje.

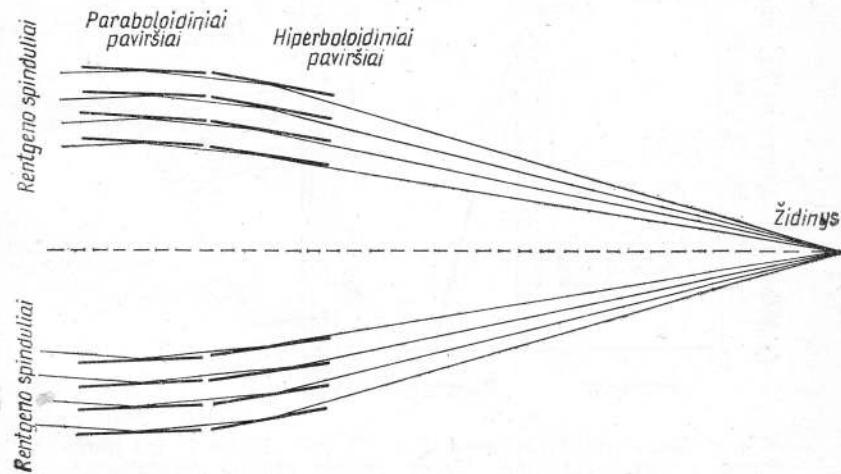
HEAO gerokai patikslino ir papildė Rentgeno žvaigždžių sąrašą. Antai ankstesni palydovai registravo artimiausią mums spi-

ralinę galaktiką M31 (garsujį Andromedos ūką) kaip silpną démelés pavidalo Rentgeno spindulių šaltinį, o HEAO-2 išskyre šioje galaktikoje bent 80 Rentgeno žvaigždžių (22 nuotr.).

Kaip gi atrodo Visata Rentgeno spinduliuose? 23 nuotr. matome, kaip ryškiausios Rentgeno žvaigždės išsidėsčiusios dangaus sferoje. Dauguma jų susitelkusios Paukščių Take, taigi priklauso mūsų Galaktikai. Rentgeninis dangus ir mums įprastas nakties dangus visai nepanašūs. Ryški optinė žvaigždė dažniausiai būna silpnas Rentgeno spindulių šaltinis ar net visai „nematomą“ šioje spektro srityje, ir priešingai: norint sutapatinti stiprų Rentgeno spindulių šaltinį su optine žvaigžde, tek davø, bent jau rentgeninės astronomijos pradžioje, ieškoti toje vietoje silpnos žvaigždės, pasižymincios neįprastomis savybėmis.

Rentgeno žvaigždžių, kurios didžiąją dalį savo energijos skleidžia trumpomis bangomis, yra kur kas mažiau negu įprastinių optinių žvaigždžių, kaip mūsų Saulė. Tad Rentgeno žvaigždės vidutiniškai yra toliau nuo mūsų. Jos — labai galingi energijos šaltiniai. Sco X 1 galia apie 10^{31} J/s. Galaktikoje yra dar bent šimtas Rentgeno žvaigždžių, kurios spinduliuoja daugiau nei 10^{29} džaulių per sekundę,— tai kelis šimtus kartų daugiau už Saulės galią.

Kokio ilgio bangomis žvaigždė spinduliuoja daugiausia energijos, priklauso nuo jos paviršiaus temperatūros. Kuo karštessné žvaigždė, tuo trumpesnes elektromagnetines bangas ji skleidžia. Optinių žvaigždžių paviršiaus temperatūra 3000—50 000 laipsnių.



35 pav. Rentgeno spindulių teleskopų veikimo schema

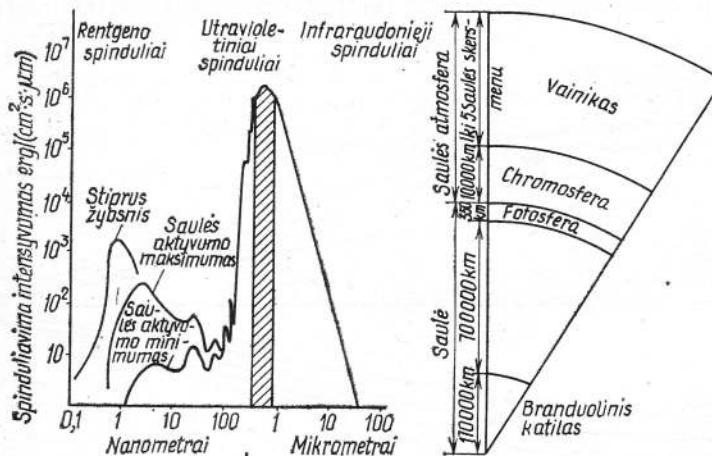
Kad žvaigždės spinduliaivimo maksimumas atitiktų 1 nm bangas, jos paviršiaus temperatūra turi būti apie 3 milijonus laipsnių!

Daugelis Rentgeno žvaigždžių pasižymi dar viena savybe: jų spinduliaivimo intensyvumas kinta per minutes, sekundes, netgi milisekundes. Toks greitas spinduliaivimo kitimas ir didžiulė galia liudija, jog jose vyksta audringi procesai, netgi katastrofos.

NERAMIOJI SAULĖ

Prieš kalbėdami apie Rentgeno žvaigždes, visų pirma išsiaiškinkime, kodėl ir kokiui būdu Rentgeno spindulius generuoja mūsų Saulė. Juk jos paviršiaus temperatūra tik apie 6000 K.

Saulė — eilinė Galaktikos žvaigždė, tiek savo dydžiu, tiek ir spinduliuojamos energijos kiekiu (netgi skiriama prie žvaigždžių nykštukų). Jos spinduliaivimo maksimumas — regimųjų spindulių srityje, nors gana daug skleidžiama ir ultravioletinių bei infraraudonųjų spindulių (36 pav.). Rentgeno spinduliai — tik mažytis priedėlis. Jų intensyvumas, ne taip kaip pagrindinio Saulės spektro, labai priklauso nuo Saulės aktyvumo, keičiasi net keletą kartų per vienuolikos metų aktyvumo ciklą. Rentgeno spinduliu srautas trumpam gali labai sustiprėti per vadinamuosius žybsnius Saulės atmosferoje.



36 pav. Saulės spinduliaivimas įvairiuose elektromagnetinių bangų diapazonuose (regimosios šviesos intervalas užbrūkšniotas)

37 pav. Saulės ir jos atmosferos sandara (mastelio nesilaikyta)

Mūsų žvaigždės Rentgeno spinduliai pastarąjį dešimtmetį buvo nuodugniai tiriami, panaudojant Žemės palydovus. Iš jų verta paminėti tarybinius palydovus „Kosmos“, bendrą socialistinių šalių palydovą „Interkosmos-1“, taip pat amerikiečių OSO (orbitinė Saulės observatorija) tipo palydovus. Kadangi Saulės spindulių intensyvumas daug didesnis negu daugumos Rentgeno žvaigždžių, tai šiam tikslui galima panaudoti tikslėnius prietaisus, pavyzdžiui, kristalinius spektrografus. 1975 m. aktyviąsias Saulės vietas stebėjo dvi pilotuojančios orbitinės stoties „Saliut-4“ įgulos. Kosmonautai naudojo specialų veidrodinį teleskopą, susijungtą su spektrografu; prietaisas buvo nukreipiamas į norimą Saulės sritį dviejų kampinių sekundžių tikslumu.

Kad suprastume, kaip Saulėje atsiranda Rentgeno spinduliai, prisiminkime jos sandarą šiuolaikinio mokslo požiūriu (37 pav.).

Saulės centre yra branduolinis katilas: smarkiai suspaustoje ir įkaitusioje plazmoje vyksta helio sintezės reakcija. Vandenis virsta heliu, o energijos perteklių išsineša reakcijos metu atsirandantys neutrinaliai bei Rentgeno spindulių kvantai (jie paprastai vadinami gama kvantais, nes yra branduolinės kilmės, bet jų bangos ilgis atitinka Rentgeno spindulių intervalą). Neutrinaliai, būdami nepaprastai skvarbūs, šviesos greičiu išleksia iš Saulės gelmių į kosminę erdvę. O Rentgeno kvantu kelionė į Saulės paviršių trunka gerokai ilgiau — apie milijoną metų. Daug kartų išsklaidomi elektronų bei jonų, jie netenka nemažos dalies energijos ir pasiekia išorinį Saulės sluoksnį — fotosferą, virtę ilgesnio bangos ilgio, t. y. ultravioletinės ar regimosios šviesos, kvantais. Saulės išoriniuose sluoksniuose energiją perneša ir konvekcinės srovės (panašios į tas, kurios susidaro puode, kaitinant vandenį). Šviesos spindulius skleidžia plonas (tik apie 350 km storio) Saulės paviršius — fotosfera. Ji palaipsniui pereina į Saulės atmosferą, sudarytą iš dviejų sluoksnių — chromosferos ir Saulės vainiko. Pastarieji matomi tik pilno Saulės užtemimo metu, — tada chromosfera primena ploną ryškiai raudoną žiedą, kurį supa sidabrinis vainikas, nusitešiantis kartais net per dešimtis Saulės spindulių.

Saulės vainiko spektre buvo pastebėtos emisinės linijos, kurių ilgą laiką nepavyko priskirti né vienam periodinės sistemos elementui. Tik 1942 m. paaiškėjo, jog tai dešimti ir daugiau kartų jonusiuotų geležies, magnio ir kitų elementų būdingosios linijos. Betgi tokie jonai gali susidaryti tik labai aukštoje temperatūroje. Tolesni tyrimai patvirtino šią išvadą, — Saulės vainiko temperatūra yra 1—2 milijonai laipsnių. Chromosfera įkaitusi mažiau — ligi 10 tūkstančių laipsnių, nors taip pat karštessnė už Saulės paviršių.

