

MARIN KATALINIĆ

NEKOLIKO PRILOGA
O DEZINTEGRACIJAMA ATOMA
KOZMIČKIM ZRAKAMA

(Primljeno 15 oktobra 1949 god.)



MARIN KATALINIC

NEKOLIKO PRILOGA O DEZINTEGRACIJAMA ATOMA KOZMIČKIM ZRAKAMA

(Sa 36 slika. Table II—X)

Istraživanje korpuskularnih zraka i atomskih dezintegracija pomoću fotografskih ploča sa specijalnim emulzijama hvata od nekoliko godina sve više maha, napose u istraživanjima kozmičkih zraka. Fotografska ploča ima prema Wilsonovoj komori glavnu kvalitativnu prednost u tome, što ona trajno registrira pojave, a ne na mahove, kako je to kod Wilsonove komore. Nesumnjiva prednost velikog volumena i velike dubine kod Wilsonove komore kompenzirana je kod fotografske ploče debljinom emulzije. Obzirom na veliku moć kočenja, kakvu ima fotografska emulzija, tim su dobro izjednačeni redovi veličine, a kod naročito debelih emulzija (do 700 μ) uz jednolično razvijanje po cijeloj debljini pomoću temperaturnog postupka¹⁾ dubina Wilsonove komore znatno je premašena. Kvantitativnoj obradi rezultata u znatnoj mjeri smeta vremensko slabljenje latentne slike (*»fading«*), jer ono prividno umanjuje i masu korpuskule (umanjivanjem gustoće zrna u tragu) i njezinu kinetičku energiju (skraćivanjem tragova). A ipak se sve više opaža težnja, da se ova metoda, usprkos različitim poteškoćama, što većma kvantitativno razvije. To će biti olakšano postignutim upoznavanjem okolnosti, koje prouzrokuju ili pogoduju fading²⁾. Kvantitativnom proučavanju dezintegracija znatno smeta i okolnost, da dosadašnje vrsti emulzija nijesu registrirale elektronskih staza.

¹⁾ C. C. Dillworth, G. P. S. Occhialini a. R. M. Payne, Nature **162**, 102, 1948.

²⁾ Upotrebljavam ovu englesku riječ kao tehnički termin za slabljenje latentne slike trajanjem vremena između postanka slike i razvijanja ploče, jer je nalazim upotrebljavanu kao tehnički termin u ovom smislu i u francuskoj literaturi. Vidi npr.: H. Faraggi & G. Alboury, C. R. **226**, 717, 1948; **228**, 68, 1949. — J. Edmonst, Journ. Phys. Radium (8) **10**, 22, 1949.

Najnovijim vrstama emulzija velike osjetljivosti, kao Kodakova N. T. 4, uklonjena je i ta poteškoća, a time je također produbljen pogled u pojave, koje ploča registrira. Na taj je način fotografska ploča i po osjetljivosti gotovo dostigla Wilsonovu komoru.

Među nepovoljnim stranama ove metode istaknut ćemo dvije; obje su subjektivne prirode. To je u prvom redu sklonost opažaća, da sve pojave u vidnom polju mikroskopa smatra istodobnima. To može uroditi pogreškama; jer ima bez sumnje dezintegracija, koje su nastale u stepenovima. Najbolji je primjer za to poznata T-dezintegracija.

Isto tako, lako naginjemo tome, da svaku dezintegraciju u fotografskoj ploči smatramo totalnom. Na taj se način dešava, da najveći dio zvijezda dezintegracije s malenim brojem trakova pripisujemo totalnim dezintegracijama jezgara lakih atoma iz želatina. Protiv toga već govori vrlo čest pojav trokrakih zvijezda s protonskim tragovima malene energije. S druge strane, treba pretpostaviti i znatan broj parcijalnih dezintegracija teških jezgara Ag i Br³); jer teškim jezgrama pripada veći djelotvorni

presjek, koji je proporcionalan sa $A^{\frac{2}{3}}$, gdje je A atomska masa. Pogotovo će lako dolaziti do parcijalnih dezintegracija kod perifernog ulaska ili prolaska brze korpuskule kroz tešku jezgru⁴).

U ovoj su radnji obrađena opažanja, koja sam izveo pred nekoliko godina.

1. Eksperimentalni podaci

Radeno je s Agfinim K-pločama s debljinom osjetljivog sloja 40 μ . Prema ondašnjem pismenom saopćenju profesora Dr. J. Eggerta, kod izrade emulzije ove vrsti ploča naročita je pažnja bila posvećena tome, da su svi sastojci čisti od tragova radioaktivnih elemenata.

Ploče su izložene djelovanju kozmičkih zraka u trima skupinama. Jedna skupina (A) ploča izložena je na terasi Tomislavova Doma na planini Sljeme sjeverno od Zagreba (nadmorska visina 1016 m). Drugu skupinu (B) čine ploče, koje su bile izložene na terasi tornja Fizikalnog zavoda u Zagrebu (nadmorska visina ~ 145 m). Treću skupinu (C) čine ploče, koje su ostale u originalnoj kutiji u prizemlju zgrade Fizikalnog zavoda, pa su poslije 2 do 2,5 mjeseca razvijene (nadmorska visina ~ 127 m).

Ploče su na Sljemenu i na terasi tornja Fizikalnog zavoda bile eksponirane u dvjema serijama, u proljeću i u ljetu 1943.

³) G. Thomson, Phil. Mag. (7) 40, 589, 1949. Vidi također: J. B. Harding, Phil. Mag. (7) 40, 530, 1949, p. 541.

⁴) P. Cüer & M. Morand, C. R. 226, 659, 1948. — D. H. Perkins, Nature 160, 299, 1947.

One su ostale izložene 30 do 34 dana. Razvijene su istog dana, kada su bile skinute, tako da nije bilo naročitog fadinga uslijed zakašnjelog razvijanja. Naravno, fadingom su svakako jače oslabljene latentne slike procesa nastalih u prvim danima ekspozicije u poredbi s onima, koji su nastali u posljednjim danima. — Za razvijanje upotrebljavan je normalni razvijlač metol-hidrochinon u razrijeđenju 1 : 4. Razvijanje je prema propisu trajalo 5^m.

Tom prilikom treba upozoriti na ovo općenito zapažanje. I u pločama skupine B i u pločama skupine A nađeno je zvijezda dosta velike energije, s 8 do 9 trakova. U posljednje vrijeme našli su drugi istraživači⁵⁾ u osjetljivom sloju ploča, koje su bile eksponirane na morskome nivou zvijezda velike energije, koje su imale do 22 traka. Kako fading, prema svom uzroku, ne mora u jednakoj mjeri zahvaćati sve dijelove ploče — jer to zavisi o pristupačnosti za kisik i za vlagu⁶⁾, a ta pristupačnost opet zavisi o načinu, kako je ploča eksponirana — neće se kod ploča, koje su bile neko vrijeme eksponirane na većoj visini, moći ustanoviti s apsolutnom sigurnošću, da je jedna zvijezda nastala upravo na toj visini. Jer, ona je mogla nastati i prije toga, na manjoj visini, a u povoljnim prilikama mogla se latentna slika održati sve do razvijanja. Samo je i zbog većeg intenziteta kozmičkih zraka, napose onih korpuskula, koje većinom izazivaju dezintegracije, daleko mnogo vjerojatnije, da je zvijezda nastala na većoj visini.

U prvoj seriji eksponiranih ploča, i u skupini A i u skupini B, ploče su bile eksponirane u parovima tako, da je u svakom paru osjetljivi sloj jedne bio okrenut prema osjetljivom sloju druge ploče. Svaki takav par ploča bio je unakrst čvrsto privezan jakim koncem, a onda je jedan ugao tako sastavljenog para bio označen zarezom na staklu. Svrha ovakvog uređaja bila je u tome, što se, po uzoru na uređaje u Wilsonovoj komori za istraživanje kozmičkih zraka, htjelo ispitati, da li je jedna zvijezda, koja je nađena u osjetljivom sloju jedne ploče, ostavila tragova i u nasuprotnom sloju druge ploče, kao i to, kakvi su ti tragovi. Označavanje uglova zarezom na staklu osiguravalo je onda, da se takav par ploča može namjestiti pod mikroskopom tako, da su se korespondentne tačke obaju slojeva nalazile jedna iznad druge s dovoljnom približnošću. Ako je u sloju jedne ploče nađen jedan zanimljiv objekt s dosta velikom energijom, za koji je trebalo ispitati eventualne tragove u nasuprotnom sloju, pripadna druga ploča istog para položena je pod objektivom u korespon-

⁵⁾ Npr.: R. R. Roy, *Nature* **160**, 498, 1947. — P. Cüer, M. Morand & H. Moucharrafieh, *C. R.* **226**, 713, 1948. — H. Faraggi & G. Albouy, *C. R.* **227**, 276, 1948.

⁶⁾ R. Coppens, *C. R.* **227**, 61, 1948; *Journ. Phys. Radium* (8) **10**, 11, 1949. — G. Albouy & H. Faraggi, *C. R.* **228**, 68, 1949; *Journ. Phys. Radium* (8) **10**, 105, 1949.

dentan položaj, u sloju donje ploče ponovo je nađen isti objekt, pa je u sloju gornje ploče ispitana okolica nasuprot objektu. Debljina stakla dozvoljavala je ovakvo istraživanje još kod povećanja $275 \times$.

Prije nego su ploče para privezane, bile su u njihovim uglovima zapisane olovkom njihove oznake, po kojima se poslije razvijanja mogla ustanoviti pripadnost ploča jednom paru, a osim toga se po oznakama moglo ustanoviti, da li je ploča imala kod ekspozicije sloj naviše ili sloj naniže. — Naravno, svi podaci o načinu ekspozicije bili su zabilježeni u zapisniku opažanja.

Ovako sastavljeni parovi ploča bili su priređeni na dva različita načina. Bilo je parova, kod kojih su slojevi bili pritisnuti neposredno jedan uz drugi. Kako je fading uzrokovan kisikom iz uzduha uz pristup vlage⁷⁾, u ovakvim su parovima latentne slike trebale biti najbolje očuvane. — U skupinama A i B bio je po jedan par ploča, u kojem je između sloja i sloja bila umetnuta olovna folija debljine 0,3 mm. Tim je oponašana olovna pregrada u Wilsonovoj komori za istraživanje kozmičkih zraka. Tako tanak sloj olova uzet je iz posebnih razloga. Da bi se izbjegla mrena na osjetljivom sloju ploče pod eventualnim djelovanjem olova, folija je bila s obje strane obložena papirom debljine 0,1 mm. Tako je sloj bio odijeljen od sloja sa $2 \times 0,1$ mm papira i sa 0,3 mm olova.

Jedna grupa parova ploča priređenih na opisani način bila je poredana u velikoj drvenoj fotografskoj kaseti, par uz par, i eksponirana je sa slojevima horizontalno; t. j. ploče su bile eksponirane vertikalnoj komponenti kozmičkih zraka. Neposredno uz ovu kasetu, u istom drvenom sanduku, smještena je vertikalno kartonska kutija s isto tako priređenim parovima ploča, ali položenih jedan na drugi. Prema tome, ova druga grupa ploča bila je eksponirana horizontalnoj komponenti kozmičkih zraka.

Eksponirane na otvorenim terasama, ploče su na taj način bile s gornje strane opkoljene materijalom s atomima malenih rednih brojeva, osim olova u parovima s umetnutim olovnim folijama; s donje su strane bile izložene natražnoj struji sekundarnih zraka iz materijala s atomima osrednjih rednih brojeva⁸⁾.

Ploče skupine C, koje su prije razvijanja ležale u laboratoriju u originalnom omotu, razlikuju se prilikama ekspozicije od ploča skupina A i B u tome, što su se iznad njih nalazila tri betonska plafona s ukupnom debljinom oko 3×10 cm. Prema tome, ploče ove skupine bile su izložene pluskovima nastalim u materijalu s osrednjim rednim brojevima atoma. — U zapisniku opažanja zapaženo je kod ploča iz ove skupine C, da su one mnogo siromašnije na dugim pojedinačnim protonskim trago-

⁷⁾ Vidi l. c. 6).

⁸⁾ Cf.: B. d'Espagnat & Ch. Peyrou, C. R. 228, 674, 1949.

vima, ali da su bogatije na 3-krakim i na 4-krakim zvijezdama malene energije.

Sve ploče ove prve serije, uključujući i skupinu C, pripadale su emulziji s istim brojem fabrikacije.

Prva opažanja na razvijenim pločama iz ove prve eksponirane serije potaknula su pitanje, kako djeluje neposredni okolni medij iznad sloja na brojnost dugih pojedinačnih protonskih tragova u sloju. Kako se činilo vrlo vjerojatnim, da se dobrim dijelom može raditi o protonima izbijenim iz drva od brzih neutrona, učinjene su u drugoj seriji eksponiranih ploča ove promjene. Ploče nijesu eksponirane u parovima već pojedinačno, sa slojem navise. U svakoj skupini umetnute su po jedna ploča sa slobodnim slojem, po jedna ploča s pločicom parafina debljine 2,5 mm iznad sloja i po jedna ploča s pločicom olova debljine 2 mm iznad sloja. Kao i u prvoj seriji, i ovog je puta bila umetnuta kartonska kutija s pločama isto tako priređenim, ali postavljenim vertikalno, t. j. izloženim horizontalnoj komponenti kozmičkih zraka. — Nažalost ova druga serija nije dala željenih rezultata. Radilo se o novoj pošiljci ploča, koje su poslije razvijanja — po svoj prilici zbog lošijeg kvaliteta — općenito pokazivale znatnu mreću, tako da su se dale samo mjestimice upotrebiti. — Sve snimke u ovoj radnji pripadaju prvoj seriji ploča.

Već je više istraživača upotrebljavalo fotografske ploče sa slojevima olova iznad njih. Tako su Cortini i Manfredini⁹⁾, te Lord i Schein¹⁰⁾ nedavno istraživali pitanje tzv. prelaznog efekta u olovu pomoću fotografskih ploča, iznad kojih su se nalazile olovne ploče. Samo su kod njih olovni slojevi imali bitno veće debljine. — Perkins¹¹⁾ je iznad fotografskih ploča (Ilfordove C 2) stavljao grafit, parafin, mesing i olovo u debljinama 1 cm. — Ploče (Ilfordove C2), koje sam u ljetu 1948. eksponirao na visini 2570 m na Šar-Planini, bile su — u vezi s pojavama opaženim na nekim pločama prve serije, a prikazanim u drugoj radnji — priređene na sličan način. Kako su tražili spomenuti rezultati, neke su ploče iznad sloja (sloj navise) imale olovne folije od 0,2 mm do ukupne debljine 1,0 mm; jedna je ploča bila impregnirana olovnim nitratom; tri su ploče imale iznad sloja lim Al, ili lim Cu, ili lim Fe. Radi usporedbe bila je umetnuta jedna ploča sa slobodnim slojem, odnosno iznad njezina sloja bio je samo tanak sloj papira. — Nedavno su sa slično priređenim pločama radili Ždanov i Podkopaev¹²⁾. U jednoj skupini ploča oni su imali na osjetljivom sloju ploče tanke

⁹⁾ G. Cortini a. A. Manfredini, Nature 163, 991, 1949.

¹⁰⁾ J. J. Lord a. M. Schein, Phys. Rev. (2) 75, 1256, 1949.

¹¹⁾ D. H. Perkins, Nature 160, 707, 1947.

¹²⁾ A. P. Ždanov i J. N. Podkopaev, Dokl. Akad. Nauk SSSR (DAN) 64, 313, 1949.

foliju Al, ili Cu, ili Pb. U drugoj skupini radili su s parovima ploča, a među nasuprotnim slojevima bila je ploča od stakla, kojoj su oba lica bila premazana slojem parafina debljine 0,8 mm. —

Baždarenje ploča. Da bi se ploče energetički baždarile, potrebno je po tragu čestice u emulziji ustanoviti vrst čestice, odnosno saznati njezinu masu. Kod alfa čestice i protona, poznavajući moć kočenja emulzije, možemo iz duljine traga pomoću poznatih formula o zavisnosti dosega o brzini odrediti početnu brzinu čestice. Tim je poznata početna kinetička energija čestice.

Osnovnu važnost u prosuđivanju vrsti jonizirajućih čestica, kojima opažamo tragove u emulziji, ima gustoća zrnaca izlučenog srebra uzduž traga. Kod čestica s nabojnim brojevima $z \geq 3$ pridolazi i debljina zrnaca. Gustoću zrna u jednom dijelu traga definiramo u ovoj radnji pomoću srednjeg razmaka (δ) među zrcima, izraženog u mikronima. Glavno baždarenje izvedeno je za alfa zrake radioaktivnih elemenata uranova niza i torijeva niza poznatim postupkom. Po jedna ploča iste emulzije impregnirane su razrijeđenom rastopinom uranova nitrata, odnosno torijeva nitrata, pa su nakon 4 dana razvijene¹⁸⁾. Zbog znatnog rasipanja dosega alfa zraka u emulziji, teško je odrediti pripadnost jednog traga alfa čestice nekom određenom radioaktivnom elementu iz tog niza; pogotovo to vrijedi za uranov niz. U torijevu nizu radi se vrlo pretežno o zvijezdama raspadanja iz radiotorija i njegovih kratkovječnih sljednika. Zbog toga su dosezi u emulziji dulji, odnosno razlike u duljinama tragova su uočljivije, pa je tako koordiniranje tragova nešto lakše. Takvom identificiranju dosta smetaju u ovom nizu tragovi alfa čestica iz ThC, ako je raspadanje išlo ogrankom $\text{ThC} \rightarrow \text{ThC}'' \rightarrow \text{ThD}$. Zato su za baždarenje upotrebljavane zvijezde, koje su sadržavale dugački trag staze alfa čestice iz ThC'. Naravno, birane su takve zvijezde (4- i 5-krake), u kojima su tragovi bili dobro horizontalni ili malo nagnuti prema površini emulzije.

