

MARIN KATALINIĆ

TOTALNA DEZINTEGRACIJA
OLOVNOG ATOMA
KOZMIČKIM ZRAKAMA

(Primljeno 15 oktobra 1949 god.)

MARIN KATALINIĆ

TOTALNA DEZINTEGRACIJA OLOVNOG ATOMA KOZMIČKIM ZRAKAMA

(Sa 7 slika. Table XI do XVII)

Pojavi, o kojima se radi u ovoj radnji, nađeni su u osjetljivom sloju nekih Agfinih *K*-ploča (40 μ) iz skupine A, o kojoj su dani podaci u prethodnoj radnji¹). Ta je skupina bila eksponirana 30 dana na nadmorskoj visini 1016 m (Sljeme). U ovoj su se skupini nalazili dva para ploča sa slojem prema sloju, a između slojeva bila je umetnuta olovna folija debljine 0,3 mm, odijeljena od slojeva papirom debljine 0,1 mm. Jedan par tako priređenih ploča bio je eksponiran vertikalnoj komponenti kozmičkih zraka (sloj horizontalan), a drugi par bio je eksponiran horizontalnoj komponenti (sloj vertikaln). Pojav, koji ćemo zvati razmaknutom zvijezdom, nađen je u osjetljivom sloju po jedne ploče iz tih parova. Kod para izloženog vertikalnoj komponenti nađene su razmaknute zvijezde sa sigurnošću samo u sloju donje ploče. Za bitno manju formaciju tog tipa, nađenu u sloju gornje ploče ovog para, nije sigurno, pripada li istoj vrsti pojava. — Olovni lim bio je stariji od 10 godina.

Takva razmaknuta zvijezda sastoji se od uske skupine tragova većinom malene energije, koji su usmjereni prema jednom dobro izraženom središtu. Katkada je takva zvijezda dvostruka, jer se tragovi koordiniraju dvama središtima, koji leže vrlo blizu jedan drugome. Samo ishodište tragova leži izvan osjetljivog sloja. Po gustoći i po debljini zrna, tragovi pripadaju protonima, alfa česticama i manjem broju čestica s nabojnim brojem 3. Nije nađeno usmjerenih tragova, kojima bi trebalo pripisati nabojni broj iznad 3.

¹) Vidi prethodnu radnju istog pisca, God. Zbornik, knj. II, str. 57.

1. Eksperimentalni nalaz

a). U sl. 1 (Tabla XI) prikazan je pretežni dio jedne takve dobro centrirane razmaknute zvijezde. Nađena je u paru izloženom vertikalnoj komponenti kozmičkih zraka, i to u osjetljivoj sloju donje ploče, t. j. ispod olovne folije. Zvijezda sadrži 37 tragova s jednim središtem i 2 traga s nesigurnim usmjerenjem. Svi su tragovi okupljeni unutar kruga s promjerom 218 μ . Osim triju tragova u blizini središta, koji zalaze gotovo vertikalno u dubinu sloja, skoro svi tragovi zalaze strmo do položito u dubinu, od središta prema van. Strmina opada sa porastom daljine traga od središta, tako da među vanjskim tragovima ima gotovo horizontalnih. Nagib tragova je u smjeru primarnih zraka. Najdulji trag ima dužinu 28 μ ; općenito pretežu kratki tragovi, u projekciji oko 15 μ .

Srednje gustoće zrna određene su na 29 dobro centriranih tragova. Sa $\delta \geq 2 \mu$ nađeno je 6 tragova, sa $1,3 \mu < \delta < 2 \mu$ nađeno je 13 tragova, sa $\delta < 1,3 \mu$, uz povećanu debljinu zrna, nađeno je 10 tragova. Pripisemo li, prema iskustvu iz prethodne radnje, prvu skupinu tragova protonima, drugu skupinu alfa česticama, a treću nabojnom broju 3, dobivamo za zbroj nabojnih brojeva 62. Kod ovog određivanja gustoća zrna postupalo se vrlo oprezno. Jer kod vrlo kratkih tragova ($\sim 8 \mu$) nađene su gustoće sa $\delta \sim 1 \mu$, i manje. Kako je pak neki dio gustoće povećan strminom traga, a kod tako kratkih tragova teško je procijeniti strminu, pripisan je i takvim tragovima nabojni broj 3. Dva traga, koji počinju s velikom gustoćom ($\delta = 1,0 \mu$ do $1,1 \mu$), pa se nastavljaju u protonskoj gustoći, uzeti su u račun sa $z = 3$. Od tragova, kojima gustoća zrna nije mogla biti određena bilo zbog velike strmine bilo zbog premalene oštine, imaju sigurno dva, kojima bi prema debljini zrna trebalo pripisati nabojni broj 2. Prema tome, konačni se zbroj nabojnih brojeva penje na 70. Ukupna energija ove skupine tragova iznosi oko 140 MeV. — Ekscentrični tragovi (4) nijesu uzeti u obzir ni za zbroj nabojnih brojeva ni za energiju.

U pripadnoj gornjoj ploči iz para pregledan je onaj dio sloja, koji se kod ekspoziije nalazio u široj okolici korespondentne tačke iznad ove skupine tragova²⁾. Tu je nađena jedna vrlo rastresena skupina od oko 24 kratka traga bez naročito usmjerenja.

b). U istoj donjoj ploči, na daljini 880 μ od središta ove razmaknute zvijezde nađena je jedna šira skupina od 23 traga na okupu i od desetak tragova razasutih u okolici; i ovi su vanjski tragovi više-manje dobro usmjereni prema istom središtu. Opći

²⁾ Vidi opis postupka u pogl. 1 prethodne radnje istog autora.

oblik skupine je eliptičan, sa glavnom osi elipse otprilike paralelnom sa duljom stranom slike 2. Kod povećanja $260 \times$ moglo se na ploči formata $6,5 \times 9 \text{ cm}^2$ obuhvatiti samo spomenuta 23 traga. Taj je srednji dio razmaknute zvijezde prikazan u sl. 2 (Tabla XII). Ima dosta zakrivljenih i slomljenih tragova. Produženja ravnih tragova i početne tangente zakrivljenih tragova konvergiraju k zajedničkom središtu, koje se nalazi malo ispod izoliranog krupnijeg zrna nešto na lijevo od sredine slike. Samos 3 traga ekscentrična. Tragovi imaju prosječno manje strmine nego oni u sl. 1. Duljina najduljeg traga iznosi 37μ . Po gustoći zrna, svi su vanjski tragovi protonski; od ovih središnjih 8 ih je protonskih s velikim razmacima zrna ($\delta \sim 2,4 \mu$), 8 ih pripada alfa česticama, jedan trag (ekscentričan) ima veliku gustoću i debljinu zrna, a za 6 tragova nije se dala odrediti gustoća zrna zbog slabe oštine.

