Van Allenovi pojesevi zračenja

Loboda, Valentin

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:651393

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

VAN ALLENOVI POJASEVI ZRAČENJA

Završni rad

Valentin Loboda

Osijek, 2021.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 13.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Ime i prezime studenta:	Valentin Loboda
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo
Mat. br. studenta, godina upisa:	R4087, 28.07.2017.
OIB studenta:	07629192379
Mentor:	Doc.dr.sc. Marina Skender
Sumentor:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Nenadić
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Van Allenovi pojesevi zračenja
Znanstvena grana rada:	**Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika)**
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	13.09.2021.
Datum potvrde ocjene Odbora:	22.09.2021.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 28.09.2021.

Ime i prezime studenta:	Valentin Loboda
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo
Mat. br. studenta, godina upisa:	R4087, 28.07.2017.
Turnitin podudaranje [%]:	0%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Van Allenovi pojesevi zračenja**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Marina Skender

i sumentora Izv. prof. dr. sc. Krešimir Nenadić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1. UVOD 1

2. ŠTO SU VAN ALLENOVI POJASEVI ZRAČENJA 2

2.1. Povijest otkrića Van Allenovih pojaseva 3

2.2. Usporedba Van Allenovih pojaseva 7

2.3. Kretanje Van Allenovih pojaseva 11

3. MAGNETIZAM ZEMLJE 14

3.1. Južnoatlantska anomalija 17

4. UTJECAJ RADIOVALOVA NA VAN ALLENOVE POJASEVE 18

5. PRIVREMENI VAN ALLENOVI POJASEVI ZRAČENJA 21

6. UTJECAJ VAN ALLENOVIH POJASEVA NA SVEMIRSKA PUTOVANJA 24

7. POJASEVI ZRAČENJA DRUGIH PLANETA 27

8. ZAKLJUČAK 28

SAŽETAK 29

ABSTRACT 29

LITERATURA 30

ŽIVOTOPIS 32

POPIS SLIKA 33

POPIS TABLICA 34

1. UVOD

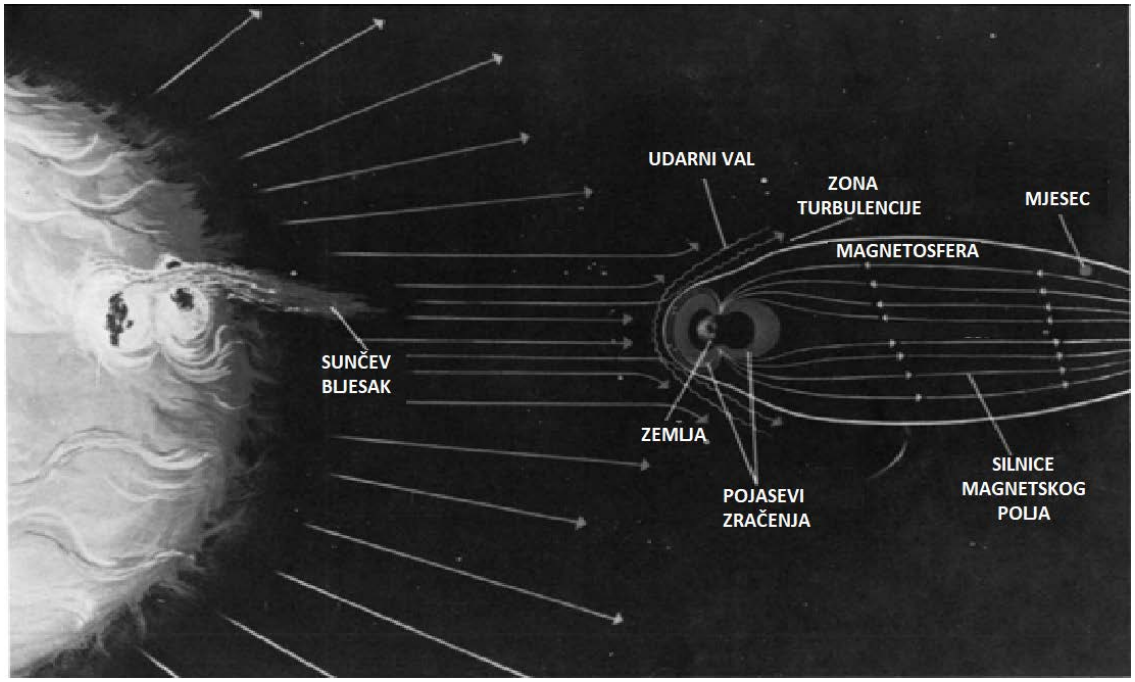
Svemir je oduvijek djelovao mistično i nedokučivo. Još od antičkih vremena znanstvenici i filozofi pokušavali su objasniti svemirske pojave promatrajući kretanje nebeskih tijela vidljivih sa Zemlje te primjenjujući tada poznate spoznaje i prirodne zakone postavljali teze i dolazili do zaključaka, od kojih je dio i danas prihvaćen. Znanstvenim otkrićima i razvojem tehnologije te 1957. godine lansiranjem prvog satelita u orbitu Zemlje počinje Svemirska era čovječanstva. Tada postaje moguće slati svemirske letjelice u orbitu Zemlje, do Mjeseca i dalje po Sunčevom sustavu te vršiti *in situ* mjerenja. Upravo u to vrijeme dolazi do otkrića Van Allenovih pojaseva zračenja.

U ovom završnom radu u prvom poglavlju su okarakterizirana dva Zemljina Van Allenova pojasa, dana je povijest njihovog otkrića, objašnjeno je od kojih su čestica pojasevi sačinjeni i koje je njihovo podrijetlo, opisane su razlike unutarnjeg i vanjskog pojasa te je objašnjeno kretanje čestica unutar pojaseva. U drugom poglavlju opisano je magnetsko polje Zemlje, koje omogućuje postojanje Van Allenovih pojaseva zračenja te je opisana Južnoatlantska anomalija. U trećem poglavlju opisane su neočekivane deformacije Van Allenovih pojaseva nastale uslijed djelovanja radio tehnologije. U četvrtom poglavlju opisani su tzv. privremeni Van Allenovi pojasevi zračenja te umjetno stvoreni pojasevi zračenja nastali uslijed detonacija nuklearnog oružja na visokim nadmorskim visinama. U petom poglavlju opisan je utjecaj Van Allenovih pojaseva na svemirska putovanja, dok je u šestom poglavlju dan popis planeta u čijim su magnetosferama otkriveni Van Allenovi pojasevi zračenja

Cilj ovog rada je upoznati čitatelja s Van Allenovim pojasevima i objasniti razne čimbenike koji utječu na njih.

2. ŠTO SU VAN ALLENOVI POJASEVI ZRAČENJA

Van Allenovi pojasevi zračenja pojasevi su visoko energetski nabijenih čestica zarobljenih na visokim nadmorskim visinama u Zemljinom magnetskom polju. Pojasevi su dobili ime po Jamesu A. Van Allenu, američkom fizičaru koji ih je otkrio 1958. godine koristeći podatke s U.S. Explorer satelita. Većina čestica zarobljenih u Van Allenovim pojasevima zračenja dolazi od Sunčevog vjetra, a ostaju zarobljene i zadržane od strane Zemljine magnetosfere. Zemlja ima dva Van Allenova pojasa, no povremeno ih se može pojaviti i više. Dva glavna Van Allenova pojasa rasprostranjena su na visini od 640 do 58 000 km nadmorske visine nad ekvatorijalnim dijelom Zemlje te se razina zračenja razlikuje na različitim visinama. Pojasevi su smješteni u unutarnjem dijelu Zemljinog magnetskog polja. Pojasevi zarobljavaju energizirane protone, elektrone i jezgre kao što su alfa čestice* kojih je u manjim količinama.[10] Pojasevi zračenja stvaraju nepovoljnu okolinu satelitima, stoga se osjetljivi elektronički sklopovi satelita trebaju zaštititi ukoliko provode značajnije vrijeme u blizini, ili unutar, Van Allenovih pojaseva. 2013. godine NASA je otkrila treći, privremeni, Van Allenov pojas koji su promatrali četiri tjedna prije njegova nestanka uslijed snažnog Sunčevog međuplanetarnog udarnog vala.



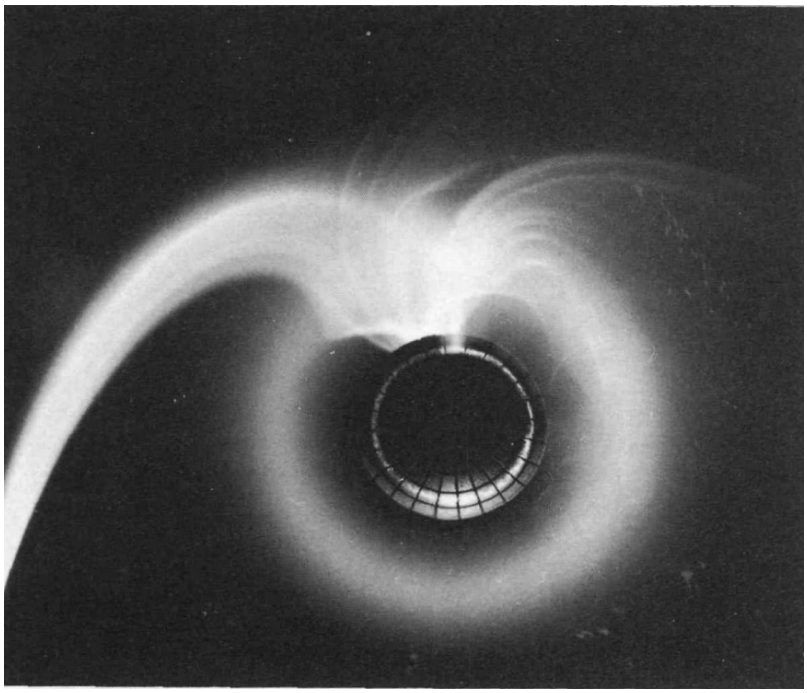
Slika 1 Položaj Van Allenovih pojaseva zračenja u odnosu na Zemlju, Mjesec te prikaz dolaska čestica Sunčevog vjetra u magnetosferu.[1]

*Alfa čestice- Jezgre atoma helija

2.1. Povijest otkrića Van Allenovih pojaseva

Termin „Van Allenov pojas“ koristi se za pojas zračenja koji okružuje planet Zemlju, no to nije jedini pojas zračenja oko nekog planeta u svemiru. Slični pojasevi otkriveni su oko ostalih planeta koji sadrže dovoljno željeza u svojoj jezgri kako bi imali svoju magnetosferu, drugim riječima planete koje imaju dovoljno jako magnetsko polje, također imaju pojaseve zračenja.

Mogućnost postojanja pojaseva zračenja oko Zemlje istraživana je još prije svemirske ere. Krajem 1957. godine znanstvenici su došli do teorijskih zaključaka koji potvrđuju mogućnost postojanja područja oko Zemlje gdje električki nabijene čestice ostaju dulje vremena zarobljene. Važna istraživanja koja su dovela do te teze počela su se provoditi od 1905. godine i predvodio ih je znanstvenik Carl Størmer. Više neovisnih laboratorija provodilo je pokuse na terrelli (lat. „mala Zemlja“) te su svi potvrdili Størmerovu teoriju zabranjene zone*. Pokusi simulacije magnetosfere su pokazali da su električki nabijene čestice ispaljene prema terrelli uspjele probiti u zabranjenu zonu te tamo ostale zarobljene.