Uzimajući u obzir rasipanje dosega i poteškoće koordiniranja tragova odnosnim elementima, moralo se kod ploča s uranom zadovoljiti s tim, da su odvojene grupe srednjih dosega (14,4 μ , 18,2 μ , 21,4 μ), pa su za ove dosege određeni srednji razmaci zrnaca. Pokazalo se, da je to posve dovoljno. U torijevu nizu određeni su srednji doseg i srednji razmak zrnaca izravno samo za alfa zrake iz ThC', a za ostale elemente ovog niza uzete su samo grupe srednjih dosega (26,0 μ , 30,2 μ), pa je za ove određeno δ .

Aritmetičke sredine rezultata brojenja zrnaca za različite grupe dosega (prosječno 400 μ do 600 μ po grupi) prikazane su u tablici 1. Pod E je naveden radioaktivni niz. U trećem stupcu

¹⁸⁾ Vidi prethodnu radnju istog autora u II. knjizi ovog Zbornika, str. 47.

navedeni su uzdušni ekvivalenti (R), uzimajući za moć kočenja emulzije 2050 : 1. U posljednja dva retka navedeni su podaci za tragove dviju alfa zraka velikog dosega, koje su kao takve identificirane u jednoj dezintegraciji kozmičkim zrakama.

Tablica 1.

E	Skupina dosega (μ)	Uzdušni ekvivalent R (cm)	Srednji razmak zrnaca δ (μ)	Napomena
U	14,4	2,95	1,45	Vrijednosti za srednji razmak δ u ovoj tablici općenito su manje od onih koje je dao E. Schopper (Veröff. Agfa, VI. 170, 1939, str. 174) za alfa zrake u K-pločama. On nalazi $\delta \sim 1,9 \mu$. To se može svesti na razlike u razvijanju ploča. I protonski tragovi imaju kod njega mnogo veće razmake δ nego ovdje. Vidi također: Phys. ZS. 40, 22, 1939, str. 25.
	18,2	3,73	1,55	
	21,4	4,39	1,54	
Th ($RdTh$)	26,0	5,33	1,52	
	30,2	6,19	1,68	
	43,1	8,83	1,82	
—	113,5	23,3	1,53	
—	138,5	28,4	1,78	

K-ploče pokazuju za isto područje dosega alfa zraka znatna kolebanja gustoće zrna, veća nego bi mogla biti prouzročena fadingom u vremenu od 4 dana, sve kad bi se uzelo, da je emulzija bila jedan cijeli dan vlažna¹⁴). Istina, u pojedinim grupama dosega vrijednosti δ dosta su gusto okupljene oko navedenih srednjih vrijednosti δ u tablici. Ali npr. za uranovu grupu 21,4 μ pojedine, rijetke vrijednosti δ sežu do 1,3 μ i do 1,8 μ . Kod ThC' granice rasipanja za δ jesu 1,5 μ i 2,1 μ . Prema opažanjima čini se vrlo vjerojatnim, da se ta kolebanja imaju pripisati manjkavoj homogenosti emulzije, jer su zbog toga zrnca AgBr negdje gušće, a negdje rjeđe rasijana. U prilog tome govori i činjenica, da na

¹⁴) Ploče su bile sušene u mlazu uzduha, pa su se osušile kroz nekoliko sati.

dugim i vrlo dugim protonskim tragovima nailazimo na dosta velika područja, u kojima srednji razmak zrnaca jako nadilazi poprečni normalni razmak zrnaca u istom tragu ili na drugim protonskim tragovima u istoj ploči. Razlike znatno nadmašuju opseg statističkih kolebanja.

Kod dugih i vrlo dugih pojedinačnih protonskih tragova srednji razmaci zrna, mjereni na duljinama $\sim 150 \mu$, variraju između $2,3 \mu$ i $2,9 \mu$, sa rasipanjima do iznad 3μ . Kratki tragovi u zvijezdama, koji se bez sumnje imaju pripisati protonima male energije, imaju razmake δ između 2 i $2,3 \mu$. Na taj način ostaje između alfa čestica i sporih protona izvjestan razmak gustoća zrna, u kojem dolaze tritoni i rijetki deutoni. Zbog malenih razlika u gustoćama zrna, za ove je mogućnost identificiranja i po sebi mnogo teža¹⁵⁾.

Na osnovu Blackettove empiričke formule za doseg protona u zavisnosti o brzini izrađena je krivulja energije protona u zavisnosti o njihovu dosegu i prenesena je na doseg protona u emulziji pomoću poznate moći kočenja. Istim postupkom, na osnovu Geigerove formule, izrađena je takva krivulja za alfa čestice do dosega 30 cm u uzduhu. Pomoću tih krivulja određivane su energije protona i alfa čestica iz njihovih dosega u emulziji.

U mezonskim tragovima gustoće zrna mnogo su manje u početku trajektorije nego pri njezinu kraju. Kod mezona, kojima se može pripisati masa oko $200 m_e$, srednji razmak zrna leži u početku staze oko $3,3 \mu$, a na njezinu kraju oko $2,5 \mu$.

Istraživanje ploča pod mikroskopom izvedeno je dijelom g. 1943. i većim dijelom g. 1946. Zbog nestašice fotografskog materijala, vrlo se rijetko moglo primijeniti snimanje zanimljivijih objekata u više nivoa, da bi se odatle sastavile mozaične slike, u kojima bi svi dijelovi pojedinih tragova bili oštri. Objekti su ponajviše snimani u povećanju $275 \times$ ($260 \times$), tako da je slabija oštrina tragova, koji idu više ili manje koso prema horizontali, manje smetala. Neke veće zvijezde i neki od dugih pojedinačnih tragova, koji su ležali još dosta položito za snimanje, snimani su u povećanju od samo $77,5 \times$ ($74 \times$). Prije snimanja svaki je objekt vizuelno ispitan kod povećanja $480 \times$ i $800 \times$. Opažanja o nivoima unešena su u zapisnik opažanja, u kojem je svaka snimka opisana. Podaci u tekstu o pojedinim snimkama uzeti su iz tih zapisnika.

Kod analize dezintegracija služio sam se tablicom izotopa od Seaborga¹⁶⁾, u ruskom prevodu¹⁷⁾, i tablicom izotopa u najnovijem izdanju Kohlrauscha¹⁸⁾.

¹⁵⁾ Cf.: J. Edmond, l. c. 2), p. 29.

¹⁶⁾ G. T. Seaborg, Rev. Modern Phys. 16, 1, 1944.

¹⁷⁾ Uspěhi fizič. nauk 28, 285, 1946.

¹⁸⁾ F. Kohlrusch, Prakt. Physik, 18. izd., vol. II, New-York 1947, tablica 71.

Kod organizacije ovog istraživanja sudjelovao je Dr. Branimir Marković, onda asistent Fizikalnog zavoda u Zagrebu. On mi je pomagao kod priređivanja ploča; sam je oba puta prenio sanduk s pločama na Sljeme, gdje ih je eksponirao, i sam ih je donio natrag. Dr. Marković je sudjelovao u početku i kod istraživanja ploča pod mikroskopom; ali je kasnije morao ovo istraživanje napustiti zbog nedostatka vremena. Dru. Branimiru Markoviću izražavam i na ovom mjestu toplu zahvalnost. — Sve objekte prikazane u ovoj radnji ja sam našao i snimio.

2. Dezintegracije atoma neutralnim česticama

Prema najnovijim rezultatima istraživanja, najveći dio dezintegracija kozmičkim zrakama izazivaju čestice, koje ne ioniziraju¹⁹⁾. Glavnim dezintegratorima treba uzeti brze neutrone, dok se fotonima može pripisati samo neznatan dio dezintegracija. Često se uzima, da tako mogu djelovati i hipotetički neutralni mezoni. Pretpostavlja se, da brzi neutron ne biva zahvaćen u jezgri, nego prođe kroza nju ostavljajući u njoj energiju od kojih 30 MeV do 100 MeV, već prema masi atoma. Pogotovo se takav proces zbiva u lakim jezgrama. Uzbudena se jezgra djelomično ili totalno rasprsnje. Kako energije brzih neutrona idu do 200 MeV²⁰⁾, može brzi neutron na taj način izazvati redom nekoliko dezintegracija jezgara lakih atoma.

Direktne dokaze za ovakav mehanizam dezintegracije daju sl. 1 i 2 (Tabla II). U sl. 1 ($h = 1016$ m) počeci triju pojedinačnih tragova, ishodište jedne dvokrake zvijezde i ishodište jedne trokrake zvijezde leže na pravcu (projekciji), kojemu su krajevi nacrtani tušem na rubu slike²¹⁾²²⁾. Prvi i treći (s desna) pojedinačni trag zalaze dosta strmo u dubinu; ali gustoća zrna, opažana u emulziji pokazuje, da su oba traga, kao i srednji, protonski tragovi. Prema tome, radi se o protonima odbačenim od brzog neutrona. Kod trokrake zvijezde samo je najdulji krak prilično horizontalan; od ostalih dvaju krakova jedan se strmo penje, a drugi se vrlo strmo spušta prema staklu. Sva tri kraka odgovaraju gustoćom zrna tragovima alfa čestica. Prema tome, imamo tripar-

¹⁹⁾ G. Thomson, Phil. Mag. (7) 40, 589, 1949.

²⁰⁾ W. M. Powell, Phys. Rev. (2) 69, 1385, 1946.

²¹⁾ Kod ploča izloženih vertikalnoj komponenti kozmičkih zraka interesantno je znati, da li je neki trag nagnut u smjeru primarnih kozmičkih zraka ili je nagnut nasuprot tome pravcu. Da bismo obuhvatili i slučaj, gdje je u parovima osjetljivi sloj bio okrenut naviše, i slučaj sloja okrenutog naniže, označujemo smjer nagiba traga znakom \downarrow , ako trag od ishodišta zvijezde ponire u smjeru primarnih zraka, a znakom \uparrow označujemo slučaj poniranja u suprotnom smjeru. — Sa h označujemo nadmorsku visinu, na kojoj je ploča bila eksponirana.

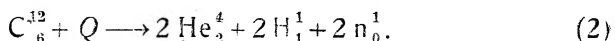
²²⁾ U stvari, staza neutrona lagano ponire prema trokrakoj zvijezdi; smjer poniranja \downarrow .

taciju jedne jezgre; kad se uzme u obzir kosi položaj zvijezde, i kutovi su dosta dobro održani, zanemarujući impuls od neutrona, koji je ušao i izašao. Uzimajući za sve tri alfa čestice isti doseg (u emulziji 34,6 μ , uzdušni ekvivalent $\sim 7,1$ cm), dobivamo za ukupnu kinetičku energiju zvijezde $Q' \sim 23,3$ MeV. Uz gornju pretpostavku, da brzi neutron nije ostao u jezgri, već je izletio iz nje, radi se o triparticiji glavnog ugljikova izotopa prema jednadžbi:



za $Q \sim 30$ MeV.

Sl. 2 ($h = 127$ m) nepotpuna je, jer se na strani označenoj strjelicom, u produženju pravca položenog kroz ishodišta obiju zvijezda, u daljini $\sim 190 \mu$ od ishodišta gornje zvijezde, nalazi još jedan pojedinačni protonski trag, kojemu početak leži u istom pravcu. Očito se radi o dvjema uzastopnim dezintegracijama istim brzim neutronom, koji je u nastavku svog puta odozdo najviše iznad gornje četverokrake zvijezde još odbacio jedan proton. Po gustoćama zrna i gornja i donja zvijezda imale bi se sastojati od po dvije alfa čestice i po dva protona. Uzmemo li, da se radi o totalnim dezintegracijama, moglo bi se i ovdje pretpostaviti, da imamo dezintegracije glavnog ugljikova izotopa. Pored navedene klasifikacije tragova, podlogom za takvu procjenu mogla bi nam služiti relativna brojnost, kojom je ugljik zastupan u želatini (50,2% po Allen u)²³). Dolazila bi u obzir ovakva shema dezintegracije:



Analiza vidljivih tragova daje za ukupnu kinetičku energiju donje zvijezde 15,4 MeV, a za donju zvijezdu 18,4 MeV. Međutim je razlika masenih defekata 35,4 MeV. Razlike su prevelike za dva preostala neutrona. Prema tome, u oba se slučaja može raditi samo o parcijalnim dezintegracijama.

Pripisivanje ovih dviju dezintegracija, i sličnih, atomu lakog elementa opravdano je i tim, što u njima ne dolaze tragovi alfa čestica s energijama iznad 10 MeV²⁴).

U istu skupinu dezintegracija, t. j. u dezintegracije proizvedene istim brzim neutronom, treba ubrojiti i struju čestica u sl. 3 (Tabla II), kao i dvojni dezintegraciju u sl. 4 (Tabla III). Kod sl. 3 ($h = 1016$ m) radi se o brzom neutronu, koji je projurio uz površinu stakla (smjer \uparrow prema kratkom dvojnog tragu), tako da su iz obiju dezintegracija u staklu prodrle u emulziju

²³) Za podatke o atomarnom sastavu želatina, po Allen u, dugujem zahvalnost drugu dru. J. Jančulevu.

²⁴) Cf.: D. H. Perkins, Phil. Mag. (7) 40, 601, 1949.

samo najbrže čestice krajem svojih dosega. Radi se pretežno o alfa česticama; tragovi idu dosta strmo, svi osim jednoga nagnuti u smjeru \downarrow .

U sl. 4 (Tabla III, $h = 145$ m) tragovi imaju manjkavu oštrinu, jer su zakrivljeni tragovi iz 4-krake zvijezde zakrivljeni i u vertikalnoj ravnini, pa je slika snimljena u osrednjem nivou s ponajboljom oštrinom. Obzirom na položaj krakova u 4-krakoj zvijezdi treba prema zakonu o održanju veličine gibanja pretpostaviti, da je neutron prošao s desna na lijevo, dolazeći iz emulzije koso naviše, tako da je triparticija nastala na prelazu iz emulzije u papir iznad sloja. U triparticiji sva su tri kraka gotovo horizontalna. Zbog bitno kraćih dosega i zbog veće duljine jednog kraka treba uzeti, da ova triparticija predstavlja proces različit od onoga iz sl. 1. Sličniji je triparticiji bora uhvaćenim neutronom (2 alfa čestice i 1 triton). — Može se raditi i o samom boru, koji je mogao doći u emulziju kod izrade ploča.

Sl. 5 a i 5 b (Tabla III, $h = 145$ m) snimljena je u dva nivoa, jer prikazuje dvojni dezintegraciju, gdje su obje zvijezde u kratkom razmaku jedna ispod druge. Čini se dosta vjerojatnim, da su obje dezintegracije izazvane istom neutralnom česticom, koja bi bila upala u emulziju vrlo strmo odozgo iz pravca nagnutog prema lijevom gornjem uglu slike. Ali onda ima poteškoća sa zakonom o održanju veličine gibanja u prvoj zvijezdi (sl. 5 a), gdje je taj zakon obzirom na navedeni smjer gibanja primarne čestice loše održan, osim ako se pretpostavi i emisija jednog ili dvaju neutrona kroz donji desni sektor zvijezde.

Leprince-Ringuet i Heidmann²⁵⁾ drže, da su ovakvi parovi zvijezda prouzrokovani neutronom, koji je izletio iz jedne zvijezde i prouzrokovao drugu.

3. Dvojne zvijezde izazvane nabijenim teškim česticama

Pod teškim česticama, koje ioniziraju, razumijevamo ovdje protone i alfa čestice. Mogli bi biti i deutoni i tritoni; ali deutonskih tragova malo se nalazi, a za dezintegracije tritonima ima malo evidencije. Formalno, po obliku, mogu se amo pribrojiti i slučajevi, gdje se teži atomski fragmenat, izbačen u prvoj dezintegraciji, dalje raspadao. U ovu drugu skupinu pripadaju, od starijih, neke od dezintegracija, koje je opažao Tamburino²⁶⁾, i poznate biparticije oblika T.

U prvoj skupini radi se o dvojnim zvijezdama nastalim na taj način, što je teška čestica, izbačena iz jedne zvijezde, prodrila u drugu jezgru i izazvala njezinu dezintegraciju. Takvi su slu-

²⁵⁾ L. Leprince-Ringuet a. J. Heidmann, Nature 161, 844, 1948.

²⁶⁾ S. Tamburino, Phys. Rev. (2) 69, 35, 1946.

čajeви dosta rijetki. Primjer za to imamo u sl. 6 (Tabla IV, $h = 145$ m). Iz donje 4-krake zvijezde izletio je jedan proton, prema gustoći zrna u tragu s početnom kinetičkom energijom > 50 MeV, koji je nakon puta od 40μ prodro u jednu laku jezgru i izazvao dezintegraciju sa 3 protonska i jednim kratkim, gušćim trakom.