U okolici korespondentne točke u nasuprotnom sloju druge ploče nijesu nađene nikakve skupine tragova.

c). U osjetljivom sloju jedne od para ploča s umetnutom olovnom folijom, koji je bio eksponiran vertikalno, nađena je dvostruka razmaknuta zvijezda, koja je prikazana u sl. 3 i 4 (Table XIII i XIV). Sl. 3 prikazuje samu zvijezdu, a u sl. 4 ona je prikazana u manjem povećanju ($74 \times$) zajedno s jednim dijelom njezine okolice. Kako se vidi uspoređivanjem obiju slika, sl. 3 sadrži sve tragove zvijezde.

Ukupno je nabrojeno 83 traga, koji se nalaze unutar elipse s osima 220μ i 135μ . Od toga broja 36 tragova pripada usko ograničenom središtu, kojemu su koordinate naznačene na sl. 3 potezima 1 — 1, 38 ih pripada nešto šire ograničenom središtu s koordinatama 2 — 2, a 9 tragova je ekscentrično. Koordinacija pojedinim središtima nesigurna je kod onih tragova, koji leže oko pravca, koji ide kroz oba središta. Takvih ima u ovoj zvijezdi malo; redovito su pripisani bližem središtu.

Tragovi, koji su usmjereni k središtu (1, 1), razmješteni su u elipsi, kojoj velika os leži u pravcu aa_1 , s nešto većim brojem tragova na strani a_1 . Središte (1, 1) nalazi se između središta te elipse i njezina žarišta bližeg kraju a_1 .

Tragovi usmjereni k središtu (2, 2) razmješteni su u elipsi, kojoj velika os leži u pravcu $2 a_2$, s nešto većim brojem tragova na strani 2. Središte (2, 2) leži između središta elipse i njezina žarišta bližeg kraju a_2 .

Ni u ovom slučaju nijesu nađene nikakve skupine tragova u okolici korespondentne tačke u nasuprotnom sloju druge ploče iz ovog para.

Dužine tragova su istog reda veličine kao u sl. 1 i 2 (najdulji trag 31μ). Razlika je samo u tome, što ovdje ima prosječno više tragova s dužinama 25μ do 30μ nego u prethodnim dvjema razmaknutim zvijezdama. Upada u oči veliki broj razgra-

njenih tragova. Takvi su tragovi napose ispitani pod povećanjem $800\times$. Pokazalo se, da se većinom radi o slučajnim superpozicijama tragova iz obaju središta. Sudeći po jednakosti nivoa pojedinih grana prema razgraništima, samo razgranjeni trag u neposrednoj blizini središta (1, 1), zatim jedan trag poludesno od njega na daljini 27 μ , i jedna dvojna zvijezda, 22 μ na desno od središta (2, 2), stvarno su razgranjeni tragovi.

Srednja gustoća zrna određena je za 27 tragova, koji su usmjereni k središtu (1, 1), i za 18 tragova usmjerenih k središtu (2, 2). Prema istoj raspodjeli gustoća kao za sl. 1, među tragovima, koji konvergiraju k središtu (1, 1), ima 5 protonskih, 14 ih pripada alfa česticama, a 8 ih pripada nabojnom broju 3. To daje za zbroj nabojnih brojeva 57. Od preostalih 9 tragova iz ove grupe, kojima gustoća zrna nije određena, najveći dio čine kratki, a strmi tragovi; ostatak čine tragovi manjkave oštine. Sudeći po debljini zrna, veći dio kratkih i strmih tragova pripada alfa česticama i česticama s nabojnim brojem 3. Kada sve to uzmemo u obzir, ukupni se zbroj nabojnih brojeva približava broju 75.

Razlog malenom broju analiziranih tragova sa središtem u (2, 2) leži u tome, što ova grupa sadrži mnogo kratkih tragova, osobito oko samog središta, gdje oni zalaze vrlo strmo u dubinu. Među analiziranim tragovima ima 7 protonskih, 6 ih pripada alfa česticama, a 5 nabojnom broju 3.

Ukupna energija grupe tragova, koji su usmjereni k središtu (1, 1), iznosi oko 160 MeV.

d). Najveća razmaknuta zvijezda nađena je u osjetljivom sloju iste ploče, u kojoj su nađene zvijezde u sl. 1 i 2. Udaljena je oko 15 mm od zvijezde u sl. 1. Ona je najveća i po broju tragova i po površini, koju zauzima. Cijela je zvijezda prikazana u sl. 5 (Tabla XV). Tragovi se nalaze unutar elipse s osima 950 μ i 630 μ ; izvan ove elipse izmakla su se samo dva dobro centrirana traga³⁾. Glavni, gušći dio zvijezde nalazi se unutar elipse s osima 430 μ i 380 μ . Jezgra ovog srednjeg dijela prikazana je pri većem povećanju u sl. 6 (Tabla XVI).

U prostoru ove razmaknute zvijezde nabrojeno je 110 pojedinačnih tragova i jedna dvokraka zvijezda⁴⁾. I ova je zvijezda dvostruka, jer tragovi konvergiraju k dvama središtima; ova su dosta oštro izražena. Od navedenog broja tragova 54 ih je usmjereno k središtu, koje se nalazi oko točke, kojoj su koordinate u sl. 6 označene sa 1 — 1; 44 traga su usmjerena k drugom središtu, koje se u istoj slici nalazi oko točke naznačene sa 2 — 2; 12 tragova je ekscentrično. Kako smo već naveli, koordi-

³⁾ Nalaze se u lijevom gornjem uglu slike, cca. 430 μ daleko od sredine zvijezde.