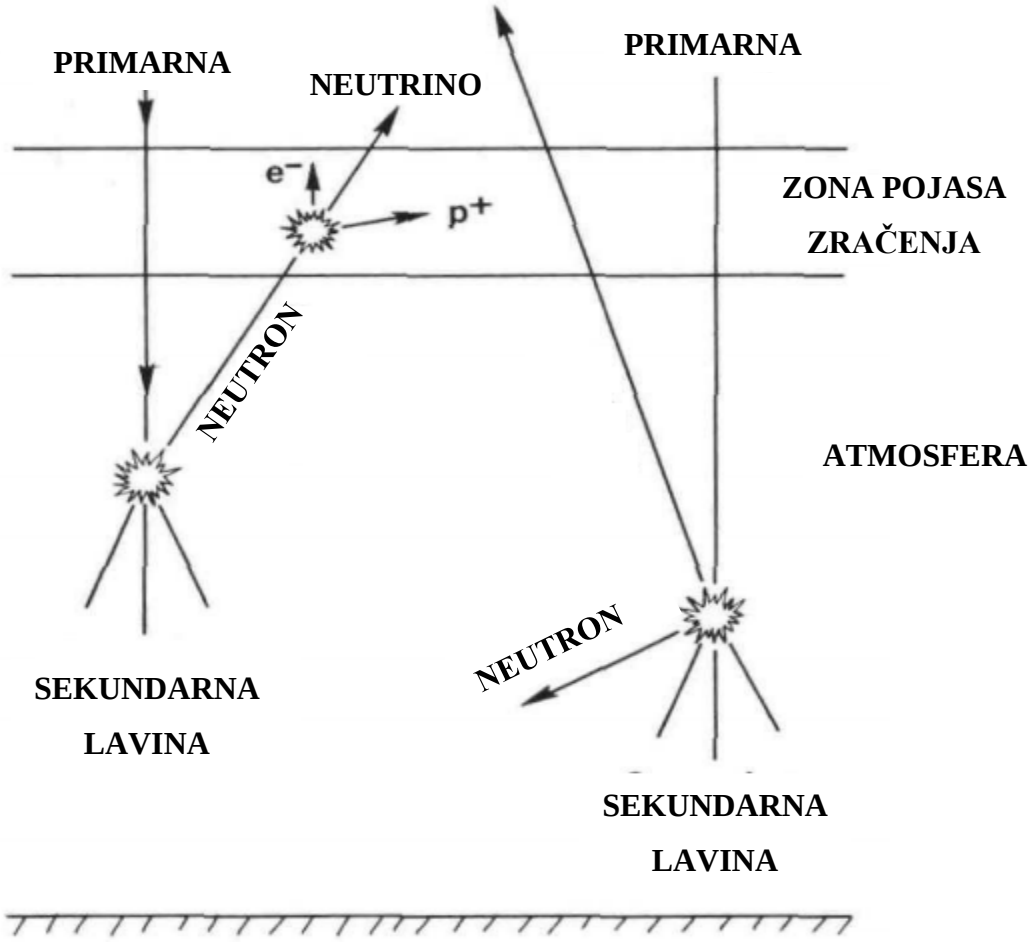


Slika 2 Prikaz pokusa na terrelli. Magnetizirana kugla, koja predstavlja Zemlju, smještena u vakumsku komoru, bombardirana je električki nabijenim česticama, što se na slici vidi kao svijetli tragovi. Gledajući magnetski pol iz ptičje perspektive, jasno je vidljiv obruč zarobljenih čestica. Fotografiju je uslikao William H. Bennett koristeći „Størmetar“.[1]

*Zabranjene zone- stari naziv Van Allenovih pojaseva, prije njihova otkrića

Bitna teza koja je potkrepljivala mogućnost postojanja pojaseva zračenja je teza koju su Størmer i skupina znanstvenika razvili kako bi objasnili poremećaje unutar magnetosfere. Ova teorija govori da električki nabijene čestice u Zemljinoj orbiti stvaraju sekundarno magnetsko polje koje slabi ili ojačava Zemljino magnetsko polje kao što to rade elektromagneti. Ova teza nije bila popularna među znanstvenicima te je samo nekolicina očekivala da će ju sateliti potvrditi. Istraživanja tri znanstvenika, objavljena 1957.godine, učinila su otkriće Van Allenovih pojaseva neizbježnim. 1947. godine poznati astrofizičar Hannes Alfvén prikazao je kako bi visoko energizirane Sunčeve kozmičke zrake mogle biti magnetski raspršene u zabranjenu zonu uz pomoć međuplanetarne materije te je tako objašnjen prvi mehanizam nastanjivanja čestica unutar Van Allenovog pojasa zračenja. 1956. godine Fred Singer predložio je još dva mehanizma nastanjivanja čestica unutar Van Allenovog pojasa. Prvi mehanizam objašnjava da se jedna čestica vjerojatno ne može probiti u zabranjenu zonu, ali elektromagnetskim međudjelovanjem više čestica probijanje u zabranjenu zonu postaje moguće. Drugi Singerov mehanizam, tzv. neutronski albedo, objašnjava da neutroni nastaju u višim slojevima zemljine atmosfere uslijed sudara primarnih čestica visoko energiziranih Sunčevih kozmičkih zraka s jezgrama atoma zraka. Prilikom sudara neki neutroni odaslani su gore i prolaze kroz zabranjenu zonu. Slobodni neutroni su nestabilne čestice koje imaju poluživot od samo 11.3 minute te se raspadaju u proton, elektron i neutrino. Ukoliko do razlaganja neutrona dođe unutar zabranjene zone, u njoj ostaju elektron ili proton (Slika 3.). Nedugo nakon Singerovih prijedloga mehanizama nastanjivanja čestica unutar Van Allenovog pojasa, Nicolas Christofilos predložio je, u tada tajnoj zajednici za atomsku energiju, da bi manja nuklearna oružja detonirana na većim nadmorskim visinama mogla ubrizgati nabijene čestice u zabranjenu zonu. Christofilos je predstavio detaljnu teoriju koja prikazuje kako bi umjetno stvorene čestice nastale eksplozijom nuklearnog oružja nakon nekog vremena nestale uslijed sudaranja s molekulama atmosfere. Christofilos je također prihvatio Singerovu neutronski albedo teoriju mehanizma nastanjivanja čestica unutar Van Allenovog pojasa. Izvješće Christofilos Nicolasa nije bilo dostupno znanstvenicima do 1958. godine kada je provedena operacija Argus u kojoj su Sjedinjene Američke Države detonirale tri nuklearne rakete na velikoj nadmorskoj visini.[1]

4.10.1957. godine, na dan lansiranja Ruskog Sputnik 1 satelita, koji je ujedno i prvi satelit ikad poslan u Zemljinu orbitu te je njegovim lansiranjem započela svemirska era, bilo je opće poznato da bi električki nabijene čestice mogle biti zarobljene u područjima oko Zemlje, no nisu postojali jasni dokazi koji potvrđuju postojanje takvih čestica. Svi predloženi mehanizmi nastanjivanja čestica unutar Van Allenovog pojasa imali su smisla, no unatoč svim pripremama na otkriće Van Allenovih pojaseva zračenja, konačno otkriće je bilo veliki šok u znanstvenoj zajednici jer nitko nije očekivao da su područja zarobljenih čestica toliko velika i gusto nastanjena visoko energiziranim česticama.



Slika 3 Prikaz Singerovog neutronski albedo mehanizma nastanjivanja čestica unutar Van Allenovog pojasa.[1]

Sputnik 1 bio je prvi izum koji je dospio u Zemljinu orbitu, Rusi nikada nisu potvrdili je li Sputnik 1 na sebi imao detektore zračenja. Četiri tjedna kasnije, 3.11.1957. godine, Rusi su lansirali Sputnik 2 satelit u Zemljinu orbitu koji je na sebi imao detektore zračenja. 1958. godine znanstvenik S. N. Vernov izvijestio je da je satelit Sputnik 2 detektirao značajnu količinu zračenja na velikoj nadmorskoj visini, sličnu zračenju koje je Van Allen zabilježio tijekom svojih pokusa prije konačnog otkrića. Da je Sputnik 2 bio bliže ruskim telemetrijskim stanicama tijekom boravka na najvećoj nadmorskoj visini do koje je išao, Vernov bi imao odliku otkrića Van Allenovih pojaseva zračenja. Sjedinjene Američke Države, potaknute uspjehom lansiranja Sputnik satelita u Zemljinu orbitu, pokreću Vanguard program, pod vodstvom Jamesa Van Allena na sveučilištu Iowa, u kojem je 31.1.1958. Explorer 1 bio prvi satelit poslan u zemljinu orbitu. Explorer 1 na sebi je nosio Geiger-Müller(GM) brojač za mjerenje zračenja. Izmjerena količina zračenja bila je približno jednaka pretpostavljenim vrijednostima kada je satelit bio na nadmorskoj visini manjoj od 600 km. Na nadmorskim visinama iznad 800 km izmjerena razina zračenja drastično se povećala toliko da je GM bio zasićen te prikazivao da ne postoji zračenje, no kvarovi i zastoji su bili očekivani. S obzirom da je GM počeo raditi čim se spustio na nižu nadmorsku visinu zasićenje GMa bilo je jedino razumno objašnjenje. Do zasićenja je došlo zbog razine zračenja 15 000 puta veće od očekivane.[1]

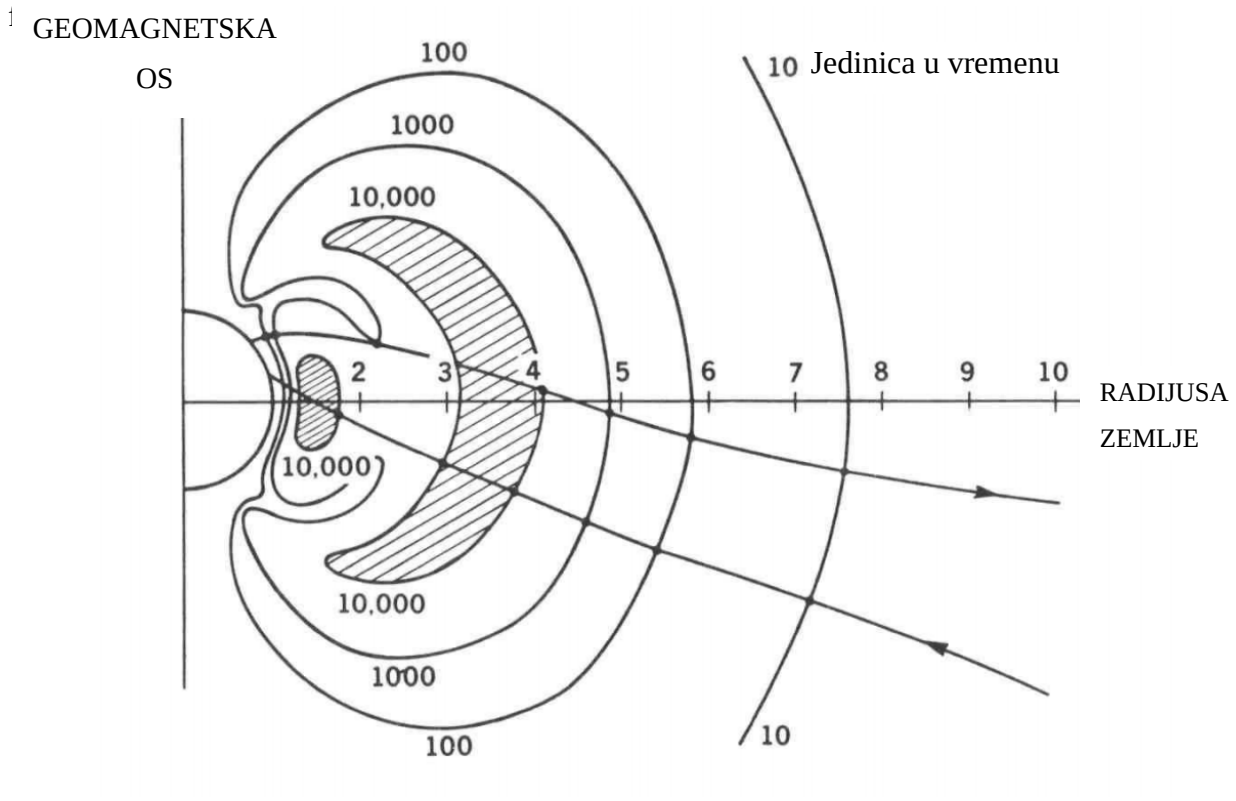
1.5.1958. na sastanku Nacionalne akademije znanosti i Američkog društva fizičara u Washingtonu, Van Allen je zaključio da je zemlja okružena pojasevima zarobljenih čestica.

