

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ODJEL ZA FIZIKU**



**MARTINA BRKIĆ**

**MIKROVALNO KOZMIČKO ZRAČENJE**

**Završni rad**

**Osijek, 2016.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ODJEL ZA FIZIKU**



**MARTINA BRKIĆ**

## **MIKROVALNO KOZMIČKO ZRAČENJE**

**Završni rad**

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Radi stjecanja zvanja prvostupnika/ce fizike

**Osijek, 2016.**

**„Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom izv.prof.dr.sc. Branka Vukovića i dr.sc. Maje Vargae Pajtler u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku“.**

## Zahvala

Želim se od sveg srca zahvaliti svojoj obitelji što su mi omogućili školovanje te na beskrajnoj potpori svih ovih godina.

## **SADRŽAJ:**

1. UVOD .....	7
2. POVIJEST OTKRIĆA MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA .....	8
3. NASTANAK MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA .....	9
5. MJERENJA MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA .....	11
5.1 COBE .....	11
5.2 WMAP .....	13
5.3 PLANCK .....	14
6. ANIZOTROPNOST MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA .....	16
7. POLARIZACIJA MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA .....	17
7. ZAKLJUČAK .....	19
8. LITERATURA .....	20
ŽIVOTOPIS .....	21

## MIKROVALNO KOZMIČKO ZRAČENJE

MARTINA BRKIĆ

### Sažetak

Mikrovalno kozmičko zračenje je zračenje koje ispunjava svemir, padajući na Zemlju iz svakog smjera skoro jedinstvenom gustoćom. Od ranog 20. stoljeća, dva koncepta transformirala su način razmišljanja astronoma o promatranju svemira. U sklopu prvog koncepta, svemir je fantastično velik - dio svemira vidljivog danas je sfera radijusa približnih 15 milijardi svjetlosnih godina, i mi vjerujemo da je to samo vrh ledenjaka. Drugi koncept je da svjetlost putuje ustaljenom brzinom. Jednostavna posljedica ovih ideja je da se gledanjem u udaljenije predmete vidi sve dalje i dalje u prošlost.

**Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku**

**Ključne riječi:** mikrovalno kozmičko zračenje, svemir, veliki prasak

**Mentor:** izv.prof.dr.sc. Branko Vuković i dr.sc. Maja Varga Pajtler

**Ocjenjivači:**

**Rad prihvaćen:**

University Josip Juraj Strossmayer Osijek

Bachelor of Physics Thesis

Department of Physics

# MIKROVALNO KOZMIČKO ZRAČENJE

MARTINA BRKIĆ

## Abstract

The cosmic microwave background radiation is a radiation that fills the universe, falling on Earth from every direction with nearly uniform intensity. Since early twentieth century, two concepts have transformed the way astronomers think about observing the universe. The first is that it is fantastically large; the portion of the universe visible today is a sphere nearly 15 billion light-years in radius, and that, we believe, is just the tip of the iceberg. The second is that light travels at a fixed speed. A simple consequence of these ideas is that as you look at more and more distant objects, you see farther and farther back in time.

**Thesis deposited in Department of Physics library**

**Keywords:** microwave cosmic background, universe, big bang

**Supervisor:** izv. prof. dr. sc. Branko Vuković and dr. sc. Maja Varga Pajtler

**Reviewers:**

**Thesis accepted:**

## 1. UVOD

Preteško i nerazumljivo bilo bi kada bismo Svemir gledali kao skup pojedinosti, svaki dio zasebno proučavali, stoga Svemir gledamo kao cjelinu.

Događaj stvaranja svemira naziva se veliki prasak. To nije eksplozija, to je događaj stvaranja prostora, vremena, materijalnih stvari i energije. Prije velikog praska, svemir je bio točka ogromne gustoće, a prema istraživanjima, vjerojatno se počeo širiti prije 13,7 milijardi godina i širi se od onda pa sve do danas. Hoće li se širiti i dalje ovisi o masi svemira, koja je nepredvidljiva. Saznanja koja dokazuju teoriju velikog praska su mikrovalno kozmičko zračenje i Hubbleov zakon[1].

Mikrovalno zračenje emitiraju tijela na vrlo niskim temperaturama od samo nekoliko stupnjeva iznad apsolutne nule. Ovo zračenje gotovo da ne prolazi kroz atmosferu pa sustavna promatranja Svemira kroz mikrovalni prozor započinju tek pojavom satelita. Mikrovalno zračenje ispunjava cijeli Svemir pa odatle i pridjev 'kozmičko'.

