

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 5 (1977/1978)

Številka 3

Strani 145-151

Janez Strnad:

## VESOLJE, I. Del

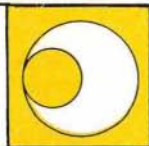
Ključne besede: astronomija.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/5/5-3-Strnad.pdf>

© 1978 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



## VESOLJE

### 1.DEL

Že v starih časih so se ljudje zanimali za svet okoli sebe kot celoto - za *vesolje*. Spraševali so se, kako je nastalo vesolje in kakšno je. Med najstarejšimi zgodbami o nastanku sveta je več kot pet tisoč let stara mezopotamska *Enuma eliš*:

Na začetku je bila brezlična mešanica sladke vode (*Apsu*), morja (*Tiamat*) in vode iz oblakov (*Mumu*). Prva dva sta dala življenje moškimi in ženskam naplavinam (*Lahmu* in *Lahamu*), te moškemu in ženskemu obzorju (*Anšar* in *Kišar*), ti pa nebu (*Anu*) in zemlji (*Enki*) v obliki okrogle plošče.

Sumerci so bili dobri opazovalci. Za njihovo deželo je bila voda zelo pomembna. Videli so, kako reka nalaga naplavine ob izlivu v morje, pa so to spoznanje posplošili. Videli so, kako se poraja novo življenje, pa so uredili stvari v pare z moškimi in ženskimi potezami. Nekatere od njih so posebili z božanstvi.

Mnogo pozneje so Grki uvideli, da Zemlja ni plošča, ampak krogla (Aristotel 330 pr.n.š.). Tedaj so Zemljo še vedno imeli za središče vesolja, okoli katerega se gibljejo Luna, planeti, Sonce in krogla zvezd stalnic (Ptolemej 150) (Sl. 1a). Bilo je treba precej časa, da so spoznali: Zemlja je le eden od planetov *Osončja* (Kopernik 1543, to je trdil že Aristarh 270 pr. n.š.) (Sl. 1b). Še pozneje so ugotovili, da je Sonce le ena od *zvezd*, ki je skupaj z več sto milijardami drugih zvezd članica *Galaksije*. Naša Galaksija je le ena izmed številnih galaksij v vesolju (E. Hubble 1929) (Sl. 2a). Galaksije sestavljajo ja-

Sl. 1: Vesolje iz *Cosmographie* Petra Apiana 1539. V središču je Zemlja, okoli nje se gibljejo Luna, Merkur, Venera, Sonce, Mars, Jupiter, Saturn. Vsako izmed teh teles se giblje med dvema kroglama. Vse obdaja kroglata stalnic (a).  
 Vesolje iz *De revolutionibus orbium coelestium* (O gibanju nebesnih krogel) Nikolaja Kopernika 1543. V središču je Sonce, okoli njega se gibljejo planeti Merkur, Venera, Zemlja z Luno, Mars, Jupiter, Saturn; to obdaja kroglata stalnic (b).



1b



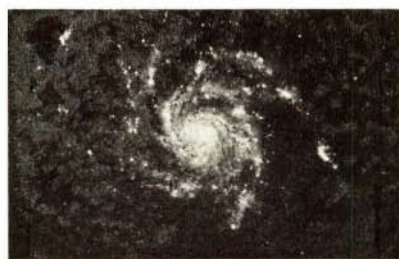
1a



2a<sub>2</sub>



2a<sub>1</sub>



2b



2a<sub>3</sub>

Sl. 2: Krožna galaksija M87 iz jate v ozvezdju Device s tridesetkratnim številom zvezd naše Galaksije (a<sub>1</sub>), eliptična galaksija NGC 147 v ozvezdju Kasiopeje (v njej ločimo posamezne zvezde) (a<sub>2</sub>) in spiralna galaksija M101 v ozvezdju Velikega medveda, podobna naši Galaksiji (a<sub>3</sub>) ter jata galaksij v ozvezdju Herkula z okoli sto člani (ne-

te galaksij (Sl. 2b), ki veljajo danes za osnovne gradnike vesolja.

Starih slik o vesolju nismo navedli, da bi se posmehnilo njihovi preproščini. Ob njih se zavemo, da odraža pogled na vesolje splošno razvojno stopnjo kake družbe. Morda se bo današnja slika o vesolju zdela kmalu podobno zastarela. Vendar iz tega ne sledi, da si ni vredno ustvariti slike o vesolju. Tako sliko potrebuje vsakdo, ki poskuša priti do pogleda na svet. Znanost o vesolju - *kozmozologija* - je bila od nekdaj tesno povezana s filozofijo. V zadnjem času prevladuje prepričanje, da utegne dati proučevanje vesolja dragocena spoznanja tudi za fiziko. Zaradi skopih in negotovih podatkov pa je treba pri navajanju ugotovitev glede vesolja biti posebno previden. Nekatere eksperimentalne podatke je mogoče pojasniti na več načinov in se o njih stališča posameznikov še razlikujejo. Vendar ni mogoče tajiti, da se da iz dosedanjih spoznanj sestaviti dokaj uporabno celoto, če jih presojava tako kot večina fizikov in astrofizikov.

