

Tesla i kozmičke zrake

Dario Hrupec

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Uvod

Nikola Tesla, genijalni konstruktor elektrotehničkih uređaja, bio je i prethodnik niza velikih otkrića iz fizike što dosad nije odgovarajuće vrednovano u svjetskoj znanstvenoj povijesti [1]. Spomenut ću samo neka:

- 1891. godine objavio je rezultate pokusa koje je tumačio električki nabijenim česticama [1]. Za otkriće elektrona, 1906. godine Nobelovu je nagradu dobio Joseph John Thomson.
- 1893. godine otkrio je *nove* zrake [1]. Za otkriće X-zraka, 1901. godine Nobelovu je nagradu dobio Wilhelm Conrad Röntgen.
- 1893. godine demonstrirao je bežičnu komunikaciju i objavio prvi članak o radio-uređaju [2–3]. Za otkriće radio-prijenosa, 1909. godine Nobelovu je nagradu dobio Guglielmo Marconi.
- 1897. godine otkrio je *Tesline zrake* koje je zvao *radiations* [8], a 1901. godine patentirao je uređaj za korištenje energije koju donose te zrake – pozitivno nabijene čestice iz svemira [4–5]. Za otkriće **kozmičkih zraka**, 1936. godine Nobelovu je nagradu dobio Victor Franz Hess.

Linkovi na dobar pregledni članak o Tesli i kozmičkim zrakama [8] kao i linkovi na preslikane originalne patentne prijave [4–5] mogu se pronaći na Wikipediji [14].

Teslin motor na kozmičke zrake

„Upregnuo sam kozmičke zrake i natjerao ih da pokreću motor“ izjavio je Tesla 1932. godine, uoči svog 76. rođendana, na već uobičajenoj konferenciji za novinare. „*Nadam se da ću izgraditi svoj motor u većem mjerilu, no okolnosti za provođenje tog plana trenutno mi nisu sklone*“ [6].

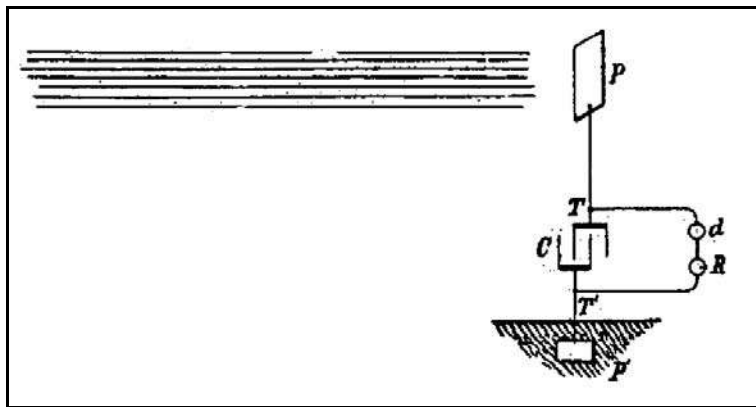
Spomenuti uređaj Tesla je počeo razvijati punih 30 godina ranije. Godine 1901. prijavio je dva patenta [4–5] o korištenju energije zračenja. U njima se **ne** koristi termin *kozmičke zrake* (njega je tek kasnije skovao Millikan¹ [7]), ali je iz opisa jasno da se radi o kozmičkim zrakama.

Tesla je vjerovao da Sunce i druge zvijezde izbacuju sićušne pozitivno nabijene čestice koje neprekidno pogađaju Zemlju. Utvrdio je da te čestice dolazi na Zemlju iz svih smjerova, da prodiru kroz tvar gotovo bez međudjelovanja, da uzrokuju prirodnu radioaktivnost te da mogu postići brzinu veću od brzine svjetlosti [8].

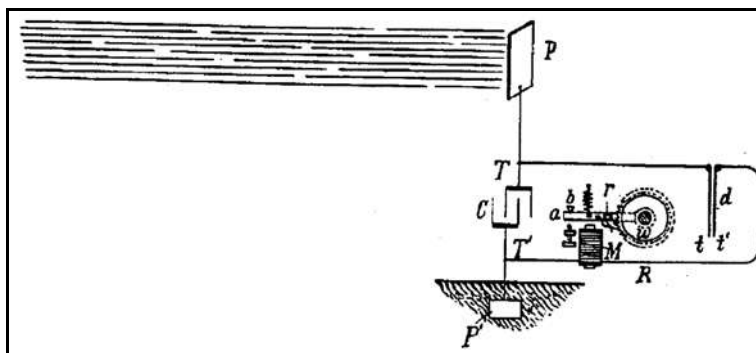
¹ Millikanovi slavni eksperimenti (1923.–1926.) konačno su uvjerali većinu znanstvenika u postojanje kozmičkih zraka.