Zarobljeni pojasevi zračenja prvi puta su detaljnije mapirani i bili bolje opisani nakon mapiranja pojaseva odrađenih Explorer 4, Pioneer 3 i Luna 1 ekspedicijama.

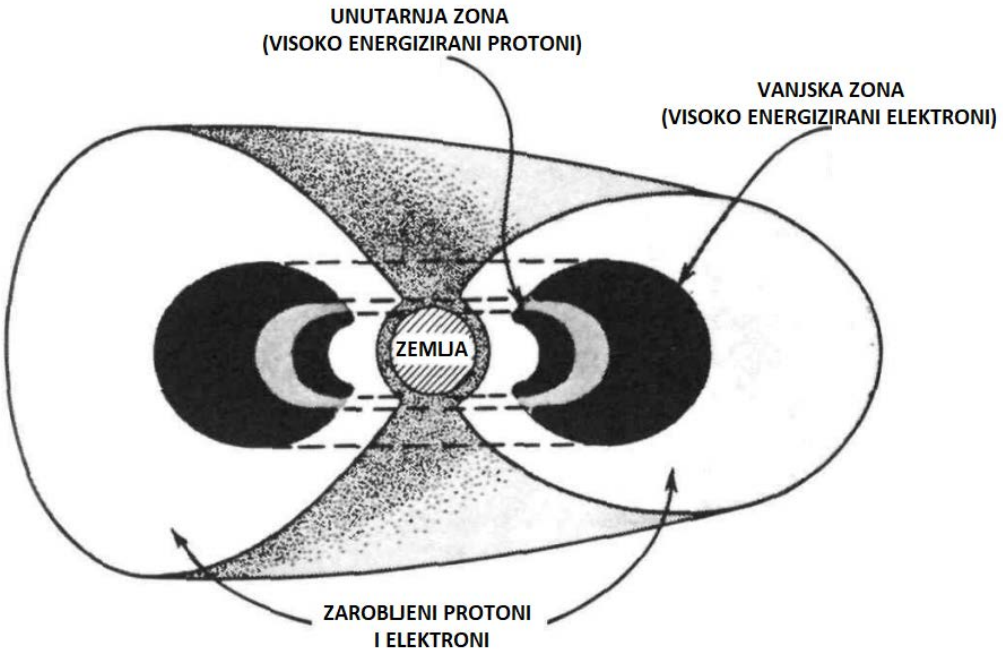
2.2. Usporedba Van Allenovih pojaseva

Prvo mapiranje Van Allenovih pojaseva zračenja konstruirano je pomoću podataka s Explorer 4 satelita i svemirske sonde Pioneer 3. Mapirani prikaz Van Allenovih pojaseva jedno je od najobjavljivanijih svemirskih istraživanja. Mapa Van Allenovih pojaseva prikazuje izokonture simetrične u odnosu na Zemljinu geomagnetsku os (Slika 4.).U dva područja izmjerene su iznimno velike količine zračenja: unutarnje u obliku graha i vanjsko oblika polumjeseca. GM cijevi korištene na Explorer satelitima visokom su preciznošću detektirale protone i elektrone, no nisu ih mogle razlikovati. Također, GM senzor nije otkrio ništa o energiziranim česticama koje se nisu zadržavale u Van Allenovom pojasu, stoga je bilo potrebno pronaći bolju metodu mjerenja. Sputnik 3 i Explorer 4 prvi su sateliti koji su na sebi imali i scintillatorski detector koji oslobađa svjetlost pri prisutnosti ionizirajućeg zračenja što je doprinijelo mogućnosti detaljnijeg mapiranja pojaseva zračenja. Bitan utjecaj na mjerenja zračenja imali su i senzori zračenja obavijeni različitim debljinama zaštitnih materijala jer zaštitni materijali, primjerice aluminij, jače prigušuju tok protona nego tok elektrona, uslijed čega je napokon bilo moguće razlikovati protone i elektrone unutar pojaseva zračenja. Iako su provedena brojna lansiranja satelita u Zemljinu orbitu, s raznim izumima za mjerenje zračenja, u svrhu mapiranja Van Allenovih pojaseva zračenja, mapiranje Van Allenovih pojaseva napredovalo je jako sporo ne samo zbog nemogućnosti razlikovanja protona i elektrona, već i zbog stalnih promjena oblika i konzistencije pojaseva uslijed Sunčevih ciklusa, Sunčevih oluja koje su ubrizgavale nove čestice u pojaseve. Uz te poteškoće također je bitno naglasiti da je detonacija nuklearnog oružja na visokim nadmorskim visinama također utjecala na oblik Van Allenovih pojaseva zračenja.[1]

Kontinuiranim pokušajima mapiranja Van Allenovih pojaseva zračenja potvrđeno je da dva pojasa, prikazana na ranijim kartama pojaseva (Slika 4.), zapravo se spajaju u jedan prostran toroidalni oblik u čijem je centru Zemlja. Uslijed uspješnog raspoznavanja protona, elektrona i njihove energiziranosti uz pomoć preciznih mjernih instrumenata možemo odrediti dvije zone: unutarnju zonu visoko energiziranih protona i vanjsku zonu visoko energiziranih elektrona. Između se nalazi isječak u kojem se nalaze nisko energizirane čestice (Slika 5.)



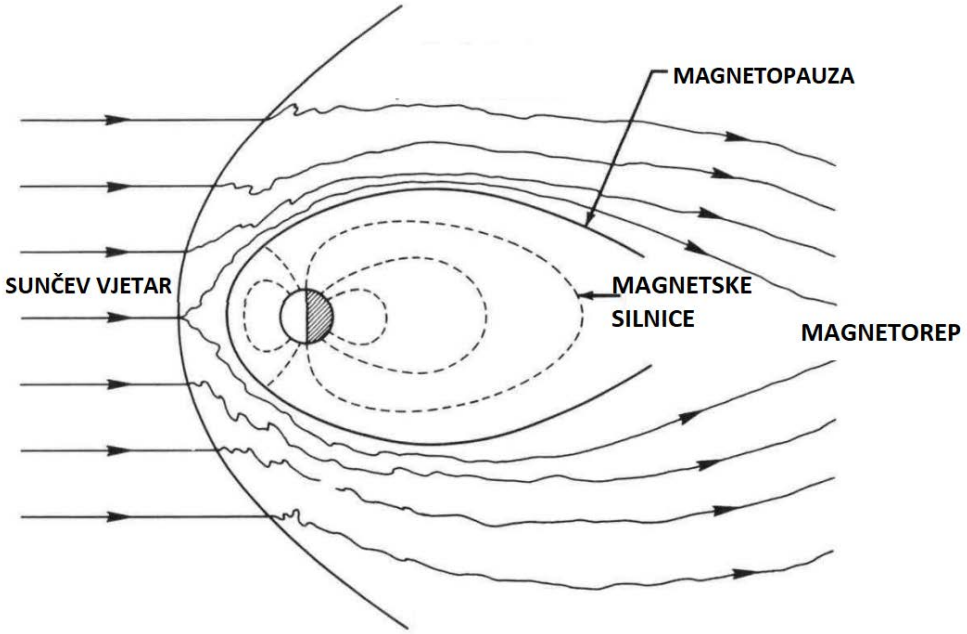
Slika 4 Mapirani prikaz Van Allenovih pojaseva zračenja.[1]



Slika 5 prikaz zona Van Allenovog pojasa zračenja.[1]

Unutarnji Van Allenov pojas jest pojas bliži površini Zemlje, toroidalnog je oblika, nalazi na visini od 0.2 do 2 radijusa Zemlje odnosno na visini od 1000 km do 12 000 km od površine planeta Zemlje. U specifičnim slučajevima, kada je Sunčeva aktivnost jača ili u geografskim područjima poput južnoatlantske anomalije, u određenom području Zemljino magnetsko polje biva najslabije u odnosu na polje idealiziranog dipolnog magnetskog dipola. U tom području Van Allenov pojas dolazi na udaljenost od samo 200 km nadmorske visine. Unutarnji Van Allenov pojas sadrži visoke koncentracije elektrona u rasponu od tisuću elektronvolta(1000 keV) do energiziranih protona s energijom koje nadilaze stotine mega elektronvolta (100 MeV) zarobljenih u jačem dijelu magnetskog polja (silnice bliže površini Zemlje) u odnosu na vanjski pojas.

Pretpostavlja se da su energizirani protoni koji nadilaze 50 MeV u unutarnjem Van Allenovom pojasu nastali beta raspadom neutrona nastalog zbog sudaranja visoko energiziranih Sunčevih kozmičkih zraka s jezgrama atoma viših dijelova Zemljine atmosfere. Smatra se da protonskom difuzijom, nastalom tijekom promjena u magnetskom polju uslijed geomagnetskih oluja, nastaju protonske čestice nižih energija.