Mikrovalno kozmičko zračenje jedan je od stupova na kojem počiva teorija velikog praska. To je elektromagnetsko zračenje u mikrovalnom području, između radiovalova i infracrvenog zračenja, u kojemu se kupa cijeli svemir. Radi se o fosilnom ostatku prvog svjetla koje se moglo slobodno širiti kroz Svemir u trenutku kad je došlo do formiranja atoma, što se dogodilo kad se Svemir ohladio na oko 3000 K. Taj se događaj zbio samo 370 tisuća godina nakon velikog praska. Konstantno širenje i hlađenje Svemira utječe na ovo prvo svjetlo pa se valna duljina ovog zračenja stalno povećava i u ovom trenutku evolucije Svemira opažamo ga u mikrovalnom području[1]. Mjerenje mikrovalnog kozmičkog zračenja u biti je mjerenje temperature Svemira, a današnja temperatura Svemira je oko 2,7 K (oko -271°C).



## 2. POVIJEST OTKRIĆA MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA

Postojanje mikrovalnog kozmičkog zračenja predvidjeli su 1948. g. G. Gamow, R. Wilson i R. Alpher. Oni su prvo predvidjeli temperaturu zračenja 5 K, a kasnije 28 K. Međutim, nikada to nisu dokazali. Njihovi radovi odnosili su se na nukleosintezu nakon velikog praska i u njima se mikrovalno kozmičko zračenje ne spominje direktno, već se spominje „temperatura Svemira“.

1965. g. A. Penzias i R. Wilson u laboratorijima Bell u New Jersey, SAD, radili su pokuse s antenom, koja je bila u obliku roga, duga 6 metara, s vrlo osjetljivim prijemnikom, kako bi razaznali slabe radiosignale s umjetnih satelita Echo 1 i Telstar. Penzias i Wilson odlučili su ispitati slabi šum koji je ometao prijem. Prva pomisao im je bila da u opremu udaraju golubovi, međutim, kad su pohvatali golubove, i dalje je postojao šum[1]. Pomislili su kako šum potječe iz smjera Mliječnog puta. U tom bi slučaju šum trebao biti najjači kada je antena okrenuta prema Mliječnom putu, a najslabiji kad je postavljena okomito na taj smjer. Naglasimo da atmosfera propušta zračenje valne duljine veće od centimetra; pri manjim valnim duljinama, zračenje molekula vode i kisika iz atmosfere postaje previše veliko i ometa ono zračenje koje želimo izmjeriti. Penzias i Wilson mjerili su smetnje pri valnoj duljini 7,35 cm te su ustanovili da signal nije ovisio o smjeru mjerenja. Pažljivo su otklonili sve mogućnosti nastajanja šuma u atmosferi ili u prijemniku. Signal nije mogao nastati u atmosferi jer bi u tom slučaju morao ovisiti o smjeru antene te je preostala samo mogućnost da valovi stižu iz svih smjerova jednakomjerno te da izvire iz svemira, a ne iz naše galaksije. Penzias i Wilson oklijevali su u objavljivanju rezultata, jer im se misao činila neobičnom.

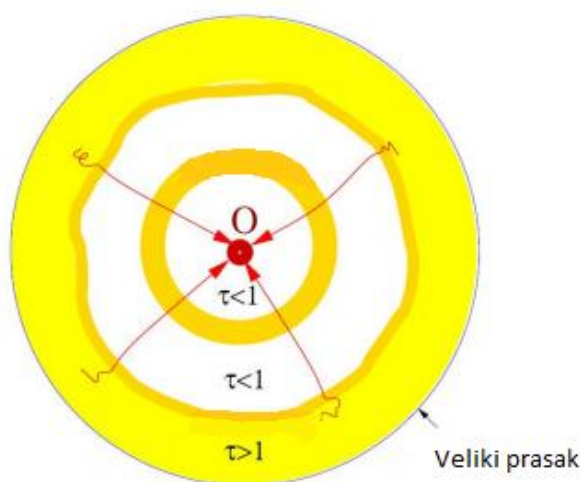
Nakon 1960. godine na pretpostavku o zračenju u svemiru su uz R. Dickea, došli još i J. Zeldovič u SSSR-u, F. Hoyle u Engleskoj i drugi. Kako bi provjerili pretpostavku, godine 1964. R. Dicke i njegovi suradnici počeli su mjeriti zračenje u svemiru pri valnoj duljini od 3,2 cm [2]. Još prije no što su završili mjerenja, saznali su za uspjeh Penziasa i Wilsona.