U sl. 7 (Tabla III) sekundarnu dezintegraciju izazvala je alfa čestica ($h = 1016$ m). Donja dezintegracija (primarna) sastoji se od dva protonska traga, od odbojnog atomskog fragmenta sa $z \sim 3$ i od alfa zrake, kojoj je trag malo iza polovine svoje dužine jednokratnim rasipanjem slomljen za $\sim 15^\circ$. Po gustoći zrna može joj se trag usporediti s tragom alfa zrake iz ThC', odnosno može joj se pripisati početna kinetička energija ~ 8 MeV. Prema tome, imala je nakon prevaljenog puta od 23μ ($4,7$ cm u uzduhu) još dosta energije da prodre u laku jezgru i izazove novu dezintegraciju.

Od spontanih T-dezintegracija tipa Be_4^8 nađena je samo jedna, koja u prvoj približnosti pripada tom obliku. Prikazana je u sl. 8 (Tabla IV, $h = 117$ m), koja je mozaično sastavljena iz dviju snimaka u različitim nivoima. Treba je tumačiti trokratnom dezintegracijom. Najprije se prvobitna atomska jezgra dezintegrirala izbacujući dva protona, kojima pripadaju onaj najdulji protonski trag (zalazi položito u dubinu) i kratak protonski trag, koji ide nalijevo od ovog traga. U toj je dezintegraciji izletio na suprotnu stranu atomski ostatak, koji je strmo zašao prema površini emulzije. Ovaj se atomski ostatak spontano raspao u jednu alfa česticu ili triton (trag najbliži dugom protonskom iz prvog procesa; ide strmo prema površini emulzije), u jedan proton i novi atomski ostatak, koji je odletjeo naniže, i tu se u konačnom procesu dezintegrirao u dva prividno diametralna traga. Međutim već se iz nejednake oštine ovih dvaju tragova opaža, da oni u vertikalnoj ravnini ne leže u pravcu. U stvari, desni trag zalazi položito u dubinu, a lijevi se strmo penje naviše; po svoj prilici i stvarne dužine su im nejednake. U horizontalnoj ravnini odvajaju se od pravca za neko 10° . S druge strane, oba traga gustoćom zrna znatno zaostaju za tragovima alfa čestica. To pokazuje, da se posljednji posredni atomski ostatak ne može pripisati izotopu Be_4^8 . Prema svemu bit ćemo bliže stvarnosti, ako uzmemo, da se u posljednjem procesu radi o triparticiji, gdje su na jednu stranu odletjeli jedan deuteron i jedan neutron, a na suprotnu stranu jedan triton, tako da bi posljednji atomski ostatak bio He_3^{6*} . Da bi ovakva triparticija ovog malo poznatog atoma bila vjerojatna, trebamo pretpostaviti, da se on nalazio u visoko uzbuđenom energetičkom nivou; to smo označili znakom zvijezdice uz njegov znak.

gibanja i trag završuje T-biparticijom lakog atoma. Radi se o biparticipiji s krakovima nejednakim i po dužini i po gustoći zrna. Lijevi, kraći krak ($8,4 \mu$, $\delta = 1,3 \mu$) može odgovarati nabojnom broju $z = 3$; desni krak ($14,5 \mu$) nejasan je, jer silazi u dubinu, ali sudeći po gustoći u početku odgovara nabojnom broju $z = 2$. Upada u oči malena kinetička energija, koju pokazuje ova dezintegracija u vidljivom obliku, mnogo manja od energije mase mirovanja mezonove. Takve su slučajeve nedavno opažali i diskutirali Heidmann i Leprince-Ringuet³⁰⁾.

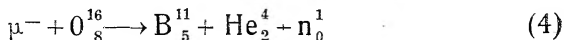
Sl. 10 (Tabla VI, $h = 1016$ m) prikazuje trag jednog negativnog mezona s otprilike istom masom $200 m_e$. Ukupna dužina traga iznosi 458μ ; gustoća zrna na početnih 50μ je $\delta = 3,7 \mu$, a na završnih 50μ je $\delta = 2,5 \mu$. Mezon je na kraju svoje staze izveo dezintegraciju jednog po svoj prilici srednje teškog atoma u dva teška fragmenta, kojima su tragovi tako gusto zaposjednuti, da su zrna posve srasla jedno uz drugo. Kod kratkog traga, koji se nastavlja iznad dezintegracije gotovo u pravcu mezonskog traga, nije jasno, radi li se o brzom protonu, koji je izletio iz te dezintegracije, pa izašao izvan emulzije, ili se — zbog krivudavosti traga i malene gustoće zrna — radi o novom mezonu*).

U sl. 11 (Tabla IV, $h = 1016$ m) imamo dvije dezintegracije, gdje su se atomi raskinuli u fragmente s nabojnim brojevima $z \geq 2$. Od gornje dezintegracije do donje ide jedan vrlo rijetko zaposjednuti krivudavi trag, koji je jako zakrivljen i u vertikalnoj ravnini. Određivanje raspodjele gustoće uzduž ovog traga djelomično je ometano njegovom krivudavošću u vertikalnoj ravnini. Osim toga, iz donjeg kraja debelog atomskog traga, koji iz gornje dezintegracije izlazi naniže, izletio je jedan zakrivljeni protonski trag, a ovaj se djelomično superponira na spomenuti krivudavi trag. Na svaki način, srednji razmak zrna uzduž ovog traga nije manji od 4μ . Vizuelnim opažanjem dalo se ustanoviti, da je srednji razmak zrna nešto manji u donjem dijelu traga nego u gornjem. Na osnovu toga dopuštena je ova interpretacija. Iz gornje dezintegracije izletjela je čestica s malenom moći ionizacije, pa je ona prouzročila donju dezintegraciju. Ova se sastoji od dva vidljiva fragmenta, od kojih je jedan alfa čestica, dok drugome treba pripisati redni broj $z \geq 2$. Okolnost, da debljina traga ovog većeg fragmenta naglo raste prema njegovu kraju, upućuje na njegovo naglo kočenje zbog velikog nabojnog broja.

³⁰⁾ J. Heidmann & L. Leprince-Ringuet, C. R. **226**, 1716. 1948. — J. Heidmann, ibid. **226**, 1816, 1948. — D. H. Perkins, Phil. Mag. (7) **40**, 601, 1949, p. 605.

*) Krupna mrlja s tanjim nastavkom, koju vidimo lijevo od donjeg dijela mezonskog traga, pripada tragu krupnog atomskog fragmenta iz jedne druge dezintegracije, od koje je vidljiv i kraj jednog drugog, krivudavog traga.

Nema sumnje, da vijugavi trag pripada negativnom mezonu. Pokušat ćemo mu odrediti masu iz podataka donje dezintegracije pod pretpostavkom, da je ona totalna. Kao osnovu uzet ćemo, da se radi o dezintegraciji glavnog izotopa kisika, jednog od najtežih atoma iz sastava želatina. Teži ćemo fragmenat identificirati sa B_5^{11} . Onda bi reakcija glasila³¹⁾:



Dužina traga teškog fragmenta iznosi 7,3 μ ; to odgovara uzdušnom ekvivalentu 1,49 cm. Onda prema skraćenoj Bohr-ovoj formuli³²⁾ za doseg teškog fragmenta uz pomoć Geiger-ove formule dobivamo za njegovu početnu brzinu $v_5 \sim 9 \cdot 10^8$ cm. sec⁻¹. Doseg alfa čestice iznosi 13,5 μ , odnosno vazdušni ekvivalent je 2,76 cm, a ovome pripada početna brzina $v_2 = 1,4 \cdot 10^9$ cm. sec⁻¹. Neutronu pripisujemo kinetičku energiju 2 MeV. Iz položaja obaju tragova vidimo, da dezintegraciju smijemo uzeti bezimpulsnom, pogotovo ako uzmemo, da je neutron izletio u sektoru oko alfa čestice. Onda masu mirovanja m_μ mezona dobivamo iz jednačbe:

$$m_\mu = \frac{m_5}{2} \left(\frac{v_5}{c} \right)^2 + \frac{m_2}{2} \left(\frac{v_2}{c} \right)^2 + \frac{E_n}{c^2} + \Delta m \quad (5)$$

gdje su m_5 i m_2 mase težeg fragmenta i alfa čestice, E_n je energija neutrona, a Δm razlika masenih defekata. Dobivamo:

$$m_\mu = 68 m_e$$

gdje je m_e masa elektrona. Tako malena vrijednost m_μ kvalitativno je u skladu s izvanredno malenom gustoćom zrna u mezonskom tragu³³⁾.

Mezoni malene mase već su dosta često postulirani ili naslućivani. B á r n o t h y³⁴⁾ je izveo iz svoje teorije niz mezona s masama manjim od 100 m_e . Rossi³⁵⁾ je neke tragove mezona u Wilson-ovoj komori interpretirao kao mezone s masom mnogo manjom od 200 m_e . J á n o s s y³⁶⁾ pretpostavlja vrlo kratko-

³¹⁾ Ova reakcija kisikove jezgre s mezonom je drugog tipa od onih, koji su proučavali Lukirskij i Perfilov (DAN, 54, 219, 1946). Reakcija može zavisiti o masi mezona, analogno poznatoj dvojnoj reakciji dušika N^{14} , u zavisnosti o energiji uhvaćene alfa čestice. — Prvu od spomenutih reakcija Lukirskog i Perfilova primijenio je nedavno D. H. Perkins [Phil. Mag. (7) 40, 601, 1949, p. 605] na negativne π mezone.

³²⁾ Cf.: J. B. Harding, Phil. Mag. (7) 40, 530, 1949, p. 542.

³³⁾ Čini se, da su ovako slabo zaposjednute tragove već opažali M. Morand, P. Cüer i dr., C. R. 226, 1008, 1948.

³⁴⁾ J. B á r n o t h y, Nature 161, 681, 1948.

³⁵⁾ B. Rossi, Phys. Rev. (2) 70, 786, 1947.

³⁶⁾ L. J á n o s s y a. C. B. A. McCusker, Nature 163, 181, 1949.

vječne teške elektrone s masom $10 m_e$, a Auger i suradnici⁸⁷⁾ zaključuju, da u širokim kozmičkim pljuskovima ima dosta korpuskula s masom oko $3 m_e$. — Kod Alihanjana i Alihanova⁸⁸⁾ najmanja mezonka masa je $110 m_e$.

Gornjem mezonu stoje masom najbliže negativni mezoni male mase, koje su našli Maier-Leibnitz*) [$m_\mu = (55 \pm 35) m_e$], Johnson i Shutt***) [$m_\mu = 75 m_e$ s granicama pogreške (+ 90, -40) m] i Hugues**** [$m_\mu \sim (30 \pm 20) m_e$]. Ove su mase bile određene iz zakrivljenosti staza u Wilsonovoj komori u magnetskom polju.

Dodatak kod korekture. Krajem 1949. ustanovili su Alihanjan i njegovi suradnici (Žurn. eksperim. teor. fiz. **19**, 857, 1949) svojom metodom lake varitrone s masama $(100 \pm 15) m_e$, $(80 \pm 15) m_e$ i, vjerojatno, s masom oko $50 m_e$. I ovdje se druga skupina masa dobro slaže s gore izračunanom mezonskom masom. —

Zvijezda u sl. 12 (Tabla IV, $h = 1016$ m) sastoji se od tri ravna traga, od jednog krivudavog traga (51μ) s malenom gustoćom zrna i od traga atomskog ostatka, koji je zašao gotovo vertikalno u dubinu sloja. Krivudavi trag ušao je položito u emulziju iz uzduha. Gustoća zrna očevidno raste u njemu prema ishodištu zvijezde; prosječno je $\delta = 3,1 \mu$. Prema ovim karakteristikama, slika se ima interpretirati tako, da krivudavi trag pripada negativnom σ -mezonu (po klasifikaciji Powella i Occhialinija), koji je ušao u laku jezgru i proizveo dezintegraciju.

Interpretacija sl. 13 (Tabla V, $h = 1016$ m) nije sigurna zbog dugog krivudavog traga (348μ). Ovaj trag, kao i drugi dugi trag (310μ), koji je samo slomljen, zakrivljen je i u vertikalnoj ravnini. Srednja gustoća zrna na oba je traga podjednaka, a porast gustoće prema kraju krivudavog traga pokazuje, da on pripada čestici, koja je izletjela iz ishodišta zvijezde. Zbog velike krivudavosti trag slični na trag mezona, dok po gustoći i izbojcima iz njega odgovara protonu. — Ova je dezintegracija zanimljiva i zbog toga, što su u njoj dva neutrona, koji su izletjeli iz ishodišta, označili svoje staze odbačenim protonima. To je dosta rijedak slučaj. U sl. 13 a prikazan je srednji dio zvijezde u dva puta većem povećanju ($77,5 \times 6 \times$), tako da se tragovi odbačenih protona jasno razabiru. Možda pojedinačni kratki protonski trag nešto ispod pravca staze desnog neutrona također označuje neutronske staze. Pravci dviju neutronske staze naznačeni su tušom na rubovima slike.

⁸⁷⁾ P. Auger, J. Daudin i dr., C. R. **226**, 169, 569, 1948.

⁸⁸⁾ A. I. Alihanjan a. A. I. Alichanow, Nature **163**, 761, 1949.

*) H. Maier-Leibnitz, ZS. f. Phys. **112**, 569, 1939, str. 577, 578.

***) T. H. Johnson a. R. P. Shutt, Phys. Rev. (2) **61**, 380, 1942.

****) D. J. Hugues, Phys. Rev. (2) **69**, 371, 1946.

5. Zakrivljene staze

U zvijezdama atomskih dezintegracija kozmičkim zrakama vrlo često susrećemo zakrivljene tragove čestica. Ne mislimo pod tim na slomljene tragove, koji jedan put naglo mijenjaju svoj smjer, jer je čestica u prolazu kroz emulziju prišla preblizu jezgri teškog atoma (Ag ili Br) i bila otklonjena. Radi se o tragovima, koji već od ishodišta zvijezde pokazuju više-manje konstantnu zakrivljenost u istom smislu. Takvih zakrivljenih staza s velikim polumjerom zakrivljenosti, nalazimo katkada i među tragovima pojedinačnih protona osrednje brzine (dužine tragova oko 300 μ), a susrećemo ih ne baš tako rijetko među stazama alfa zraka iz RdTh i njegovih sljednika u pločama natopljenim rastopinom torijeva nitrata. Tako zakrivljene tragove alfa zraka u fotografskoj ploči opažao je već Reinganum³⁹⁾, a nalazili su ih također Myssovski i Čišov⁴⁰⁾. Zakrivljenih protonskih tragova ima već u najstarijim snimkama zvijezda dezintegracije s velikom energijom kod drugih autora*).

Zakrivljene tragove nalazimo osobito često u zvijezdama s malenom energijom, koje bi uz pretpostavku, da se radi o totalnim dezintegracijama, trebalo pripisati dezintegracijama lakih atoma iz emulzije ili iz njezine neposredne okolice. Prema gustoći i debljini zrna takvi zakrivljeni tragovi pripadaju protonima, tritonima, alfa česticama, a po brojnosti napose se među njima ističu tragovi, u kojima gustoća i debljina zrna upućuju na čestice s nabojnim brojevima iznad 2. U pojedinim zvijezdama nalazimo po dva ili više zakrivljenih tragova, a nerijetko susrećemo zvijezde, u kojima su tragovi zakrivljeni u suprotnom smislu.

Zakrivljenih tragova ima i u zvijezdama iz prethodnih poglavlja. Tako u sl. 2 (Tabla II) u donjoj zvijezdi zakrivljena je staza kraće alfa zrake, a u gornjoj zvijezdi su zakrivljene staze obiju alfa zraka; u sl. 4 (Tabla III) u desnoj zvijezdi zakrivljena su tri traga, sa suprotnim zakrivljenostima; u sl. 6 (Tabla IV) zakrivljena su dva protonska traga u gornjoj zvijezdi.

Tipična zvijezda sa zakrivljenim tragovima prikazana je u sl. 14 (Tabla VI, $h = 145$ m, nagib tragova \uparrow). Tragovi se ne sastaju, jer dolaze položito iz stakla. Sva su tri traga zakrivljena, i to lijevi krak ima gotovo konstantnu zakrivljenost, dok su srednji i desni suprotno zakrivljeni, a zakrivljenosti im rastu prema kraju traga. Po gustoći zrna lijevi trag pripada alfa zraci, desni pripada protonu, a srednji, nešto strmiji, može također pripadati alfa zraci.

³⁹⁾ M. Reinganum, Phys. ZS, 12, 1076, 1911.

⁴⁰⁾ L. Myssovsky u. P. Tschischow, ZS. f. Phys. 44, 408, 1927, str. 418—419.

*) N. pr.: E. Schopper, Veröff. Agfa VI, 170, 1939, sl. 7 i 8; odnosno: E. M. Schopper u. E. Schopper, Phys. ZS, 40, 22, 1939, sl. 4 i 11.

Slična ovoj je zvijezda u sl. 15 (Tabla VI), koja također izlazi iz stakla ($h = 1016$ m). Tragovi su dosta strmi, pa u projekciji izgledaju gušćima. Po svoj prilici sva tri pripadaju protonima, ili bi gornji — uzimajući u račun i strminu — mogao biti triton ($\delta \sim 1,35 \mu$).