Slika 6 Konceptualni prikaz toka Sunčeve plazme oko magnetosfere.[1]

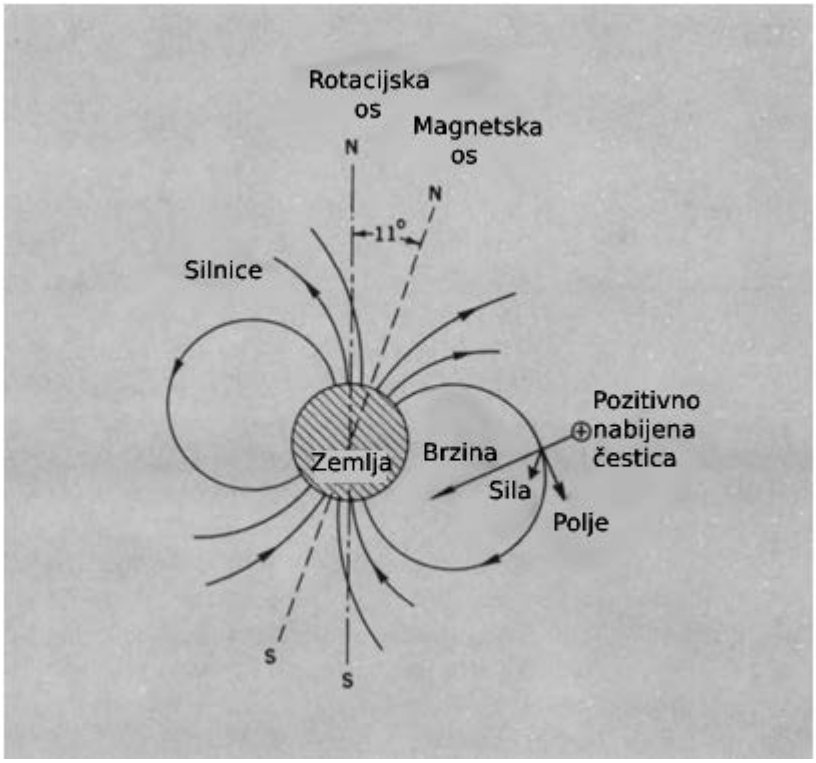
Vanjski Van Allenov pojas je pojas je udaljeniji od površine Zemlje, a nalazi se na visini od 3 do 10 radijusa Zemlje odnosno na visini od 13 000 km do 60 000 km od površine planeta Zemlje. Vanjski Van Allenov pojas sastoji se pretežno od visoko energiziranih elektrona u rasponu od 0.1 do 10 MeV. Za razliku od unutarnjeg pojasa, kojeg drži jače magnetsko polje, vanjski Van Allenov pojas drži slabije magnetsko polje i izloženiji je utjecaju Sunca što ga čini nestabilnijim i podložnijim promjenama toroidalnog oblika. Najveća gustoća i intenzitet vanjskog Van Allenovog pojasa je na udaljenosti 4 do 5 radijusa Zemlje. Vanjski pojas zračenja većinski je nastao radijalnom difuzijom prema unutra i lokalnom akceleracijom nastalom prijenosom energije sa „zviždajućih“ (whistler-mode) valova na elektrone unutar Van Allenovog pojasa. Elektroni iz vanjskog pojasa zračenja kontinuirano se uklanjaju iz pojasa uslijed sudaranja sa Zemljinom atmosferom, gubitaka u magnetopauzu te uslijed njihove vanjske radijalne difuzije. Giroradijus energiziranih protona bio bi dovoljno velik da ih dovede u kontakt sa Zemljinom atmosferom. Rubni elektroni, koji su blizu magnetopauze vanjskog Van Allenovog pojasa imaju veliki tok, gdje se silnice geomagnetskog polja izduljuju u geomagnetski rep.

2014. godine otkriveno je da je unutarnji rub vanjskog Van Allenovog pojasa karakteriziran naglim prijelazom, ispod kojeg visoko energizirani elektroni (>5 MeV) ne mogu proći. Do ove pojave dolazi zbog ionosfere. Niskofrekventno zračenje zaustavljeno visoko u atmosferi stvara drugi Zemljin lukobran. Ionizacijom atoma kisika i dušika dolazi do pojave slobodnih elektrona, na visinama od 56 do 320 km nadmorske visine, koji odbijaju niskofrekventne radiovalove. Sjedinjeno te slojeve nazivamo ionosferom.

Populacija čestica vanjskog pojasa raznolikija je od unutarnje te se konstantno izmjenjuje. Količina energiziranih čestica može naglo rasti i padati uslijed geomagnetskih oluja, koje su rezultat promjena Zemljinog magnetskog polja i poremećaja uzrokovanih fluktuacijama u Sunčevom vjetru koji dolazi od Sunca. Povećanje koncentracija čestica posljedica je Sunčeve aktivnosti koja konstantno nanosi čestice u vanjski pojas i ubrzanja čestica u magnetorepu, dok se kroz magnetopauzu i sudaranje s atmosferom čestice konstantno izbijaju iz pojasa.

Vanjski Van Allenov pojas čine elektroni i razni ioni. Većina iona je u obliku energiziranih protona, no dio su alfa čestice i O^+ ioni kisika, slični onima iz ionosfere no puno energiziraniji. Upravo zbog raznolikosti ovog pojasa smatra se da čestice dolaze iz raznih izvora.

2.3. Kretanje Van Allenovih pojaseva



Slika 7 Magnetsko polje Zemlje, nagnuto 11° u odnosu na os rotacije. Točna lokacija magnetskih polova varira vremenom. Dolazeća pozitivno nabijena čestica bit će prisiljena promijeniti putanju kako je prikazano na slici.[1]

Savršeni dipol, kako je prikazano na slici 7. poprilično je sličan stvarnom magnetskom polju Zemlje te ga možemo koristiti kao model za razumijevanje zaštite od električki nabijenih čestica koje dolaze sa Sunca. Sila na električki nabijenu česticu biti će okomita i na smjer magnetskog polja i na smjer u kojem čestica propagira. Ta zakrećuća sila, F, dana je jednostavnom jednadžbom:

$$F = qvB \cdot \cos(v, B)$$

gdje je: q =električni naboj u kulonima

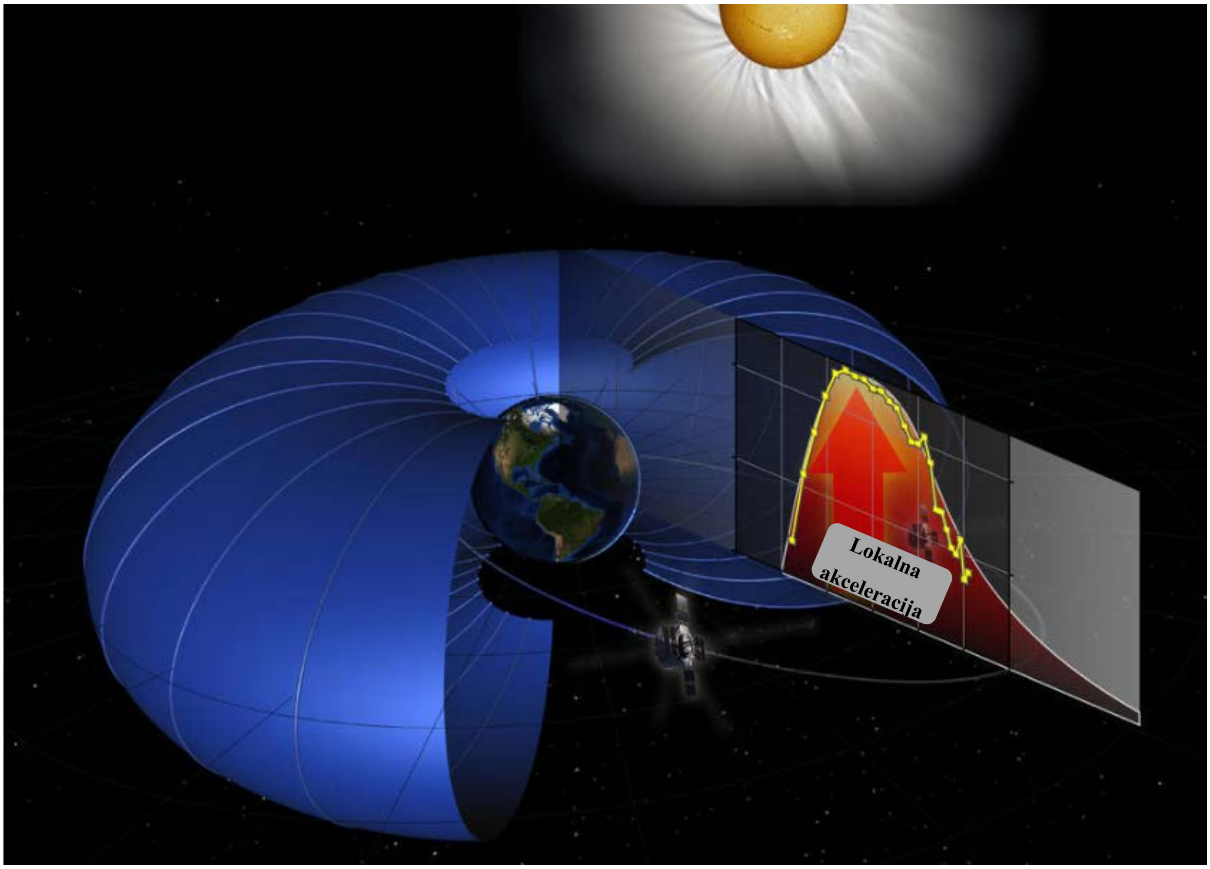
v = brzina čestice u metrima po sekundi

B = jakost magnetskog polja u weberima po kvadratnom metru

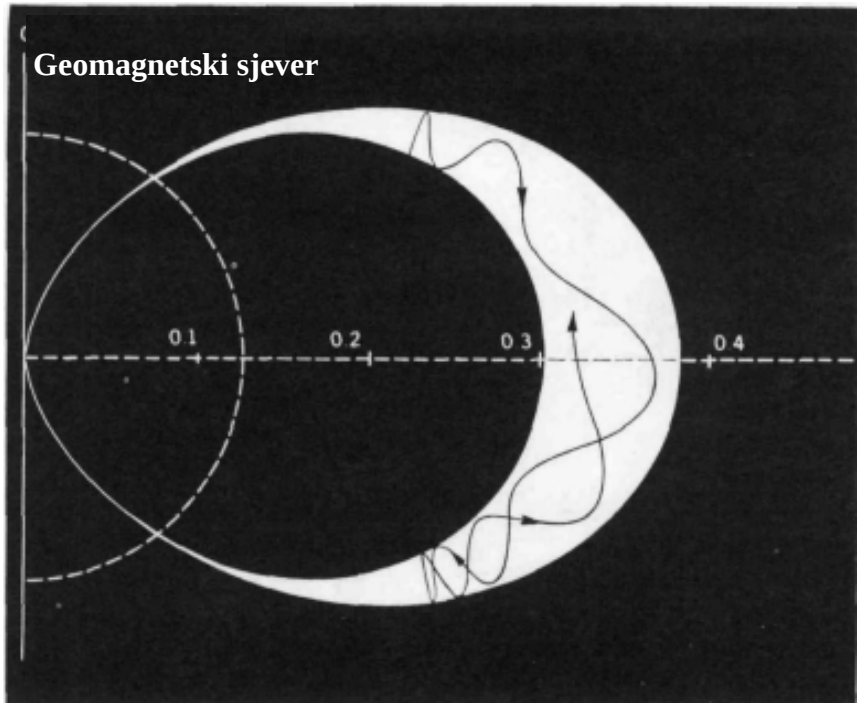
cos(v, B) = kosinus kuta između brzine čestice i smjera magnetskog polja

Rezultantna sila okomita je na vektor brzine i magnetsko polje. Električki nabijena čestica, koja se približava Zemlji iz svemira, biti će vraćena ako je bila usmjerena na ekvator. S druge strane neće uopće biti otklonjena ako stigne na putanji paralelnoj sa Zemljinom magnetskom osi na magnetskim. Stoga možemo zaključiti da je Zemlja obavijena magnetskim štitom koji je otvoren na polovima, a najjači u prostoru iznad ekvatora. Čestice Sunčevog vjetra ne dospijevaju u višu atmosferu Zemlje zbog toga što su njihove nabijene čestice vraćene od Zemljinih magnetskih silnica. S druge strane visoko energizirane Sunčeve kozmičke zrake, za razliku od čestica Sunčevog vjetra, vrlo lako probijaju Zemljin magnetski štit kao da on uopće ne postoji.