Kodėl palyginti šaltą Saulę supa tokia karšta atmosfera? Nors Saulė ir arti, deja joje vykstantys procesai dar nėra gerai ištirti. Anksčiau vyravo teorija, jog chromosferą ir vainiką įkaitina mechaninės bangos, susidarancios fotosferoje ir gėstančios Saulės atmosferoje. Pastarosios tankis yra mažas, todėl ji, įkaitusi ligi aukštos temperatūros, gali atiduoti energiją tik spinduliuodama. Palydovo HÉAO-2 atlikti kitų optinių žvaigždžių Rentgeno spinduliuų matavimai parodė, jog tokiu vainiko įkaitimo mechanizmu negalima paaiškinti visų rezultatų. Matyt, Saulės atmosferą įkaitina kintamieji magnetiniai laukai.

Stiprūs magnetiniai laukai susidaro Saulės gelmėse, judant elektringų dalelių srautams, ir „išplaukia“ į paviršių, sudarydami Saulės démes. Pastarosios — tai tarsi po fotosfera esančių magnetų poliai, per jas į atmosferą išeina magnetinio lauko linijos. Démėse magnetinio lauko stiprumas siekia 1000—2000 ir net 4500 erstedų. Laukas trukdo plazmos vertikaliam judėjimui, todėl démių temperatūra yra žemesnė negu aplinkinės fotosferos. Kaip tik virš Saulės démių ir jų grupių atsiranda įvairios struktūros: vadinamosios flokulai chromosferoje, ryškūs taškai, kilpos bei kondensacijos vainike. Juos, matyt, sudaro elektringų dalelių srautai, indukuoti greitai kintančių magnetinių laukų. Temperatūra tose aktyviosiose vietose siekia 3—6 milijonus laipsnių. Čia ir generuojami Rentgeno spinduliai. Jie atsiranda, judant su pagreiciu elektringoms dalelėms arba elektronams susijungiant (rekombinuojant) su jonais. Greta tolydinio spektro, matomos ir ryškios būdingosios linijos, kurios atitinka elektronų šuolius daug kartų ionizuotuose atomuose.

Taigi Saulė Rentgeno spinduliuose atrodo kaip ryškios démės tamsaus disko fone (24 nuotr.). Saulės aktyvumo periodais démių vainike padaugėja ir Rentgeno spinduliuavimas sustipréja. Jis liudija apie audringus procesus Saulės atmosferoje, kuriuos mums sunku įsivaizduoti: plazmos sūkurių greičiai siekia dešimtis ir šimtus kilometrų per sekundę, o jų matmenys — dešimtis ir šimtus tūkstančių kilometrų. Vis dėlto ir jų jéga nublanksta prieš Saulės žybsnius.

Žybsnis Saulės atmosferoje — tai sprogimas, kurio galia pri-lygsta milijono megatoninių bombų sprogimui. Žybsnių mechanizmas kol kas neaiškus. Matyt, jų energijos šaltinis — stiprūs magnetiniai laukai. Anot vienos hipotezės, žybsnio metu iš dalies pásinaikina, tarsi anihiliuoja, du priešingos krypties magnetiniai laukai. Tarybinis astrofizikas S. Syrovatskis pagrindė hipotezę, jog tokia milžiniška energija gali išsiškirti, staiga išnykus gigantiškai elektros srovei, sukurtai kintančių magnetinių laukų. Toje vietoje dujos įkaista ligi 20—40 milijonų laipsnių; sprogimo pro-

duktai išlaksto į šalis šimto kilometrų per sekundę greičiu. Sudaro smūginės bangos ir greitų dalelių srautai, pastarieji ir generuoja Rentgeno spindulius. Stiprus žybsnis „išidega“ per 5–10 minučių, po to užgesta per 1–2 valandas. Rentgeno spindulių žybsnis prasideda, praėjus kelioms minutėms po optinio žybsnio. Įdomu, jog tam tikrą dažnį Rentgeno spindulių intensyvumas pradedą didėti keletą valandų prieš žybsni, todėl jį galima numatyti iš anksto.

Saulės skvarbiųjų spindulių srautas žybsnyje sustipréja šimtus ir net tūkstančius kartų. Pasiekę Žemės atmosferą, jie sukelia pokyčių jonasferoje, dėl to pablogėja radijo bangų priėmimo sąlygos. Sprogimai Saulėje, matyt, turi įtakos ir šilumos srautų cirkuliacijai Žemės atmosferoje, veikia netgi biosferą. Medikai yra pastebėję ryšį tarp Saulės žybsnių ir susirgimų širdies bei kitomis ligomis.

KATASTROFOS VISATOJE

Saulė netgi per stiprius žybsnius skleidžia Rentgeno spinduliais ne daugiau kaip vieną dešimtmilijoną savo spinduliaivimo energijos dalį. Tuo tarpu Rentgeno žvaigždės daugiausia skleidžia Rentgeno spindulius, kurių srautas tūkstančius kartų stipresnis už visą Saulės spindulių srautą. Aišku, šiose žvaigždėse Rentgeno spinduliais generuojami visai kitu būdu.

Atradus Sco X 1 ir kitus Rentgeno spindulių šaltinius Galaktikoje, pirmiausia buvo manoma, jog tai — įkaitusios neutroninės žvaigždės.

Hipotezė apie labai tankių — neutroninių — žvaigždžių egzistavimą buvo paskelbta netrukus po neutrono atradimo 1932 m., o teoriškai ją pagrindė L. Landau. Jeigu žvaigždės masė apie 4 kartus didesnė už Saulės masę, tai, išeikvojusi savo branduolinį kurą, ji turėtų susitraukti į asteroido dydžio kūną. Gigantiškos traukos jėgos išpaudžia elektronus į atomų branduolius, ir, susijungę su protonais, jie virsta neutronais. Taigi neutroninė žvaigždė — tarsi didžiulis atomo branduolys, sudarytas beveik iš vienų neutronų.

Deja, skaičiavimai parodė, jog neutroninės žvaigždės rentgeninis ryškis negali prilygti Sco X 1 ir netgi „eilinių“ Rentgeno žvaigždžių ryškiui; be to, jos Rentgeno spinduliaivimas turėtų greitai susilpnėti ir išnykti.

Neutroninės žvaigždės netrukus buvo atrastos, bet kitu būdu — kaip radiopulsarai, siunčiantys labai trumpus, tiksliai periodiškus radijo impulsus. Mat, žvaigždei traukiantis, jos judėjimo kiekio momentas išsilailo, todėl neutroninė žvaigždė turi la-

bai greitai suktis apie savo aši. Dėl nelabai aiškių priežasčių ji spinduliuoja tik iš tam tikrų aktyviųjų vietų (gal susijusių su jos magnetiniais poliais), todėl, jai sukantis, spinduliai registrojami kaip taisyklingi impulsai.

Toks pulsaras buvo surastas ir Krabo ūko centre. Pastarasis susidarė, sprogus supernovai maždaug vieno kiloparseko atstumu nuo Saulės,— ši įvykij 1054 m. užregistruavo senovės astronomai. Taip paaiškėjo, jog supernova atsiranda, žvaigždei virstant neutronine žvaigžde: jai greitai traukiantis, įvyksta sprogimas — išoriniai žvaigždės sluoksniai išlaksto didelio greičiu į visas puses, sudarydami ūką, o jo centre atsiranda (bent kartais) neutroninė žvaigždė. Galingas Rentgeno spindulių šaltinis Krabo žvaigžyne — tai supernovos sprogimo produktai. Kartu jie neša magnetinį lauką, o elektringos dalelės, judėdamos Jame, skleidžia sincrotroninius spindulius — panašiai kaip elektronai, skrejantys žiedinėje greitintuvu kameroje. Tiesa, Rentgeno spindulius skleidžia ir Krabo ūke esanti jauna neutroninė žvaigždė, bet tik maždaug dešimtadali spindulių srauto (25 nuot.).

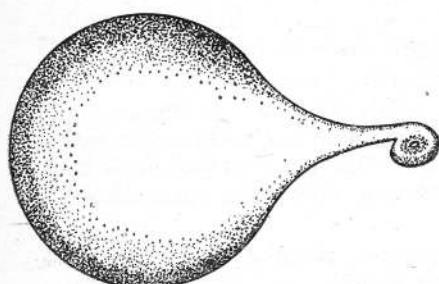
Rentgeniniame danguje pastebėta ir daugiau supernovų likučių. Betgi ne visuose iš jų atrasti pulsarai (neutroninė žvaigždė spinduliuoja nedideliu kampu, todėl jos impulsai gali ir nepasieki Žemės), o daugumos Rentgeno pulsarų nepavyksta susieti su ūkais,— jie gali būti ir kitokios prigimties.

Palydovas „Uhuru“ ir ypač kosminės observatorijos HEAO gana tiksliai nustatė Rentgeno šaltinių padėtis, todėl buvo galima juos sutapatinti su optinėmis žvaigždėmis. Daugeliu atvejų įrodyta, jog tai dvinarės sistemos, sudarytos iš normalios ir Rentgeno žvaigždės. Ir tai nenuostabu: dvinarės sistemos gana dažnos Galaktikoje — apie pusę visų žvaigždžių iš tikrujų yra sudarytos iš dviejų ar daugiau kūnų, besisukančių apie bendrą masės centrą.

Rentgeno žvaigždžių spinduliaivimo intensyvumas paprastai sparčiai kinta — per minutes, sekundes, netgi sekundės dalis. (Jeigu mūsų akys būtų jautrios Rentgeno spinduliams, tai matytume, kaip žvaigždės akimirksniu užsiplieskia ir pritemsta arba užgėsta,— rentgeninio dangaus vaizdas nuolat keiciiasi.) Tai rodo, kad Rentgeno žvaigždės yra mažos, vėl tenka prisiminti neutronines žvaigždes. Greta netaisyklingų žybsėjimų, kai kurios žvaigždės — Rentgeno pulsarai — periodiškai gėsta ir vėl užsidega; matyt, tuo metu tokis šaltinis pasislepia už matomos žvaigždės. Trumpas jų periodas — nuo 0,1 s ligi 30 min liudija, jog Rentgeno žvaigždė juda labai arti normalios kaimynės.