U sl. 16 (Tabla VI, $h = 145$ m) oba kraka dugog, gotovo konstantno zakrivljenog traga (82μ) silaze položito u dubinu sloja. To dopušta dvojaku interpretaciju. Može se raditi o dezintegraciji sa tri konstantno zakrivljena kraka, pri čemu su dvije čestice odletjele diametralno sa suprotnim zakrivljenostima. Protiv ovakvog tumačenja govori okolnost, da desni krak ima manju gustoću zrna na kraju staze nego u početku. Po drugom tumačenju radilo bi se o jednom protonu, kojemu je staza zakrivljena i vertikalnoj ravnini. Taj je proton, dolazeći s desna, u prividnom ishodištu zvijezde uslijed jednog sraza odbacio δ -izbojak (proton) i zbog toga je izgubio na brzini. Međutim, protiv ovog tumačenja govori okolnost, da je povećanje gustoće zrna nastalo već na desno od ishodišta.

Za vjerojatnost prve od ovih dviju interpretacija govore dezintegracije u sl. 17, 18 i 19. U sl. 17 (Tabla VI, $h = 1016$ m) oba savijena traga i ravan trag penju se dosta strmo iz emulzije (smjer nagiba \downarrow). Zakrivljeni tragovi imaju tako veliku gustoću zrna, da se zrnca ne dadu sa sigurnošću brojiti. Premda ih vidimo u projekciji, gustoća zrna pokazuje, da se radi o česticama s rednim brojem $z \geq 2$, a na to upućuje i debljina zrna. Dakle imamo dezintegraciju, gdje su dvije čestice sa $z \geq 2$ odletjele diametralno sa nasuprotno zakrivljenim stazama ($8,4 \mu$ i 12μ). — Kratak savijeni niz zrna pored kraja protonskog traga parazitan je.

U zvijezdi prikazanoj u sl. 18 (Tabla VII) dva diametralno nasuprotna traga s nasuprotnim zakrivljenostima ukazuju gustoćom zrna na alfa česticu (lijevi trag, 20μ) i na česticu sa $z \sim 3$ (desni trag, $12,7 \mu$). Dulji ravni trag ($52,3 \mu$) je alfa čestica ili triton, a kraći je proton ($30,6 \mu$)⁴¹.

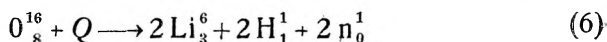
U sl. 19 (Tabla VII) projekcije dvaju tragova su diametralne; u stvari desni, kratki trag ($5,8 \mu$, $z > 2$) zalazi strmo u dubinu sloja (smjer nagiba \rightarrow , jer je ploča bila eksponirana vertikalno; $h = 1016$ m). Tu imamo pojav dezintegracije u tri teška odlomka, jer drugi diametralni trag (24μ), koji je savijen uz konstantnu zakrivljenost, ima $z \sim 2$ ($\delta = 1,3 \mu$), a trećem poprečnom tragu ($18,2 \mu$), koji u emulziji teče gotovo paralelno s površinom sloja, treba pripisati $z \geq 3$. Opadanje debljine zrna prema kraju ovog traga pokazuje, da je čestica u svom lijetu gubila naboj popri-

⁴¹) Kratak niz zrna na desno od kraćeg savijenog traga parazitan je.

manjem elektrona iz okolice. Na svom kraju ovaj trag ima formaciju ostruge uslijed sraza⁴²).

Još je razgovjetnija dezintegracija u gotovo same teške odlomke kod zvijezde u sl. 20 (Tabla VII, $h = 127$ m). Srednji, debeli trag (7μ , $z > 3$), koji je također naglo gubio naboj, radioaktivan je i izbacio je naknadno dvije čestice: jedan spori proton sa zakrivljenom stazom i jedan rijedak trag od samo tri zrna, koji bi se mogao pripisati beta zraci. Kod točnijeg promatranja opaža se, da dva duga gusta, savijena traga nemaju zajedničkog ishodišta. To ukazuje na to, da se ovdje radi o dezintegraciji u dva stepena, gdje su oba procesa uslijedila u vrlo kratkom vremenskom razmaku ($\sim 10^{-13}$ sec) jedan za drugim. U prvom procesu atom se raspao u četiri dijela: u česticu sa $z > 2$, kojoj pripada gornji gusti trag (22μ), koji u početku ima veliku, pa onda sve manju zakrivljenost; zatim u jedan proton vrlo malene energije (kratak trag na desno, naviše), u jednu česticu, kojoj je trag zašao vrlo strmo u dubinu (neposredno uz kratki protonski trag) i u odbojni fragmenat, kojemu pripada spomenuti debeli trag. Odmah 10^{-13} sec kasnije taj je odbojni fragmenat izbacio drugu tešku česticu, kojoj pripada donji gusti trag ($30,5 \mu$) sa konstantnom zakrivljenošću. I toj čestici pripada nabojni broj $z > 2$, po svoj prilici $z = 3$; osim po velikoj gustoći zrna $\delta = 1,27 \mu$, to se vidi i po kratkim izbojcima uzduž traga. Ova posljednja pojedinost pokazuje, da je početna kinetička energija čestice iznosila ~ 20 MeV.

Sl. 21, a, b (Tabla VII, $h = 1016$ m) pokazuje dva suprotno zakrivljena protonska traga i dva suprotno zakrivljena traga teških čestica s nabojnim brojevima $z \geq 3$. Ishodište zvijezde leži u dubini, gdje je iz prvobitnog atoma izletio u dubinu i jedan spori proton, kojemu se trag nazira u sl. 21 b. Tragovi teških čestica, savijeni i u vertikalnoj ravnini, dolaze strmo iz dubine (smjer nagiba \downarrow). Zato je zvijezda snimljena u dva nivoa, kojima odgovaraju slike 21 a i 21 b. Može se uzeti, da desni protonski trag, koji bi se po svom smjeru teško dao koordinirati istom ishodištu, ne pripada ovoj zvijezdi, već da je odbačen od neutrona, koji je izletio iz istog ishodišta kod dezintegracije. Onda bi se ova zvijezda, ako se za teške čestice uzme $z = 3$, dala pripisati dezintegraciji glavnog kisikova izotopa po ovoj shemi:



I ovdje uzimamo, da je dezintegracija izazvana brzim neutronom, koji je izletio, a ostavio je u jezgri energiju $Q < 30$ MeV.

Sličnom tipu pripada i dezintegracija u sl. 22 (Tabla VII, $h = 1016$ m), gdje je staza samo jednog od teških atomskih

⁴²) I ovdje je parazitan nejasni niz zrna na lijevo od najkraćeg traga.

odlomaka ($z \sim 3$) zakrivljena, dok je staza drugog teškog atomskog odlomka ($z > 3$) slomljena jednokratnim otklonom za oko 40° .

Prema nabojnim brojevima odlomaka treba pripisati dezintegraciji glavnog kisikova izotopa i zvijezdu prikazanu u sl. 23 (Tabla VII, $h = 1016$ m). Očividno se radi o dezintegraciji u dva stepena, i ako je interpretacija u pojedinostima nesigurna zbog tanke spojne crte između oba ishodišta. Debeli savijeni trag (12μ) zalazi dosta strmo u dubinu sloja; drugi od njega — brojeći protiv smjera gibanja kazaljke na uri — protonski trag (21μ) penje se položito prema površini sloja, dok su ostali tragovi horizontalni. Treba uzeti, da je prvi proces dezintegracije nastao u ishodištu debelog traga ($z = 3$). Toj dezintegraciji pripadaju: taj debeli trag, oba protonska traga lijevo od njega i kratka slabo zaposjednuta spojnica ($\sim 4 \mu$). Ova spojnica završuje na drugom kraju T-raspadanjem u dvije nejednake čestice. Od ovih je lijeva — prema gustoći zrna ($\delta = 1,45 \mu$) — alfa čestica s uzdušnim ekvivalentom $2,83$ cm, a desni trag je protonski. Prema tome, toj spojnici treba pripisati nabojni broj $z = 3$, premda je samo protonski zaposjednuta.

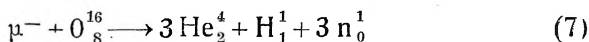
Ovakvi spojni tragovi s malenom gustoćom zrna, koji spajaju dva uzastopna raspadanja, već su prije zapaženi; ali nijesu dovoljno objašnjeni⁴³). Čini se, da takav spojni trag s malenom gustoćom zrna treba tumačiti tim, da je atomski odlomak, kojemu taj trag pripada, bio od početka dejoniziran dvama elektronima, tako da je djelovao samo jedan naboj jezgre. — Međutim, nezavisno o ovom tumačenju, konačni zbroj nabojnih brojeva daje 8, pa bi po tome ova dezintegracija pripadala kisikovu atomu.

Sl. 24 i 25 (Tabla VIII, obje na $h = 1016$ m) prikazuju dvije zvijezde dezintegracije lakih atoma, koje su i u pojedinostima tako slične, da ih treba smatrati posebnim tipom dezintegracije. Na prvi pogled velike su razlike u zaposjednutosti tragova, jer se čini, da sl. 25 znatno zaostaje gustoćom zrna za sl. 24. Ali to je samo prividno. Tragovi u sl. 25 imaju poprečno iste gustoće zrna kao korespondentni tragovi u sl. 24; samo je debljina zrna u sl. 25 zbog fadanga znatno manja. Osim pojedinosti, da obje zvijezde imaju po dva traga alfa čestica zakrivljena u istom smislu, upada u oči magloviti, kratki i debeli trag, koji leži poprijeko preko dvaju gornjih tragova. U sl. 25 taj poprečni trag izlazi iz gustog i strmog traga, koji se privio uz početak gornjeg (protonskog) traga. Gustoća srednjeg traga u sl. 24 povećana je strminom staze. Po svemu se vidi, da se i ovdje radi o dvostepenoj dezintegraciji; samo spojni trag dezintegracije leži vrlo strmo prema sloju. Vjerojatno je, da je to isti tip de-

⁴³) S. Tamburino, Phys. Rev. (2) 69, 35, 1946, sheme VII i VIII.

zintegracije kao onaj u sl. 26 (Tabla VIII, $h = 1016$ m), gdje je spojni trag obiju dezintegracija horizontalan. Slično kao u sl. 23, treba i ovoj spojnici pripisati nabojni broj 3, jer su u drugoj dezintegraciji iz nje izletjeli jedan proton i jedna alfa čestica. Kratkom debelom tragu, koji izlazi iz ishodišta prve dezintegracije naviše, treba pripisati nabojni broj 2, jer mu je veća gustoća izazvana strminom. Onda i ovdje zbroj nabojnih brojeva iznosi 7, a toliko iznosi zbroj nabojnih brojeva i u sl. 24 i 25.

Kako su zvijezde pretežno prouzročene neutronima, bilo da je ovaj uhvaćen od jezgre ili da je izletio iz nje, mogla bi se postaviti shema dezintegracije dušikova atoma po ovom tipu. U tom bi se slučaju prije radilo o dezintegraciji uhvaćenim neutronom, jer zvijezde u sl. 24 i 25 pokazuju izričito prevlađivanje impulsa na desno. Međutim, može se raditi i o dezintegraciji uhvaćenim sporim negativnim mezonom, ako se uzme, da je bilo izbačenih i neutrona. Takav je mezon mogao upasti jako strmo, pa mu je trag ostao ne primjećen. Pretpostavimo li, da sheme Lukirskog i Perfilova vrijede i za slučaj dvostepene dezintegracije, onda bi sl. 24 do 26 odgovarale njihovoj prvoj shemi za dezintegraciju kisikova atoma⁴⁴):



Radi boljeg očuvanja zakona o održanju veličine gibanja, moglo bi se pretpostaviti, da su neutroni izletjeli u prostornom sektoru nasuprotnom vidljivim tragovima. U sl. 25 zaista se opaža u tom sektoru jedan vrlo strmi trag, koji bi se dobro dao pripisati protonu odbačenom jednim od tih neutrona.

U sl. 27 (Tabla VIII, $h = 1016$ m) imamo primjer jedne dezintegracije u četiri teška odlomka i jedan proton; od teških odlomaka tri su zakrivljena. Osim dvaju pobočnih, jače zakrivljenih tragova, koji su zakrivljeni i u vertikalnoj ravnini tako da su im krajevi znatno strmi, ostali su tragovi više-manje horizontalni. Malena gustoća zrna ($\delta = 2,9 \mu$) u razmjerno kratkom protonskom tragu, koji završuje u emulziji, upućuje na znatan fading latentne slike. To olakšava prosuđivanje nabojnih brojeva ostalih tragova; jer na ovima malena debljina zrna ne odgovara velikoj gustoći zrna, koju pokazuju. Najmanju gustoću zrna nazivamo na lijevom pobočnom tragu; a tu je srednji razmak zrna 1,1 do 1,2 μ . U ostalim trima tragovima ne daju se zrna brojiti. Uzmemo li, da se radi o totalnoj dezintegraciji, pa ako pripišemo trima teškim odlomcima nabojni broj 3, a jednome 2; ili ako svima teškim odlomcima pripišemo nabojni broj 3, u jednom i u drugom slučaju zbrojevi nabojnih brojeva odgovaraju elementima, kojih nema u emulziji (Mg, Al). Pripišemo li lijevom pobočnom

⁴⁴) P. I. Lukirskij i N. A. Perfilov, DAN 54, 210, 1946.

tragu nabojni broj 3, a ostalim debelim tragovima 4, zbroj nabojnih brojeva (16) daje nabojni broj sumpora, kojeg prema Allenu nešto ima u želatinu. Kad smo tim trima tragovima pripisali nabojni broj 4, uzeli smo u obzir fading; jer on najprije umanjuje debljinu zrna. Da bismo procijenili energiju zvijezde, uzet ćemo za sva četiri odlomka početnu brzinu $1 \cdot 10^9 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$. Onda dobivamo za energiju zvijezde 20 MeV.

Cijepanje u četiri atomska odlomka s još većim nabojnim brojevima imamo u sl. 28 (Tabla VIII, $h = 1016 \text{ m}$). Svi su tragovi horizontalni, osim gornjeg, najkraćeg traga, koji je (u projekciji) gotovo diametralan s naglo savijenim tragom, iz kojeg je izletio proton. Taj najkraći trag ide strmo u dubinu. I spomenuti protonski trag zašao je u dubinu; prema tome, nije nastavak savijenog traga. Zrnca su u svim tragovima tako gusto nanizana, da ih se ne da razlučiti. Dužine tragova idu od 4μ do $7,6 \mu$. Energija ove zvijezde ima isti red veličine kao energija prethodne.

Sl. 29 i 30 (Tabla VIII, $h = 145 \text{ m}$) sadrže istu pojedinost za koju je teško naći pouzdanu interpretaciju. U sl. 29 kratki zakrivljeni trag, koji je zakrivljen i u vertikalnoj ravnini, a gustoćom zrna bliže stoji $z = 3$ nego alfa zraci, naglo je izgubio gustoću i nastavlja se tangencijalnim pravcem u ravan trag s gustoćom, koja odgovara protonu osrednje brzine. Isto tako, u sl. 30 zakrivljeni trag s gustoćom zrna alfa zrake naglo je izgubio gustoću i nastavlja se tangencijalno u ravan trag s gustoćom, koja odgovara tritonu ili sporom protonu. Međutim, i u sl. 29 i u sl. 30 opažamo pojavu naglog pada gustoće također na ravnim tragovima. U sl. 29 iz ishodišta zakrivljenog traga izlazi naviše kratak, dosta gust trag, koji se nastavlja u kratak protonski trag. U sl. 30 iz ishodišta zakrivljenog traga izlaze dva kratka, gotovo diametralna traga s gustoćom zrna nešto većom od one, koja pripada sporim alfa zrakama; oba se traga nastavljaju u svojim pravcima tragovima protona osrednje brzine. Za dopunu podataka o sl. 30 treba još nadodati ovo. Kratak protonski trag, koji se ukrštava sa zakrivljenim tragom, izašao je iz istog ishodišta; ali on prolazi znatno iznad zakrivljenog traga. U jednoj i u drugoj slici tragovi leže više ili manje koso prema horizontali; zato su oštine slika podešene tako, da su dobiveni oštrima što veći dijelovi zakrivljenih tragova, koji su bili najinteresantniji dijelovi obiju slika.

Za tumačenje ovog pojava moglo bi se pomisliti na isti pojava kao kod zakrivljenog traga u sl. 28, gdje je iz kraja tog traga naknadno izletio jedan proton. Ali tim ne bi bila objašnjena činjenica, da se ovdje, i to toliko puta, protonski (odnosno tritonski) trag nastavlja tačno pravcem gušćeg traga. Moglo bi se misliti na to, da se u svima ovim slučajevima radilo o vrlo nestalnim česticama kao biprotону ili Li_3^5 , koji su se još u svom lijetu raspali izbacujući proton; ali tu je opet ista poteškoća s pravcem izbacivanja.

Postoji i ta mogućnost, da su se oba puta ishodišta dezintegracije posve slučajno našla u vrlo uskim, oštro omeđenim područjima nehomogenosti emulzije, gdje su zrnca srebrnog bromida bila mnogo gušće razbacana, ili da je tu ploča imala veću osjetljivost, pa je to urodilo povećanjem gustoće tragova. Ali tim se ne tumači gubitak zakrivljenosti kod zakrivljenih tragova.