Godine 1978. A. Penzias i R. Wilson zajedno su dobili Nobelovu nagradu za fiziku jer su prvi otkrili svemirsko zračenje, iako zapravo u početku nisu znali što su otkrili.

### 3.NASTANAK MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA

Prema svim pokazateljima, prvih nekoliko minuta nakon velikog praska bilo je odlučujuće u formiranju našeg svemira. U tom kratkom periodu odvijalo se razdvajanje izvorne jedinstvene sile, zatim inflacija (izvanredno brzo širenje svemira), a ubrzo i prvotna nukleosinteza (tj. stvaranje jezgara lakih elemenata poput deuterija i helija).

Nakon velikog praska, svemir je bio visoke temperature i velike gustoće; nije bilo neutralnih atoma, čak niti jezgri. Da su jezgre i atomi postojali, odmah bi bili uništeni velikom energijom fotona. Materija i zračenje bili su u toplinskoj ravnoteži, zbog brzih sudara fotona i slobodnih elektrona[2]. Kako se svemir širio, tako se hladio te je u nekom trenutku temperatura svemira pala ispod temperature potrebne za energiju vezanja jezgri. U tom trenutku počeli su nastajati elementi svjetlosti, a elektroni su se vezali u neutralne atome i taj proces je nazvan rekombinacija. Taj period je nazvan rekombinacijskim, a temperatura svemira bila je oko 2700 °C. Zračenje je odvojeno od materije te je taj trenutak nazvan razdvajanje. Fotoni su se počeli slobodno kretati svemirom. Na Slici 3.1 prikazano je širenje svemira, gdje je  $\tau$  optička dubina (fotoni mogu pobjeći ako je optička dubina veća od jedinice, odnosno biti apsorbirani ako je manja od jedinice, iako se mogućnost bježanja drastično smanjuje sa povećanjem optičke dubine), dok crvene linije predstavljaju fotone[2].



Slika 1: Grafički prikaz širenja svemira. Proces širenja svemira započeo je velikim praskom, zatim je uslijedila toplinska ravnoteža između materije i zračenja. Na slici je prikazano posljednje razdvajanje materije i zračenja narančastom bojom. Od toga trenutka, fotoni su se počeli slobodno kretati svemirom.

Kad je svemir bio vrlo mlad i vruć, zračenje nije moglo proputovati velike udaljenosti jer bi vrlo brzo bilo apsorbirano i reemitirano. Stalna izmjena energije između čestica održavala je svemir u stanju termičke ravnoteže - bilo je vrlo malo vjerojatno da će se neki dio svemira ugrijati iznad prosječne temperature. Kad se materija i energija nalaze u takvom stanju, spektar zračenja poprima oblik termalnog spektra (spektar zračenja crnog tijela), gdje intenzitet zračenja na bilo kojoj valnoj duljini ovisi samo o temperaturi. Termalni spektar pozadinskog zračenja je jak dokaz da je svemir nekad bio gust i vruć.

Zračenje sadrži energiju, a energiji odgovara masa te na taj način možemo uspoređivati gustoću materije i zračenja. Srednja gustoća tvari smanjuje se s vremenom zbog širenja svemira, i to obrnuto razmjerno s kubom udaljenosti. Zbog istog razloga smanjuje se i gustoća zračenja, štoviše, još jače, i to obrnuto razmjerno s četvrtom potencijom udaljenosti.

Nakon što se gustoća materije izjednačila s gustoćom zračenja, svemir je postao propustan za zračenje, a zračenje i tvar se razvijaju odvojeno. Zračenje sadrži energiju, a energiji odgovara masa. Na taj način možemo uspoređivati gustoću materije i zračenja. Srednja gustoća tvari smanjuje se s vremenom zbog širenja svemira, i to obrnuto razmjerno s kubom udaljenosti. Zbog istog razloga smanjuje se i gustoća zračenja, štoviše, još jače, i to obrnuto razmjerno s četvrtom potencijom udaljenosti[1]. Iako nakon procesa odvajanja više nije bilo u termičkoj ravnoteži s materijom, zračenje je ipak očuvalo karakteristična svojstva zračenja u termičkoj ravnoteži s tvari. Valna duljina zračenja se "rasteže" uslijed širenja svemira, pa je i temperatura zračenja pala s prvotnih 3000 K na današnjih 2,735 K.