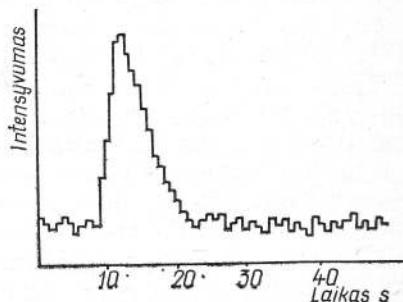
Kokie audringi procesai galimi dvinarėse sistemose, iš kurių viena yra neutroninė žvaigždė?

Žvaigždės skleidžia ne tik elektromagnetines bangas, bet ir dalelių srautus. Antai tokis dalelių srautas iš Saulės, vadinamasis Saulės vėjas, sudaro šimtą tūkstančių tonų per sekundę. Yra žvaigždžių, kurios netenka per sekundę šimtų milijardų tonų medžiagos. Jeigu arti yra kita žvaigždė, turinti stiprų gravitacijos lauką, tai ji pritraukia daleles, išleikančias iš kaimynės. Jų kritimas į neutroninę žvaigždę, lydimas spinduliavimo, vadinamas akrecija.



38 pav. Neutroninė žvaigždė, traukianti medžiagą iš kaimynės žvaigždės giganto

Aplink neutroninę žvaigždę susidaręs akrecijos diskas.



39 pav. Barstero impulsas (šaltinis MX B 1636-53). (Амнузль П. Релятивистская астрофизика сегодня и завтра.— М.: 1979, с. 42.)

Patekusios į neutroninės žvaigždės aplinką, dalelės negali kristi tiesiog į ją. Jos turi tam tikrą judėjimo kiekių momentą, todėl ima suktis aplink neutroninę žvaigždę, taip susidaro vadinamasis ąkrecijos diskas (38 pav.). Dėl trinties tarp sluoksnių diskas smarkiai įkaista. O dalelės, netekdamos savo judėjimo kiekių momento, spirale artėja prie neutroninės žvaigždės. Maždaug 1000 km atstumu nuo žvaigždės medžiagos kritimą turėtų sustabdyti labai stiprus neutroninės žvaigždės magnetinis laukas, siekiantis 10^8 teslų (žvaigždei traukiantis, jos magnetinis laukas sustiprėja panašiai, kaip ir kampinis sukimosi greitis). Plazma yra atmetama į šalis, susidaro smūginės bangos, kurios dar labiau įkaitina medžiagą. Aplink žvaigždę susiformuoja plazmos kamuolys, kuris sukasi kartu su magnetiniu lauku. Ties magnetiniais poliais dalelės „nuteka“ į neutroninę žvaigždę. Atsimušdamos į jos paviršių, dalelės staigiai stabdomos ir intensyviai skleidžia Rentgeno spindulius.

Šis modelis paaikškina eilinių Rentgeno žvaigždžių prigimtį. Betgi Sco X 1 ir kiti galingiausieji Rentgeno spinduliu šaltiniai

mūsų Galaktikoje skleidžia dar daugiau (šimtus ir tūkstančius kartų!) neregimujų spinduliu. Ar gali egzistuoti stipresnis negu neutroninės žvaigždės traukos laukas?

Pastarąjį dešimtmetį mokslinėje ir populiarojoje spaudoje labai daug rašoma apie juodąsias skyles. Jei neutroninės žvaigždės masė 2–3 kartus didesnė už Saulės masę, jokios jégos negali atsispieti gravitacinėms jégoms ir vyksta vadinamasis žvaigždės kolapsas: ji katastrofiškai traukiasi į centrą. Žvaigždė virsta juodąja skyle, iš kurios negali ištrūkti ne tik jokia dalelė, bet netgi šviesos spindulys. (Kuo baigiasi tas kritimas ir kiek susitraukia žvaigždė, šiuolaikinė teorija dar negali atsakyti.)

Jeigu juodoji skylė sudaro glaudžią sistemą su normalia žvaigžde, tai akrecija į skylę turi vykti žymiai audringiau negu į neutroninę žvaigždę. Plazmos dalelės, judančios akrecijos diske, gali igyti greičius, artimus šviesos greičiui, ir, smarkiai įkaitusios, išspinduliuoti net ligi 40% savo vidinės energijos (prisiminkime Einšteino formulę $E=mc^2$).

Kosminiai Rentgeno spinduliu tyrimai pateikė rimtų įrodymų, kad juodosios skylės néra teoretikų išmonė, bet iš tikrujų egzistuoja Galaktikoje. Manoma, jog juodoji skylė yra ir Sco X 1. Dar patikimesni įrodymai apie jos egzistavimą Gulbės žvaigždyne: įvairūs duomenys liudija, jog neregimujų spinduliu šaltinis Cyg X 1, sudarantis dvinarę sistemą su žvaigžde gigantu, yra kompaktiškas objektas, kurio masė 5–6 kartus didesnė už Saulės masę.

1971 m. paleistas tarybinis Žemės palydovas „Kosmos-428“ pirmąjį savo „darbo“ dieną aptiko impulsinius Rentgeno šaltinius — barsterius. Impulsas trunka kelias dešimtis sekundžių (39 pav.), po to seka pauzė ir vėl impulsas. Spėjama, jog barsteriai irgi yra dvinarėse sistemoje. Jeigu optinėje žvaigždėje vyksta sprogimai, panašūs į žybsnius Saulėje, tai akrecija į neutroninę žvaigždę ar juodąją skylę kartais staiga sustiprėja. Patys galtingiausieji barsteriai rasti kamuoliniuose žvaigždžių spiečiuose ir, matyt, yra kitos prigimties. Gal spiečiuje yra masyvi juodoji skylė, į kurią krinta tarpžvaigždinė medžiaga (jos turėtų būti gana daug tokų spiecių viduje).

1967 m. rentgeniniame danguje sužibo nauja ryški žvaigždė A 0620-00. Jos spinduliu srautas vis stipréjo ir rugpjūčio 13 d. net tris kartus pranoko Sco X 1. Po to naujoji žvaigždė émė gesti ir sekaničių metų kovo mėnesį išnyko. Tai žymiausia atstovė dar vienos žvaigždžių klasės — Rentgeno novų. Jos staiga atsiranda, bet po kelių dienų vėl ima gesti. Kartais ilgainiui toje vietoje vėl sušvinta nova. Nustatyta, jog, kaip ir kitos novos, A 0620-00 priklauso dvinarėms sistemoms. Jos atsiranda, matyt, įvykus didel-

liam sprogimui optinėje žvaigždėje ar dėl kitokių priežasčių stai-ga sustipréjus akrecijai.

Mokslininkai linkę manyti, jog visos mūsų Galaktikos Rentgeno žvaigždės yra dvinarėse sistemoje: kol kas nerasta né vienos išimties.

Tarp Rentgeno šaltinių, esančių už Galaktikos ribų, įdomiausi yra kvazarai. Tai labai nutolę nuo mūsų objektai, kai kurie net už 10 milijardų šviesmečių — kažkur prie besiplečiančios Visatos ribų. Jie spinduliuoja įvairiomis bangomis nepaprastai daug energijos — kaip tūkstančiai galaktikų. Antra vertus, jų intensyvumo kitimas per mėnesius, dienas, netgi valandas, rodo, jog tai palyginti nedideli objektai. Jų mislei įspėti pasiūlyta daug įvairių hipotezių. Šiuo metu viena iš labiausiai tikėtinų — kad tai aktyvūs milžiniškų galaktikų branduoliai. Spėjama, jog tokiam branduolyje yra supermasyvi juodoji skylė, į kurią krinta ištisos žvaigždės.

Palydovas HEAO-2 įrodė, kad kvazarai (tarp jų ir patys tolimiausieji iš mums žinomų) yra labai galingi Rentgeno spinduliu šaltiniai. Be to, jis padėjo identifikuoti daug naujų kvazarų — dabar jų žinoma per pusantro tūkstančio. Kvazarų daugėja, tols-tant nuo Galaktikos. Todėl galima manyti, jog Žemę pasiekiantys, gana stiprų foną sudarantys Rentgeno spinduliai (krivantys tolygiai iš visų pusų) yra daugiausia iš tolimųjų kvazarų. Anksčiau buvo manoma, jog juos skleidžia įkaitusios tarpgalaktinės dujos, o tuomet jų turėtų būti tiek daug, kad Visata būtų uždara. Kvazarų Rentgeno spinduliu tyrimai vėl liudija atviros Visatos hipotezés naudai.

Pirmieji kosminių Rentgeno spinduliu stebėjimo dešimtmečiai sukėlė revoliuciją astronomijoje. Audringi procesai, katastrofos žvaigždžių ir galaktikų evoliucijoje pasirodė esą ne išimtis, o norma. Jų varomoji jėga — ne branduolinės reakcijos, o labai stiprūs gravitacijos laukai. Be to, čia išryškėjo ir elektromagneti-nės jėgos, kurios anksčiau buvo laikomos antraeilémis Visatoje. Rentgeno spinduliai, sklindantys iš neutroninių žvaigždžių ir juodujų skylių aplinkos, teikia fizikams unikalią informaciją apie procesus ir medžiagos savybes nepaprasto tankio, temperatūros, labai stiprių magnetinių bei gravitacinių laukų (kur yra svarbi bendroji reliatyvumo teorija) sąlygomis. O kvazarų spinduliai, kurie mus pasieka po milijardų metų, leidžia pažvelgti toli į Visatos praeitį.

KAIP SUKURTI RAZERĮ?

Elektros lemputės arba Saulės spinduliai — tai įvairaus dažnio ir įvairių fazų elektromagnetinių bangų mišinys. Kvantiniai generatoriai, arba lazeriai, skleidžia ypatingą šviesą: siaurą intensyvų spindulių pluoštą, kurio visų bangų ilgiai ir fazės yra beveik vienodos, anot specialistų, tos bangos yra monochromatinės ir koherentinės.