Godine 1933. Tesla je dao još jednu izjavu za novine kojom najavljuje skoro korištenje energije kozmičkih zraka kao izvora koji je „sveprisutan u neograničenim količinama“ [9].

Princip rada motora pokretanog kozmičkim zrakama u grubim crtama vidljiv je iz Teslinog opisa u patentnim prijavama [4–5]. Kozmičke zrake padaju na izoliranu vodljivu ploču P (Slika 1.). Druga takva ploča P' je uzemljena, a između njih je kondenzator C . Kako se ploča nabija, kondenzator prikuplja električnu energiju. Nakon prikladnog vremenskog intervala kondenzator se izbija uređajem d (Slika 2.), a kroz električni krug poteče struja koja može izvršiti rad odnosno pokrenuti uređaj R .



Slika 1. Općeniti prikaz uređaja za korištenje energije kozmičkih zraka. Osnovni elementi su ploča P na koju padaju zrake (pozitivno nabijene čestice), uzemljena ploča P' i kondenzator C . Slika je preslik iz patentne prijave [4].

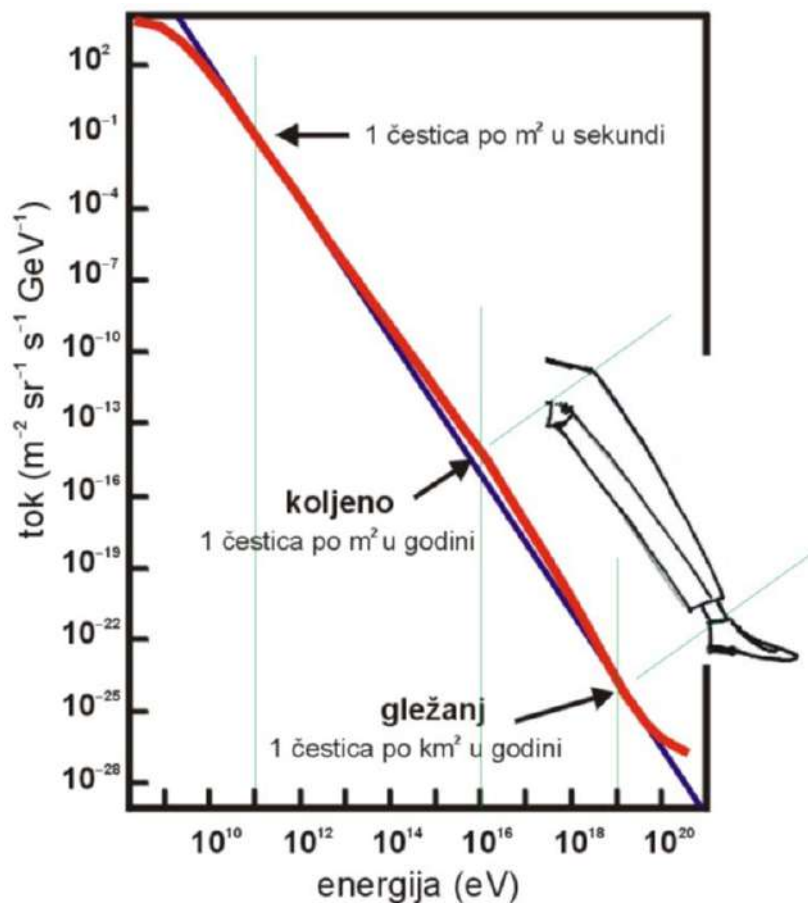


Slika 2. Detaljniji prikaz uređaja sa Slike 1. Priključci T i T' spojeni su na uređaje d i R . Uređaj d kontrolira periodično pražnjenje kondenzatora, a struja koja teče kroz krug pokreće uređaj R . Slika je preslik iz patentne prijave [5].

Što su kozmičke zrake?

Kozmičke zrake su pozitivno nabijene čestice velikih energija koje odozgo padaju na Zemlju. Sastoje se uglavnom od protona² (87%) i α -čestica³ (12%). Ostatak čine teže atomske jezgre. Osim kozmičkih zraka, zračenje odozgo su i visokoenergijski elektroni, gama-zrake te neutrini. No svi oni zajedno čine tek mali postotak kozmičkih zraka.