Napokon postoji treća mogućnost u pretpostavci, koja je već bila primijenjivana, naime da se u svim ovim slučajevima radi o parcijalnoj deionizaciji prvobitne čestice hvatanjem elektrona. Tim se da bolje tumačiti i nestanak zakrivljenosti. Poteškoća je u čestoći pojava u istoj zvijezdi.

O *uzrocima zakrivljenosti*. Pitanje je, kojem se uzroku ima pripisati zakrivljivanje staza u tako velikoj frekvenciji.

Michl⁴⁵⁾, kod prvih početaka registracije alfa zraka na fotografskoj ploči, pripisivao je savijene staze nejednakom stezanju želatina kod sušenja, a dijelom Coulombovim otklonima, koji inače izazivaju rasipanje paralelnog mlaza alfa zraka (*scattering*). Misovski i Čišov⁴⁶⁾ ističu, da su zakrivljene staze alfa čestica savijene u luk više-manje konstantne zakrivljenosti, a oni ih nalaze ne samo pri rubovima fotografske ploče, gdje djelovanje nejednolikog sušenja želatina najjače dolazi do izražaja, nego i oko sredine ploče.

Od tada se zakrivljene staze općenito pripisuju djelovanju mnogostrukog rasipanja Coulombovim silama na jezgrama atoma, mimo kojih je korpuskula proletjela. Gotovo ni ne treba napominjati, da u primjerima, koji su ovdje prikazani, gdje zakrivljenosti počinju odmah od ishodišta zvijezde, a susjedni tragovi često imaju suprotne zakrivljenosti, tumačenje pomoću nepravilnog stezanja želatina ne može doći u obzir.

Teški atomski fragmenti sa $z \geq 3$ su zbog velikog električnog naboja lako podvrgnuti povećem rasipanju u jednom jedinom elementarnom procesu. Kako je vjerojatnost otklona proporcionalna sa kvadratom nabojnih brojeva korpuskule i jezgre, koja otklanja, za poveće jednokratne otklone takvih fragmenata u fotografskoj emulziji dolaze u obzir samo jezgre srebra i broma. Takav otklon može iznijeti velik kut, a da odbojni trag teške jezgre ne bude vidljiv, zbog velike moći kočenja, koju posjeduje emulzija.

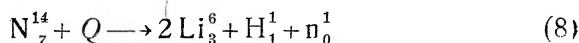
Osim sl. 22, gdje smo se već susreli s jednokratnim otklonom teške čestice za kojih 40° , imamo analogan slučaj u sl. 2, gdje je u donjoj zvijezdi staza alfa čestice dobila jednokratni

⁴⁵⁾ W. Michl, Wiener Ber. 121, 1431, 1912. — St. Meyer u. E. Schweidler, Radioaktivität, izd. 1916, str. 184. — K. W. F. Kohlrusch, Radioaktivität (Wien-Harms, Handb. Exper.-Phys., XV), str. 488.

⁴⁶⁾ Myssowsky u. Tschischow, l. c. 40), str. 418—419.

otklon također za oko 40° . U gornjoj zvijezdi u istoj slici drugi desni proton pokazuje otklon za neko 10° .

U sl. 31 imamo (Tabla IX, $h = 1016$ m) pred sobom izvanredan slučaj, gdje su dva teška fragmenta dobila jednokratne otklone od kojih 70° (računajući s kosim položajem ravnina otklona). Sva tri kraka zvijezde jako su nagnuta prema horizontali, pa bi se slomljenim tragovima teško moglo pripisati nabojni broj veći od 3, premda su zrna tako gusta, da ih se ne može brojiti. Za treći, lako svinuti trag uzimamo zbog njegove strmine, da pripada sporom protonu. Kako se radi o dezintegraciji s malenom energijom, nesimetričan položaj ovog trećeg traga upućuje s obzirom na zakon o održanju veličine gibanja na pretpostavku, da je u sektoru između ovog traga i lijevog slomljenog traga mogao izletjeti jedan neutron. Prema tome, zbroj nabojnih brojeva iznosi 7. Uz pretpostavku, da je dezintegraciju proizročio neutron, koji nije ostao u jezgri, zvijezda predstavlja dezintegraciju jednog dušikova izotopa. Identificiramo li slomljene tragove sa Li_3^6 onda bi se radilo o glavnom izotopu po shemi:



Ova se interpretacija čini najvjerojatnijom. Pretpostavimo li, da nije bilo emitiranog neutrona, onda bi se dezintegracija odnosila na dušik, ako uzmemo, da je treći trag — zbog njegove znatne gustoće — pripadao deutonu (N_7^{14}) ili tritonu (N_7^{15}).

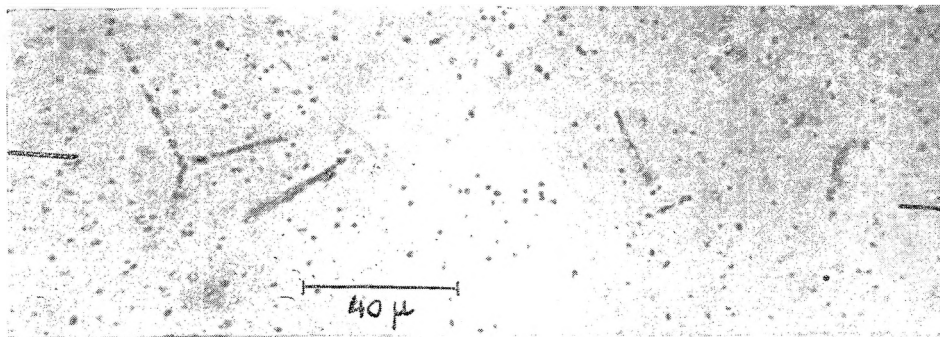
Karakteristika je mnogostrukog rasipanja, da je ono rezultat velikog broja malenih elementarnih otklona, koji su jedan od drugoga nezavisni⁴⁷⁾. Zbog toga za konačni otklon — kao i za rasipanje elektrona — vrijedi u prvoj približnosti G a u s s o v zakon raspodjele pogrešaka. Odatle izlazi, da je trajno zakrivljivanje jedne staze u jednom te istom smislu dosta nevjerojatno. B o t h e⁴⁸⁾ je to pokazao za staze beta zraka, a uglavnom isto vrijedi i za teške korpuskule sa $z \geq 1$. Tim većma je nevjerojatno takvo zakrivljivanje uz konstantnu zakrivljenost. Očito je, da je taj rezultat u pogledu vjerojatnosti nezavisan o tome, da li se za pojedinačni elementarni otklon uzima stara R u t h e r f o r d o n o v a formula, ili će se uzeti novija M o t t o v a⁴⁹⁾, ili najnovija S e x l o v a⁵⁰⁾, koje uzimaju u obzir i ne-C o u l o m b s k e sile u neposrednoj blizini jezgre. U fotografskoj emulziji rasipanje nastaje pretežno na lakim atomima, pa zato ove dvije formule mogu ovdje bolje odgovarati od R u t h e r f o r d o v e.

⁴⁷⁾ W. Bothe, ZS. f. Phys. 12, 117, 1933.

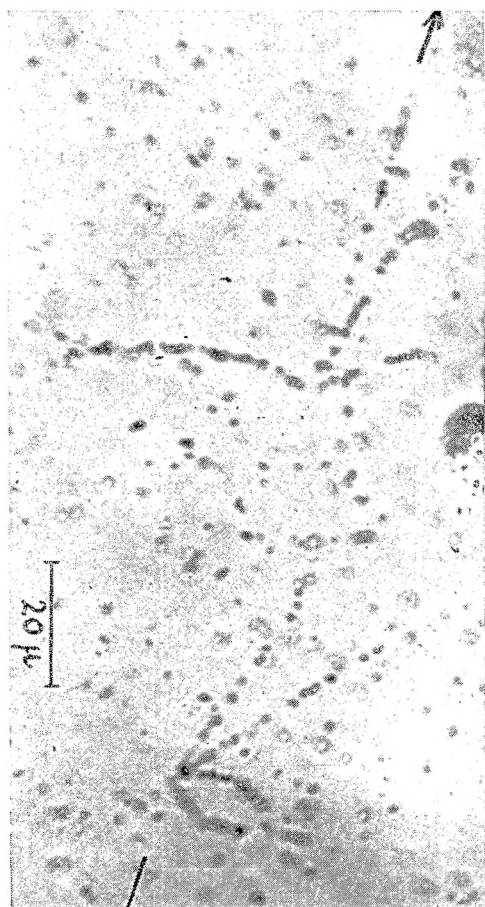
⁴⁸⁾ W. Bothe, Phys. ZS. 23, 416, 1922. — W. Bothe, Handb. d. Phys. (Geiger-Scheel), XXII/2, 2. izd. (1933), str. 20.

⁴⁹⁾ N. F. Mott, Handb. d. Phys. (Geiger-Scheel), XXIV/1, 2. izd. (1933), str. 824 →.

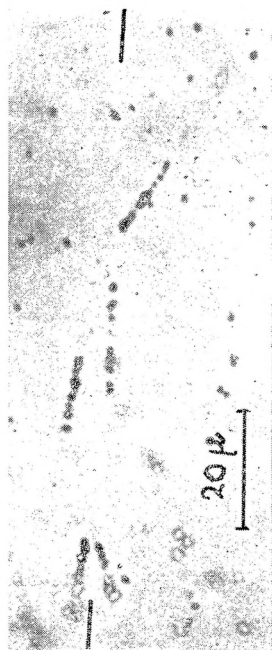
⁵⁰⁾ Th. Sexl, Acta Phys. Austr. 1, 178, 1947.



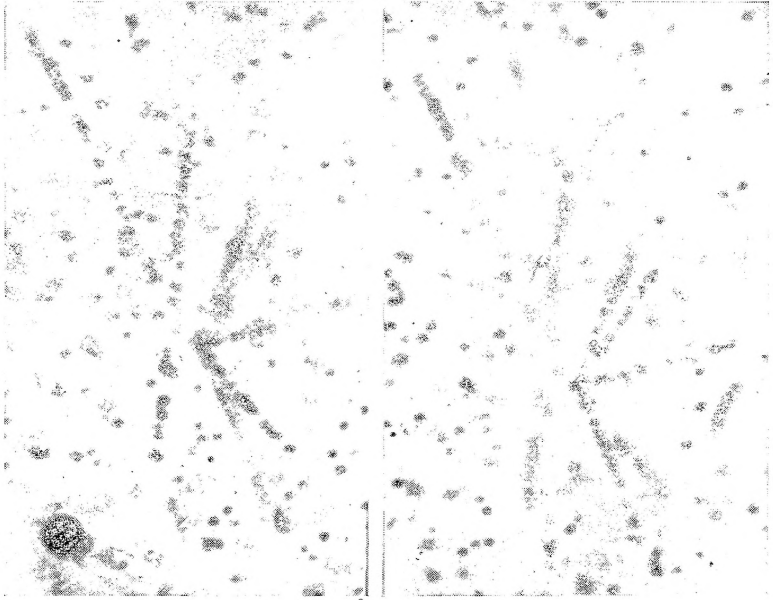
Sl. 1. Povećanje $260\times 2\times$



Sl. 2. Povećanje $275\times 8\times$



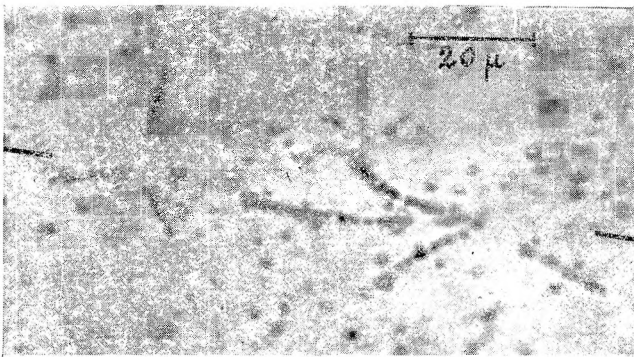
Sl. 3. Povećanje $260\times 3\times$



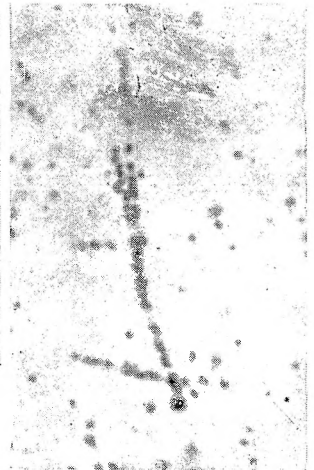
a

b

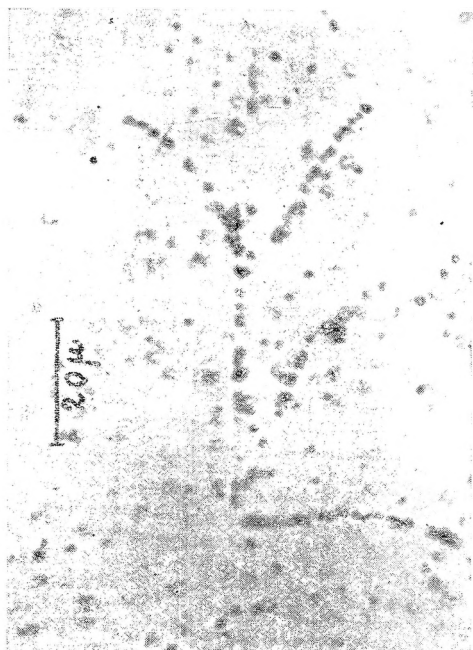
Sl. 5. Povećanje $275 \times 3 \times$



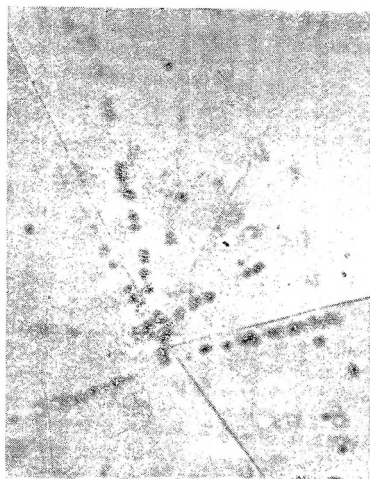
Sl. 4. Povećanje $275 \times 3 \times$



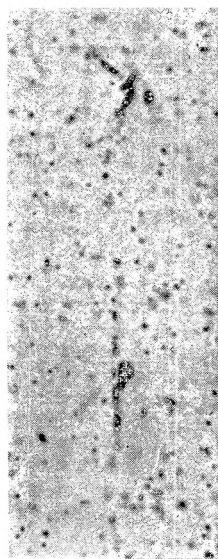
Sl. 7. Povećanje $275 \times 3 \times$



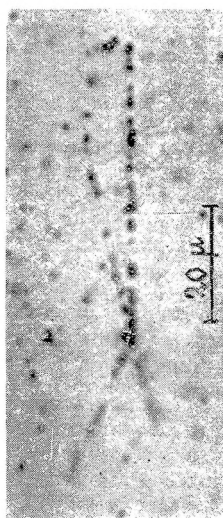
Sl. 6. Povećanje 275×3×



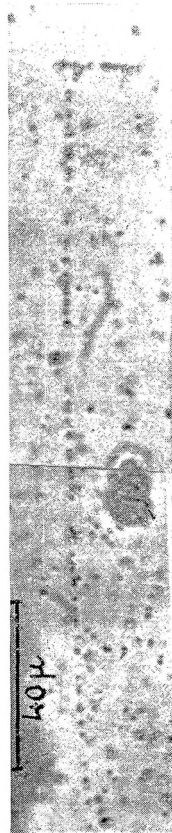
Sl. 8. Povećanje 275×3×



Sl. 11. Povećanje 275×2×

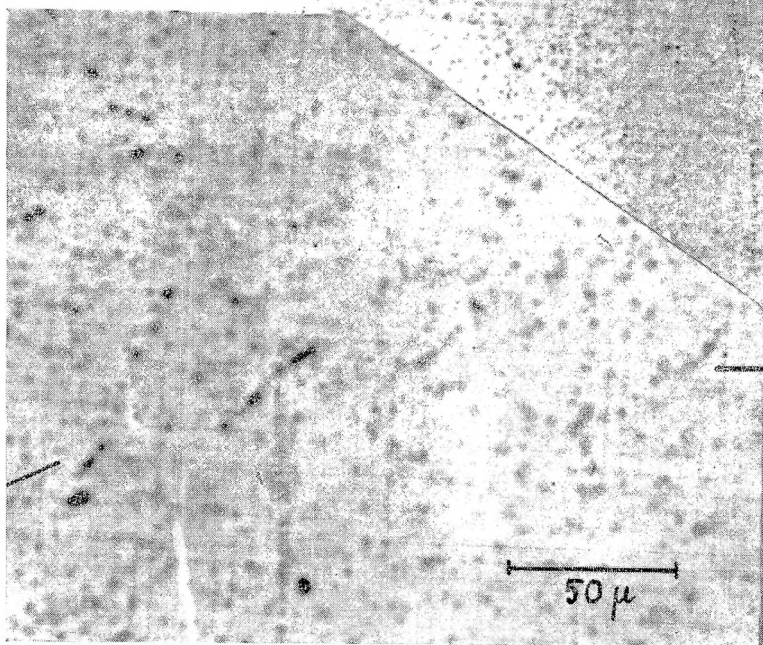
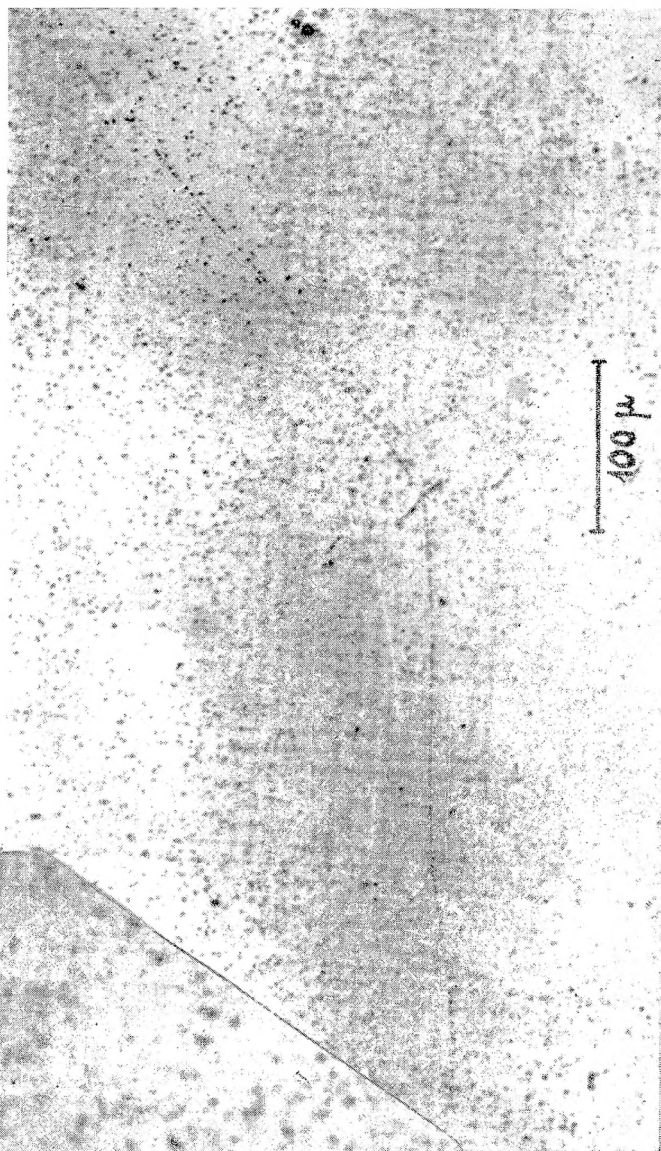