Pasinaudojus šiomis lazerio šviesos savybėmis, buvo sukurta trimatė fotografija — holografija. Lazerio spindulys panaudojamas informacijai užrašyti ir cheminių elementų izotopams atskirti, metalui gręžti ir atstumui ligi Ménulio kelių centimetrų tikslo nustatyti. Naudojantis galingais lazeriais, bandoma išspręsti valdomos termobranduolinės sintezės problemą. Užsienio spauda praneša apie lazerinio ginklo bandymus...

Kokių tik néra sukurta lazerių — impulsinių ir nuolatinio veikimo, dujinų, kietųjų ir skystujų, fiksuoto ir kintamo dažnio, spinduliuojančių trumpu impulsu tiek energijos, kiek jos per tamą laiką nepagamina visos pasaulio elektrinės, ir vato dalių galios. Yra lazerių, generuojančių radio bangas (mazerių), infraraudonuosius bei ultravioletinius spindulius ir regimąją šviesą. Kol kas néra tik Rentgeno spinduliuų lazerio, arba razerio. Kodėl?

Norėdami suprasti, kokie sunkumai iškyla mokslininkams, siekiantiems pagaminti razerį, prisiminkime jo veikimo principą.

Jis yra pagristas kvantinėmis medžiagos savybėmis. Skyriuje „Keistos elektronų elgsenos taisykles“ buvo rašyta, jog atomai, sugerdami šviesą, peršoka į aukštesnius leistinius energijos lygmenis. Tokia sužadinta atomo būsena greitai suyra: atomas savaimė (spontaniškai) grįžta į tą patį ar kitą žemesnį energijos lygmenį, išspinduliuodamas fotoną. Greta šių dviejų procesų — spindulių absorbcijos ir spontaninio spinduliuavimo — galimas dar trečias — priverstinis, arba indukuotasis, spinduliuavimas. Jeigu sužadinto atomo aplinkoje yra fotonas, tai jis „paskatina“ atomą išspinduliuoti tokį pat fotoną (jei tik atitinkamas šuolis yra galimas).

Indukuotasis spinduliuavimas nevaaidina didelio vaidmens, jeigu dauguma atomų yra normalios (mažiausios energijos) būsenos,— taip yra praktiskai visada mus supančioje gamtoje. Betgi, jeigu turėtume priešingą, neįprastą situaciją — atomų tam tikrame sužadintame energijos lygmenyje būtų daugiau negu žemesniame lygmenyje (anot fizikų, egzistuotų inversinis užimtumas),

tai tokia aplinka ne slopintų šviesą, o ją stiprintų. Netgi pati pradėtų generuoti šviesą.

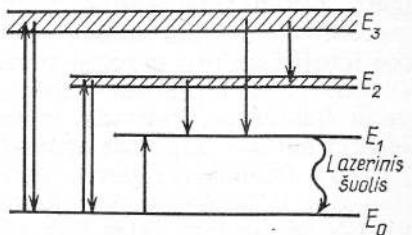
Vykstant spontaniniams spinduliuavimui, kiekvienas atomas elgiasi nepriklausomai: fotonai išleikia įvairiomis kryptimis ir įvairiu laiku. Vykstant indukuotajam spinduliuavimui, atomai elgiasi kaip darnus kolektyvas, todėl fotonų srautas būna monochromatinis ir koherentiškas,— turime kvantinį generatorių.

Pagrindinė praktinė problema — kaip sudaryti inversinį užimtumą. Pasirodo, tai sunku, bet įmanoma. Kai kurie atomai ir molekulės turi ilgai gyvuojančius, arba metastabilius, energijos lygmenis (jiems suirti draudžia tam tikros kvantinės taisyklės). Anatai chromo atomai, jeinantys į rubino kristalo sudėtį, turi tokį lygmenį, pažymėtą 40 pav., E_1 . Apšvietus rubino kristalą kaitria lempa, chromo atomai yra sužadinami, iš E_0 peršoka į įvairius lygmenis E_1 , E_2 , E_3 (pastarieji du dėl kietojo kūno efekto sudaro gana plačias energijos juostas). Dalis sužadintų atomų iš lygmenų E_2 ir E_3 peršoka į E_1 ir čia „uzkliūva“; tarp lygmenų E_0 ir E_1 susidaro inversija. Tuo pasinaudojant, buvo sukurtas rubino lazeris, spinduliuojantis raudonos spalvos liniją, kurios bangos ilgis 693,4 nm.

Kad prasidėtų generacija, aktyviajā medžiagā reikia padėti tarp dviejų veidrodžių, tada indukuotasis spindulys daug kartų praeina pro ją vis stipredamas ir pagaliau pro vieną veidrodį, kuris yra pusiau skaidrus, išeina į išorę.

Indukuotojo spinduliuavimo reiškinį dar 1917 m. teoriškai numatė A. Einšteinas. Betgi tik 1954 m. TSRS ir JAV buvo sukurti pirmieji kvantiniai generatoriai — mazeriai. Jie veikė centimetrinių radijo bangų diapazone. 1960 m. buvo sukurtas pirmasis regimųjų spinduliuų kvantinis generatorius, pavadinamas lazeriu. Dabar jau yra generatoriai, veikiančių ultravioletinių spinduliuų diapazone (specialaus pavadinimo jie neturi, vadinami taip pat lazeriais). Rentgeno spinduliai — ultravioletinių kaimynai, kas gi trukdo fizikams prasiskverbti į šį diapazoną?

Kuo trumpesnio bangos ilgio spindulius norime gauti, tuo stipriau reikia sužadinti atomus ir tuo mažiau stabilios yra tokios būsenos. Kad atomai skleistų Rentgeno spindulius, juos reikia



40 pav. Chromo atomo lygmenys, kurie panaudojami kvantinei generacijai gauti rubino lazeryje
Lygmenys E_2 ir E_3 — leistinių energijų juostos.

„užkelti“ į šimtų ir tūkstančių elektronvoltų energinių aukštį. Tokios būsenos gali išlikti vos apie 10^{-15} sekundės. Apskaičiuota, jog, norint sukurti tokiuose lygmenyse inversinį užimtumą, vienam atomui (!) reikia eikvoti apie 1 vatą galios. Tai galima padaryti įvairiais būdais. Tradicinis būdas — apšvesti atomus dar didesnės energijos spinduliais. Deja, realių kietųjų Rentgeno spindulių šaltinių galia per maža. Tiktų ir gama spinduliai, bet radioaktyviojo skilimo metu jų atsiranda labai nedaug, o branduolio užtaiso sprogimas nėra parankus būdas razeriui uždegti.

Kaip žinome, atomai ima skleisti Rentgeno spindulius ir įkaitinus medžiagą ligi milijonų laipsnių temperatūros. Plazma — nestabili medžiagos būsena. Ją staiga įkaitinus ar atšaldžius, gali susidaryti inversinis užimtumas.

Teoretikai nurodo dar kitus sprendimo variantus: inversija gali susidaryti susiduriant atomams su kitomis dalelėmis ar netgi laisvujų elektronų sraute, kai jie juda periodiniame elektriniame ar magnetiniame lauke.

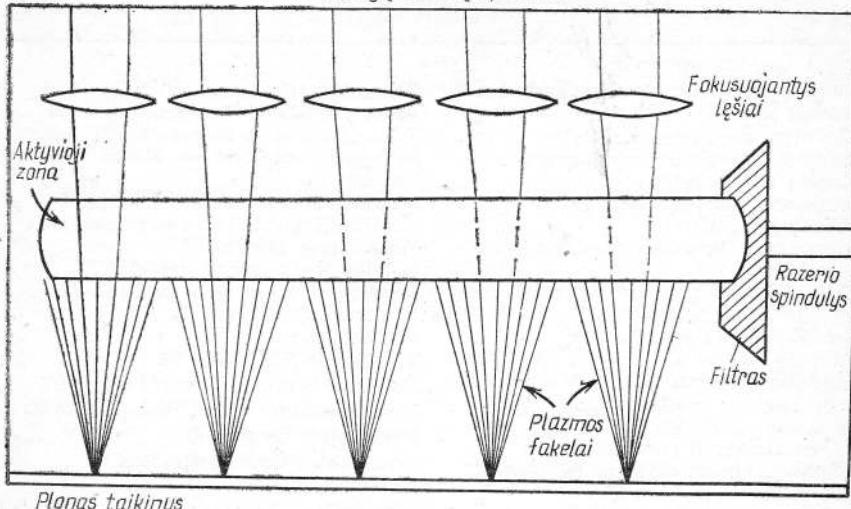
Kita problema — energijos nuostoliai aktyviojoje medžiagoje. Rentgeno spinduliai gali išmušti iš atomų fotoelektronus, todėl jiems praktiškai nėra labai skaidrių medžiagų. O juk razerio spindulys turi prabėgti aktyviojoje medžiagoje netrumpą kelią, kol išgaus pakankamai galios. Vėlgi išeitis — stipriai jonizuota plazma: kai atomai yra netekę beveik visų savo elektronų, nuostoliai dėl fotojonizacijos gerokai sumažėja.

Dar viena problema — nėra veidrodžių, kurie atspindėtų Rentgeno spindulius. Pasirodo, ir šią kliūtį galima apeiti. Kai galingo lazerio šviesos impulsas apšviečia medžiagą, jos paviršiuje iškyla plazmos fakelas (41 pav.). Tarkime, tame susidaro inversinis užimtumas ir indukuojamas Rentgeno spindulys. Sekantį akimirksnį, kai pirmasis fakelas ima gesti, greta iškyla kitas fakelas, po to trečias. Razerio spindulys prabéga fakelų grandine ir taip susitaprėja. Aišku, kol ši idėja bus įgyvendinta, prabégs nemaža laiko.