Fotoni koji se od tog trenutka nastavljaju više-manje neometano gibati sve do danas nazivaju se mikrovalno kozmičko zračenje. Ono ispunjava svemir, nevidljivo je oku i ne može biti uočeno bez instrumenata.

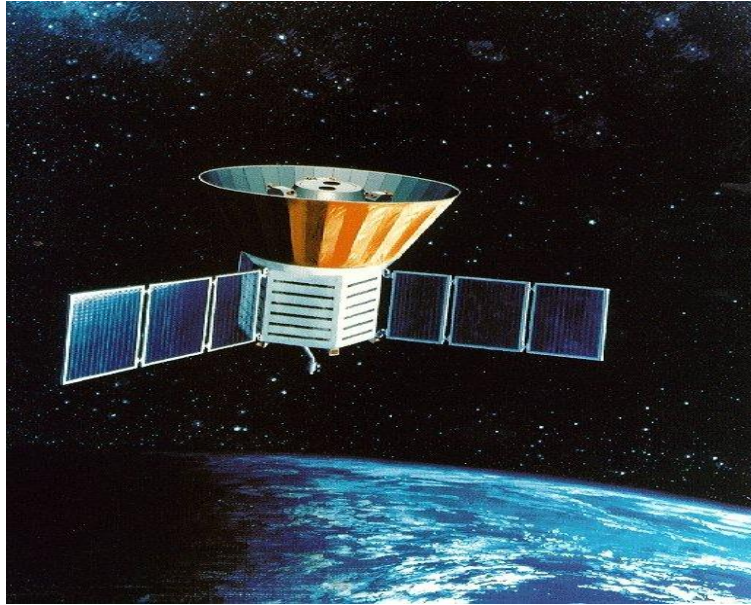
## 5.MJERENJA MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA

Još od otkrića mikrovalnog kozmičkog zračenja, provedena su brojna mjerenja zračenja. Prva mjerenja dokazala su da je opaženi spektar zaista spektar crnog tijela. Zatim je pokazano da je mikrovalno kozmičko zračenje izotropno, odnosno temperatura fotona iz svih smjerova je ista. Kad su mjerenja postala preciznija, dokazano je da je temperatura fotona malo drukčija za drukčije smjerove i o tome će biti govora nešto kasnije.

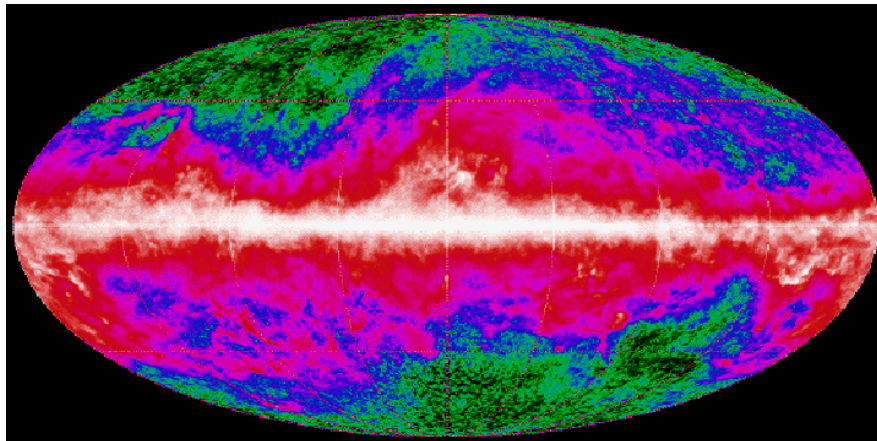
Važna mjerenja su obavljena pomoću COBE satelita (Cosmic Background Explorer) i WMAP-a (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe).