Navedimo nekaj osnovnih ugotovitev, ki so sorazmerno trdno podprte z eksperimentalnimi podatki. Po svetlobi z oddaljenih galaksij je mogoče sklepati, da se galaksije *oddaljujejo*. Svetlobo razstavijo po valovnih dolžinah na spekter in ugotovijo, da so črte premaknjene proti rdečemu delu spektra (Sl. 4). Gre za *Dopplerjev pojav*, ki ga je vsakdo opazil pri zvoku. Zvok oddaljujočega se zvočila ima večjo valovno dolžino (je nižji) kot zvok istega zvočila, ko to miruje. Relativna sprememba valovne dolžine  $z = (\lambda' - \lambda)/\lambda$  je sorazmerna s hitrostjo oddaljevanja, če je ta majhna v primeri s hitrostjo valovanja. To velja tudi za svetlobo:

$$z = v/c \quad (1)$$

$\lambda'$  je valovna dolžina izbrane spektralne črte v svetlobi odda-

katere jate jih imajo preko tisoč) v oddaljenosti okoli 350 milijonov svetlobnih let (krožci s po dvema prečnima črtama so slike bližnjih zvezd v naši Galaksiji; črte nastanejo zaradi odboja svetlobe v daljnogledu) (b). Fotografije so posneli s petmetrskim palomarskim reflektorjem.

ljuboče se galaksije,  $\lambda$  valovna dolžina ustrezne spektralne črte v svetlobi mirujočega laboratorijskega svetila,  $v$  hitrost oddaljevanja v smeri zveznice z Zemljo in  $c$  hitrost svetlobe.

Z dolgotrajnim opazovanjem v več korakih so izmerili tudi oddaljenost ne preveč oddaljenih galaksij. Ugotovili so, da je hitrost oddaljevanja sorazmerna z oddaljenostjo  $l$ :

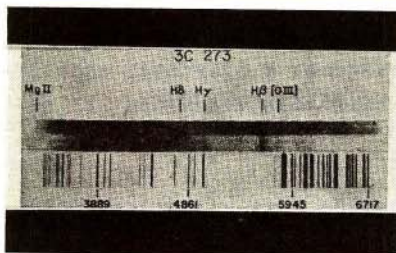
$$v = Hl \quad \text{ali} \quad l = v\tau \quad (2)$$

To je *Hubblev zakon*,  $H$  je *Hubbleva konstanta* in  $\tau = 1/H$  *Hubblev čas*. Merjenja oddaljenosti galaksij so dokaj nezanesljiva in dve najnovejši merjenji sta dali za Hubblev čas 12 milijard in 19 milijard let.  $\tau$  pove, koliko časa bi se vesolje razširjalo, če bi se širilo s sedanjo hitrostjo. Produkt  $c\tau$ , to je 12 milijard svetlobnih let ali 19 milijard svetlobnih let, je ocena za *radij vesolja*.

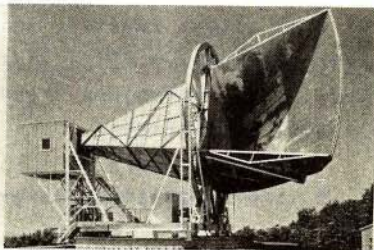
Enačbi (1) in (2) združimo v zvezo

$$l = c\tau z \quad (3)$$

- Sl. 3: Premik črt proti rdečemu delu spektra: spodaj spekter laboratorijskih svetil z vodikovo črto  $H_{\beta}$  z valovno dolžino  $\lambda = 4861 \text{ \AA}$ , zgoraj: z istim spektroskopom posnet<sup>B</sup> spekter kvazarja 3C 273 s črto  $H'_{\beta}$  pri znatno večji valovni dolžini  $\lambda' = 5630 \text{ \AA}$ . Relativni premik  $z$  meri okoli 0,16, tako da je enačba (1) komaj še uporabna (galaksije imajo manjši relativni premik kot kvazarji, ki so morda zgodnje razvojne stopnje galaksij).



3



4

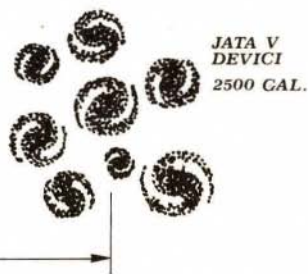
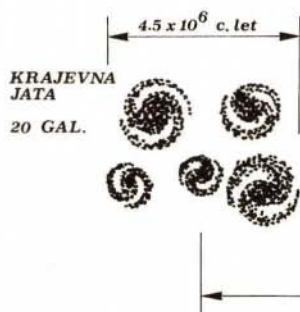
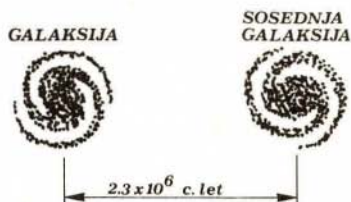
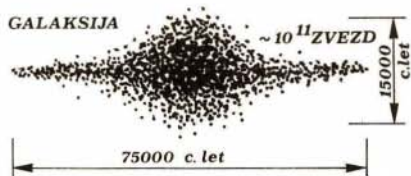
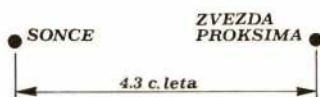
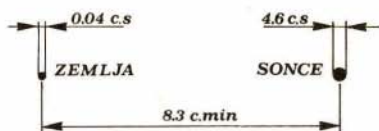
- Sl. 4: Velika antena v obliki roga v Bellovih laboratorijih v Holmdellu (ZDA), s katero so prvič zaznali prasevanje. Prvotno so jo namenili za sprejem signalov s satelitov Echo.