Razerio kūrimo darbus labai paspartino įvairių šalių mokslišnės programos valdomai termobranduolinei reakcijai gauti. Deuterio ir tričio lašą galima įkaitinti ligi šimto milijonų laipsnių temperatūros, reikalingos sintezės reakcijai prasidėti, nukreipus į jį iš visų pusiu galingų lazerių spindulius. Aišku, razeris čia labai praverstų. Kadangi jo nėra, tai naudojami galingi ilgesnių bangų lazeriai. Tokie įrengimai lazerinei termobranduolinei sintezei yra kuriami TSRS, JAV ir kitų šalių mokslo centruose. Greta tiesioginės paskirties, jie gali būti naudojami ir razeriui kurti.

1981 m. pradžioje amerikiečių žurnale „Aviation Week and Space Technology“ paskelbta: Livermore Lourenso laboratorijoje

Galingų lazerių spinduliai



41 pav. Viena iš siūlomų razerio veikimo schemų

Galingų lazerių spinduliai fokusuojami į taikinį ir vieną po kito sukuria plazmos fakelus, kuriuose susidaro inversinis užimtumas.

pagamintas bandomasis Rentgeno lazeris. Ši laboratorija — žinoma mokslo įstaiga. Paskelbta informacija apie razerį trumpa ir gana netikėta: jis sukurtas, naudojant kietą aktyviją medžiagą, o inversinis užimtumas gaunamas... sprogstant branduoliniam užtaisui. Sprogimo metu, aišku, išgaruoja ir pats razeris, bet prieš tai jis esą spēja išspinduliuoti galingą koherentinių spindulių impulsą. Razerį numatoma panaudoti kariniams tikslams — iš palydovų naikinti tarpžemynines balistines raketas.

Net jeigu šis pranešimas pasitvirtins, vis tiek tai néra razerio problemos sprendimas: toks vienkartinio veikimo įrenginys per daug brangus, teršia aplinką radioaktyviosiomis medžiagomis ir, matyt, nepritaikomas taikiems tikslams.

O juk razeris, sutelkiantis rekordinį energijos kiekį, labai reikalingas fizikams, chemikams, biologams. Kaip minėjome, jis padėtų išspręsti valdomos termobranduolinės sintezės problemą. Galbūt, naudojantis razeriu, bus galima gauti kristalinių gardelių ir sudėtingų molekulių holografines nuotraukas. O svarbiausia rentgenine holografija būtų galima tirti ne specialiai paruoštas — išvalytas ir kristalizuotas — biologines makromolekules, bet esančias lastelės viduje, t. y. tirti molekuliniu lygiu gyvą lastelę.

TURINYS

- Vietoj įvado, arba atradimų kaskadas 3**
- Didžioji lemtis 5**
- „Čia slypi subtiliausios realybės“ 5
- Paslaptingas kristalų švytėjimas 8
- 50 parų trukęs bandymas 9
- Rentgeno spinduliu metai 12
- Išbandymas garbe 15**
- Profesoriui brandos atestatas nebūtinės 15
- „Tebūna ir jūsų gyvenime nors vienos eitynės su fakelais“ 17
- Pirmoji Nobelio premija 19
- Atradėjo likimas 21
- Spinduliu prigimtis 24**
- X su daugeliu nežinomujų 24
- Lémiamas bandymas 28
- Bangos atispindi nuo kristalų 33
- Keistos elektronų elgsenos taisyklės 37**
- Mažytė Saulės sistema 37
- Spektras — atomo pasas 42
- Bangos, dalelės ir banlelės 46
- Paradoksų sprendimas 49
- Atomo mīslės ir Rentgeno spektrai 53**
- Sukūrus kvantinę mechaniką 53
- Rentgeno spektrai — atomo šaukiniai 56
- Ožė šuoliai ir elektronų spektrai 61
- Skvarbieji spinduliai ir organizmas 64**
- Permatomas žmogus 64
- Didelės dozės, mažos dozės 68
- Radiacija ir gyvybiniai procesai 72
- Spindulys detektyvas 74**
- Pėdsakai išryškeja 74
- Šedevrai ir falsifikatai 76
- Defektai, avarijos, kontrolė 80
- Nuo valgomosios druskos ligi DNR 82
- Rentgeninis dangus 86**
- Naujos astronomijos gimimas 86
- Neramioji Saulė 90
- Katastrofos Visatoje 93
- Kaip sukurti razerį? 98**



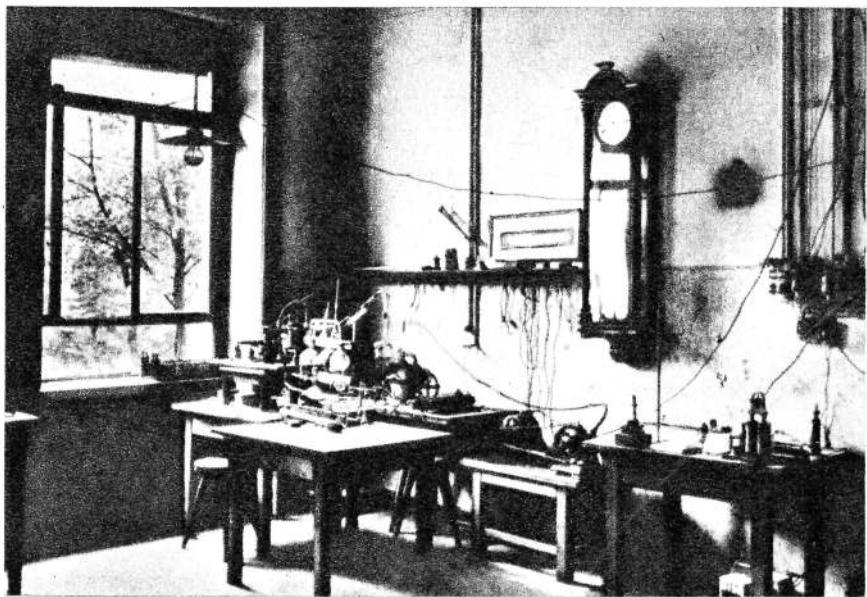
1. Vilhelmas Konradas Rentgenas



2. Namas Lenepe, kur 1845 m.
gimė V. Rentgenas

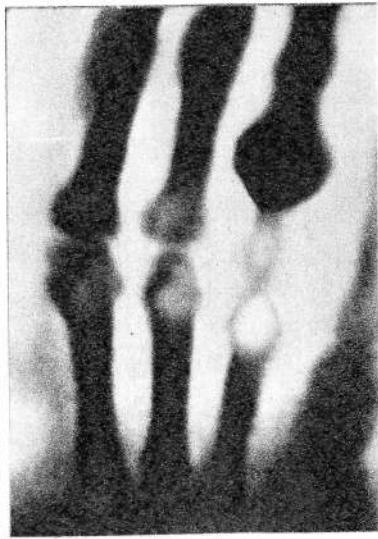
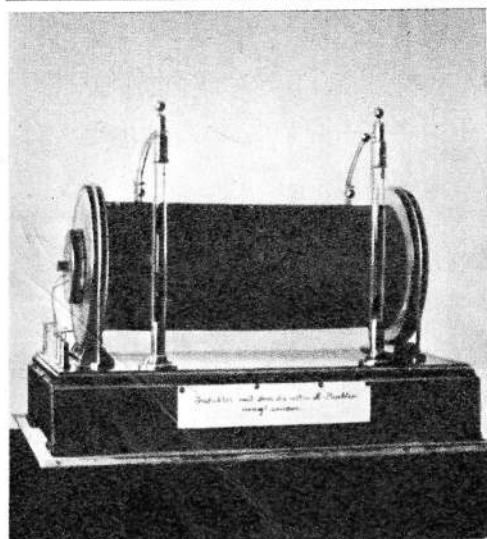
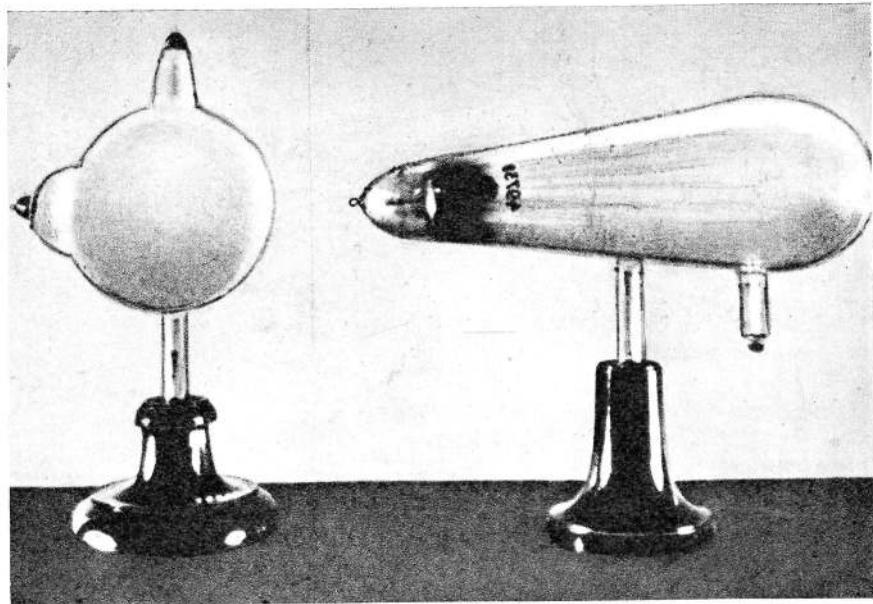