### 5.1 COBE

Cosmic Background Explorer (COBE) je satelit koji je izgradila NASA u sedamdesetim godinama prošlog stoljeća[3]. Stavljen je u orbitu 1989.g. i od tada je izmjerio temperaturu fotona iz svih smjerova. 1992. g. objavljeno je da je pronađeno malo anizotropnosti u temperaturi mikrovalnog kozmičkog zračenja. COBE je pokazao da spektar kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja ima savršen oblik spektra zračenja crnog tijela te da postoje sitne fluktuacije u tom spektru. Te fluktuacije povezane su sa začetkom formiranja galaksija u svemiru. Na Slici 2 prikazan je izgled satelita COBE. Na Slici 3 prikazano je nebo u raznim valnim duljinama, snimljeno satelitom COBE[4].



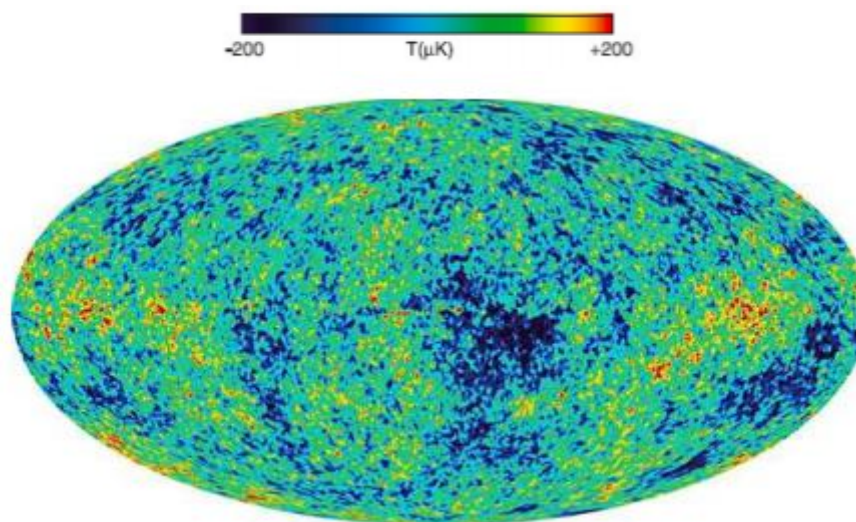
Slika 1: Izgled satelita COBE



Slika 2: Nebo snimljeno satelitom COBE

## 5.2 WMAP

WMAP je satelit koji je izgradila NASA 2001.godine[3]. Ovaj satelit precizniji je od COBE satelita te su njegova mjerenja potvrdila postojanje anizotropnosti u temperaturi mikrovalnog kozmičkog zračenja.



Slika 3: Slika neba u mikrovalnom području snimljena satelitom WMAP

Glavni rezultat WMAP-a je Slika 4 koja prikazuje čitavo nebo u mikrovalnom području[4]. Prosječna temperatura svemira je 2,73K, a boje prikazuju mikrokelvinska odstupanja od tog prosjeka. Plava boja na slici označava odstupanja prema nižoj temperaturi, dok zelena, žuta i crvena boja označavaju odstupanja prema višoj temperaturi.

COBE i WMAP mjerili su temperaturu fotona iz svih smjerova, međutim, ti fotoni ne potječu svi od mikrovalnog kozmičkog zračenja, nego i od ostalih izvora. Kako bi se utjecaj ostalih izvora smanjio, lokacija WMAP je iza Zemlje. Razlog takvom položaju satelita je ne dopiranje Sunčevih fotona do satelita. Proces smanjivanja utjecaja fotona koji nisu od mikrovalnog kozmičkog zračenja naziva se oduzimanje pozadine (eng. foreground subtraction) i provodi se na različite načine.

Prvo, puno mjerenih fotona dolazi od nama poznatih izvora kao što su planete i zvijezde. S obzirom da su lokacije i svojstva takvih izvora nama poznati, uklanjamo ih iz podataka.



Drugo, znamo da je spektar fotona koji čine mikrovalno kozmičko zračenje spektar crnog tijela, a fotoni koji dolaze od drugih izvora su drugačijeg spektra te takve isto uklanjamo iz podataka. Ovaj proces je jako kompliciran, ali stručnjaci su ga uspjeli provesti. Svrha provedenih istraživanja i mjerenja bila je odrediti temperaturu fotona mikrovalnog kozmičkog zračenja koji dolaze iz svih smjerova[5]. Temperatura mikrovalnog kozmičkog zračenja je srednja vrijednost svih izmjerenih temperatura i iznosi:  $T=2,725\pm 0,001$  K. Temperaturne razlike tada su prikazane kao razlike izmjerenih temperatura i srednje temperature.