Sl. 12. Povećanje 260×3×

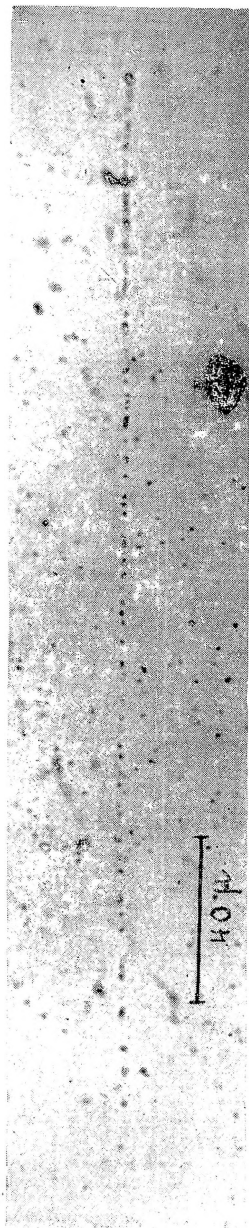


Sl. 9. Povećanje 275×2×

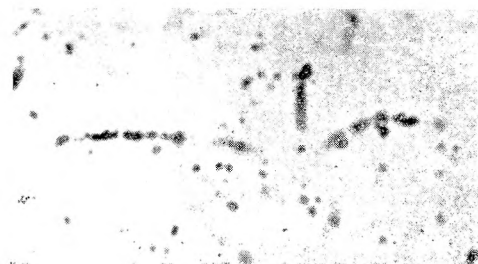
Sl. 13. Povećanje $77.5 \times 3 \times$



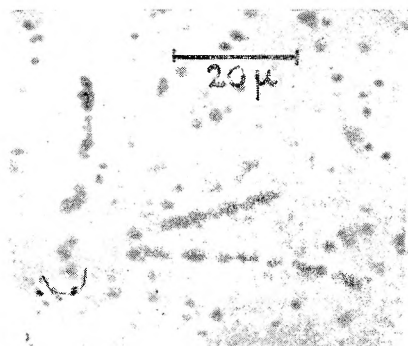
Sl. 13 a. Povećanje $77.5 \times 6 \times$