3. Rentgenų šeima: tėvas ir motina sėdi, sūnus stovi



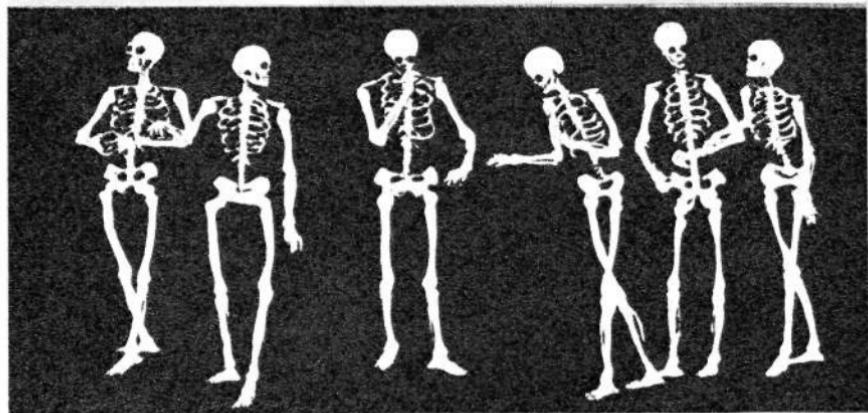
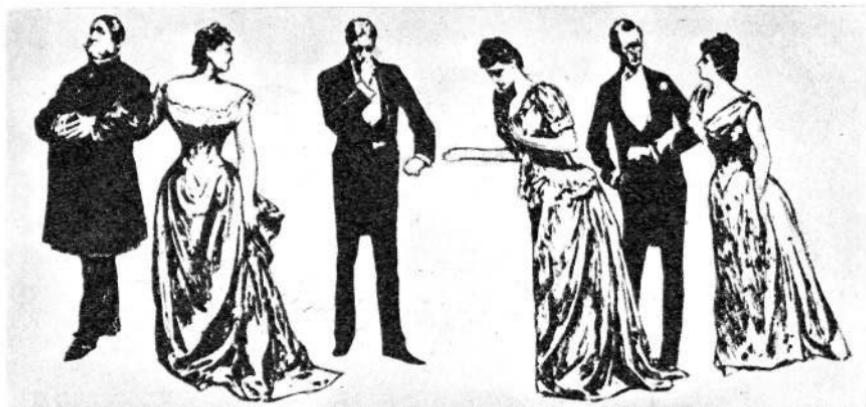
4. Viurcburgo universiteto Fizikos instituto pastatas 1896 m.

5. Laboratorijs, kurioje buvo atrasti Rentgeno spinduliai



6. Prietaisai, kuriais naudojosi Rentgenas: *a* – išlydžio vamzdžiai, *b* – Rumkorfo ritė (Miuncheno muziejus)

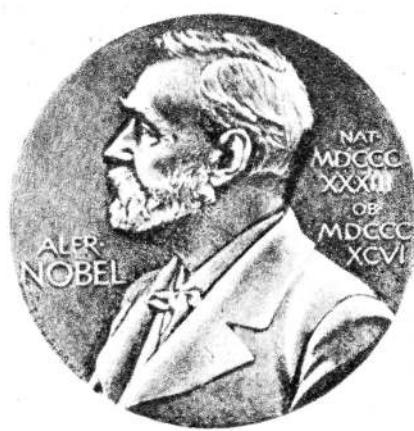
7. Viena pirmųjų nuotraukų, gautų naudojantis X spinduliais (atradėjo žmonos rankos plaštakos kaulų atvaizdas)



8. 1896 m. karikatūros Rentgeno spindulių tema: a – prancūzų dailininko A. Robidos (Robida) piešinys, vaizduojantis būsimas madas; b – karikatūra iš žurnalo "Life" – žmonių grupės nuotrauka, daryta jprastiniais ir Rentgeno spinduliais



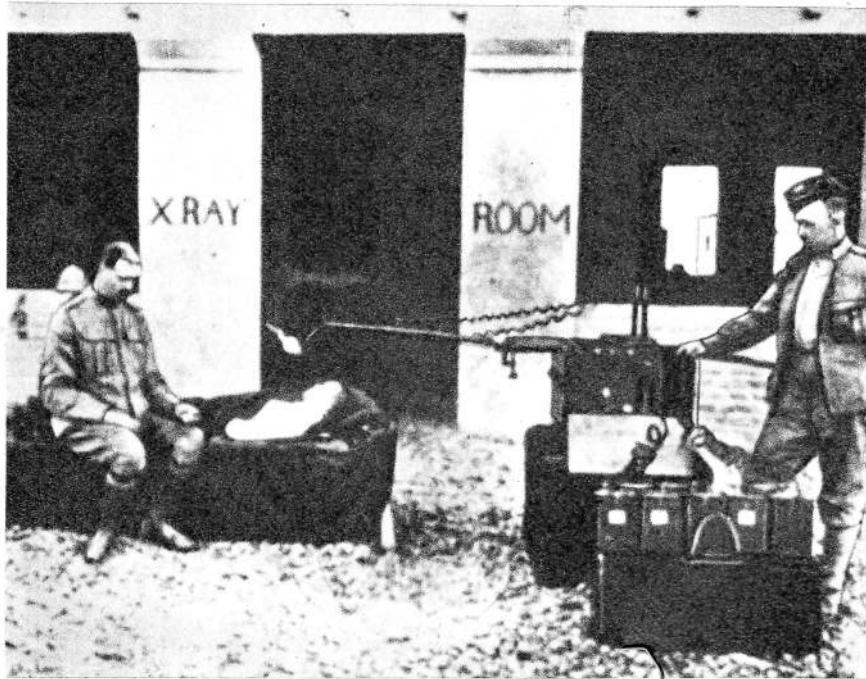
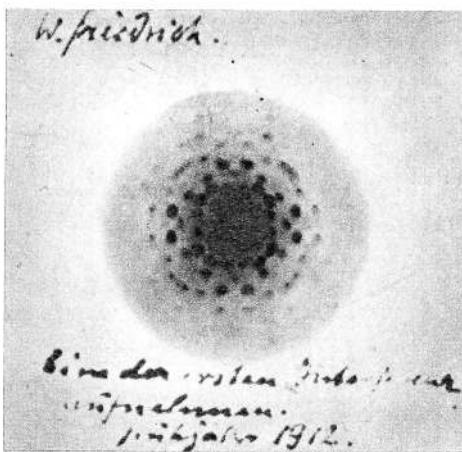
9. V. Rentgeno mokytojas Augustas Kundtas



10. V. Rentgeno – pirmojo Nobelio premijos laureato – medalis



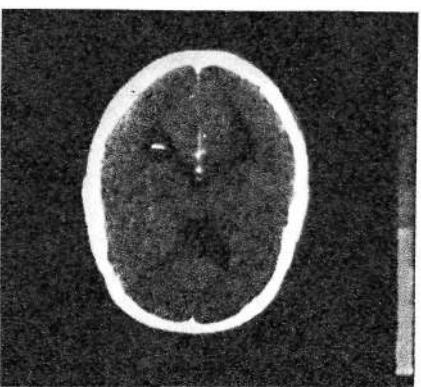
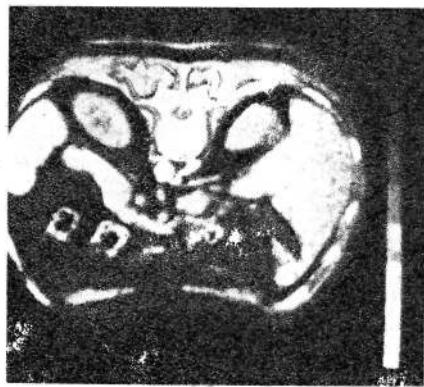
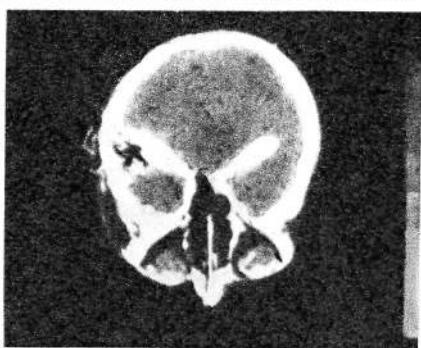
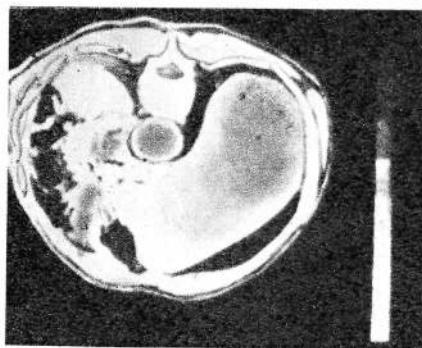
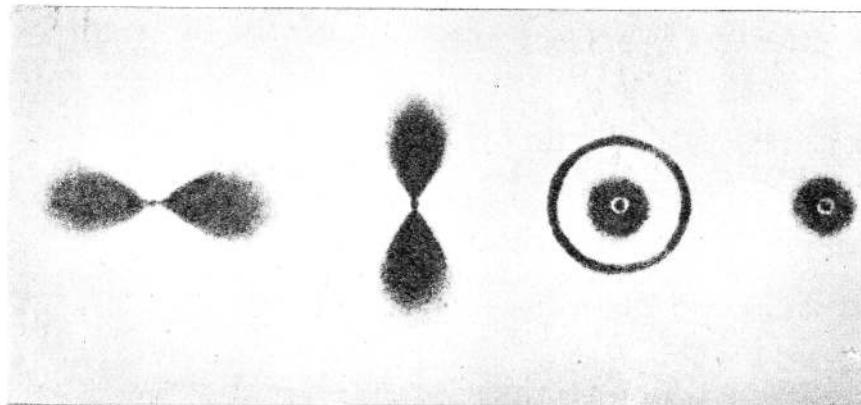
11. Pinigai su V. Rentgeno atvaizdu, išleisti Vokietijoje 1921 ir 1923 m.