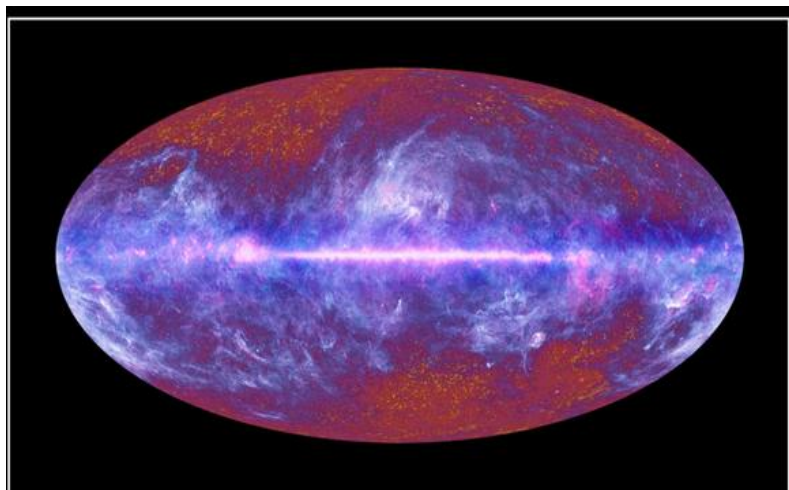
### 5.3 PLANCK

Opservatorij koji je zamijenio satelit WMAP je Planck, a lansiran je bliske 2009 godine. Sposoban je promatrati anizotropnost kozmičkog zračenja s većom preciznošću i većom rezolucijom. Njime je otkriveno da su prve zvijezde rođene 100 milijuna godina kasnije u odnosu na prijašnja saznanja te da je starost svemira  $13,798 \pm 0,037$  milijardi godina. Preinačio je do tada poznate vrijednosti omjera obične tvari, tamne tvari i tamne energije u svemiru. Obična tvar su protoni i neutroni, materija koja gradi zvijezde, planete i živa bića. Udio obične tvari u ukupnoj masi – energiji svemira Planck je korigirao s 4,5% na 4,9%. Tamna tvar je naziv za tvar u svemiru koja ne emitira niti reflektira elektromagnetsko zračenje, zbog čega je ne možemo vidjeti, a dokazano je da i tamne tvari ima nešto više u odnosu na ranije procjene: 26,8%, a ne samo 22,7%. Tamna energija naziv je za hipotetski oblik energije koji prodire u cijeli prostor i ima negativan tlak koji rezultira odbojnom gravitacijskom silom. Rezultati Plancka pokazuju da tamne energije ima 68,3%, ne 72,8% kako se ranije mislilo. Planck je također potvrdio postojanje dviju anomalija u prostornoj raspodjeli fluktuacija kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja. Jedno od ponuđenih objašnjenja, koje je trenutno samo spekulacija, jest da se radi o otisku interakcije našeg

svemira s nekim drugim svemirom u multisvemiru, odnosno o kontaktu našeg Svemira s nekim drugim svemirom. Sve u svemu, Planck je kozmologiji dao veliku eksperimentalnu potporu. Na Slici 5 možemo vidjeti izgled opservatorija Planck, dok Slika 6 prikazuje nebo u mikrovalnom području snimljeno Planck-om.



**Slika 4: Opservatorij Planck**



**Slika 5: Nebo snimljeno Planck-om**



## 6. ANIZOTROPNOST MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA

Anizotropnost je osobina nekih tijela da u raznim smjerovima imaju različita fizikalna svojstva, npr. elastičnost, indeks loma svjetlosti, magnetizacija, toplinska vodljivost i dr.

Dvije su vrste anizotropnosti svemira. Prva vrsta ima postanak u ranom svemiru, te je nazvana primarnom anizotropnošću. Druga vrsta anizotropnosti je nastala kasnije, čiji je primjer Dopplerov pomak u temperaturi zbog gibanja Zemlje u odnosu na mikrovalno kozmičko zračenje. Za anizotropnost se vjeruje da je uzrok današnjeg grupiranja materije u galaksije i skupove galaksija[1].