Kinetička energija kozmičkih zraka proteže se 14 redova veličine: od 10^6 eV do 10^{20} eV⁴ što podrazumijeva širok spektar izvora, ali i široki spektar potrebnih opažачkih tehnika. Tok (engl. *flux*) kozmičkih zraka (broj čestica po jedinici površine u jedinici vremena) pada približno s trećom potencijom energije (Slika 3.) [10].



Slika 3. Energijski spektar kozmičkih zraka (crvena krivulja) u logaritamskom mjerilu. Plavi pravac pokazuje zamišljeni pad toka s **trećom** potencijom energije kako bi se istaknule dvije prijelomne točke spektra: koljeno i gležanj.

² Jezgre vodika, najzastupljenijeg elementa u svemiru (otprilike 75%).

³ Jezgre helija, drugog elementa po zastupljenosti u svemiru (otprilike 25%).

⁴ Kinetičku energiju od 1 eV dobije elektron koji prođe razliku potencijala od 1 V. To iznosi $1.6 \cdot 10^{-19}$ J.

Prva testiranja pretpostavke da postoji zračenje odozgo obično se vežu uz isusovačkog svećenika Theodora Wulfa. On je razvio i posebni elektroskop kojim je 1910. godine mjerio na vrhu Eiffelova tornja u Parizu. No, Wulf i nekolicina drugih ranih eksperimentatora nisu uspjeli pokazati da postoji kozmičko zračenje. Prekretnica se dogodila 1912. godine kad je Victor Hess izveo niz letova balonom (Slika 4.) do visine od čak 5300 m i neupitno pokazao da tok zračenja raste s visinom, odnosno da zračenje dolazi iz svemira [11].

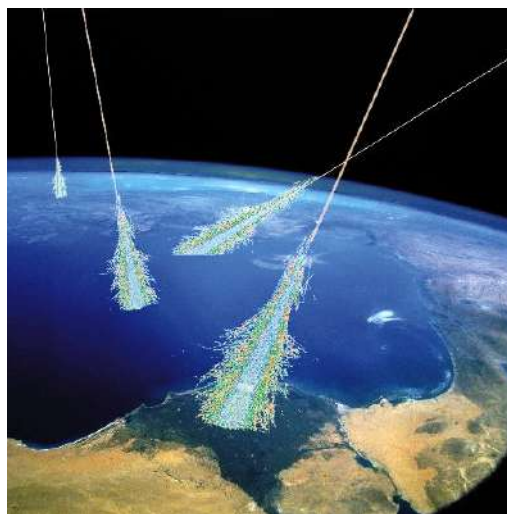


Slika 4. Victor Hess prije jednog od svojih slavnih istraživačkih letova balonom 1912. godine.

Izvor: <http://www.auger.org/photos/PA013.300dpi.jpg>

Pljuskovi čestica u atmosferi

Kozmička zraka pri upadu u atmosferu stvara pljusak sekundarnih čestica (Slika 5.) koji se može protezati kilometrima niže. Ako je energija primarne kozmičke zrake dovoljno velika (iznad 10^{14} eV), sekundarne nabijene čestice mogu stići i do zemljine površine.

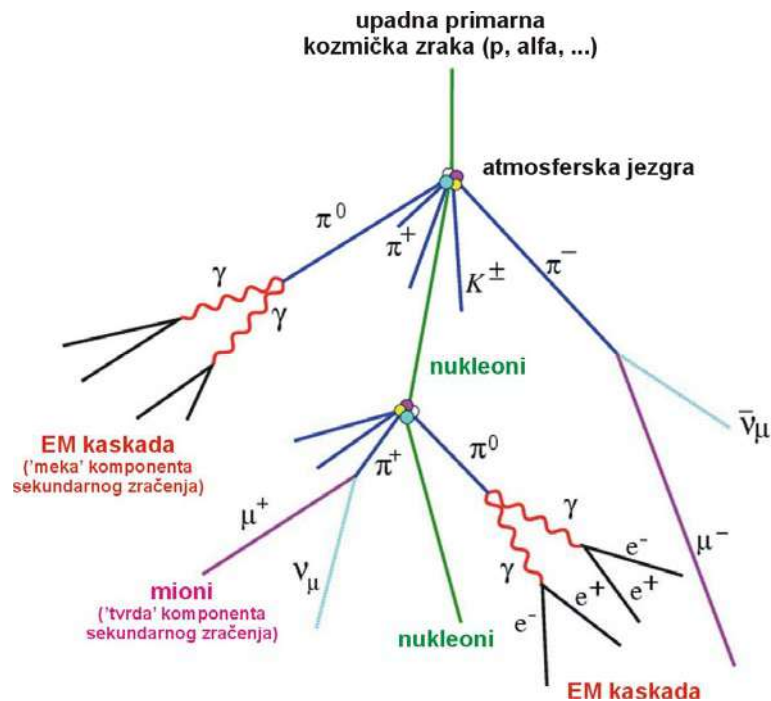


Slika 5. Prikaz pljuskova sekundarnih čestica izazvanih upadom primarne kozmičke zrake u atmosferu.