⁴⁾ U sl. 5 ispod sredine, bliže desnom kraju slike.

nacija tragova pojedinim središtima nesigurna je za one tragove, koji leže oko pravca kroz oba središta. Takvih tragova ima ovdje znatan broj (15), jer se slučajno u tom području nalazi oveća koncentracija tragova. Kao i kod prethodne zvijezde, činilo se je najopravdanijim, da se ovakvi tragovi koordiniraju bližem središtu, jer se je moglo računati, da će na taj način biti postignuto prilično dobro izjednačenje.

Grupa tragova, koja konvergira k središtu (2, 2), dosta je zbijena; njezin se glavni dio nalazi unutar kruga sa središtem u (2, 2), kojemu je promjer cca. 230 μ . Grupa tragova koordiniranih k središtu (1, 1) nešto je rastresenija; glavni joj se dio nalazi unutar kruga s promjerom cca. 310 μ sa središtem u (1, 1).

Tragovi su prosječno dulji nego u prethodnim zvijezdama. To se ima samo djelomično pripisati tome, da su oni manje strmi prema površini sloja. Najdulji tragovi (alfa i protonski) imaju 64 μ i 69 μ (59 μ). Razgranjenih tragova nema; odnosno, prividna razgranjenja nastala su superpozicijama tragova iz dvaju središta.

Kod analize tragova po nabojnim brojevima uzeti su u obzir samo tragovi, koji su usmjereni k jednome od dvaju središta. U objema grupama tragova svi su vanjski tragovi protonski. U grupi usmjerenoj k središtu (1, 1) 32 traga pripisana su protonima, 15 alfa česticama, a 7 ih po gustoći i po debljini zrna pripadaju nabojnom broju 3. To daje za zbroj nabojnih brojeva ove grupe 83.

U drugoj grupi, koja konvergira k središtu (2, 2), pripisano je 20 tragova protonima, 16 alfa česticama, a 5 nabojnom broju 3. Za tri traga nije se dala odrediti gustoća zrna zbog znatne strmice staza; sudeći po debljini zrna, ova su tri traga pripisana alfa česticama. To daje za zbroj nabojnih brojeva ove grupe 73.

Ukupna energija analiziranih tragova u prvoj grupi usmjerenoj k središtu (1, 1) iznosi oko 160 MeV, a ukupna energija tragova u drugoj grupi oko 145 MeV.

U okolini korespondentne točke u nasuprotnom sloju druge ploče, koja je pripadala ovom paru, nađeno je nekoliko vrlo rastresenih protonskih tragova bez naročitog usmjerenja.

e). Na istoj ploči, gdje se nalazi razmaknuta zvijezda, koja je prikazana u sl. 3 i 4, nađene su još dvije vrlo široke razmaknute zvijezde, koje slične onoj u sl. 2. Svaka od njih sadrži oko 20 kratkih tragova dobro usmjerenih prema jednom istom središtu. Jedna se nalazi u blizini zvijezde iz sl. 3 i 4, a druga malo podalje. Nijesu snimljene, jer zauzimaju mnogo veće površine.

Na paru ploča s umetnutom olovnom folijom, koji je bio eksponiran na visini 145 m, nije nađeno razmaknutih zvijezda

2. Diskusija rezultata

Moguće su dvije hipoteze o postanku opisanih razmaknutih zvijezda:

A). Može se raditi o alfa česticama izbačenim iz sitnih inkluzija neke radioaktivne tvari, koje su se nalazile izvan osjetljivog sloja fotografske ploče.

B). Može se raditi o dezintegraciji teških atoma izvan osjetljivog sloja fotografske ploče.

Hipoteza A je čisto kvalitativne prirode, jer se njom zaneamaruju velike razlike u gustoćama zrna u tragovima, koji čine razmaknutu zvijezdu. Te razlike znatno premašuju granice, među kojima kolebaju gustoće zrna u tragovima alfa čestica. S druge strane, premašena je i brojnost tih kolebanja prema onome, što opažamo kod tragova alfa čestica npr. u zvijezdama od raspadanja radiotorija i njegovih sljednika.

Kad bi se zaista radilo o radioaktivnim inkluzijama, gotovo je isključeno, da bi se one mogle nalaziti u zaštitnom papiru iznad osjetljivog sloja. Jer, onda bi bilo vrlo vjerojatno, da bi se takvih zvijezda našlo i u osjetljivom sloju ploča iz drugih parova, gdje je među slojevima bio umetnut papir iste provenijencije. Preostajala bi samo mogućnost takvih inkluzija na površini olovne folije. Međutim ova je mogućnost s analognog razloga oslabljena već tom činjenicom, da su razmaknute zvijezde nađene samo na dvjema pločama iz parova priređenih na opisani način s olovnom folijom među slojevima. Pridolazi dalja činjenica, da ih nije bilo u paru ploča s olovnom folijom, koji je bio eksponiran na visini 145 m; a sve su ove folije bile izrezane iz istog većeg komada.

Konačna poteškoća za ovu hipotezu sastoji se u tome, što bi trebalo pretpostaviti, da su sve te radioaktivne inkluzije bile strogo točkaste i da su sve bile više-manje jednako jake. Ova druga pretpostavka proizlazi odatle, što se broj tragova u jednoj zvijezdi, odnosno u jednoj grupi tragova usmjerenom k jednom središtu uglavnom kreće između 36 i 54.

Napokon ova hipoteza ne može da protumači razgranjenih tragova, kao ni usmjerenih tragova iznad 50 μ .

Sve ove činjenice, koje čine poteškoće za prvu hipotezu, posve odgovaraju drugoj hipotezi, prema kojoj se ovdje radi o totalnoj dezintegraciji teškog atoma. Prema eksperimentalnim okolnostima, u kojima su ploče bile eksponirane, dezintegrirani atom može biti jedino olovni atom iz olovne folije. Napose na to upućuju zbrojevi nabojnih brojeva čestica u jednoj zvijezdi, odnosno u jednoj centriranoj grupi; a ti se zbrojevi kreću između 70 i 80. Prema Powellu⁵⁾ doseg brzih protona s energijom

⁵⁾ W. M. Powell, Phys. Rev. (2) 69, 385, 1946, p. 403.