Anizotropnost na velikoj skali (više od  $10^\circ$ ) izmjerena uz pomoć satelita COBE bila je jednaka onoj predviđenoj teorijom velikog praska. Anizotropnost kozmičkog zračenja koja je odgovorna za formiranje galaksija i skupova galaksija mnogo je finija od one izmjerene COBE-om. Pored toga, mjerenje anizotropnosti na srednjoj skali ( $0,5^\circ - 10^\circ$ ) razjasnilo bi detalje procesa razdvajanja materije i zračenja. Numeričke kalkulacije pokazuju da je u vrijeme posljednjih interakcija materije i zračenja došlo do akustičnih oscilacija (oscilacije Sunca) u područjima s najgušćom materijom, što je trebalo ostaviti traga u anizotropnosti zračenja. Simulacije su pokazale da je odnos gustoće i opsega takvih područja u kozmološkom modelu vrlo osjetljiv na kozmološke parametre  $\Omega$  (omjer stvarne i kritične gustoće svemira),  $B$  (udio obične materije) i  $H_0$  (Hubbleova konstanta). Poblje određivanje ove tri važne kozmološke konstante zahtijeva istraživanje anizotropnosti pozadinskog zračenja na skali od  $1^\circ$ , međutim, tehnika i tehnologija potrebna za ovakvu vrstu mjerenja mikrovalnog zračenja je još uvijek u razvoju.

Mjerenje anizotropnosti na skali manjoj od  $0,5^\circ$  morat će se izvršiti relativno velikim zemaljskim teleskopima. Očekuje se da će, zbog potrebe za velikim instrumentima i značajnim novčanim sredstvima, napredak u ovom području biti relativno spor.

Teorija još nije dovoljno rekla o ovoj vrsti anizotropnosti, ali se pretpostavlja da je anizotropnost na vrlo maloj skali donekle "zamućena" interakcijom zračenja i materije krajem prijelaznog perioda između razdoblja zračenja i razdoblja materije.

## 7. POLARIZACIJA MIKROVALNOG KOZMIČKOG ZRAČENJA

Polarizacija je svojstvo elektromagnetskoga vala povezano s orijentacijom ravnine titranja. Kod nepolariziranog elektromagnetskog vala orijentacija ravnine titranja je nasumična, dok polarizirani val ima preferiranu orijentaciju ravnine titranja. Polarizacija elektromagnetskih valova može se relativno lako utvrditi. Ako ju opazimo, možemo iz toga zaključiti da je postojao nekakav utjecaj okoline koji ju je uzrokovao. Primjerice, poznato je da Sunčeva svjetlost, koja je izvorno nepolarizirana, postaje polarizirana nakon refleksije na površini vode. Iz mjerenja polarizacije te svjetlosti možemo rekonstruirati prostorni raspored "uzročnika", u ovom slučaju položaj površine vode. Čak i kad voda ne bi bila mirna, nego valovita, mogli bismo preciznim mjerenjima smjerova polarizacije rekonstruirati svojstva valova. Taj primjer s polarizacijom Sunčeve svjetlosti na valovitoj površini vode nije odabran slučajno. Naime, postojala su teorijska predviđanja da smjerovi polarizacije kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja odražavaju svojevrzne valove, ali ne valove materije, nego valove samog prostorvremena iz vrlo rane faze razvoja svemira – primordijalne gravitacijske valove. Budući da je mikrovalno kozmičko zračenje oblik svjetlosti, ono ispoljava sva svojstva svjetlosti uključujući i polarizaciju. Na Zemlji se svjetlost Sunca raspršuje u atmosferi i tako postaje polarizirana. U ranom svemiru sjaj ovog zračenja rasipali su atomi i elektroni tako da je i ono postalo polarizirano.

BICEP2 bio je teleskop na Južnom polu namijenjen opažanju polarizacije kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja. BICEP2 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization) snimao je slabašne tragove, tzv. fosilne ostatke podrhtavanja u sjaju Velikog praska. Naime, u tom sjaju postoje male nejednakosti u temperaturama koje pokazuju da su neki dijelovi svemira nedugo nakon velikog praska bili gušći. Oni su se s vremenom kondenzirali i stvorili galaksije i grozdove galaksija. Promatranja kolaboracije BICEP2 vodila su se s Južnog pola jer je ondje zrak najsuši i najčišći na Zemlji. Tim je bio iznenađen kada je otkrio da su signali polarizacije bili snažniji nego što je bilo tko od znanstvenika očekivao. No, budući da su znali da će se za tako velike tvrdnje trebati naoružati jakim dokazima, prikupljene podatke pročešljavali su pune tri godine kako bi isključili sve moguće pogreške i utjecaje. Kada su novinari pitali člana tima teorijskog fizičara s Harvadra A. Loeba da komentira implikacije novog otkrića, on je rekao: 'Ovaj rad daje nove uvide u neka od osnovnih pitanja: Zašto postojimo? Kako je počeo svemir? Ti rezultati nisu samo potvrda