Iz nje lahko izračunamo oddaljenost galaksije po izmerjenem relativnem premiku kake spektralne črte, če privzamemo, da veljata enačbi (1) in (2).

Ker se vesolje razširja, je bilo v preteklosti manjše, gostejše in bolj vroče. (Mislimo na toplotno izoliran plin, ki ima tem višjo temperaturo, čim manjša je njegova prostornina). Pri temperaturi nekaj tisoč kelvinov niso več obstojni nevtralni atomi: ionizirajo se na ione in elektrone. V vesolju je bila taka temperatura kakih milijon let po začetku razširjanja. Preden je potekla od začetka razširjanja ena sekunda, je bila temperatura večja kot deset milijard kelvinov. Vesolje je bilo tedaj zelo majhno in snov v njem zelo gosta. Čim dalje gremo v preteklost vesolja, tem bolj nenavadna je snov v njem. Vednjenja snovi v takih okoliščinah ne znamo zanesljivo opisati. Pri dovolj gosti snovi odpovedo vsi današnji teoretični prijemi.

Kljub tej negotovosti dokaj zanesljivo sklepamo, da se je začelo vesolje razširjati kot zelo majhna, zelo gosta in zelo vroča *ognjena prakrogla z velikim pokom*. Med razširjanjem se je redčilo in ohlajalo. Snov je postajala vse manj nenavadna in naposled so se v njej ioni in elektroni združili v atome. Naključne neenakomernosti so, če so bile dovolj velike, z gravitacijsko silo pritegovale še več snovi. Tako so nastale galaksije in v njih zvezde. Lahki elementi - razen vodika in helija - so nastali šele v zvezdah z zlivanjem jeder vodika. Težki elementi pa so nastali ob eksplozijah zelo velikih zvezd in so tedaj zašli v medzvezdno snov. Iz te so zopet nastale zvezde. Nekatero od teh imajo planete in vsaj na enem izmed njih se je razvilo življenje.

Izmerjena pogostost elementov v Osončju se sklada z orisanim razvojem vesolja. Da se je vesolje razvilo iz ognjene prakrogle, pa namiguje *prasevanje*. To je elektromagnetno valovanje, ki prihaja na Zemljo iz vseh strani vesolja enakomerno in ki je takšno, kot da bi ga sevalo črno telo s temperaturo okoli 3 K. Prasevanje je preostanek sevanja z zgodnje razvojne stopnje vesolja. Temperatura, ki ustreza sevanju, se je zaradi



Sl. 5: Velikostne stopnje vesoljskih teles in oddaljenosti med njimi. Oddaljenosti so navedene v svetlobnih letih ( $1 \text{ c. leto} = 9,3 \cdot 10^{12} \text{ km}$ ), svetlobnih minutah ( $1 \text{ c. min} = 18 \text{ milijonov km}$ ) in svetlobnih sekundah ( $1 \text{ c. s} = 300 \text{ 000 km}$ ).

razširjanja vesolja do danes znižala na okoli 3 K.

V prasevanju so najmočnejše zastopani radijski valovi z zelo kratkimi valovnimi dolžinami okoli milimetra. Radijske valove z valovno dolžino od več deset centimetrov do dela centimetra je mogoče zaznavati kar na zemeljskem površju (Sl. 5). Pri manjših valovnih dolžinah moti sevanje molekul vode, kisika in ozona iz ozračja. Pri teh valovnih dolžinah merijo z napravami, ki jih dvignejo baloni na veliko višino.

Opazovanja so pokazala, da so jate galaksij in oddaljeni radijski izviri - kvazarji - enakomerno porazdeljeni po nebu. To spoznanje in dejstvo, da prihaja prasevanje iz vseh delov vesolja enakomerno, so posplošili v trditev: Vesolje je v danem trenutku enako, opazovano iz katerega koli dela in v kateri koli smeri. Ta trditev, ki ji učeno pravimo *kozmoško načelo*, velja seveda samo na dovolj velikih razdaljah. Na razdaljah do več deset milijonov svetlobnih let vesolje ni enakomerno (Sl. 5). Pač pa je, kot vse kaže, enakomerno na razdaljah sto milijonov svetlobnih let in več.

---

*Janez Strnad*

---