12 MeV iznosi u olovu 200 μ . Prema tome, kod dezintegracija, koje nastanu nešto ispod površine folije, neke će se čestice, pogotovo one teže, zaustaviti u olovu⁶⁾. Tim se jednostavno tumači malen broj tragova u razmahnutoj zvijezdi prikazanoj slikom 2; a s tim se slažu i kratkoća tragova i raširenost cijele zvijezde. To isto važi za dvije zvijezde spomenute u odlomku e, koje su nadene u okolici zvijezde prikazane u sl. 3 i 4; a u nešto manjoj mjeri to važi i za zvijezdu u sl. 1. P o w e l l čak računa s tim, da u olovu nastaje mnogo dezintegracija, ali da se čestice zaustavljaju u njemu. Broj ekscentričnih tragova u zvijezdama općenito raste s brojem tragova u zvijezdi. To opravdava pretpostavku, da i oni pripadaju zvijezdi. Treba ih pripisati protonima i drugim korpuskulama, odbačenim od neutrona, koji su izletjeli kod dezintegracije olovne jezgre.

Okolnost, da kod zvijezde iz sl. 5 i 6 u grupi tragova, koji konvergiraju k središtu (1, 1), zbroj nabojnih brojeva (83) nadmašuje nabojni broj jezgre olovnog atoma, trebat će u manjoj mjeri pripisati pogrešci kod određivanja nabojnih brojeva po gustoći i debljini zrna u tragovima. Vjerojatnije je, da je to posljedica načina, kako su tragovi oko pravca položenog kroz oba središta koordinirani pojedinim središtima. Kad smo takve tragove koordinirali bližem središtu, vjerojatno je više tragova, koji u stvari pripadaju središtu (2, 2), pripisano središtu (1, 1), nego li je bilo obrnutih slučajeva; t. j. nije bilo pretpostavljenog izjednačenja.

Ž d a n o v je prvi našao u sloju fotografske ploče jednu veliku — do zvijezde u sl. 5 i 6 najveću — vrlo gustu zvijezdu od približno 100 tragova (na ploči eksponiranoj na visini 9000 m)⁷⁾. Sudeći po pravcima tragova na njezinoj periferiji, a i po obliku njezine jezgre, i ta je zvijezda dvostruka, s vrlo bliskim ishodištima, pa bi mogla odgovarati totalnim dezintegracijama dvaju atoma srebra. Kasnije je Ž d a n o v našao drugih velikih zvijezda, koje po zbroju nabojnih brojeva odgovaraju totalnim dezintegracijama atoma broma i srebra⁸⁾. P e r k i n s⁹⁾ je proučavao 24 zvijezde sa 15 do 22 kraka, koje on pripisuje atomima broma, joda i srebra. L e p r i n c e - R i n g u e t i suradnici¹⁰⁾ našli su zvijezdu sa 24 kraka, sa zbrojem nabojnih

⁶⁾ Izvjestan dio manjka u zbroju nabojnih brojeva da se objasniti i tim, da je po koji teži fragmenat odmah uhvatio koji elektron, pa se tim prividno umanjio njegov nabojni broj. Tragova, koji su u početku gušći, pa naglo prelaze na manju gustoću zrna, nalazimo u sl. 1, 4 i 6.

⁷⁾ A. J d a n o f f, Nature 143, 682, 1939.

⁸⁾ A. P. Ž d a n o v, Fiz. v škole 6, 15, 1946; DAN 64, 657, 1949.

⁹⁾ D. H. P e r k i n s, Nature 161, 486, 1948; nadmorske visine 3500 m i 4400 m.

¹⁰⁾ L. L e p r i n c e - R i n g u e t, J. H e i d m a n n i dr., C. R. 225, 1144, 1947; nadmorska visina 4000 m.

brojeva oko 40, koju oni interpretiraju kao gotovo totalnu dezintegraciju srebrnog atoma. Roy¹¹⁾, te Cüer i suradnici¹²⁾ našli su 22- i 18-krake zvijezde u pločama eksponiranim na morskom nivou.

Gore navedene ukupne energije tragova u jednoj centriranoj zvijezdi ili u usmjerenj grupi tragova u dvostrukim zvijezdama dosta zaostaju za energijama velikih zvijezda kod drugih autora. U stvari to je samo neznatan ostatak prvobitne energije, preostao nakon kočenja u olovu i u sloju papira između olova i osjetljivog sloja. Kad se to uzme u obzir i kada se uzmu u račun i izbačeni neutroni, moraju se početne energije pojedinih dezintegracija procijeniti mnogo puta većima od 200 MeV, negdje oko 1200 MeV.

Upada u oči činjenica, da se u jednoj i u drugoj ploči, u kojima su nađene razmaknute zvijezde, one nalaze akumulirane dijelom u međusobno bliskim dijelom u širim skupinama. Tako je bilo s pločom, na kojoj su nađene zvijezde opisane pod *a*, *b* i dvostruka zvijezda pod *d*, a tako i sa pločom, u kojoj su nađene dvostruka zvijezda opisana pod *c* i zvijezde, napomenute pod *e*. Međutim, ovakvo okupljanje zvijezda u skupine nije samo svojstvo ovih dezintegracija. Slična su nagomilavanja zvijezda opažena i u osjetljivom sloju ploča, gdje kod ekspozicije nije bilo olovne folije. Već kod prvih istraživanja *K*-ploča zabilježena je u zapisniku opažanja ova opaska:

Opaua se, da zvijezde dolaze u skupinama. Često prođu kod pomicanja ploče veliki prostori pred okom, a da nema ni jedne zvijezde. Kad se naiđe na jednu zvijezdu, u široj okolici ima skoro uvijek više, katkada i mnogo drugih zvijezda i pojedinačnih tragova.