12. Maksas Laué

13. Viena iš pirmųjų Rentgeno spindulių difrakcijos kristale nuotraukų

14. Vienas iš pirmųjų serijišnės gamybos medicininių Rentgeno aparatu, naudojamas anglų kareivių Afrikoje 1897 m.



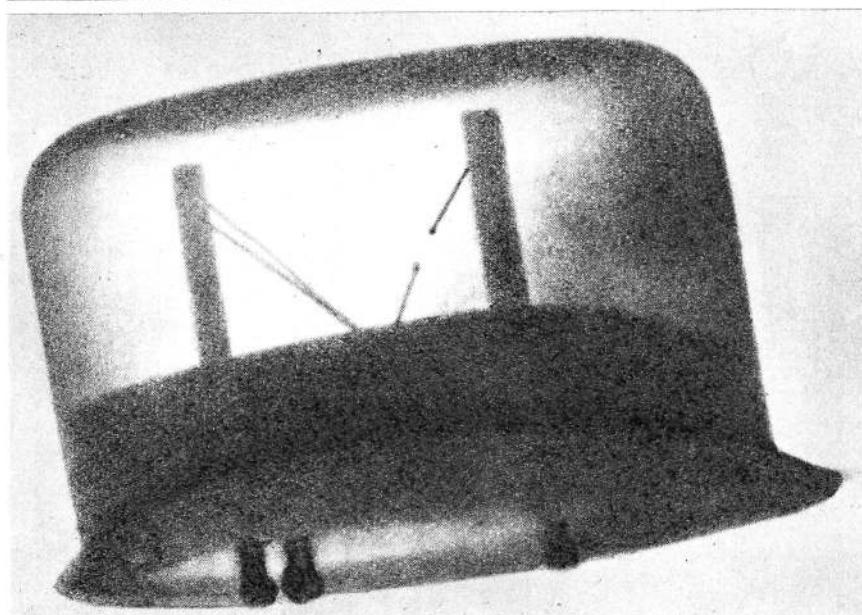
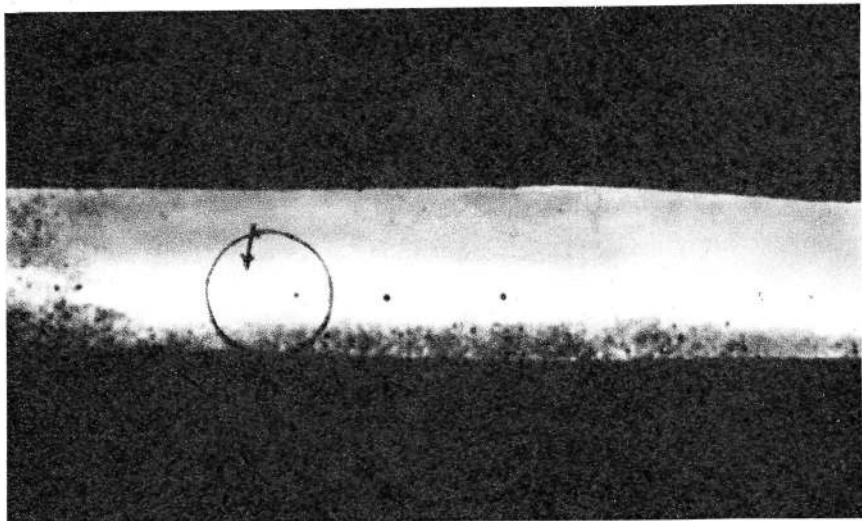
15. Ivairios atomo elektronų kvantinės orbitos

16. Žmogaus galvos tomogramų pavyzdžiai



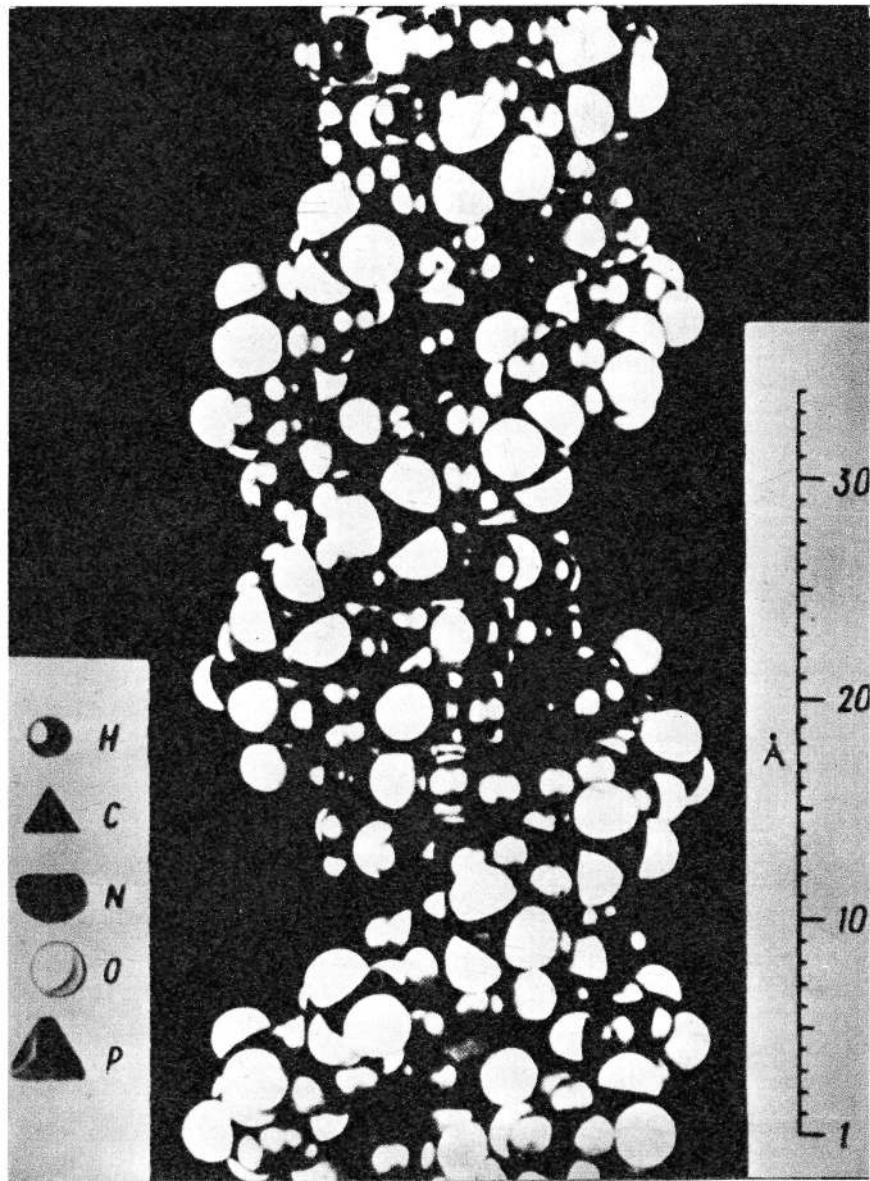


17. Portretas ir jo rentgenograma. Jos analizė padėjo nustatyti, jog paveikslas tapytas ispanų dailininko F. Surbarano. (Возрожденные шедевры. – М., 1963.)

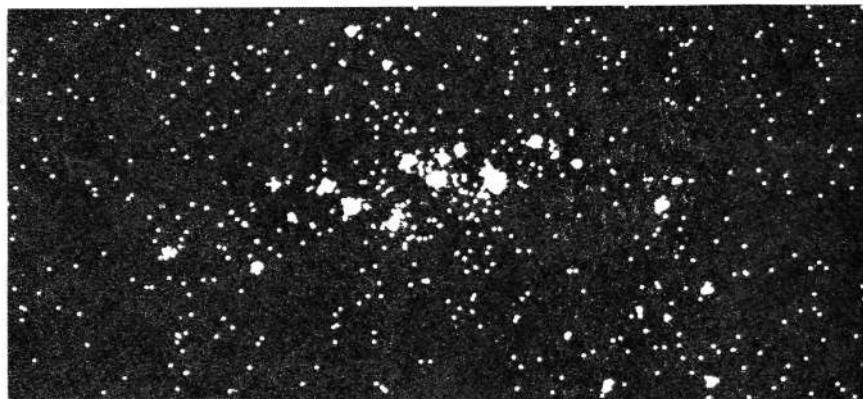
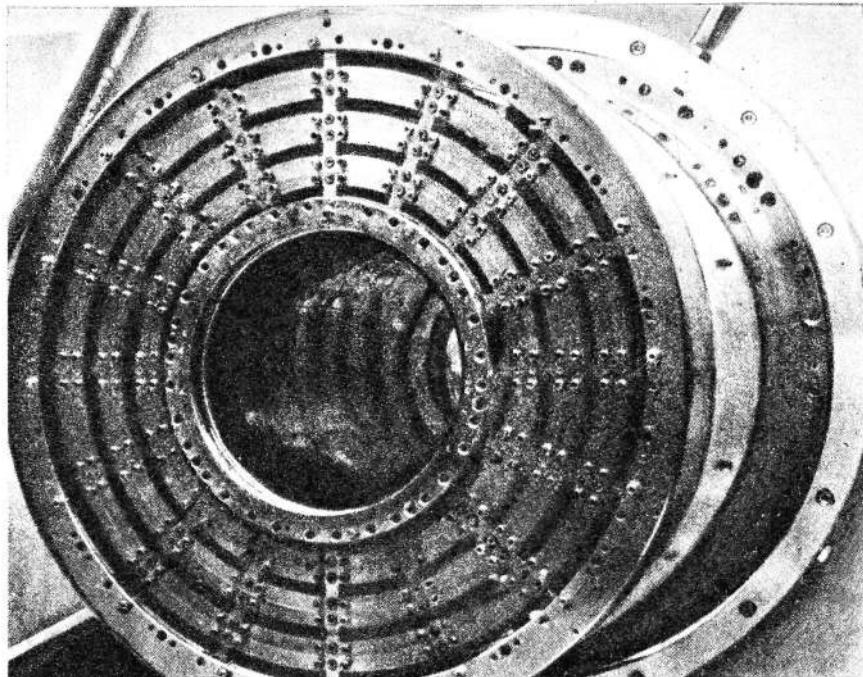


18. Suvirintos metalinės detalės rentgenograma. Matyti 0,3–1,5 mm skersmens dujų poros (pažymėta rodykle) ir kai kur nekokybėška suvirinimo siūlė

19. Tranzistoriaus su defektu rentgenograma. (18 ir 19 nuotr. iš: *Доброиравов В. А. Радиационная интроскопия*. – М., 1972, с. 95, 286.)