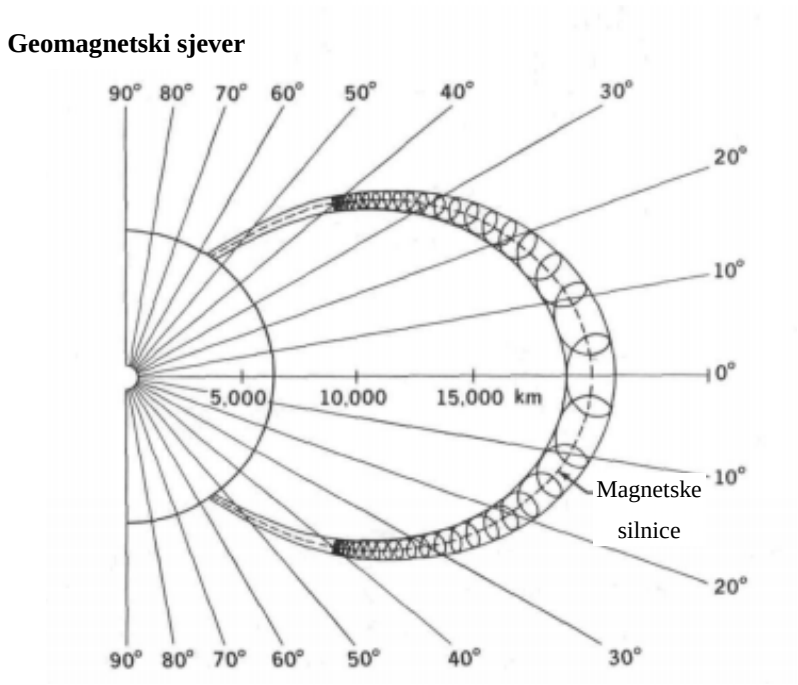
Nakon inicijalnog ulaska u magnetsko polje Zemlje, čestice se nastavljaju gibati te međusobnim sudaranjem prenose energiju s jedne na drugu uslijed čega se mjestimično ubrzavaju do čak 99% brzine svjetlosti, što je vidljivo na slici broj osam.[9]



Slika 8 Prikaz mjestimične akceleracije čestica unutar Van Allenovog pojasa[9].



Slika 9 Stormerov dijagram prikazuje kako bi se čestice ponašale ukoliko bi ušle u zabranjenu zonu.[1]

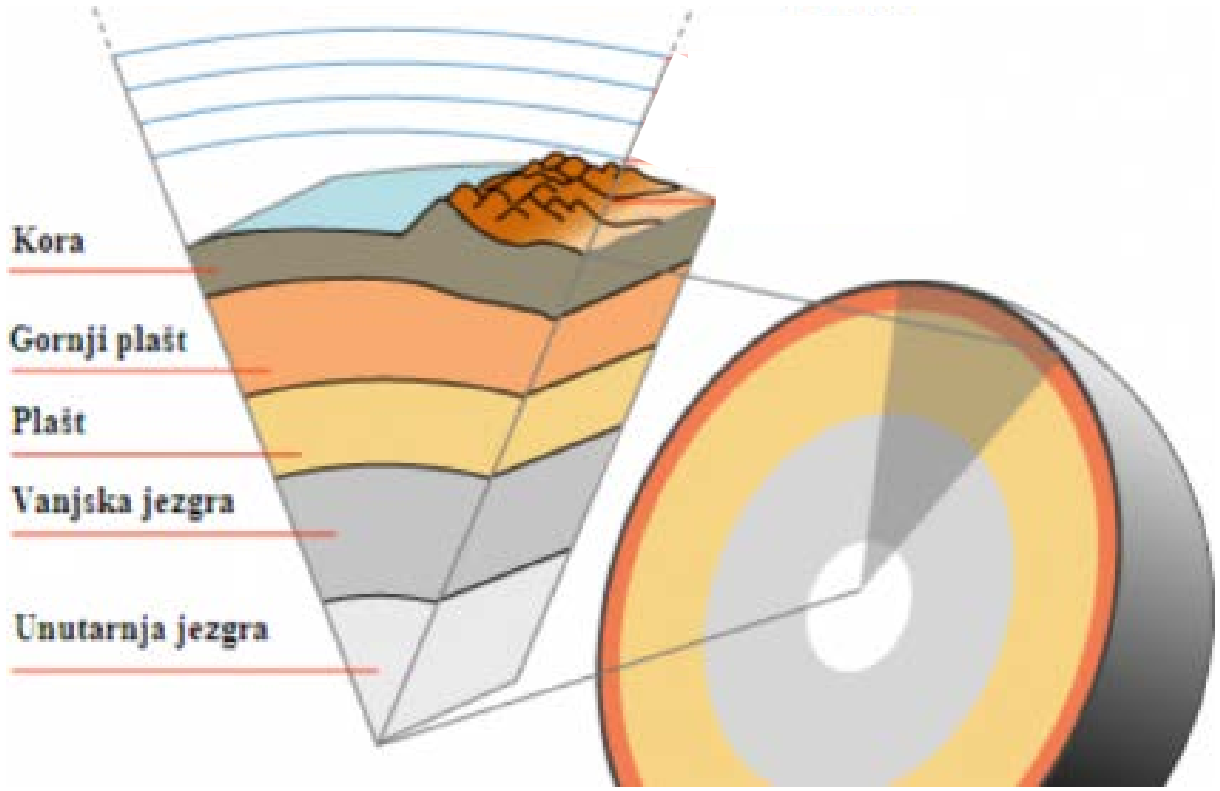


Slika 10 Prikaz gibanja čestica zarobljenih u Van Allenovom pojasu.[1]

3. MAGNETIZAM ZEMLJE

Zemlja se ponaša kao golemi magnet, a mi se stalno nalazimo u njezinom magnetskom polju. Gdje god da na Zemlji koristimo horizontalnu magnetsku iglu, ona će se svaki puta orijentirati, tako da je sjeverni pol igle usmjeren prema geografskom sjeveru, a južni prema geografskom jugu. Vertikalnu ravninu položenu na smjer koji prikazuje magnetska igla zovemo magnetski meridijan. Magnetski polovi Zemlje ne poklapaju se u potpunosti s njezinim geografskim polovima, malo su pomaknuti, to odstupanje zovemo magnetskom deklinacijom, a kut koji zatvaraju smjer magnetskog polja s horizontalnom ravninom zovemo inklinacijom. Sjeverni magnetski pol je na istočnom Antartiku, dok je Južni u sjevernoj Kanadi. Promatrajući magnetsko polje iznad površine Zemlje, možemo zamijetiti da u dobrom približenju odgovara polju magnetskog dipola koji bi se u potpunosti nalazi unutar planeta, a njegova bi os bila otklonjena za približno 11° od Zemljine osi rotacije.

Zemljino magnetsko polje, također zvano geomagnetsko polje, magnetsko je polje koje se prostire iz Zemljine jezgre u Svemir, gdje je u međudjelovanju sa Sunčevim vjetrom. Geomagnetsko polje generirano je električkim tokovima uslijed konvekcijskih struja mješavine tekućeg željeza i nikla unutar vanjskog dijela Zemljine jezgre. Konvekcijske struje nastaju uslijed prijenosa temperature jezgre, dok se taj prirodni proces naziva se geodinamo. Snaga geomagnetskog polja na Zemljinoj površini varira u rasponu od 25 do 65 nT.

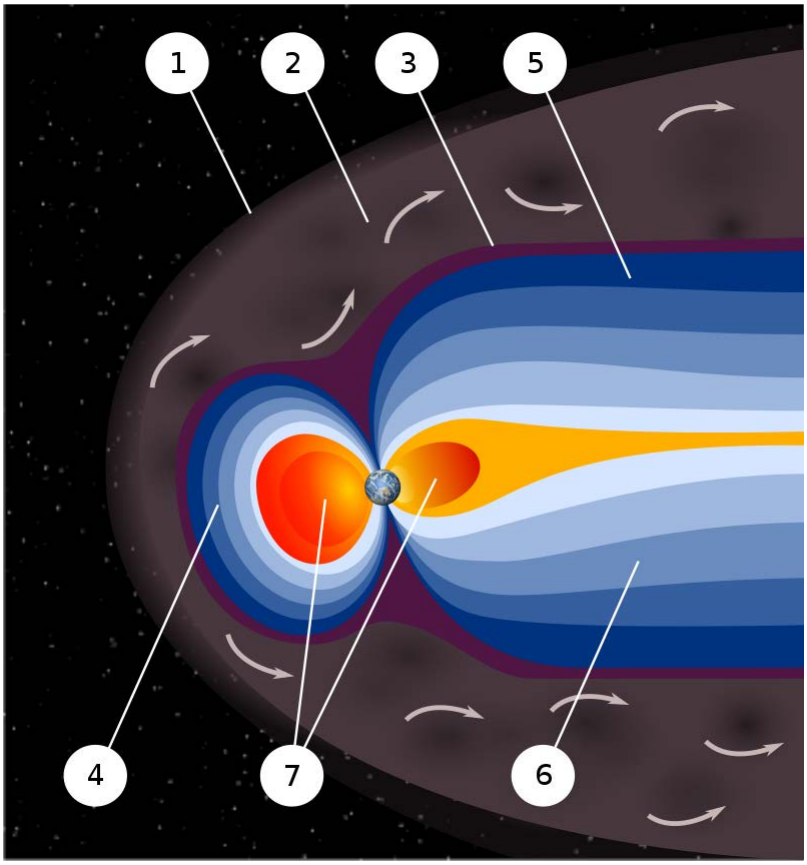


Slika 11 Prikaz Zemljinog presjeka.

Magnetosfera je predio iznad ionosfere definiran obujmom geomagnetskog polja u svemiru. Magnetosfera se prostire na desetke tisuće kilometara nadmorske visine, štiteći Zemlju od Sunčevog vjetra i visoko energiziranih Sunčevih kozmičkih zraka koje bi inače uništile viši sloj atmosfere, u kojem je i ozon, koji štiti Zemlju od štetnog ultraljubičastog zračenja. Većinom dipolno na površini Zemlje, udaljujući se od površine Zemlje, geomagnetsko polje postaje izobličenije uslijed izloženosti Sunčevom vjetru. Sunčeve električki nabijene čestice putuju brzinama od 200 do 1000 km/s te sa sobom nose međuplanetarno magnetsko polje koje međudjeluje s magnetosferom.