To je opažanje potvrđeno i kasnijim nalazima kroz cijelo trajanje istraživanja. Kao jedan od primjera snimljeni su sa tri snimke u malenom povećanju ($77,5\times$) dijelovi jedne takve akumulacije, koji su prikazani u sl. 7 (Tabla XVII). U okolini i između ovih odrezaka bilo je još razasutih pojedinačnih tragova i 3- i 4-krakih zvijezda. Ova je akumulacija ovdje prikazana u zgusnutom poređaju; približne prave daljine među pojedinim odrescima naznačene su na slici. Pored jedne omanje razmaknute zvijezde sa 9 dobro centriranih tragova, slika sadrži još 9 zvijezda sa 3 i 4 kraka i 14 pojedinačnih kratkih tragova. Ova je akumulacija ovdje zanimljiva i zbog toga, što je nađena u gornjoj ploči iz jednog para ploča s umetnutom olovnom folijom,

¹¹⁾ R. R. Roy, Nature 160, 438, 1948.

¹²⁾ P. Cüer, M. Morand & H. Moucharafyeh, C. R. 226, 713, 1948.

t. j. olovna je folija bila ispod osjetljivog sloja ($h = 1016 \text{ m}$)¹³). U razmaknutoj zvijezdi većina centralnih tragova idu iz površine sloja u dubinu, t. j. imaju smjer nagiba \uparrow od olova.

Za tumačenje ovakvih akumulacija zvijezda poput ove u sl. 7, i praznina bez zvijezda, prva bi misao mogla biti, da se radi o nejednolikom djelovanju razvijaača na različitim dijelovima osjetljivog sloja ili o nejednakoj osjetljivosti različitih dijelova sloja. U tom bi slučaju otpala potreba da dodemo u opasnost subjektivne pogreške, koja bi se sastojala u tome, da bismo za pretežni dio zvijezda i pojedinačnih tragova u jednoj ovakvoj akumulaciji bez opravdanja smatrali, da su nastali istodobno. A pretpostavka istodobnosti ovdje znači u mnogo slučajeva i pretpostavku istovrsnog uzroka.

Nema sumnje, da vrlo često, čak i pretežno bliske su se zvijezde samo slučajno našle jedna blizu druge, a u stvari su nastale u vrlo različitim vremenima. Međutim pretpostavka o nejednolikom djelovanju razvijaača vrlo je malo vjerojatna ili je barem vrlo pretjerana. Obzirom na brojnost mjesta u osjetljivom sloju, gdje je broj zvijezda iznad očekivanog prosjeka, slično se može reći za pretpostavku nejednakih osjetljivosti, slična je nađeno pojava, koji se dadu svesti na manjkavu homogenost emulzije. I svodenje na fading bilo bi manjkavo rješenje. S druge strane, pojava dvostrukih razmaknutih zvijezda, kao one u sl. 3, 4 i 5, 6, nameće sama od sebe pretpostavku istodobnosti njihova postanka i čini je vrlo vjerojatnom. Na taj način potrebno je, da razmotrimo i pitanje istodobnosti, kao i pitanje njezina uzroka.

Kasnije su i drugi istraživači ustanovili anomalne akumulacije zvijezda i pojedinačnih tragova; a po svemu se čini, da i oni većinom misle na istodobnost postanka. Leprince-Ringuet i Heidmann¹⁴) ustanovili su, da broj zvijezda na ograničenim prostorima mjestimice daleko premašuje njihov broj, kakav bi trebalo očekivati kod približno jednolike raspodjele, te da zvijezde često dolaze u parovima. Istodobno su došli do istog zaključka Li i Perkins¹⁵). Razlika je samo u njihovom tumačenju. Prva dvojica zamišljaju, da je u parovima jedna zvijezda, kao primarna, proizvela drugu posredstvom neke korpuskule s nevidljivom stazom (neutralna ili vrlo brza nabijena korpuskula), koja je izletjela iz nje. Bez sumnje, oni ovdje imaju pred očima analogiju s poznatim dvojnim zvijezdama izazvanim negativnim mezonom, koji je izletio iz primarne zvijezde. Naprotiv Li i Perkins ističu mogućnost, da su parovima uzrok uski snopovi korpuskula nekog nepoznatog tipa.

¹³) U donjoj ploči iz ovog para nađene su u ne-korespondentnom položaju razmaknute zvijezde prikazane u sl. 1, 2 i 5—6.

¹⁴) L. Leprince-Ringuet a. J. Heidmann, Nature **161**, 844, 1948.

¹⁵) T. T. Li a. D. H. Perkins, ibid.

Do sada najveću akumulaciju našao je nedavno Ždanov¹⁶⁾, i to u neposrednoj blizini dviju velikih atomskih eksplozija, po svoj prilici atoma srebra; tu se u najužoj njihovoj okolici nalazi prava gomila 3-, 4-krakih i sve do 10-krakih zvijezda. Kod promatranja ove slike po sebi se nameće misao, koju su naveli L i i Perkins; t. j. možemo smatrati sigurnim, da je cijelu tu gomilu zvijezda izazvao gust, vrlo uzak snop korpuskula nepoznate prirode. — Jednu sličnu akumulaciju — u daleko manjem opsegu — imamo i u neposrednoj okolici dvostruke razmaknute zvijezde u sl. 3 (Tabla XIII).

Prema tome, smijemo s dovoljno opravdanja pretpostaviti, da su bar one međusobno najbliže razmaknute zvijezde nastale istodobno. U pogledu vrsti korpuskula, koje prouzrokuju ovakve totalne dezintegracije olovnog atoma ne može se mnogo reći. Svakako se radi o prodornim česticama vrlo velike energije. Prema ustanovljenoj kumulaciji takvih dezintegracija u objema pločama, gdje su one nađene, čini se opravdanom pretpostavka, da i te čestice dolaze u vrlo uskim snopovima (*burst*), odnosno da se u jednoj i u drugoj ploči radi o jednokratnim istodobnim procesima. Vjerojatno to su istovrsne korpuskule kao one u slučaju Ždanovljevih dezintegracija. Takvi bi snopovi prema tome bili mnogo uži od onih, kakvi su opažani u Wilsonovoj komori¹⁷⁾. Po Alihanjanu i Šostakoviču¹⁸⁾ već se ti uski snopovi iz Wilsonove komore oštro razlikuju od kaskadnih snopova, a sastoje se od nabijenih korpuskula i od nekih neutralnih korpuskula. Pa Zacepinu i Eidusu ovi se sastoje glavnim dijelom od slabije prodornih čestica, različitih od mezona, i od prodornih čestica nepoznate prirode^{18a)}.