inflacije, oni također govore kada se inflacija dogodila i koliko je proces bio snažan.’ Gravitacijski valovi su jedino predviđanje opće teorije relativnosti Alberta Einsteina koje do sada nije bilo izravno potvrđeno. Trebali bi izgledati kao sićušna mreškanja, milijunima puta manja od atoma, kojima se prenosi energija u vremensko-prostornom kontinuumu svemira slično kao što to čine valovi u oceanu. Pretpostavlja se da bi gravitacijske valove trebala stvarati sva kretanja tijela, osobito onih koja imaju goleme mase i brzine, baš kao što veliki brzi brodovi stvaraju velike valove. No, znanstvenicima su posebno zanimljivi gravitacijski valovi koji su nastali u prvim trenucima nastajanja svemira kao svojevrsan zvučni zapis kreacije jer oni nose ključne informacije o tom događaju. Znanstvenici se slažu da je ovo jedno od najvećih otkrića u kozmologiji u novijoj povijesti.

## 7. ZAKLJUČAK

Otkriće mikrovalnog kozmičkog zračenja ubrajamo među najznačajnija otkrića 20. stoljeća. Najvažnija informacija koju dobivamo od mikrovalnog kozmičkog značenja je upravo njegovo postojanje, koje je potvrda velikog praska. Istraživanjem je utvrđeno da je spektar mikrovalnog kozmičkog značenja zapravo spektar crnog tijela, te da promatrajući dipolnu anizotropnost, možemo precizno mjeriti naše kretanje kroz svemir. Jedna strana neba je malo toplija (oko 3 mK) a druga strana je hladnija (za oko 3 mK), a to znači da se mi krećemo brzinom od oko 10% brzine svjetlosti, točnije 370 km/s, što je brzina kretanja Sunčevog sustava kroz svemir. Posebno važna informacija koju smo dobili od mikrovalnog kozmičkog značenja su statistički uzorci veoma malih anizotropija u temperaturi, na način da na početnih 3 mK razlike, dodajemo ili oduzimamo 100  $\mu$ K razlike temperature na različitim mjestima.

Mikrovalno kozmičko zračenje je "svjetlost" preostala od velikog praska, događaja kojim je započeo svemir prije 13,8 milijardi godina. To zračenje nosi mnoge informacije, primjerice o nastanku svemira, sudbini svemira te o sastavu svemira. No, opažanje mikrovalnog kozmičkog zračenja nije završilo mjerenjima Penziasa i Wilsona. Naprotiv, tada je tek počelo i nastavlja se sa sve više modernijom i razvijenijom tehnologijom.

## 8. LITERATURA

1. Amedeo Balibi : The Music of the Big Bang, The Cosmic Microwave Background and the New Cosmology; Springer, 2007.
2. Steven Weinberg: Cosmology; Oxford University Press, 2008.
3. COBE to WMAP Sky Animation, 1.kolovoza 2016.  
URL: <http://wmap.gsfc.nasa.gov/media/030653/index.html>
4. The MultiWavelength, 1.kolovoza 2016.  
URL: [http://apod.nasa.gov/htmltest/jbonnell/www/multiw\\_sky.html](http://apod.nasa.gov/htmltest/jbonnell/www/multiw_sky.html)
5. The Cosmic Microwave Background Radiation, 1.kolovoza 2016.  
URL: [https://sites.ualberta.ca/~pogosyan/teaching/ASTRO\\_122/lect31/lecture31.html](https://sites.ualberta.ca/~pogosyan/teaching/ASTRO_122/lect31/lecture31.html)

## ŽIVOTOPIS

Martina Brkić rođena je 13.08.1994. g. u Slavonskom Brodu. Završila je opću gimnaziju fra Martina Nedića u Orašju, BiH. Trenutno studira fiziku i informatiku na sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, RH.