Dijelovi magnetosfere:

- Pramčani udarni val je krajnji sloj magnetosfere koji čini granicu između magnetosfere i okoline(ambijentalni medij). U ovom dijelu magnetosfere čestice Sunčevog vjetra usporavaju dok se približavaju magnetopauzi. Karakterizira ga diskontinuirana promjena tlaka, temperature i gustoće. Nastaje kad magnetosfera interagira s ambijentalnom plazmom koja teče oko nje.
- Magnetosheath zona je magnetosfere između pramčanog udarnog vala i magnetopauze
- Magnetopauza je zona gdje se tlak Zemljinog magnetskog polja uravnotežuje s tlakom Sunčevog vjetra.
- Magnetorep nastaje s noćne strane Zemlje i tamo se magnetosfera produžuje daleko iza Zemlje do 200 Zemljinih radijusa



Slika 12 Dijelovi magnetosfere.

1-Pramčani udarni val 2-Magnetosheath; 3-Magnetopauza; 4-Magnetosfera; 5-Magnetorep; 6-Južni magnetorep

3.1. Južnoatlantska anomalija

Južnoatlantska anomalija prostor je gdje Zemljin unutarnji Van Allenov pojas dolazi najbliže Zemljinoj površini, na visinu od 200 km nadmorske visine, gdje je Zemljino magnetsko polje najslabije u odnosu na idealizirano polje Zemljinog magnetskog dipola. To dovodi do povećanog toka energiziranih čestica u tom području. Područje Južnoatlantske anomalije obilježeno je magnetskim poljem intenziteta manjim od 32 000 nT na razini mora što je jednako intenzitetu magnetskog polja na visini ionosfere (48-965 km nadmorske visine). Oblik Južnoatlantske anomalije vremenski je promjenjiv. Od njegova otkrića 1958. godine južna granica anomalije ostala je relativno nepromijenjena dok se anomalija konstantno širi sjeverozapadno, sjeverno, sjeveroistočno i istočno. Oblik i gustoća energiziranih čestica unutar anomalije promjenjiva je tijekom dana, to jest najveća gustoća čestica je oko 12h po lokalnom vremenu. Na visini od 500km nadmorske visine, anomalija se prostire od -50° do 0° zemljopisne širine te od -90° do +40° zemljopisne dužine. Najveće širenje anomalije je prema zapadu, gdje se anomalija širi 0.3° godišnje, što je jako blizu rotacijske razlike između Zemljine jezgre i površine za koju se procjenjuje da je između 0.3° i 0.5°godišnje.

Južnoatlantska anomalija važna je pri planiranju lansiranja satelita u Zemljinu orbitu, uvijek ju se pokušava izbjeći kako bi se oprema zaštitila od zračenja i mogućeg spaljivanja opreme te zaštite posade.

4. UTJECAJ RADIOVALOVA NA VAN ALLENOVE POJASEVE

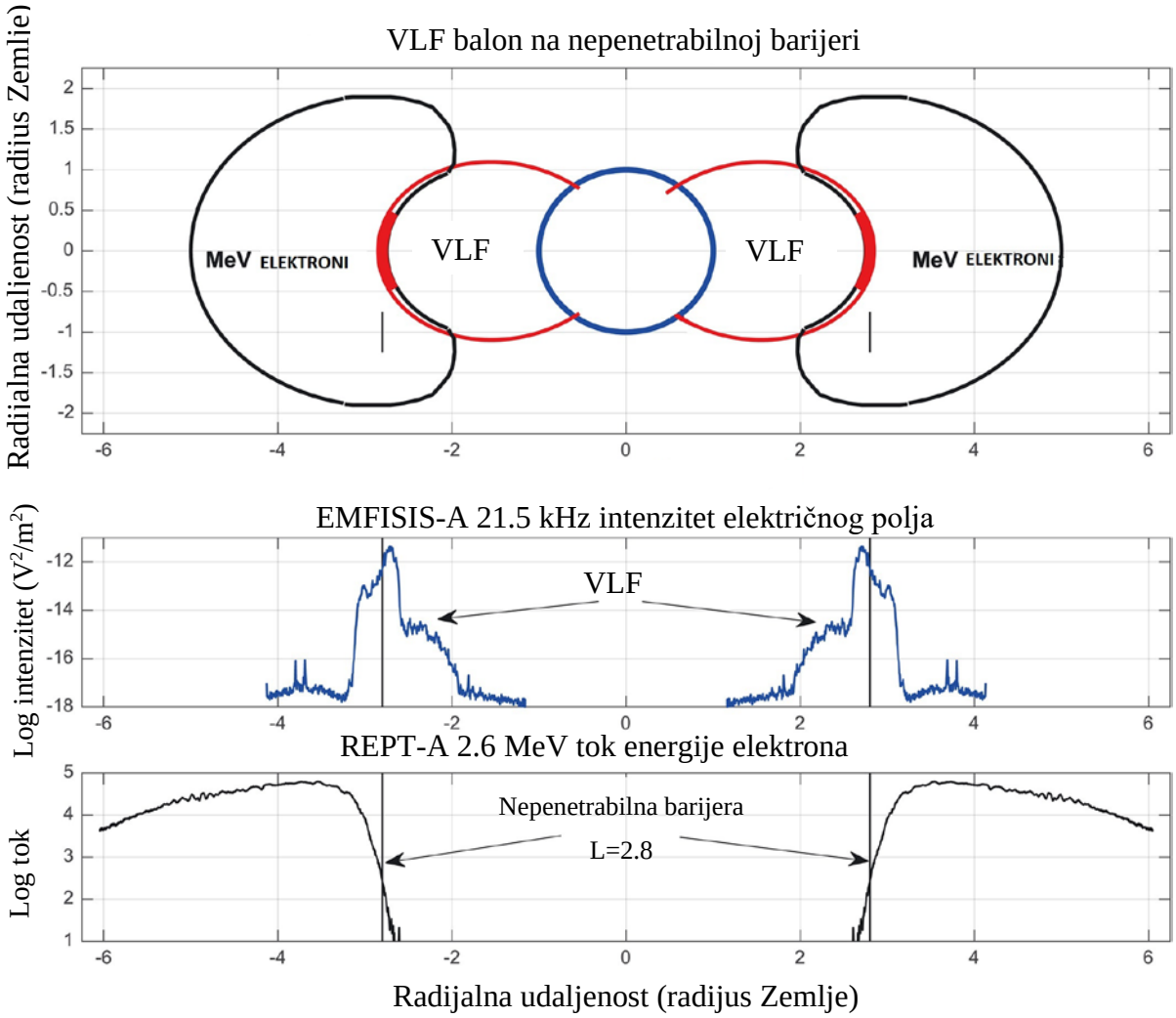
Krajem Prvog svjetskog rata, Sjedinjene Američke Države počinju s uporabom niskofrekvencijskih radiovalova (3-30 kHz) za komunikaciju s plovilima udaljenim od obale. Budući da se vrlo visoka snaga radiovalova može izzračiti iz velikih obalnih kompleksa antena, niskofrekvencijskim radiovalovima bila je moguća komunikacijska pokrivenost cijelog svijeta. Uz LF i HF (300-30 MHz) sustave ovi pojasevi nosili su najveći dio pomorskog komunikacijskog prometa sve do pojave kasnije razvijenih sustava viših frekvencija. Rana istraživanja su pokazala da niskofrekvencijski radiovalovi prodiru kroz vodu do određenih dubina. Početkom 1950. godine, kada je počela era podmornica, SAD-ov pomorski istraživački laboratorij proveo je brojne, detaljne testove razvoja niskofrekvencijskih radiovalova za profinjeniju komunikaciju s podmornicama, koja se i danas koristi.[7]

Tijekom druge polovice 20. stoljeća, započela su brojna istraživanja svojstava niskofrekvencijskih valova, kao što su „zviždači“, s dodanim naglaskom na informacije koje bi takvi valovi mogli dati o magnetosferi i ionosferi. Uslijed snage i pokrivenosti Zemlje niskofrekvencijskim radiovalovima postignutih brojnim odašiljačima takvih valova, geofizička istraživanja bila su lako moguća zbog mogućnosti korištenja postojećih signala fiksne frekvencije za praćenje dinamike širenja niskofrekvencijskih radiovalova u ionosferi i dalje u magnetosferi. Provedena istraživanja potvrdila su da niskofrekvencijski radiovalovi prolaze ionosferom i magnetosferom, ali su također dovela do otkrića da pod određenim uvjetima uzrokuju razne emisije valova koji su u međudjelovanju s česticama smještenim u neposrednoj okolini. Detaljnija istraživanja ove pojave nastavila su se sa Zemljine površine, no proširena su i na istraživanja utjecaja niskofrekvencijskih valova satelitima odaslanim unutar magnetosfere.

Istraživanjima provedenim 1960-ih i 1970-ih otkriveno je da tijekom dovoljno dugih perioda odašiljanja radiovalova dolazi do taloženja elektrona i stimuliranih ponašanja valova, zvanih Trimpi efekt. Ova otkrića, uz daljnja promatranja taloženja elektrona i kasnije teorijske analize, dovela su do spoznaje da bi niskofrekvencijskim radiovalovima prikladne amplitude moglo biti moguće mijenjati populaciju elektrona unutar Van Allenovih pojaseva kroz takozvanu sanaciju pojaseva zračenja.[7]

Uočeno je da nemodulirani (nositelji) monokromatski niskofrekvencijski radiovalovi iz zemaljskih VLF transmitera velike snage umanjuju prirodnu magnetosveričku pištavu emisiju. Smatra se da je utjecaj niskofrekvencijskih radiovalova pojačan tijekom geomagnetskih oluja uslijed interakcija radiovalova i elektrona.

Nova opažanja pomoću instrumenata za valove i čestice Van Allenovih sondi dala su mjerenja niskofrekvencijskih radiovalova, odaslanih sa Zemlje, u ekvatorijalnoj ravnini na visinama iznad 24 000 km nadmorske visine, približno 2.8 Zemljina radijusa, a to je područje u kojem je intenzitet radiovalova najjači. Niskofrekvencijski radiovalovi koji se nalaze u toj zoni snažni su i gotovo sveprisutni uslijed pomorske vojne komunikacijske opreme te tvore balon niskofrekvencijskih radova koji je umjetno stvorena barijera koja udaljava čestice Van Allenovih pojaseva. Daljnjim istraživanjima cilj je bolje razumjeti interakciju radiovalova s česticama Van Allenovih pojaseva te razmotriti mogućnost njihovog uklanjanja ili pomjeranja na više nadmorske visine kako bi se stvorila sigurnija okolina za osjetljive elektroničke komponente satelita i sigurnost astronauta.



Slika 13 Shematski prikaz umjetno stvorenog zaštitnog balona uz grafove intenziteta električnog polja i energetskog toka elektrona. Na osi apscisa je u sva tri grafa prikazana udaljenost izražena u radijusima Zemlje.