Supozicija vrlo prodornih korpuskula nije u sukobu s činjenicom, da su razmaknuta zvijezda iz sl. 3 i 4, te one, koje su spomenute pod e, nastale u ploči, kojoj je osjetljivi sloj kod ekspozicije stajao vertikalno. Jer u horizontalnoj komponenti, osim sekundarnih zraka lokalne provenijencije, koje imaju i horizontalnu komponentu gibanja, sudjeluje i tvrda komponenta kozmičkih zraka proizvedena primarnim zrakama, koje su ušle u atmosferu približno paralelno s ravninom horizonta.

Može se pomišljati i na jedan rezonantni proces u olovu pod djelovanjem tih prodornih korpuskula. Na tu mogućnost upućuje posebice položaj olovnog atoma na samoj granici prirodno radioaktivnih elemenata, zbog velikog broja neutrona u njegovoj

¹⁶⁾ A. P. Ždanov, DAN 64, 657, 1949.

¹⁷⁾ R. E. Lapp, Phys. Rev. (2) 69, 253, 321, 1946. — K. L. Kingshill a. L. G. Lewis, ibid. 69, 1159, 1946.

¹⁸⁾ A. Alihanjan i N. Šostakovič, Žurn. eksperim. teor. fiz. 17, 466, 1947.

^{18a)} G. T. Zacepin i L. H. Eidus, Žurn. eksperim. teor. fiz. 18, 259, 1948.

jezgri. Za to govori i opaženi prelazni efekt kozmičkih zraka u olovu, zbog kojega su broj pojedinačnih tragova i broj 2- i 3-kra-kih zvijezda ispod olovnog oklopa u znatnoj mjeri povećani prema njihovu broju bez oklopa. Prema rezultatima istraživanja Lorda i Scheina¹⁹⁾ maksimum tog prelaznog efekta nalazi se pod masom 15 g/cm² olova. To se dosta dobro slaže s podatkom Cortinia i Manfredinia²⁰⁾, koji maksimum efekta nalaze oko 20 g/cm². Powell²¹⁾ računa, da zbog velike moći kočenja u olovu od 50 dezintegracija nastalih u olovu samo čestice iz jedne od njih izadu izvan olova. U našem slučaju sloj olova iznad osjetljivog sloja iznosio je samo 0,33 g/cm², pa su iz dezintegracija atoma, koje su nastale uz samu donju površinu olovne folije, rezultati dezintegracije prodrli u osjetljivi sloj ispod folije. To je u skladu sa činjenicom, da razmaknute zvijezde s malim brojem tragova općenito zahvaćaju veću površinu nego one s velikim brojem tragova, te da su ujedno njihovi tragovi kraći. Kako smo već objasnili, ovo odgovara nešto većoj dubini, u kojoj se dezintegrirani atom nalazio ispod površine folije. Djelomično bi se tim mogla tumačiti i razmaknuta zvijezda s malo tragova u sl. 7. Ona bi imala predstavljati dio čestica odbačenih unatrag kod dezintegracije jednog olovnog atoma iz najuže okolice gornje površine olovne folije, analogno takvim pojavima opažanim na olovnim pregradama u Wilsonovoj komori²²⁾. Ostale čestice iz ove dezintegracije, izbačene većinom naprijed, zaostale su u olovu.

Relativni prelazni efekt u olovu imao bi se onda objasniti djelovanjem neutrona, izbačenih iz dezintegracija nastalih unutar olovne mase. To bi bili neutroni pretežno malenih energija, koji su u stanju proizvesti samo dezintegracije s malim brojem krakova. U tablici Cortinia i Manfredinia (1. c.) stvarno se ispod olovnog oklopa opaža opadanje broja zvijezda istom kod zvijezda sa 6 ili više krakova. U vezi s tim potrebno je upozoriti na to, da od četiri zvijezde u sl. 4 tri su 3-krake²³⁾, a jedna je 4-kraka. Prema tome, prelazni bi efekt bio posljedica totalnih i parcijalnih dezintegracija olovnih atoma u olovnom oklopu.

¹⁹⁾ J. J. Lord a. M. Schein, Phys. Rev. (2) **75**, 1956, 1949.

²⁰⁾ G. Cortini a. A. Manfredini, Nature **163**, 991, 1949.

²¹⁾ W. M. Powell, 1. c., 403.

²²⁾ Cf.: n. pr.: W. M. Powell, *ibid.*, sl. 8a, 8b. — R. P. Shutt, Phys. Rev. (2) **69**, 261, 1946, p. 271.

²³⁾ Skupina na desno ispod razmaknute zvijezde sadrži dvije 3-krake zvijezde, koje su djelomično superponirane.

Zaključak

Metodom fotografske ploče čine se dokazanima totalne dezintegracije olovnih atoma, koje su nastale u olovnoj foliji iznad osjetljivog sloja ploče. One se registruju u osjetljivom sloju kao velika grupa tragova, koji se ne sastaju, ali su usmjereni k istom središtu («razmaknute zvijezde»).

Kako ovakve dezintegracije dolaze u uskim skupinama, uzrok im treba tražiti u vrlo uskim snopovima prodornih korpuskula nepoznate prirode.

Iznosi se misao, da je tzv. prelazni efekt u olovnim oklopa posljediца takvih dezintegracija u unutrašnjosti olovne mase, a bio bi izazvan neutronima, koji izlijeću iz tih dezintegracija.

Skopje, Fizički institut
krajem septembra 1949.