Izvor: http://universe.nasa.gov/be/library/showers_sm.jpg

Upadna primarna kozmička zraka u vanjskom sloju atmosfere pogađa neku od jezgara dušika ili kisika i stvara sekundarne čestice: pione, kaone i nukleone (protone i neutrone te fragmente jezgara). Sve nastale čestice imaju veliku energiju i uzrokuju niz novih procesa u atmosferi [12]. Npr. neutralni pioni raspadaju se u dvije gama-zrake koje stvaraju elektron–pozitron par te tako nastaje elektromagnetska kaskada (Slika 6.). Negativni pioni raspadaju se na mione koji većinom dopiru do zemljine površine pa i duboko ispod površine.

Pljuskovci čestica u atmosferi danas su dobro poznati i može ih se vrlo precizno numerički simulirati. Najčešće se koristi metoda Monte Carlo simulacija. Slika 7. prikazuje jedan simulirani pljusak izazvan primarnim protonom energije od 3 TeV.



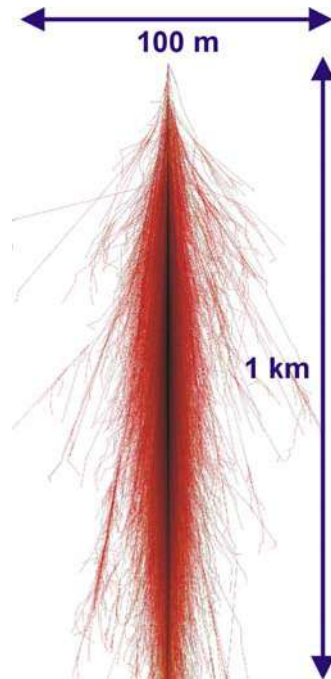
Slika 6. Crtež razvoja pljuska sekundarnih čestica u atmosferi izazvanog upadom primarne kozmičke zrake.

Zahvaljujem Abelardu Moraleju iz Padove na ustupljenoj slici.

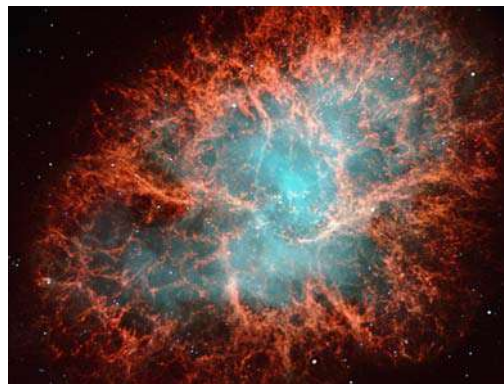
Izvori kozmičkih zraka

Izvori kozmičkih zraka smatrani su misterijom i jednim od ključnih problema astrofizike od Hessovog otkrića pa do današnjih dana. Nedavni podaci čini se da potvrđuju staru pretpostavku da su izvori galaktičkih kozmičkih zraka eksplozije galaktičkih supernova⁵ (Slika 8.).

⁵ Supernova je zvijezda velike mase koja na kraju svojeg razvoja (potrošivši gorivo za nuklearnu fuziju) implodira u neutronska zvijezdu ili crnu rupu, dok se vanjski slojevi zvijezde rasprše u okolni međuzvjezdani prostor.



Slika 7. Monte Carlo simulacija razvoja pljuska sekundarnih čestica u atmosferi izazvanog upadom primarnog protona energije 3 TeV. Crveni tragovi su elektroni, pozitroni i sekundarne gama-zrake, zeleni su mioni, a plavi nukleoni. Zahvaljujem Fabianu Schmidtu iz Leedsa na ustupljenoj slici.



Slika 8. Ostaci supernova **galaktički** su izvori kozmičkih zraka kao i visokoenergijskih gama-zraka i X-zraka. Slika prikazuje Rakovu maglicu, ostatak supernove koja je eksplodirala 1054. godine, snimljenu teleskopom NOT.