5. PRIVREMENI VAN ALLENOVI POJASEVI ZRAČENJA

Kada nas priroda iznenadi novom složenom pojavom, kao što su potresi i nevidljivi pojasevi zračenja, bolji uvid može biti postignut provociranjem prirode te promatranjem utjecaja tog čina. Trenutno se u geofizici provokacijama prirodi smatraju velike eksplozije, točnije detonacije nuklearnog oružja. Detonacijom nuklearnog oružja unutar pojaseva zračenja u pojas možemo ubrizgati velike količine visoko energiziranih čestica, primarno elektrona, koje tamo mogu ostati zarobljene. Vrijeme, nadmorska visina i snaga eksplozije mogu se kontrolirati stoga je moguće promatrati umjetno stvorenu polarnu svijetlost, mapirati područja unutar pojaseva zračenja promatranjem kako čestice nastanjuju ta područja te proučavati koliko se umjetno ubrizgane čestice zadržavaju unutar pojaseva zračenja. Može se reći da umjetno ubrizgane čestice možemo slijediti prema tragu markera zračenja, uslijed čega možemo pratiti ponašanje Van Allenovih pojaseva zračenja. Sjedinjene Američke Države i Savez Sovjetskih Socijalističkih Republika su tijekom provođenja testiranja nuklearnog oružja i istraživanja Van Allenovih pojaseva detonirali preko 10 nuklearnih bombi na visokim nadmorskim visinama (detaljan popis u tablici 1.). Iako su zbog tih detonacija istraživanja uvelike napredovala, znanost, na žalost, nije bila glavni motiv detonacija. Detonacije nuklearnog oružja na velikim nadmorskim visinama dovele su do otkrića da električki nabijene čestice unutar pojaseva zračenja mogu ometati komunikaciju i radare za praćenje međukontinentalnih balističkih raketa. Osim ometanja komunikacije s raketama, otkriveno je da su detonacije nuklearnog oružja na visokim nadmorskim visinama stvorile nove pojaseve zračenja. Eksplozije Teak i Orange bile su na nižim nadmorskim visinama te su novi pojasevi, koje su te detonacije stvorile, promatrani samo nekoliko dana prije njihovog potpunog nestanka, dok su detonacije većeg prinosa na višim nadmorskim visinama stvorile nove pojaseve zračenja koji su mogli biti promatrani mjesecima.[8]

Naziv	Država	Datum detonacije	Nadmorska visina [km]	Prinos [kt]
Yucca	SAD	28.4.1958.	26	1.7
Teak	SAD	1.8.1958.	77	3.8×10^3
Orange	SAD	12.8.1958.	43	3.8×10^3
Argus 1	SAD	27.8.1958.	200	1.7
Argus 2	SAD	30.8.1958.	240	1.7
Argus 3	SAD	6.9.1958.	540	1.7
Test#88	SSSR	6.9.1961.	23	10.5
Test#115	SSSR	6.10.1961	41	40
Test#127	SSSR	27.10.1961	150	1.2
Test#128	SSSR	27.10.1961	300	1.2
Starfish Prime	SAD	9.6.1962.	400	1.4×10^3
Checkmate	SAD	20.10.1962.	147	7
Test#184	SSSR	22.10.1962.	290	300
Bluegill Triple Prime	SAD	26.10.1962.	50	410
Test#187	SSSR	28.10.1962.	150	300
Kingfish	SAD	1.11.1962.	97	410
Test#195	SSSR	1.11.1962.	59	300

Tablica 1 Popis detonacija nuklearnog oružja na visokim nadmorskim visinama.[7]

U prvoj sekundi, ili manje, od detonacije nuklearnog oružja na visokoj nadmorskoj visini opaženo je žarko umjetno stvoreno polarno svjetlo. Tijekom sljedeće minute aurore su bile viđene otprilike 3200 km dalje, nad Samoanskim otocima.

Seriju Argus detonacija predložio je Nicholas Christofilos krajem 1957., a svrha detonacija bia je provjera dolazi li zapravo do zarobljavanja elektrona u pojaseve zračenja. Do vremena kada su se detonacije zapravo provele Van Allen je već otkrio da se pojasevi zračenja prirodno nalaze u Zemljinoj magnetosferi, no bez obzira na to Argus detonacije bile su od velikog značaja zbog velike nadmorske visine na kojima su detonirane i prinosa čestica uslijed čega je stvoren umjetni pojas zračenja širine 100 km na nadmorskoj visini između 1.7 i 2.2 Zemljina radijusa nad ekvatorijalnom ravninom te je promatran tjednima prije njegova nestanka. Iako su umjetno stvoreni pojasevi zračenja očarali mnoge, veliki broj znanstvenika pobunio se protiv daljnjih detonacija zbog utjecaja koji mogu imati na ovu prirodnu pojavu.[7]

Starfish Prime detonacija bila je najveća detonacija nuklearnog oružja ikada, dodatno je uzrujala mnoge znanstvenike. Polarno svjetlo se pojavilo gotovo istog trena na mjestu detonacije i na Novom Zelandu, 5000 km dalje od mjesta detonacije. Povećana ionizacija unutar ionosfere ometala je radiokomunikaciju na velikim udaljenostima danima nakon detonacije. Osim toga povišena razina elektrona u magnetosferi rezultirala je značajnim oštećenjima solarnih panela na tri američka satelita. Umjetno stvoreni pojas zračenja nastao ovom detonacijom mjesecima je promatran, a razina protona ubrzo se vratila na normalne vrijednosti, dok su se ubrizgani elektroni još godinama zadržavali u magnetosferi. Iako je Starfish Prime detonacija imala puno veći utjecaj na pojaseve zračenja nego što je očekivano, dala je brojne nove informacije kojima su se teze od prije detonacije mogle ispraviti. 1963. godine, nakon devetogodišnjih pregovora, SAD, UK i SSSR potpisali su sporazum o ograničenom testiranju nuklearnog oružja kako bi se izbjegla daljnja remećenja Van Allenovih pojaseva.[7]

Osim detonacije nuklearnog oružja, do novih, privremenih pojaseva zračenja može doći uslijed geomagnetskih oluja i velikih Sunčevih bljeskova.

6. UTJECAJ VAN ALLENOVIH POJASEVA NA SVEMIRSKA PUTOVANJA

Osobe koje su već iskusile svemirska putovanja zasigurno nisu bile oduševljene otkrićem postojanja Van Allenovih pojaseva zračenja. Pretpostavljalo se da je zračenje zasigurno smrtonosno za sve koji kroče van zaštitnih lukobrana atmosfere, ionosfere i magnetopauze. Mnogi astronauti koji su se nakon 1961. godine sigurno vratili iz Zemljine orbite dokaz su da su strahovi od svemirskog zračenja bili neosnovani. Svemirsko zračenje zasigurno nije bezazleno, no zaštita astronauta je problem o kojem brinu inženjeri koji imaju već dostupna neka rješenja. Potpuna zaštita od svemirskog zračenja je nemoguća, čak i za ljude na Zemlji. Ljudi su preživjeli primarne visoko energizirane kozmičke zrake već milijunima godina bez dodatne umjetne zaštite i bez katastrofalnih posljedica nedostatka zaštite. Pitanje je koliko dodatnog izlaganja možemo podnijeti obzirom da je svemirsko zračenje slično onom koje odašilju stomatološki i medicinski rendgeni.

Postoje tri važna izvora potencijalno opasnog svemirskog zračenja: Van Allenovi pojasevi zračenja, galaktičke kozmičke zrake i visoko energizirane Sunčeve kozmičke zrake odaslane tijekom Sunčevog bljeska. Sunčev vjetar i plazma unutar solarnog plazminog „jezika“ ne čine prijetnju ljudima u svemiru jer su protoni i elektroni preslabo energizirani kako bi probili trup svemirskih brodova ili pak svemirska odijela.[1]

Američki i ruski astronauti uglavnom su u orbiti značajno ispod snažnog, gustog unutarnjeg Van Allenovog pojasa. Iako se nalaze van atmosferine zaštite, dodatne primarne visoko energizirane kozmičke zrake i čestice s ruba Van Allenovog pojasa zračenja, izloženi su zračenju od tek nekoliko milirada dnevno, puno manje od dopuštenog izlaganja zračenju radnika u postrojenjima za atomsku energiju. Svemirska letjelica može biti u orbiti točno ispod Van Allenovog pojasa, bez straha da će posada biti izložena prevelikom zračenju. Uporaba glomazne zaštite astronauta od zračenja gotovo je nepotrebna. Debele metalne ploče teško bi umanjile tok primarnih visoko energiziranih kozmičkih zraka, koje bi probijajući tako gustu materiju stvorile lavine sekundarnih visoko energiziranih kozmičkih zraka koje bi bile štetnije od primarnih koje su ih uzrokovale. Srećom, većina primarnih visoko energiziranih kozmičkih zraka su protoni i jezgre helija koje se ne smatraju štetnima pri izlaganju malim količinama. Također bitno je naglasiti da ukoliko u tijelo uđe veća jezgra atoma, kao što su jezgre željeza koje čine 2 do 3% primarnih visoko energiziranih

kozmičkih zraka, te svoju energiju oslobode unutar vitalnih dijelova tijela poput mozga, bilo bi uništeno dovoljno stanica da onesposobi astronauta. Vjerojatnost da se to dogodi smatra se toliko malom da se ta mogućnost nikada ne uzima u obzir pri planiranju svemirskih ekspedicija.[1]

Najveće razine zračenja unutar Van Allenovih pojaseva zračenja dovoljno su intenzivne da bi usmrtile nezaštićenog čovjeka unutar nekoliko dana. Najlakši način da se izbjegne ovakva situacija jest detaljno planiranje putanja u orbiti kako bi se u potpunosti izbjegao kontakt s Van Allenovim pojasevima zračenja. U praksi to znači da sateliti s posadom moraju strogo izbjegavati zone gdje se pojasevi izobličuju k atmosferi te se zadržati na nadmorskim visinama manjim od 800 km. Svemirske letjelice usmjerene k Mjesecu i ostalim planetima mogu bez straha proći kroz Van Allenove pojaseve zračenja obzirom da je boravak u njima samo nekoliko minuta, prekratak period da bi izazvao značajnu štetu organizmu. Visoko energizirane Sunčeve kozmičke zrake odaslane tijekom Sunčevih bljeskova smatraju se najštetnijim oblikom zračenja. Godišnje se pojavi oko šest ovakvih Sunčevih bljeskova, više tijekom vrhunca jedanaestogodišnjeg ciklusa Sunčevih pjega. Obzirom da veliki Sunčevi bljesak može povećati intenzitet visoko energiziranih kozmičkih zraka u blizini Zemlje stotinama puta i zadržati velik intenzitet i po nekoliko dana, astronauti mogu primiti smrtonosnu dozu štetnog zračenja prije nego dospiju do zaštite koju pružaju magnetosfera i atmosfera.[1]

Svemirski letovi van magnetopauze mogu se učiniti sigurnima na dva načina: zaštitom svemirske letjelice metalnim pločama te pomnim planiranjem vremena lansiranja, u periodima kada je Sunčeva aktivnost mirna.

Zaštita svemirske letjelice izravniji je i sigurniji pristup, nitko ne predviđa postavljanje debelih olovnih ploča na svemirsku letjelicu. Štoviše, struktura svemirske letjelice, električne komponente i zalihe vode već čine zaštitu zahvaljujući svojoj masi. Pravilnim postavljanjem takvih dijelova, astronauti mogu biti zaštićeni bez dodavanja dodatnih olovnih ploča, koje bi samo nepotrebno otežale svemirsku letjelicu. Sukcesija Sunčeve oluje u srpnju 1959. godine (najveća ikad zabilježena), astronauta zaštićenog Apollo svemirskom letjelicom, izložila bi zračenju od 150 rada na površini kože i 15 rada u prokrvljenim tkivima. To je poprilično velika izloženost zračenju, ali nije smrtonosna i ne onesposobljuje astronauta. Opasnost od zračenja uslijed velikog Sunčevog bljeska puno je manja od drugih vjerojatnih opasnosti putovanja k Mjesecu. Bez obzira na male vjerojatnosti smrtnog ishoda svemirskog leta, lansiranja se uvijek pomno planiraju te se, ukoliko

se predviđa veliki Sunčev bljesak, lansiranje odgađa kako bi se izbjeglo izlaganje većim razinama zračenja. Kao što se potresi zvučno najave uz blaže podrhtavanje, Sunčevi bljeskovi se također mogu predvidjeti uslijed vidljivih promjena unutar Sunčevih centara aktivnosti. Trenutno ne postoji precizna metoda dugoročnog predviđanja Sunčevih bljeskova što ne znači da se uskoro neće pronaći metoda.