МАРИН КАТАЛИНИЋ

ПОЛНОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ АТОМА СВИНЦА КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ

(Резюме)

В чувствительном слое двух фотографических пластин (*K*-пластины Агфа) которые были экспонированы на высоте 1016 м. автор обнаружил значительные комплексы кратких следов, которые в огромном большинстве были направлены к одному и тому же центру, или к двум близколежащим. Комплекс таких средоточных следов автор называет раздвинутой звездой, а в случае наличия двух центров — двойной раздвинутой звездой. Эти пластины принадлежали двум парам пластин, которые были экспонированы со свинцовым листом 0,33 гр/см², обвитым бумагой (0,1 мм) между противулежащими чувствительными слоями. В паре, которая была экспонирована горизонтально, такие звезды были обнаружены наверника лишь в слое нижней пластины, т. е. под свинцом. Число следов в хорслю раздвинутой звезде находится между 36-ью и 54-ья. Следы принадлежат частицам с зарядами e до $3e$.

Раздвинутая звезда, которой средняя часть представлена на фиг. 1 (табл. XI), содержит 37 центрированных и 4 эксцентричных следа, все это в границе круга диаметра 218 μ . У согнутых следов за начальное направление частицы взята начальная касательная. Сумма порядковых номеров находится около 70-ти, а общая энергия наоколо 140 MeV.

Фиг. 2 (Табла XII) представляет среднюю част более широкого комплекса содержащего около 30-ти центрированных следов. Этот комплекс считается неполным, что подтверждается краткостью следов.

Фиг. 3 (табл. XIII) представляет двойную раздвинутую звезду с центрами вокруг точек (1,1), (2,2). Эта звезда представлена в меньшем увеличении на фиг. 4 (табл. XIV) вместе с комплексом 3-х и 4-х конченых звезд незначительной энергии в его окружении. К центру (1,1)

конвенгируют 36 следов, к центру (2,2) 38, а 9 следов эксцентричны. Три следа действительно разветвлены. У звезды, чей центр находится около (1,1), сумма номеров зарядов приближается к 75, а совокупность энергии её следов выражена в приблизительно 160 MeV.*)

Наибольшая из всех обнаруженных раздвинутых звезд представлена на фиг. 5 и 6 (табл. XV и XVI). Важнейшая часть её содержится в эллиптической плоскости л. 215. 190 μ^2 . Фиг. 6 представляет её среднюю часть. И эта звезда двойная: 54 следа конвергируют к центру около точки (1,1), а 44 к центру около (2,2). Эти числа неточны ввиду того, что для направленных следов, лежащих вокруг направления связующей оба центра, не является возможным определить, к какому центру они в действительности принадлежат. Числа указанные выше получены в результате приписания таких следов к ближайшему центру. Весь этот комплекс содержит еще 12 эксцентричных следов и одну двухконечную звезду. Несмотря на кажущийся, в действительности нет разветвленных следов. В комплексе, который конвергирует к (1,1), 32 следа являются протонскими, 15 из них принадлежит альфа частицам, а 7 числу заряда 3. Аналогичные числа для комплекса направленного к центру (2,2) суть: 20, 16, 5. Это дает в результате 83 как сумму порядковых номеров для звезды направленной к (1,1) и 73 к (2,2). Принимая во внимание выше подчеркнутую неуверенность координации следов, средняя сумма порядковых номеров равна 78. Энергии равны 160 MeV и 145 MeV. Самая длинная долина следов есть 64 μ и 69 μ (59 μ).

В окружении звезды из фиг. 3 и 4 найдены ещё две весьма широкие раздвинутые звезды, более широкие чем звезда из фиг. 2, имеющие около 20-ти следов каждая. И они считаются неполными. Пара пластин, в которой обнаружена звезда из фиг. 3, 4 и эти две широкие раздвинутые звезды, была экспонирована с чувствительными слоями в вертикальном положении.

С одной стороны экспериментальные обстоятельства, с другой суммы порядковых номеров, лежащие между 70 и 80, направляют к объяснению, что раздвинутые звезды представляют полные расщепления свинцовых атомов из наиболее близкой нижней поверхности свинцового листа. Ввиду того что пробег скорых протонов 12 MeV в свинце 200 μ (5), торможением в свинце и в бумаге достаточно объясняется короткость следов. Действительная энергия такой звезды надо определить в 1200 до 1300 MeV. Так называемые неполные раздвинутые звезды, которые значительно более широки, соответствовали бы в таком случае дезинтеграциям атомов, лежащих несколько глубже в свинце.

Против объяснения раздвинутых звезд следами частиц из возможных радиоактивных включений, которые бы находились на свинцовом листе или в бумаге, говорят, прежде всего два факта: а) разнообразие следов в густоте зерен и в толщине зерен; б) нужно было бы предположить наличие только точеных включений одинаковых интенсивитетов в перечнике.

Все обнаруженные раздвинутые звезды были в обеих пластинах аккумулярованы в достаточно малых расстояниях одна от другой. Это в достаточной мере оправдывает предположение, что такой комплекс звезд имел как причину весьма густой ливень частиц неизвестной природы.

Кроме аккумуляции в фиг. 4, обнаружена значительно большая аккумуляция 3-х и 4-х конечных звезд вблизи одной неполной раздвинутой звезды. Эта аккумуляция представлена вместе со звездой на фиг. 7 (табл. XVII). Она находилась в верхней пластине из пары с включенным свинцовым листом. Сама неполная звезда может быть объяснена частицами, выброшенными назад из одной дезинтеграции свинцового атома, лежащего при верхней поверхности свинцового листа.

*) Для звезды с центром около (2,2), более сжатой, не было возможно провести полный анализ следов, ввиду того что большое число следов спускается очень отвесно в глубину.

Эксцентричные следы в границах одной раздвинутой звезды могут быть объяснены как следы частиц отброшенных от нейтронов, которые вылетели в результате дезинтеграции свинцевого атома. Ввиду того что по Кортини и Манфредини так называемый переходящий эффект в свинце характеризуется увеличением числа 2-х до 4-х кратких звезд, можно было бы по предварительным аккумуляциям таких звезд, этот эффект объяснить действием нейтронов выброшенных из дезинтеграций произошедших внутри свинцовой массы.