Izvor: http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0509/m1_not_big.jpg

Izvori izvangalaktičkih kozmičkih zraka još nisu utvrđeni. Jedan od glavnih kandidata su aktivne galaktičke jezgre (u skupinu kojih pripadaju i kvazari). Aktivne galaktičke jezgre su jezgre galaksija u ranoj fazi razvoja u kojoj supermasivna crna rupa u središtu guta okolni materijal (plin, prašinu te eventualno bliske zvijezde)

stvarajući pri tome rotirajući disk (tzv. *akrecijski disk*) i dva nasuprotna relativistička⁶ mlaza (Slika 9.).



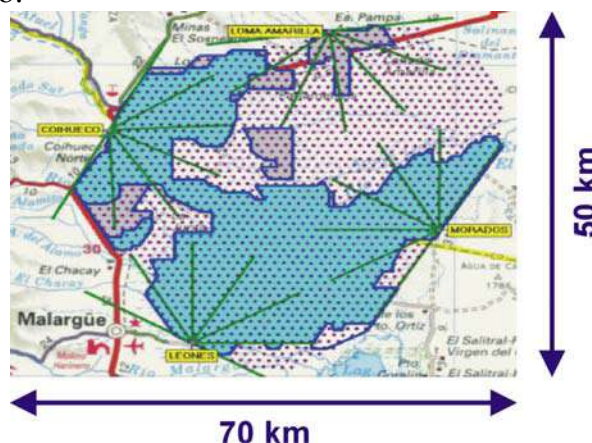
Slika 9. Umjetnički prikaz aktivne galaktičke jezgre na kojem se vide akrecijski disk i relativistički mlazovi. Aktivne galaktičke jezgre jedan su od mogućih **izvangalaktičkih** izvora visokoenergijskih kozmičkih zraka.

Izvor: <http://imagine.gsfc.nasa.gov/Images/advanced/agn.gif>

Primjer opažanja kozmičkih zraka – opservatorij Pierre Auger

Najveći opservatorij na svijetu za istraživanje kozmičkih zraka danas je opservatorij Pierre Auger [13] koji se proteže na čak 3000 km² (Slika 10.). Namijenjen je istraživanju kozmičkih zraka najviših energija, a koristi *hibridni* princip – istovremeno opažanje sekundarnih nabijenih čestica vodenim Čerenkovljevim detektorima i fluorescentne svjetlosti pljuskuva širokokutnim Schmidtovim teleskopima.

Opservatorij je počeo s radom u siječnju 2004. godine iako je još uvijek u izgradnji. U konačnoj fazi sastojat će se od 1600 vodenih Čerenkovljevih detektora (Slika 11.) i 24 širokokutna Schmidtova teleskopa te će moći detektirati prosječno jedan događaj energije 10²⁰ eV tjedno.



Slika 10. Opservatorij Pierre Auger smješten je u području *Pampa Amarilla* u zapadnoj Argentini na površini od 3000 km² (što je površina 30 puta veća od površine Pariza).

Izvor: http://elementy.ru/images/news/pierre_auger_observatory_map_349.gif

⁶ Plazma (ionizirani plin), od koje se sastoje mlazovi, giba se brzinom od **99 % brzine svjetlosti**.



Slika 11. Jedan od 1600 vodenih Čerenkovljevih detektora opservatorija Pierre Auger za opažanje sekundarnih čestica u pljasku izazvanom upadom kozmičkih zraka najviših energija.

Izvor: <http://www.auger.org/observatory/pics/Imagen7.jpg>

Zaključak

O zračenju koje Zemlju stalno bombardira iz svemira Tesla je govorio desetak godina prije nego što je ono izravno dokazano eksperimentima [1]. U slučaju kozmičkih zraka, kao i u mnogim drugim slučajevima, bio je čovjek ispred svog vremena [3].

Teslin motor na kozmičke zrake vjerojatno radi. Ideja je razumna i jednostavna, no realizacija očito nije trivijalna. Valja primjetiti da je Tesli od prijave patenta [4–5] do izjave da prototip radi [6] trebalo više od 30 godina.

Sam je Tesla izjavio da je snaga koju njegov motor razvija još nedovoljna [6]. Povijesno gledano, razumljivo je zašto neki izumi nikad nisu komercijalizirani. Glavni je faktor ekonomičnost, a ne znanost.