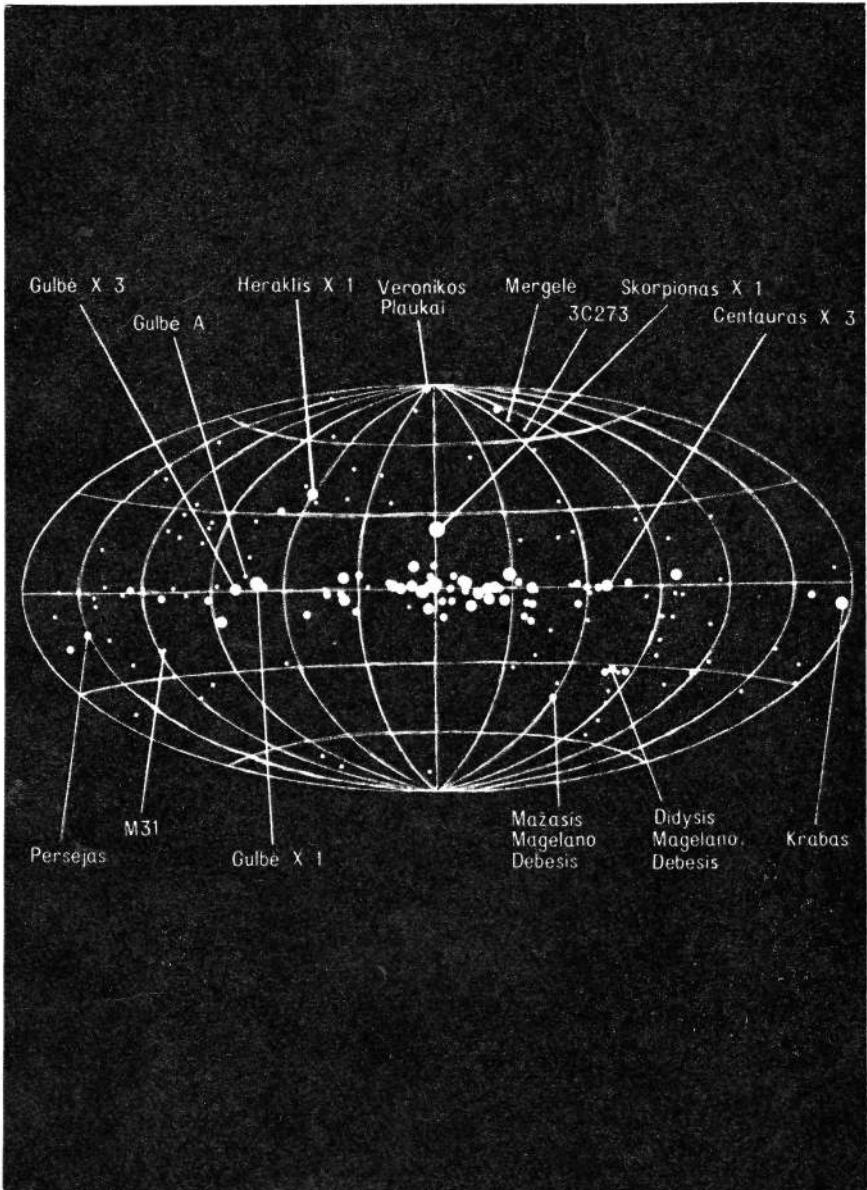


20. Genetinio kodo – DNR molekulės modelio dalis. Dešinėje – skalė angstremais (1 Å=0,1 nm). (Уотсон Д. Молекулярная биология гена. – М., 1978, с. 194.)

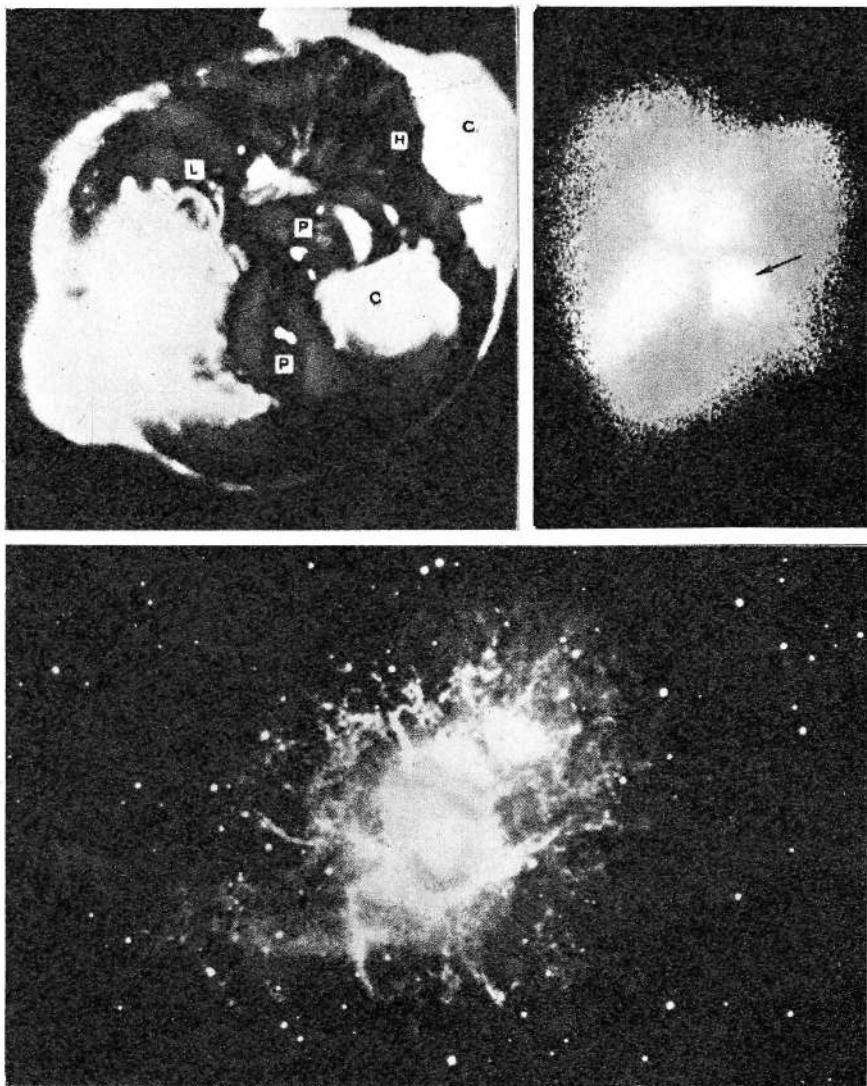


21. Rentgeno spindulių teleskopas, jtaisytas HEAO-2 palydove (Einšteino observatorioje). Matyt angos, pro kurias spinduliai patenka į prietaisą. (Ši, taip pat 22, 23 ir 25 nuotr., b, paimtos iš R. Džiakonio (Giacconi) – amerikiečių kosminiuos Rantgeno tyrimų programos vadovo – strapsnio žurnale "Scientific American", 1980, v. 242, N. 2.)

22. Andromedos ūko centro vaizdas Rentgeno spinduliuose (palydovo HEAO-2 nuotrauka)



23. Rentgeninio dangaus vaizdas. Ekvatorius atitinka Paukščių taką, o centrinė dalis – kryptį į mūsų Galaktikos centrą. Skritulėlio dydis proporcingas šaltinio intensyvumui



24. Saulės vaizdas Rentgeno spinduliuose. Šviesios dėmės atitinka aktyviąsias vietas Saulės vainike: *C* – kondensacijos; *L* – kilpos (arkos); *P* – ryškūs taškai; *H* – tamsios vietas, vadinamosios vainiko skylės. (Nufotografuota orbitinės stoties "Skylab" 1973 m.)

25. Krabo úkas Rentgeno (*a*) ir regimuojuose (*b*) spinduliuose. Pirmoje nuotraukoje (kuri gauta palydovo HEAO-2) šviesi dėmelė – aktyvioji sritis aplink ūke esantį pulsarą (neutroninę žvaigždę)

Karazija R.

Ka 403 Neregimųjų spindulių pėdsakais.— V.: Mokslas, 1983.— 104 p., schem.— (Fizikos mokykla).

Leidinyje populiarai pasakojama apie Rentgeno spindulių atradimą, tolesnį jų tyrinėjimą ir panaudojimą. Įdomi atradėjo asmenybė ir jo darbai, daugelio mokslo šakų raidos šuolių, susiję su Rentgeno spindulių pritaikymu, iliustruoja bendrus moksliinius atradimų kelius ir atskleidžia plačią mokslų vystymosi panoramą.

**K 1704050000—109
M 854(08)—83**

BBK 22.346

535

Ромуальдас Ионович Каразия. ПО СЛЕДАМ НЕВИДИМЫХ ЛУЧЕЙ. На литовском языке. Вильнюс, «Мокслас», 1982.

Romualdas Karazija. NEREGIMUJŲ SPINDULIŲ PĖDSAKAIS. Redaktorė A. Palaimaitė. Viršelio dailininkas J. Gudmonas. Meninė redaktorė B. Grabauskienė. Techninė redaktorė R. Musteikienė. Korektoriės: A. Vaitkevičienė, N. Žadavičiūtė.

ИБ № 1944

Duota rinkti 83.02.17. Pasirašyta spaustinti 83.05.11. LV 08023. Formatas $60 \times 84\frac{1}{16}$. Popierius — spaudos Nr. 3. Garnitura — „Baltika”, 10 punktų. Iškilioji spauda, 6,04 sal. sp. 1.—0,93 l. ikl. 7,68 apsk. leid. 1.—0,9 l. ikl. Tiražas 6000 egz. Užsakymas 660. Kaina 35 kp. Leidykla „Mokslas”, 232050 Vilnius, Žvaigždžių 23. Spaudė Motiejus Šumausko spaustuvė, 232600 Vilnius, A. Strazdelio 1. Iklujas spaudė K. Poželos spaustuvė, 233000 Kaunas, Gedimino 10.