MARIN KATALINIĆ

TOTAL DISINTEGRATIONS OF LEAD ATOMS BY COSMIC RAYS

(Excerpt)

In the sensitive layers of two photographic plates (Agfa K-plates), exposed some years ago at a height of 1016 m., were found by the author several large groups of short tracks converging very preponderantly to one well defined centre or to two. Such a group of centred tracks is denominated "widened star"; in the case of two centres it is a double widened star. These two plates belonged to two pairs of plates which were exposed having a lead foil 0,33 gr./cm.² between the opposite sensitive layers. The lead foil was moreover covered on both sides by a paper sheet 0,1 mm. thick. In a pair, which was exposed lying horizontally, widened stars were found with certainty in the sensitive layer of the lower plate only, i. e. under the lead foil. The number of tracks forming a well grown-up widened star fluctuates between 36 and 54. The tracks belong to the particles having the charges between e and 3 e.

The widened star, the central part of which is exhibited in Fig. 1 (Plate XI), contains 37 centred tracks and 4 eccentric ones in a circular area of 218 μ . diameter. In the incurved tracks the initial tangent was assumed as the initial direction of the particle. The sum of charges amounts to 70 units of charge and the sum of energies is about 140 MeV.

In Fig. 2 (Plate XII) the central part of a wider group of nearly 30 centred tracks is exhibited. In accordance with the fact, that the tracks are generally shorter than in other widened stars, this group is assumed as an incomplete widened star.

In Fig. 3 (Plate XIII) a double widened star having its centres about the points (1, 1) and (2, 2) is recorded. The same subject is seen in Fig. 4 (Plate XIV) together with a group of 3- and 4-prong stars in its neighbourhood in a lesser magnification than the foregoing Figure. To the centre about (1, 1) converge 36 tracks, to that about (2, 2) 38 tracks, and 9 tracks are eccentric. Three tracks are really ramified, this fact pointing to a subsequent radioactive decay of the particle. The sum of charges in the group converging to the centre (1, 1) is nearly 75 e; the sum of energies of the tracks in the same group is about 160 MeV. — A complete analysis of the more condensed group of tracks converging to (2, 2) was hindered by the excessive steepness of a considerable part of them.

The largest of the subjects of this kind is exhibited in Fig. 5 and 6 (Plates XV and XVI). Its main part is contained in an elliptical area $\pi \cdot 215 \cdot 190 \mu^2$. Fig. 6 represents its kernel. This widened star is also double: 54 tracks converge to the centre about (1, 1), 44 ones converge to that about (2, 2). The whole contains moreover 12 eccentric tracks and a 2-prong

star. There are no ramified tracks, in spite of appearances. In the group converging to (1, 1) there are 32 protonic tracks, 15 tracks belong to alpha particles and 7 to the charge numbers 3. In the other group 20 tracks were assigned to protons, 16 to alpha particles and 5 to the charge number 3. The above coordination of the centred tracks to the individual centres about (1, 1) and (2, 2) gives 83 e as the sum of charges for (1, 1) and 73 e for (2, 2). Thus 78 e results as the average sum, the uncertainty being due mainly to the impossibility of referring correctly to either of the two individual centres the centred tracks lying about the direction of their junction-line. The sums above were obtained by coordinating the tracks in this critical zone to their nearer centre. — The total energies amount to 160 MeV and 145 MeV respectively. The maximal lengths of single tracks (alpha- and protonic) are 64μ and 69μ (59μ).

In the near neighbourhood of the widened star recorded in Figs. 3. and 4 two more very widened stars, wider than that in Fig. 2, were found. They consisted of nearly 20 tracks each. They also were assumed as incomplete widened stars. The pair of plates, where these three widened stars were found, was exposed with its sensitive layers — with lead foil between them — vertical.

The experimental conditions on the one side, and on the other side the nearly constant sum of charges, lying between 70 e and 80 e, point to the interpretation of the widened stars as total disintegrations of lead atoms lying in the nearest vicinity of the lower surface of the lead foil. The mean range of 12 MeV protons in lead being only 200 μ . (5), the shortness of the tracks is sufficiently explained by the stopping powers in lead and in paper sheet. The real initial energies of such a disintegration have to be estimated at 1200 to 1300 MeV. The so-called incomplete widened stars, which are extended over a larger area and consist of shorter tracks, had then to correspond to the total disintegrations of lead atoms lying somewhat deeper in the lead mass.

An interpretation of widened stars as caused by tracks of alpha particles ejected by radioactive inclusions, contained possibly in lead foil or in paper sheet, seems to be refuted mainly by two facts: a) the observed diversity of the tracks with regard to the grain-density and to the grain-thickness, and b) strictly point-like radioactive inclusions having approximately equal intensities ought then to be assumed. Moreover, no similar formations were found in pairs of plates with interposed lead foil but exposed at 145 m. and also in pairs without lead foil, exposed at 1016 m.

All widened stars in the two plates were accumulated in small distances between them. This fact seems to justify sufficiently the assumption, that such a group of widened stars was originated by a very narrow burst of corpuscles of unknown nature.

Besides the above mentioned agglomeration of 3- and 4-prong stars in the vicinity of a widened star (Fig. 4), another such agglomeration, and considerably larger, is recorded in Fig. 7 (Plate XVII), consisting of a well centred group of 9 tracks, nine 3- and 4-prong stars and many single tracks. This agglomeration having been found in the sensitive layer of the upper plate of a pair exposed horizontally, i. e. in the sensitive layer lying above the lead foil, the centred group may be interpreted as caused by particles ejected backward in a disintegration of a lead atom lying in the vicinity of the upper surface of the lead foil. On the other side, the eccentric tracks in the area of a widened star may be interpreted as recoil-tracks originated by neutrons ejected in the same total disintegration of lead atom. The relative transition effect in lead being characterized, according to Cortini and Manfredini (20), by an increase of the 3- and 4-prong stars, this effect, by the argument of the agglomerations above, may be interpreted as generated by the neutrons emitted in the disintegrations of lead atoms within the lead mass.