Osiguravajuće kuće ne daju životno osiguranje astronautima (životno osiguranje su imali samo prvih sedam astronauta). Uzmu li se u obzir vjerojatnosti, zračenje u svemiru ne smatra se velikom opasnošću u odnosu na mogućnost kvara retro-rakete, potpuni gubitak kontrole nadmorske visine i slične smrtonosne kvarove opreme.[1]

7. POJASEVI ZRAČENJA DRUGIH PLANETA

Detaljnim proučavanjem Van Allenovih pojaseva te uočavanjem pravilnosti ponašanja zarobljenih čestica zaključeno je da ostali planeti unutar Sunčevog sustava, koji imaju dovoljno snažno magnetsko polje, također oko sebe imaju pojaseve zračenja. Prvi takav pojas oko planeta unutar Sunčevog sustava otkriven je oko Jupitera, iste godine kada i Van Allenovi pojasevi.

Planet	Snaga magnetskog polja u odnosu na Zemljino
Zemlja	1
Saturn	600
Uran	50
Neptun	25

Tablica 2 Snage magnetskog polja planeta Sunčevog sustava, koje imaju pojaseve zračenja, u odnosu na Zemljino magnetsko polje.[6]

Kao rezultat najjačeg magnetskog polja, Jupiter ima najsnažnije pojaseve zračenja u Sunčevom sustavu. NASA pretpostavlja da, ukoliko bi se astronauti približili Jupiteru na udaljenost na kojoj je bila Voyager 1 raketa, lansirana 1977. godine u svrhu proučavanja Sunčevog sustava, astronauti bi bili ozračeni 1000 puta većom dozom od smrtonosne. Vrlo je mala vjerojatnost da će astronauti u bliskoj budućnosti prići blizu Jupitera, štoviše letovi udaljeniji od Jupitera trebat će biti pomno isplanirani kako bi se Jupiterovi pojasevi zračenja izbjegli. Iako je astronautima trenutno nemoguće prići Jupiteru, čak i proći blizu Jupitera, svemirske letjelice bez posade uspješno prolaze Jupiterove pojaseve zračenja.[6]

Osim Jupitera, u Sunčevom sustavu pojaseve zračenja imaju Saturn, Uran i Neptun. Njihovo magnetsko polje snažnije je od Zemljinog uslijed čega su i pojasevi zračenja snažniji, ali za razliku od Jupiterovih pojaseva zračenja, ne smatraju se puno opasnijima od Van Allenovih pojaseva te se smatra da astronauti mogu proći kroz njih bez opasnosti po život.[6]

8. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu u okarakterizirana su dva Zemljina Van Allenova pojasa. Uspoređene su morfološke karakteristike vanjskog i unutarnjeg pojasa te populacije nabijenih čestica zatočenih u njima. Dan je povijesni slijed u kojem su teorijske zamisli Jamesa Van Allena potvrđene opažanjima letjelica Explorer 1 i Explorer 3, dok je zatočeno zračenje po prvi put mapirano pomoću letjelica Explorer 4, Pioneer 3 i Luna 1.

Nadalje, ukratko je opisano Zemljino magnetsko polje te je predstavljena Južnoatlantska anomalija. Raspravljen je utjecaj radiovalova na Van Allenove pojaseve zračenja. Okarakterizirani su tzv. privremeni Van Allenovi pojasevi zračenja. Opisana je pojava umjetnih pojaseva zračenja nastalih uslijed detonacija nuklearnog oružja na visokim nadmorskim visinama. Navedeni su utjecaji Van Allenovih pojaseva na svemirske letjelice i astronaute koji prolaze kroz njih te se navode neki načini zaštite od štetnog zračenja. Za postojanje Van Allenovih pojaseva zračenja potrebna je magnetosfera planeta te su stoga ukratko i okarakterizirani otkriveni Van Allenovi pojasevi oko drugih planeta Sunčevog sustava.

SAŽETAK

Upoznavanje s Van Allenovim pojasevima zračenja, područjima u kojima su energizirane nabijene čestice, koje većinom dolaze iz Sunčevog vjetra, uhvaćene i zadržane magnetosferom planeta su predmet ovog završnog rada. U osnovnim crtama su okarakterizirana dva Van Allenova pojasa oko Zemlje te privremeni pojasevi zračenja, dana je kratka povijest njihova otkrića, opisan je njihov utjecaj na satelite i svemirska putovanja te je navedeno koji ih još planeti u Sunčevom sustavu posjeduju.

Ključne riječi: Van Allenov pojas zračenja, Sunčev vjetar, kozmičko zračenje, magnetosfera

ABSTRACT

This final paper provides introduction to the Van Allen radiation belts, zones of enegized charged particles mostly originating from the solar wind, which are being trapped and held by planetary magnetospheres. Two Van Allen radiation belts surounding the Earth are characterised, temporarily occurring radiation belts are described, a brief history of Van Allen radiation belts discovery is presented, their influence on space travel and satelites is described and the planets of the solar system possesing the Van Allen radiation belts are listed.

Keywords: Van Allen radiation belts, solar wind, cosmic rays, magnetosphere

LITERATURA

[1] William R. Corliss, Space radiation, United States Atomic Energy Commission, US 1968.

[2] Sharma. Atomic And Nuclear Physics. Pearson Education India. p. 478. ISBN 978-81- 317-1924-4.

[3] Kerr, Richard (31 May 2013). "Radiation Will Make Astronaut's Trip to Mars Even Riskier". Science 340 (6136): 1031. doi:10.1126/science.340.6136.1031.

[4] Alvarez, Luis; Compton, Arthur Holly; Compton (May 1933). "A Positively Charged Component of Cosmic Rays". Physical Review 43 (10): 835–836. Bibcode:1933PhRv...43..835A. doi:10.1103/PhysRev.43.835.

[5] Scientific American; "Solar Storms: Fast Facts". Nature Publishing Group. [5] Jha, Alok; "Cosmic ray mystery solved". The Guardian. Guardian News and Media Limited.

[6] Space Radiation – Interplanetary Radiation Belts. American Nuclear Society <http://anstd.ans.org/space-radiation-interplanetary-radiation-belts/>. Pristupljeno 3.rujna.2021.

[7] Gombosi, T.I., Baker, D.N., Balogh, A.*et al.* Anthropogenic Space Weather. *Space Sci Rev* 212, 985–1039 (2017).

[8] R.C. Baker, W.M. Strome, Magnetic disturbance from a high-altitude nuclear explosion. J. Geophys. Res. 67(12), 4927–4928 (1962)

[9] NASA's Van Allen Probes Discover Particle Accelerator in the Heart of Earth's Radiation Belts. NASA < https://www.nasa.gov/content/goddard/van-allen-probes-find-source-of-fast-particles>. Pristupljeno 3.rujna.2021.

[10] Van Allen radiation belt. Britannica <https://www.britannica.com/science/Van-Allen-radiation-belt>. Pristupljeno 3.rujna.2021.

[11] Schulz, M. Jupiter's radiation belts. Space Sci Rev 23**,** 277–318 (1979).

[12] Hess, W.N. Energetic particles in the inner Van Allen belt. Space Sci Rev **1,** 278–312 (1962).

[13] Mitchell D.G. et al. (2013) Erratum to: Radiation Belt Storm Probes Ion Composition Experiment (RBSPICE). u: Fox N., Burch J.L. (eds) The Van Allen Probes Mission. Springer, Boston, MA.

[14] Baker, D.N., Erickson, P.J., Fennell, J.F. et al. Space Weather Effects in the Earth's Radiation Belts. Space Sci Rev 214, 17 (2018).

[15] Van Bui, N.A., Martin, I.M., Vieira, C.A. et al. Atmospheric cosmic rays in the South Atlantic anomaly region. Il Nuovo Cimento C 14, 145–151 (1991).

ŽIVOTOPIS

Valentin Loboda Rođen je 31. listopada 1998. godine u Osijeku. Osnovnu školu pohađa u Osnovnoj školi Dalj nakon koje upisuje III. Gimnaziju Osijek koju završava 2017. godine. Po završetku srednje škole stječe pravo upisa na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija gdje 2017. godine upisuje preddiplomski smjer Računarstvo. Trenutno je redovni student treće godine preddiplomskog studija.

_____

Potpis autora

POPIS SLIKA

Slika 1 Položaj Van Allenovih pojaseva zračenja u odnosu na Zemlju, Mjesec te prikaz dolaska čestica Sunčevog vjetra u magnetosferu.[1] 2
Slika 2 Prikaz pokusa na terrelli. Magnetizirana kugla, koja predstavlja Zemlju, smještena u vakumsku komoru, bombardirana je električki nabijenim česticama, što se na slici vidi kao svijetli tragovi. Gledajući magnetski pol iz ptičje perspektive, jasno je vidljiv obruč zarobljenih čestica. Fotografiju je uslikao William H. Bennett koristeći „Størmetar“.[1] 3
Slika 3 Prikaz Singerovog neutronski albedo mehanizma nastanjivanja čestica unutar Van Allenovog pojasa.[1] 5
Slika 4 Mapirani prikaz Van Allenovih pojaseva zračenja.[1] 8
Slika 5 prikaz zona Van Allenovog pojasa zračenja.[1] 8
Slika 6 Konceptualni prikaz toka Sunčeve plazme oko magnetosfere.[1] 9
Slika 7 Magnetsko polje Zemlje, nagnuto 11° u odnosu na os rotacije. Točna lokacija magnetskih polova varira vremenom. Dolazeća pozitivno nabijena čestica bit će prisiljena promijeniti putanju kako je prikazano na slici.[1] 11
Slika 8 Prikaz mjestimične akceleracije čestica unutar Van Allenovog pojasa[9]. 12
Slika 9 Stormerov dijagram prikazuje kako bi se čestice ponašale ukoliko bi ušle u zabranjenu zonu.[1] 13
Slika 10 Prikaz gibanja čestica zarobljenih u Van Allenovom pojasu.[1] 13
Slika 11 Prikaz Zemljinog presjeka. 15
Slika 12 Dijelovi magnetosfere. 16
Slika 13 Shematski prikaz umjetno stvorenog zaštitnog balona uz grafove intenziteta električnog polja i energetskog toka elektrona. Na osi apscisa je u sva tri grafa prikazana udaljenost izražena u radijusima Zemlje. 20

POPIS TABLICA

Tablica 1 Popis detonacija nuklearnog oružja na visokim nadmorskim visinama.[7] 22
Tablica 2 Snage magnetskog polja planeta Sunčevog sustava, koje imaju pojaseve zračenja, u odnosu na Zemljino magnetsko polje.[6] 27