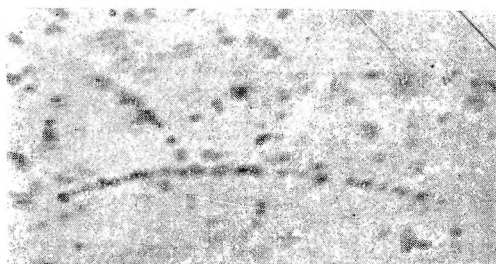
Sl. 10.
Povećanje
275×2×



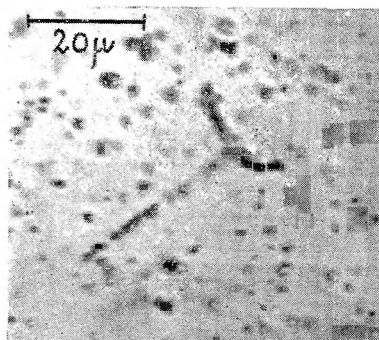
Sl. 14. Povećanje 275×3×



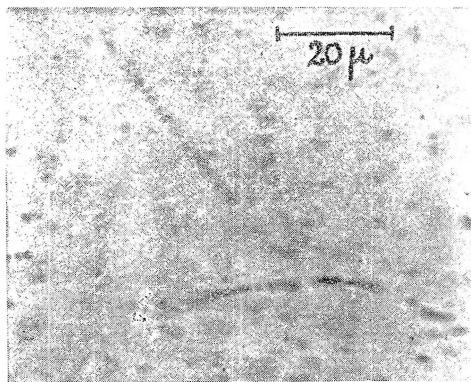
Sl. 15. Povećanje 275×3×



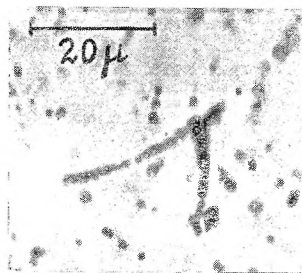
Sl. 16. Povećanje 275×3×



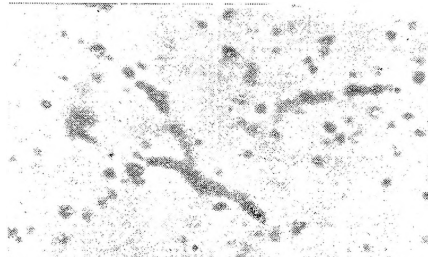
Sl. 17 Povećanje 260×3×



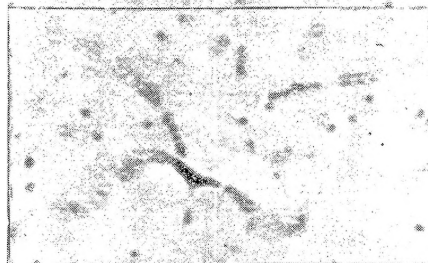
Sl. 18. Povećanje 260×3×



Sl. 19. Povećanje 275×3×

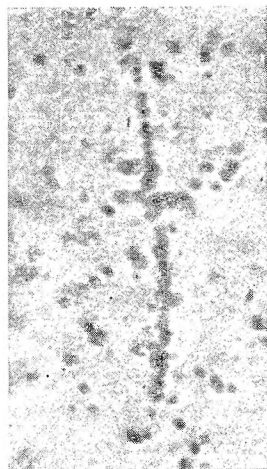


a

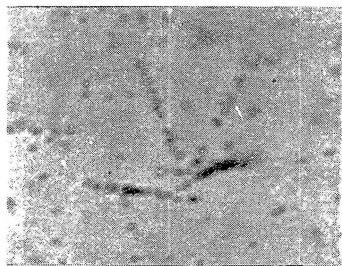


b

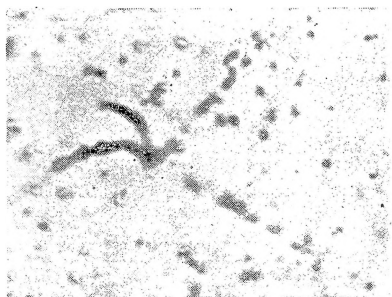
Sl. 21a i b. Povećanje 275×3×



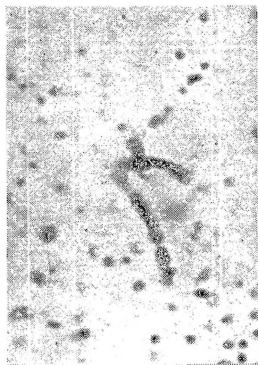
Sl. 20. Povećanje 275×3×



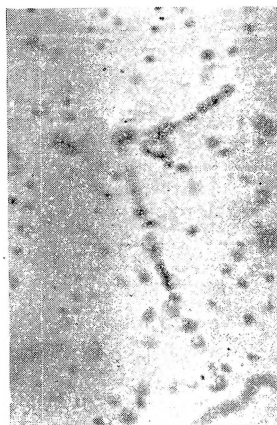
Sl. 23. Povećanje 275×3×



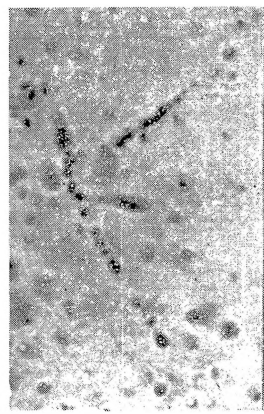
Sl. 22 Povećanje 275×3×



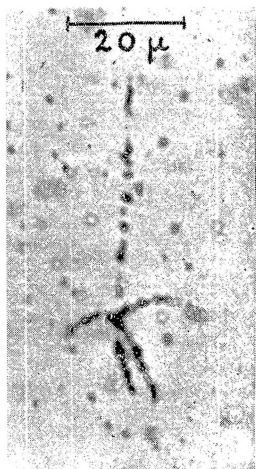
Sl. 24. Povećanje 275×3×



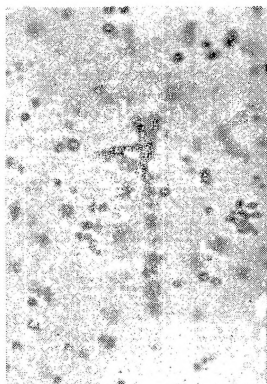
Sl. 25. Povećanje 275×3×



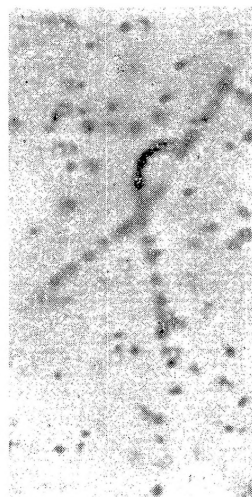
Sl. 26. Povećanje 275×3×



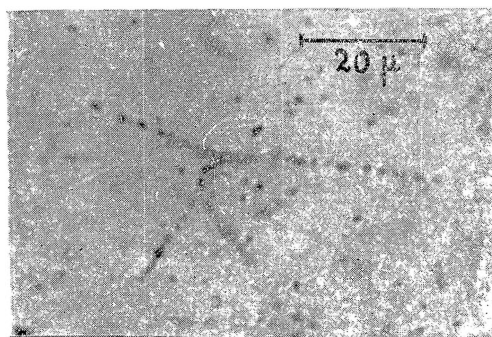
Sl. 27. Povećanje 260×3×



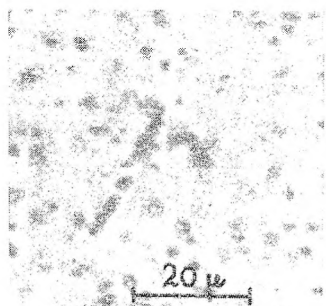
Sl. 28. Povećanje 275×3×



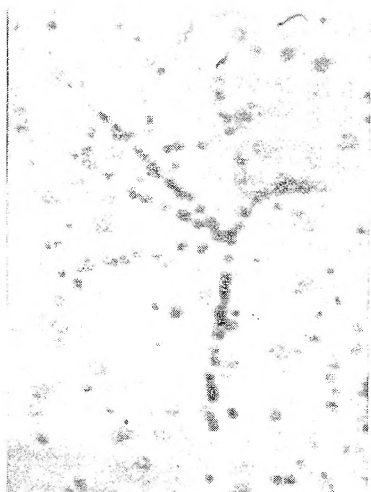
Sl. 29. Povećanje 275×3×



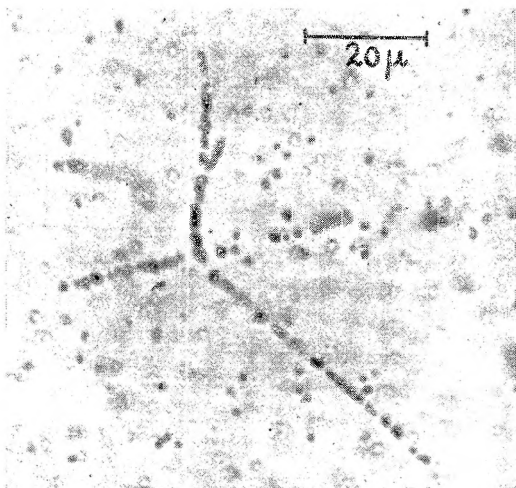
Sl. 30. Povećanje 275×3×



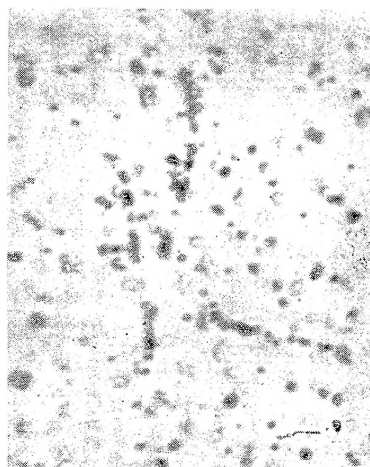
Sl. 31. Povećanje $260\times 3\times$



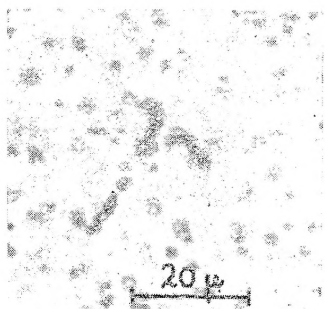
Sl. 32. Povećanje $275\times 3\times$



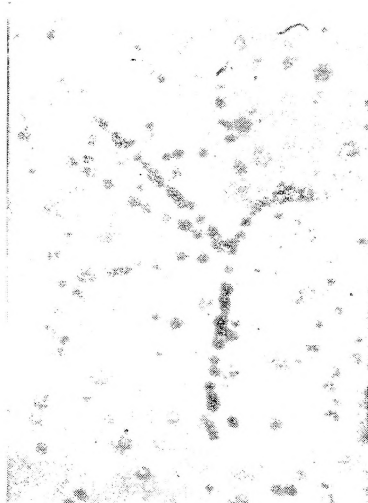
Sl. 33. Povećanje $275\times 3\times$



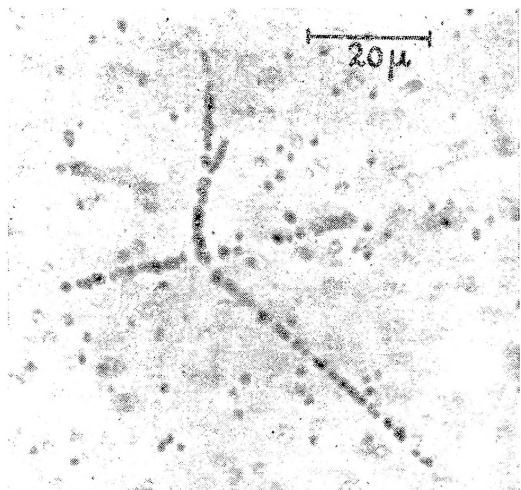
Sl. 34. Povećanje $260\times 3\times$



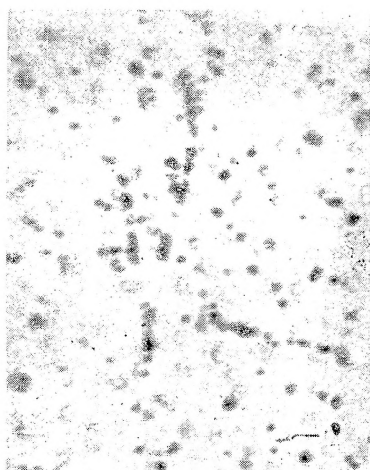
Sl. 31. Povećanje $260\times 3\times$



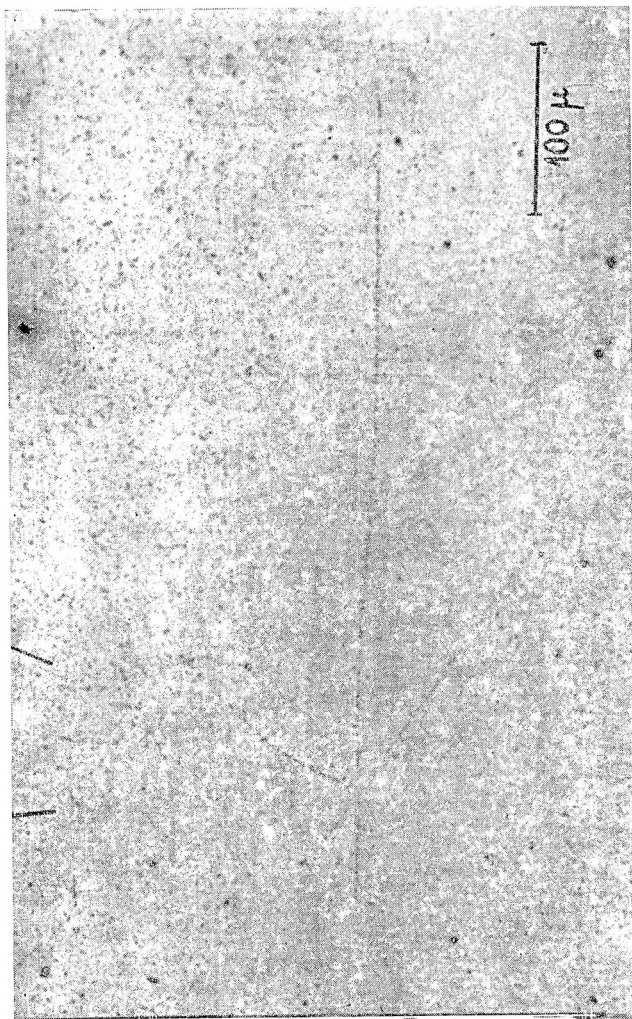
Sl. 32. Povećanje $275\times 3\times$



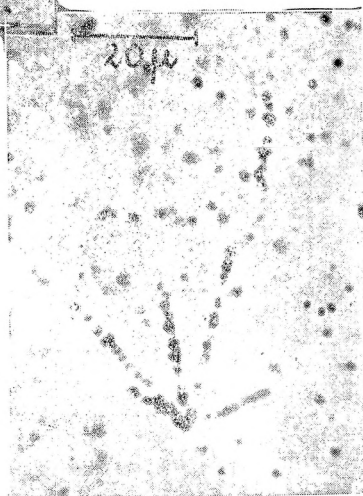
Sl. 33. Povećanje $275\times 3\times$



Sl. 34. Povećanje $260\times 3\times$



Sl. 35. Povećanje 77,5×3×



Sl. 36. Povećanje 275×3×

Dakle s gledišta vjerojatnosti naročito govori protiv tumačenja zakrivljenosti mnogostrukim rasipanjem neobično veliki broj zakrivljenih staza, koje susrećemo u zvijezdama dezintegracije. To vrijedi još većma, kad uzmemo u obzir staze sa konstantnom zakrivljenošću, koje se javljaju u tako znatnom broju. Napose govori protiv tumačenja mnogostrukim rasipanjem činjenica, da su staze u golemoj pretežnosti zakrivljene već od svog izlaza iz zvijezde. To je upravo glavna činjenica, koja traži objašnjenja. Ta činjenica upućuje na to, da uzrok ovim zakrivljenostima treba tražiti u samom elementarnom procesu dezintegracije.

Rješenje problema može nam dati pretpostavka jednog jakog impulznog momenta izletjele čestice, odnosno atomskog fragmenta. Kod toga se oslanjamo na analogiju iz mehanike, translaciono gibanje kugle, koja rotira, kroz otporno sredstvo. Staza takve kugle je zakrivljena u smjeru njezine rotacije, a polumjer zakrivljenosti zavisi o impulznom momentu i o brzini translacije. Očekivati je slično vladanje i za korpuskule atomskih dimenzija s električkim nabojem, ako rotiraju. Onda će i uz pretpostavku točno jednake raspodjele kočenja Coulombovim silama s jedne i s druge strane putanje staza takve čestice biti zakrivljena.

Čini se, da u prilog ovakvom shvaćanju posebno govori okolnost, da kod zakrivljenih staza bržih čestica, poimence protona, nailazimo samo na velike polumjere zakrivljenosti. Nađen je jedan pojedinačni dugački protonski trag ($\sim 500 \mu$), koji je pokazivao gotovo konstantnu zakrivljenost s vrlo velikim polumjerom zakrivljenosti.

Teže je s pitanjem o porijeklu ovog impulznog momenta. Kako je impuzni momenat atomske jezgre rezultat impulznih momenata nukleona, mogla bi biti prva misao — ako shvatimo spin kao stvarnu vrtnju — da se radi o tome impulznom momentu, koji izbačena čestica nosi sa sobom prema zakonu o održanju impulznog momenta. U prilog tome mogle bi govoriti zvijezde sa tragovima zakrivljenim u suprotnom smislu. Ali onda bi trebalo očekivati još veći broj zakrivljenih staza. S druge strane, protiv ovakvog tumačenja govori okolnost, što zakrivljenih staza nalazimo i kod alfa čestica; a alfa čestici pripada spin nula.

Mnogo se pogodnijom čini misao, da je taj impulzni momenat prolazne prirode i da može nastati u samom procesu izbacivanja čestice, odnosno u procesu dezintegracije jezgre. Onda bi on mogao imati više uzroka. Atomsku jezgru imamo shvaćati zatvorenim mehaničkim sustavom. Kao što se u mnogo slučajeva pretpostavlja, da upadajuća čestica, koja prodire u jezgru ili prolazi kroza nju, ne ide kroza nju radijalno već više periferno, isto tako smijemo pretpostaviti, da izbačena čestica u pojedinim slučajevima ne izlazi radijalno iz jezgre nego ekscentrično.

I mehanizam Bohrove slike o evaporaciji jezgre pogoduje takvoj zamisli; isto tako i najnovija slika tzv. zakašnjele emisije od Cüera i Moranda⁵¹⁾, koja se usko naslanja na Bohrove ideje. U tom će se slučaju rezultat odbojnog udara na ostatku jezgre sastojati od tranzlacije i prolazne promjene impulznog momenta tog ostatka kao cjeline. Međutim i sama izbačena čestica trebala bi da kod toga dobije impulzni momenat; jer kod ekscentričkog prolaza kroz bedem potencijala hvatište Coulombskih i ne-Coulombskih sila leži izvan središta mase čestice. A to traži i zakon o održanju impulsnog momenta u sustavu jezgra-čestica.

U prilog prolaznom impulznom momentu i ovakvom prikazivanju čini se da govore neke značajne pojedinosti u sl. 32, 33, i 34. U sl. 32 (Tabla IX, $h = 145$ m) savijeni trag, od kojeg se odvaja ravan protonski trag, ravan je na dijelu 11μ od ishodišta zvijezde do ishodišta ovog izbojka, a onda se zakrivljuje; zakrivljenost nije konstantna. Sudeći po gustoći zrna ($\delta = 1,8 \mu$), može se raditi o jezgri jednog nestabilnog helijeva izotopa, možda He_2^3 , koja je na tom mjestu izbacila proton. Manje je vjerojatno, da bi se radilo o protonu i njegovu izbojku, jer bi energija tog protona u konkretnom primjeru bila premalena za odbacivanje izbojka.

Dvostruko zakrivljeni trag u sl. 33 (Tabla IX, $h = 1016$ m) ima u svom prvom dijelu (13μ) gotovo konstantnu zakrivljenost ($r \sim 24 \mu$); oko ishodišta izbojka ima infleksiju i prelazi u rjeđi trag sa suprotnom gotovo konstantnom zakrivljenošću ($r \sim 62 \mu$). I sami je izbojak zakrivljen ($r \sim 29 \mu$), i to na istu stranu kao primarni trag iza infleksije. Povećana gustoća u tragu izbojka dolazi od dosta velike strmine. Dvostruko savijeni trag ima do izbojka veću gustoću ($\delta = 1,6 \mu$) i debljinu zrna nego iza izbojka ($\delta = 1,8 \mu$). Pojav se da tumačiti isto kao prethodna sl. 32 dezintegracijom jednog nestabilnog helijeva izotopa.

Posve analogan slučaj imamo u dvostruko zakrivljenom tragu u sl. 34 (Tabla IX, $h = 1016$ m). Premda je prvi dio ovog traga do kratkog izbojka vrlo isprekidan zbog statističkih kolebanja gustoće, daje se njegova trajektorija rekonstruirati do ishodišta zvijezde (duljina 18μ); to je ishodište označeno nešto debljim zrnom, u kojem se sastaju i produženja ostalih dvaju tragova. Do izbojka trag ima zakrivljenost jednog smisla ($r \sim 70 \mu$), na ishodištu izbojka ima infleksiju i onda prelazi u suprotnu zakrivljenost ($r \sim 40 \mu$). Ovaj posljednji dio zakrivljen je i u vertikalnoj ravnini, te se sve strmiše penje prema površini sloja.

⁵¹⁾ P. Cüer & M. Morand, C. R. 226, 659, 2063, 1948.

Prema tome čini se utvrđenim, da ostatak jezgre može u samoj dezintegraciji dobiti prolazni impulzni momenat. Zakrivljenost izbojka u sl. 33 pokazuje u istoj interpretaciji, da i izbačena čestica može dobiti impulzni momenat. Uzmemo li pak, da kod dezintegracija ne moraju sve čestice biti istodobno izbačene⁵²⁾, pa ako pretpostavimo za trajanje procesa red veličine 10^{-22} sec., onda ima još više mogućnosti, da pojedine čestice s električkim nabojem dobiju impulzni momenat prolazeći kroz potencijalni bedem, koji se razgrađuje. Kod toga mogu i pojedini jezgri fragmenti povećih masa zbog općenito ekscentričkog međusobnog djelovanja također dobiti impulzne momente. Tim bi se dali objasniti zakrivljeni tragovi težih fragmenata u sl. 19, 22, 27.

S ovog gledišta upada u oči činjenica, što nije nađeno zakrivljenih tragova kod kvadriparticija s diametralno nasuprotnim tragovima ni kod triparticija. Kao što je poznato, gotovo se općenito uzima, da su kod ovih tipova dezintegracija sve čestice izletjele istodobno iz razorene jezgre. Isto tako nema zakrivljenih tragova kod T-biparticija. Diametralno nasuprotnih tragova nađe se i kod opsežnijih zvijezda dezintegracije; ni među takvim tragovima nije ih nađeno zakrivljenih od ishodišta. Ova je pojedinost izrazito istaknuta u 7-krakoj zvijezdi prikazanoj u sl. 35 (Tabla X, $h = 1016$ m).

Dezintegracija je nastala u staklu ploče; svi tragovi su nagnuti \downarrow . Po gustoći zrna, svi su tragovi protonski. Dva izbačena neutrona obilježila su svoje staze odbačenim protonima; pravci njihovih staza obilježeni su na rubu slike potezima. Vjerojatno je, da je i 3-kraka zvijezda, koja se vidi uz lijevi rub slike malo ispod donjeg poteza, također prouzročena jednim neutronom iz iste dezintegracije. Ukupna energija protonskih tragova iznosi 33 MeV; prema tome je ukupna energija dezintegracije znatno iznad toga.

Radi se u dezintegraciji u dva stepena. Četiri traga odlaze u projekciji diametralno, položito se penjući prema površini sloja. Oni su odletjeli istodobno i ponijeli su sa sobom veličinu gibanja, koju je jezgri predala korpuskula, koja je izazvala dezintegraciju. Ova je korpuskula došla iskosa, iz smjera otprilike ispod sektora među dvama najkraćim tragovima od diametralnih parova. Ova četiri traga nijesu zakrivljena, izuzevši naknadna savijanja najdužeg kraka ponovljenim otklonima za malene kutove. Od preostalih triju tragova dva su zakrivljena; a sva tri se penju dosta strmo prema površini sloja. Ta se njihova strmina opaža i po tome, što su im krajevi izgubili oštrinu i kod malenog povećanja ($77,5 \times$), u kojem je slika snimljena. Ove dvije pojedinosti daju opravdanja pretpostavci, da ova tri traga potječu od naknadne

⁵²⁾ N. pr.: E. Bagge, Ann. d. Phys. (5) 39, 512, 1941.

dezintegracije uzbuđenog ostatka jezgre, prije nego je taj ostatak mogao doći u energetsčku ravnotežu.

Preostaje još jedna pojedinost, koju opažamo na najduljem tragu 5-krake zvijezde u sl. 36 (Tabla X, $h = 1016$ m). Čestici se iza puta od 31μ najednom jako umanjila ionizaciona moć, a ujedno se odatle njezina staza, nakon oštrog otklona⁵³) za neko 40° , nastavlja u luku polumjera $r \sim 12 \mu$. Razlika prema statističkim kolebanjima i nehomogenostima emulzije stoji upravo u oštrini ovog prelaza na malenu gustoću zrna. Od dotadašnje srednje vrijednosti $\delta = 1,9 \mu$ gustoća zrna je naglo pala na $\delta = 3 \mu$, a još ispred kraja luka čestica je ponovno naglo zadržala ionizacionu moć. Povećanje gustoće zrna na $\delta = 1,5 \mu$ ukazuje na to, da je čestica u tom anomalnom srazu mnogo izgubila na brzini. Odatle treba zaključiti, u smislu gornje interpretacije, da čestica može dobiti prolazni impulsni momenat i kod anomalnog sraza. Umanjivanje ionizacione moći dalo bi se u ovom slučaju lako tumačiti, ako trag pripišemo alfa čestici; značilo bi, da je ona u srazu privremeno prešla u He^+ . Početna gustoća zrna u tragu opravdava ovu pretpostavku.

Zaključak

Prikazano je i analizirano više zvijezda atomskih dezintegracija, nađenih u Agfinim K-pločama. To su gotovo isključivo dezintegracije lakih atoma.

Dokazano je, da isti brzi neutron može izazvati uzastopce više dezintegracija.

Nađena su dva primjera, gdje je teška čestica ($z \geq 1$), izbačena iz jedne zvijezde, izvela dezintegraciju drugog atoma. Nađeno je T-biparticipija, kod kojih otprilike diametralno nasuprotni tragovi pripadaju nejednakim česticama.

Potvrđena su opažanja drugih autora, da ukupna energija zvijezde izazvane mezonom može biti manja nego li energija mezonove mase mirovanja.

Dokazan je mezon malene mase, koji je izbačen iz jedne dezintegracije. Masa mu je manja od $100 m_e$, vjerojatno oko $70 m_e$.

Istraženo je više zvijezda, u kojima ima tragova zakrivljenih na cijeloj njihovoj dužini, često s konstantnom zakrivljenošću. Zakrivljeni tragovi pripadaju česticama s različitim nabojnim brojevima do $z \geq 3$. Iz glavne karakteristike pojava: da zakrivljenost traga počinje već od samog ishodišta zvijezde, izvodi se,

⁵³) U tome stoji bitna razlika između ovog slučaja i umanjivanja ionizacije, kakva je opažao J. Edm on t, Journ. Phys. Radium (8) 10, 22, 1949, p. 32.

da uzrok zakrivljenosti nastaje već u samom procesu dezintegracije. Zakrivljenost tragova posljedica je prolaznog impulznog momenta, koji izbačena čestica može dobiti u samom procesu dezintegracije jezgre. To se slaže s eksperimentalnom činjenicom, da se naknadnim raspadanjem čestice u gibanju zakrivljenost njezine staze može promijeniti. Prolazni impulzni moment može nastati i kod anomalnog sraza čestice. Staze čestica, za koje se može pretpostaviti, da su istodobno izbačene iz jezgre, nijesu zakrivljene. Diskutirani su uzroci, koji kod dezintegracije jezgre mogu izazvati prolazni impulzni moment na izbačenim česticama.

Skoplje, Fizički institut,
sredinom septembra 1949.

МАРИН КАТАЛИНИЧ

НЕСКОЛЬКО ПРИЛОЖЕНИЙ О РАСЩЕПЛЕНИИ АТОМА КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ

(Резюме)

1. Автор объявляет и дискутирует ряд микрофотографий о дезинтеграциях атомов, в большинстве случаев легких, которые он обнаружил несколько лет тому назад в К-пластинах Алфа, которые были экспонированы на высотах 1016 м и 145 м. Пластины были экспонированы в парах слоями один к другому и отдельными друг от друга тонким листом бумаги. У трех пар пластин между чувствительными слоями были вставлены свинцовые листы $0,33 \text{ гр/см}^2$, отделенные от слоев с обеих сторон бумагой той же толщины как было указано выше. За исключением этих трех пар, непосредственное окружение пластин состояло из легких атомов или в крайнем случае, из атомов среднего веса. В таблице 1 даны средние ценности плотности зерен, выраженные средними расстояниями между зернами для альфа-лучей разных пробегов для этого сорта пластин. Увеличения обозначены в легендах рядом с рисунками; первое число обозначает непосредственное, а второе последующее увеличение.