Postoji nekoliko bitnih razlika između Teslinih eksperimenata s kozmičkim zrakama (npr. motor na kozmičke zrake) i današnjih eksperimenata s kozmičkim zrakama (npr. opservatorij Pierre Auger).

Tesla je radio individualno dok današnje eksperimente karakteriziraju velike međunarodne kolaboracije. Nadalje, Tesla je bio prvenstveno zainteresiran za praktičnu primjenu (rješenje energetske problema čovječanstva) dok su današnji motivi u prvom redu spoznajni (odakle dolaze i kako nastaju kozmičke zrake). U usporedbi s Teslinim pristupom, tehnološki razvoj danas tek je korisna popratna pojava temeljnih istraživanja.

Gledano iz sadašnje perspektive, Tesla je ispravno zaključio da su kozmičke zrake *beskrajno male čestice* (elektrone, gama-zrake i neutrine danas smatramo točkastima) *pozitivnog naboja* (velika većina kozmičkog zračenja je takva) koje *dolaze iz svemira* i padaju na Zemlju *iz svih smjerova*.

Druga pak Teslina tvrdnja, da kozmičke zrake mogu *gotovo bez međudjelovanja prolaziti kroz tvar*, podsjeća na neutrine koji čine vrlo mali postotak kozmičkog

zračenja. Ipak mislim da je tvrdnju ispravnije tumačiti u kontekstu vrlo visoke energije kozmičkih zraka zbog čega one mogu prodirati kroz velike količine tvari.

Izuzetno je zanimljiva i Teslina tvrdnja da kozmičke zrake *moгу putovati brže od svjetlosti*. Sekundarne nabijene čestice u atmosferi zaista putuju brže od svjetlosti (ali ne brže od c , nego brže od brzine svjetlosti u zraku c/n). Kozmičke zrake *uzrokuju prirodnu radioaktivnost*, ali ne svu prirodnu radioaktivnost kao što je Tesla mislio.

Na kraju, *izvori kozmičkog zračenja jesu zvijezde* kao što je tvrdio Tesla. Doduše, naše Sunce i zvijezde poput njega daju samo mali doprinos kozmičkim zrakama. Najveći dio kozmičkih zraka na Zemlju dolazi s galaktičkih „mrtvih zvijezda“, uglavnom pulsara⁷ koji tisućama godina pogone ostatke supernova tjerajući ih da zrače u cijelom elektromagnetskom spektru (od radio valova do gama-zraka) te da emitiraju kozmičke zrake.

Literatura

- [1] Vladimir Paar, **Tesla i fizika**, *Matematičko–fizički list* **224** (2006) 210–213
- [2] Nikola Tesla, **Moji pronalasci**, *Školska knjiga* (1990)
- [3] John J. O'Neill, **Prodigal Genius: The Life of Nikola Tesla**, *Angriff Press* (1985)
- [4] Nikola Tesla, **Apparatus for the Utilization of Radiant Energy**, U.S. Patent # 685.957 (5. studeni 1901)
<http://www.keelynet.com/tesla/00685957.pdf>
- [5] Nikola Tesla, **Method of Utilizing Radiant Energy**, U.S. Patent # 685.958 (5. studeni 1901)
<http://www.keelynet.com/tesla/00685958.pdf>
- [6] John O'Neill, **Tesla Cosmic Ray Motor May Transmit Power 'Round Earth**, *Brooklin Eagle* (10. srpanj 1932)
http://www.tesla-coil-builder.com/Articles/july_10_1932.htm
- [7] Bruno Rossi, **Cosmic Rays**, *McGraw–Hill* (1964)
- [8] André Waser, **Nikola TESLA's Radiations and the Cosmic Rays** (2000)
http://people.na.infn.it/~longo/Didattica/Astrofisica/Materiali/d_tesla.pdf
- [9] **Tesla Harness Cosmic Energy**, *Philadelphia Public Ledger* (2. studeni 1933)
http://www.tesla-coil-builder.com/Articles/november_2_1933.htm
- [10] Otto Claus Allkofer, **Introduction to Cosmic Radiation**, *Verlag Karl Thiemiig* (1975)
- [11] **Cosmic Ray**
http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray
- [12] Konrad Bernlöhr, **Introduction to Cosmic Ray Showers**
<http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/Showers.html>
- [13] **Pierre Auger Observatory**
<http://www.auger.org/>
- [14] **Nikola Tesla**
<http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla>

⁷ Pulsari su brzrotirajuće neutronske zvijezde u središtima ostataka supernova.