2. Фиг. 1 и 2 (табл. II) дают доказательство тому что один и тот же скорый нейтрон может вызвать несколько дезинтеграций. Путь нейтрона обозначен тушью в штрихах на краю рисунка. В фиг. 1 скорый нейтрон произвел вдоль своего пути несколько рикошетных следов, одну 2-х конечную звезду и одну трипартицию, по всей вероятности, главного углеродного изотопа. В фиг. 2 исходные точки двух 4-х конечных звезд и начало одного рикошетного следа находятся в одном направлении. Этот рикошетный след не находится на фотографии; он лежит в направлении обозначенном стрелкой, на расстоянии прилб. 190 μ . При этом предполагается, что скорый нейтрон промчался через ядра, оставляя в них энергию в среднем 30 MeV. Принимая это предположение, автор предлагает для трипартиции в фиг. 1 реакцию (1), где Q обозначает

энергию, которую нейтрон оставил в ядре; вычисленная энергия звезды имеет 23,3 MeV. — Возможно что и звезды в фиг. 3 (табл. II), фиг. 4 и двойная звезда в фиг. 5 (табл. III) были вызваны теми же нейтральными частицами по всей вероятности нейтронами. Части а и б в фиг. 5 находятся в незначительном расстоянии один над другим.

3. В фиг. 6 (табл. IV) и 7 (табл. III) представленно два случая, где заряженная частица, выброшенная из одной звезды вызвала другую дезинтеграцию. В рис. 6 это был протон, в рис. 7 альфа частица; в обоих случаях первичная частица была выброшена из нижней звезды. — Звезда в фиг. 8 (табл. IV) объяснена как дезинтеграция трех степеней, причем нижняя степень была последней. Эта последняя степень не есть T-дезинтеграция, ибо направления следов взаимно образуют тупой угол в горизонтальной и вертикальной плоскости. Ввиду того что эти последние частицы соответствуют по плотности зерен дейтону и тритону, предлагается схема распада (3).

4. В фиг. 9, 11, 12 (табл. IV) и 10 (табл. VI) представлены некоторые распады при помощи негативных мезонов. Освобожденная энергия в распаде, представленном на фиг. 9, является явно меньшей чем масса мезона в покое. Такие распады мезонами недавно обнаружили и провели через дискусию и другие авторы (30). Мезон в фиг. 11 вылетел из верхнего распада какого то атома в тяжелые фрагменты. Путь этого мезона выделяется с одной стороны своей зигзагообразной формой в вертикальной и горизонтальной плоскости, а с другой стороны весьма небольшой плотностью зерен. Этот мезон произвел в нижней части своего пути распад легкого атома. Предлагая для этого распада реакцию (4), вычислена из уравнения (5) масса мезона с $m_{\pi} = 68 m_e$. Эта необыкновенно малая масса мезона приближается массам, обнаруженным авторами, упомянутыми на стр. 72 под *, **, ***.

Масса негативного мезона в фиг. 10 определена из плотности зерен в 200 m_e . Его путь заканчивается распадом одного атома на две тяжелые заряженные частицы и на еще одну вылетевшую из эмульсии в воздух. Налево от нижней части следа мезона виден распад, до некоторой степени схожий этому. И фиг. 12 (табл. IV) объясняется как распад вызванный мезонами (зигзагообразный след), вошедшим в эмульсию из воздуха.

Интерпретация звезды на фиг. 13 (табл. V) неуверенна главным образом из за нижнего зигзагообразного следа с ответвлениями. Эта звезда интересна ещё и из за того что показывает ряд рикошетных следов от частиц, которых отбросили нейтроны, вылетевшие из той же звезды (фиг. 13 а, табл. V).

5. Эта глава занята проблемой следов с постоянными или почти постоянными искривлением. Вопрос этих следов настоящими объяснениями не решен, так как они находятся очень часто в звездах незначительной энергии, чаще чем бы можно было ожидать по объяснениям до сего времени. Разнообразные типы таким образом искривленных следов представлены на фиг. 14 до 30 (табл. VI, VII, VIII); имеются они и на фиг. 2, 4, 6. Часто из той же звезды выходит по 2 или 3 следа искривленных или в ту же сторону (фиг. 19, 24) или гораздо чаще, в противоположные стороны (фиг. 14, 15, 16, 20, 21, 27). Судя по плотности зерен, между частицами, к которым принадлежат такие следы, есть протоны, тритоны, альфа-частицы, а есть и частицы с $z \geq 3$ (фиг. 19, 20, 22, 24, 27, 28).

Звезды на фиг. 24 и 25 (табл. VIII) настолько схожи в деталях, что следует считать их принадлежащими одному и тому же типу распадов. При этом следует предположить, что на фиг. 25 более сильно повлиял фэдинг, который уменьшил толщину зерен, но оказал меньшее влияние на их плотность.

Можно предположить, что это тот же тип как и распад на фиг. 25 (табл. VIII) с той лишь разницей что он виден с другой плоскости. Для этого типа распадов автор предлагает реакцию (7).

Автор считает, что редко расположенные следы, которые последовательно распадаются на две более тяжелые частицы [как связующие на фиг. 8, 23 и 26; см. автора (37)], следует приписать тяжелым атомным фрагментам, которые с самого начала были сильно деионизированы. Также, объяснение фиг. 29 и 30 (табл. VIII) представляет трудности ввиду того что сильно искривленные следы, которым по плотности зерен можно приписать $z \approx 2$, продолжают в направлении конечной тангенты как прямые протонные следы. Такое же распределение плотности зерен показывают и два следа почти диаметрально противоположные на фиг. 30. Возможно что и здесь дело в частичных деионизациях более тяжелых частиц.

Самый нижний след в нижней звезде на фиг. 2, один след на фиг. 22 и оба толстых следа на фиг. 31 показывают большие и малые отклонения из за однократного разбрасывания (scattering) частицы. На фиг. 31 (табл. VIII) следы в двух тяжелых фрагментах надломлены однократным разбрасыванием на прибл. 70° .

Против объяснения искривленных следов многократным разбрасыванием особенно говорят следующих два факта: а) необыкновенно большое число таких следов, а в особенности показывающих постоянную искривленность, б) факт что искривленность начинается непосредственно от точки возникновения. — Этот второй факт одновременно полностью исключает предположение о искривлении эмульсии съезживанием при сушке, как о причине искривленности следов.

Факт, упомянутый при б) ведет к тому, что причину этим искривленностям следует искать в самом элементарном процессе распада. Автор ставит гипотезу, что причина таким искривлениям пути частицы проходящий импульсный момент, который получает частица, или может получить, в самом акте атомного распада. Путь такой вращающейся частицы должен был быть искривленным, даже в случае вполне симметричного распределения торможения силами Кулона на обеих сторонах пути.

Этот проходящий импульсный момент мог бы иметь свое начало и в том, что частица выброшена периферически, а не радиально, из ядра. Кроме импульсного момента, который тогда получает остаток ядра обратным ударом, и сама выброшенная частица, могла бы получить импульсный момент в своем нерадиальном прохождении через преграду потенциала, ибо ударная точка силы, действующей на нее, находится вне центра массы.

За это повидимому говорят и фиг. 32, 33, 34 (табл. IX). На фиг. 32 искривленность искривленного следа начинается от точки, в которой от него отделяется короткий протонный след. На фиг. 33 искривленный след показывает инфлексию в окружении точки где вылетел короткий протонный след, в свою очередь искривленный. И на фиг. 34 можно распознать в искривленном следу инфлексия в окружении точки по которой вылетел вторичный след. Во всех этих случаях незначительная энергия искривленного следа исключает возможность, допускающую, что в отделенном следу дело было бы в ответлении.

С другой стороны, если принять что продолжительность процесса распада это время порядка величины 10^{-22} сек., то некоторые частицы могли бы этим же образом получить импульсный момент проходя через преграду потенциала ядра в распадае. Это мнение подтверждается тем, что у T -бипартиций, трипартиций и квадрипартиций, у которых предполагается одновременный уход частиц из разоренного ядра, искривленные следы не могли быть обнаружены. Это мнение подтверждает и фиг. 35 (табл. X) если предположить, что тут дело в дезинтеграции по двум степеням. Здесь диаметральные следы в своих началах неискривлены, в то время как между недиметральными встречаются искривленные от самого начала.*)

*) И на этой фиг. штрихи тушью на краю рисунка обозначают пути нейтронов выброшенных в том же распадае; пути можно распознать по началам следов отброшенных протонов.

Наиболее длинный след на фиг. 36 показывает особенность в том, что ионизационная способность после траектории в 31μ внезапно уменьшилась, а след получил также внезапно проходящую искривленность. Эти детали объясняются тем, что частица в аномальном сразу заполучила временно импульсный момент и в тоже время потеряла часть ионизационной способности частичной деионизацией.

MARIN KATALINIĆ

SOME CONTRIBUTIONS TO THE ATOMIC DISINTEGRATIONS PRODUCED BY COSMIC RAYS

(Excerpt)

1). In the present paper an account is given of several microphotographs of disintegration stars belonging preponderantly to light atoms. The stars were found by the author some years ago in the sensitive layers of Agfa K-plates, which have been previously exposed at the heights of 1016 m. and 145 m. respectively. The plates were exposed in pairs having between the opposite sensitive layers only a paper sheet 0,1 mm thick. Moreover, in three pairs a lead foil $0,33 \text{ gr./cm.}^2$ was introduced, separated on the two sides from the sensitive layers by paper sheets of the same thickness as above. These three pairs excepted, the immediate surroundings of the plates consisted of light or at most medium heavy atoms. In Table 1 the average values of the grain-density, expressed by the average intervals between the grains, for the alpha rays of different ranges for this kind of plates are given. The magnifications of the pictures are given in the legends added, the first number meaning the direct, the second one the additional magnification.

2). By Fig. 1 and 2 (Plate II) evidence is given, that one and the same fast neutron is able to produce successively several atom disintegrations. The neutron path is marked by straight lines made with India ink on the edges of the pictures. In Fig. 1 a fast neutron has originated along its path several recoil-tracks, a two-prong star and a tripartition, probably of the main carbon isotope. — In Fig. 2 the origins of two 4-prong stars and the starting-point of a recoil-track, lying beyond the picture at a distance of approximately 190μ in the direction indicated by the arrow, lie on one and the same straight line. It is supposed, that the fast neutron has run through the nuclei imparting to them an average energy amount of 30 MeV. Under this assumption, the reaction (1) for the tripartition in Fig. 1 is proposed, Q being the energy amount left, while the computed energy of the star is 23,3 MeV. — Presumably, the stars in Fig. 3 (Plate II), in Fig. 4 and the double star in Fig. 5 (Plate III) have likewise to be assumed as generated by the same neutral particles, very probably by neutrons. The two parts a and b of Fig. 5 lie one above another, separated by a small interval.

3). By Fig. 6 (Plate IV) and 7 (Plate III) two events are exhibited, where a charged particle ejected from one star has originated a secondary star. In Fig. 6 it was a proton, in Fig. 7 an alpha particle, emitted in both cases from the lower star. — The event in Fig. 8 (Plate IV) is explained as a disintegration in 3 steps, the time sequence being supposed from the above. The ultimate step is not a true T-disintegration, the directions of the trajectories lying in the horizontal and in the vertical plane at obtuse angles

to each other. The grain-densities of these two tracks corresponding to those of a triton and a deuteron respectively, the process given by (3) is proposed.

4). In Fig. 9, 11, 12 (Plate IV) and 10 (Plate VI) some disintegrations originated by negative mesons are recorded. In the event exhibited by Fig. 11 the energy released is evidently smaller than the mass of rest of the meson, a phenomenon observed and discussed recently by other authors also (30). — The negative meson in Fig. 11 was ejected from the uppermost disintegration of an atom in heavy charged splinters. Its tenuous path is distinguished on the one side by its unsteady incurvations both in the vertical and in the horizontal plane, and on the other side by its very low grain-density. This meson has produced at the lower end of its path a low-energy disintegration of a presumably light atom into two heavy charged particles. By assuming for this disintegration the reaction (4), the mass of the meson is calculated from the equation (5) as $m_{\mu} = 68 m_e$, this low value being consistent both with the considerable scattering of the meson path and also with its very low grain-density. Such a small mass value comes near to the masses of mesons observed by the authors quoted in the references (*), (**), (***) on p. 72.

The mass of the negative meson recorded in Fig. 10 is estimated, from the grain-density, at $200 m_e$. Its path terminates with the disintegration of an atom into two heavy charged splinters and a third particle issued from the emulsion into air before slowing down. A somewhat similar disintegration is visible on the left of the lower part of the meson track. — Fig. 12 (Plate IV) is also interpreted as a low-energy disintegration originated by a negative meson (the curvilinear track), which entered the emulsion from air.

An interpretation of the star exhibited by Fig. 13 (Plate V) is difficult mainly by reason of the lower, wavy track provided with several excrescences. On the other side, this star deserves particular notice on account of a series of knock-on-tracks (Fig. 13-a, on the right) projected by a neutron emitted in the same disintegration.

5). This chapter deals with the problem of the incurved tracks exhibiting a constant or nearly constant curvature. The problem hitherto has not been cleared, such tracks occurring rather frequently in the low-energetic stars. The different types of tracks of this kind are recorded in Fig. 14 to 30 (Plates VI to VIII). There are some in Fig. 2, 4, 6 also. From the origin of a star often issue two or three incurved tracks with incurvations in the same sense (Fig. 19, 24) or, more frequently, with incurvations in opposite senses (Fig. 14, 15, 16, 20, 21, 27). According to the grain-densities, the particles to which belong the incurved tracks, are protons, tritons, alpha particles and, seemingly, a little predominantly the particles with $z \cong 3$ (Fig. 19, 20, 22, 24, 27, 28).

The stars recorded in Fig. 24 and 25 (Plate VIII) seem, by reason of their uncommon similarity in particulars, and by assuming the star Fig. 25 to be more affected by the fading, to represent one and the same type of events. Surmisingly, it is the same type as that in Fig. 26 (Plate VIII), which is only seen in another plane. For this type of events the reaction (7) is proposed.

The author expresses his opinion, that the tracks exhibiting a small grain-density, but decaying subsequently into two heavy particles [i. e.: the junction-tracks in Fig. 8, 23, 26; see also the author (43)] are attributable to heavy atomic splinters, which were strongly deionized still from the beginning. Likewise, one encounters difficulties in the attempts of interpretation of the Fig. 29 and 30 (Plate VIII), where very incurved tracks, to which, according to their grain-densities, charge numbers $z \cong 2$ may be attributed, are continued as straight protonic tracks in the directions of their final tangents. Similar anomalous distribution of the grain-densities is also observed in the two nearly diametral tracks in the same Fig. 30. Possibly,

here happened a subsequent partial deionisation of the original particles; but this interpretation, of course, is not sufficient for the two incurved tracks.

The undermost track of the lower star in Fig. 2, a track in Fig. 22 and the two thick tracks in Fig. 31 (Plate IX) offer the events of sudden deflections by a single act of scattering. In Fig. 31 the tracks of two heavy fragments ($z \sim 3$) are deflected in this manner by nearly 70° .

The following two facts stand particularly against an attempt of explaining the incurved tracks as caused by multiple scattering: a) the uncommonly high frequency of the occurrence of such tracks in general, and of those with a constant curvature particularly; b) the fact of the curvature beginning immediately from the origin of the track. — By this latter fact an assumption of a distortion of the emulsion as a cause of the incurvation is likewise excluded.

The same latter fact points to the idea, that the cause of these incurvations has to be sought directly in the elementary event of the atomic disintegration. The author puts forward the hypothesis, that the incurvation of a track is originated by a transitory angular momentum acquired by the particle in the process of the disintegration. Then, in the case also of a symmetrical activity of the acting forces along the path of such a rotating particle, its path ought to be incurved.

As to the origin of this transitory angular momentum: it could arise from non radial, peripheric ejection of a particle from the nucleus. Besides the angular momentum imparted to the remaining nucleus by the recoil, the ejected particle also ought to get an angular momentum in its non radial course through the potential wall, the point of application of the acting forces not coinciding with the centre of mass.

This point of view seems to be sustained by Fig. 32, 33 and 34 (Plate IX). In the star recorded in Fig. 32 the curvature of the incurved track begins about the point, where a short protonic track is departed from it. In Fig. 33 the incurved track exhibits a point of inflexion about the point of departure of the secondary particle, whose trajectory is also incurved. A point of inflexion in the incurved track is also recognizable about the point of departure of a secondary particle in Fig. 34. In all these cases the small energy of the incurved track seems to exclude the secondaries as possible knock-on-tracks.

On the other side, if for the duration of a disintegration a time interval of the order of magnitude 10^{-22} sec is assumed, a particle might acquire by the same reason an angular momentum in its course through the irregular potential wall of the disintegrating nucleus. This surmise is sustained by the fact, that no incurved tracks were found in the T-bipartitions, in the tripartitions and in the quadripartitions, where a simultaneous departure of the splinters from the shattered nucleus is assumed. As a corroboration of this point of view can serve Fig. 35 (Plate X), if it is taken as a disintegration in two steps. Here, the diametrically departed tracks are in their beginnings non-incurved, whereas among the non-diametral ones there are some which are incurved.*)

The longest track in Fig. 36 (Plate X) exhibits the peculiarity, that the ionisation power of the particle suddenly much decreased and the track simultaneously got a transient incurvation. These particulars are explained by the assumption, that the particle acquired an angular momentum in an anomalous encounter and simultaneously its ionisation power became reduced by a partial deionisation.

*) The straight lines made with India ink denote in this Figure also the paths of neutrons ejected in the same disintegration; the paths are marked by the beginnings of the recoil tracks.