

# ZVEZDNI SEL



KNJIŽICA ZA UČITELJE



# ZVEZDNI SEL

## SE PREDSTAVI

Dobrodošli v *Veliki knjigi!*<sup>1</sup> Vsa modrost ljudi in nesmrtnikov leži med njenimi platnicami ... a *prekletstvo* nad tistimi, ki je ne uporabijo pravilno – zato posluš!

### Sidereus Nuncius = Zvezdni sel

Okrog štiristo let pred tem, ko berete ta stavek, je Galileo Galilei izdelal posnetek krasne naprave izumljene leto dni prej – **teleskop** – in ga obrnil proti nebu. Videl je *čudovite* stvari, ki jih pred njim ni videl še nihče – gore in kraterje na Luni, tisoče zvezd v Rimski cesti, ki so se svetlikale kot kapljice rose, in svetove, ki se vrtijo okrog drugih svetov... Svoja veličastna odkritja je objavil v knjigi imenovani *Sidereus Nuncius* (ali kakor bi rekli vi in jaz, *Zvezdni sel*).

Kot je nekoč dejal moj stari prijatelj, je bil Galileo "**oče moderne znanosti**". Njegova odkritja so odprla povsem nove svetove. Toda še pomembneje: *metode*, ki jih je iznašel, da je z njimi prišel do svojih odkritij, so odprla povsem nove načine odpiranja povsem novih svetov. Galileo bi se v sodobnem laboratoriju počutil kot doma: naše znanje je napredovalo, toda naše metode in način mišljenja so v osnovi enake kot njegove. (Mimogrede, ta moj prijatelj – Nемец po imenu **Albert** – je tudi sam vedel eno ali dve stvari o fiziki.)

Tem fajn ljudem pri Združenih narodih se je zdelo primerno, da leto 2009 razglasijo za **Mednarodno leto astronomije** kot znak priznanja Galilejevih dosežkov in njihovega vpliva na kulturo človeštva.

Moji prijatelji na University of Hertfordshire so posneli film o enem bolj zmagoslavčnih dogodkov v moji karieri, ko sem imel priložnost naleteti na signora Galilea in njegov slavn teleskop.<sup>2</sup> Zato, preden gremo naprej, zakaj si ne bi prinesli nekaj pokovke<sup>3</sup>, se pogreznili v mehke fotelje in si ogledali njihov film?

‘prostite mi, medtem ko poljubljam nebo.

Quicksilver

(znan tudi kot Zvezdni sel)

mimóry.

h. dnr. idnw.

<sup>1</sup> Nekateri mislijo, da je to le fikcija. Kako malo vedo...!

<sup>2</sup> In še dobro za vse vas, da sem, verjemite mi!

<sup>3</sup> Ob tej priložnosti lahko razredu razložite fiziko, ki povzroča pokanje pokovke, seveda!

---

# KAKO UPORABLJATI TO KNJIŽICO

---

Namen te knjižice je, da je v oporo filmu *Zvezdni sel*. Podrobneje opisuje znanost v ozadju. Vsebuje predloge za vaje v učilnici in predstavitve, ki se vse navezujejo na znanstvene osebe v filmu. Po tem, ko razredu pokažete film, je lahko ta knjižica učno gradivo v podporo vašemu pouku fizike ali astronomije.

Ta knjižica pripoveduje zgodbo – vse o Galilejevih glavnih dosežkih in njihovem razvoju v rokah drugih znanstvenikov. Ta zgodba ima tri glavne "teme":

**I. Narava snovi.** Iz česa je večina vesolja? So planeti, zvezde in galaksije narejeni iz enake snovi kot ljudje, sloni in mangi? Kaj sta skrivnostni snovi imenovani **temna snov** in **temna energija**?

**II. Zgodba o gravitaciji.** Kako naša spreminjajoča se slika o gravitaciji odraža naše rastoče razumevanje fizikalnih zakonov: Galileo proti Aristotelu, Newtonova teorija, Einstein in ukrivljen prostorčas. Gravitacija kot orodje za proučevanje narave astronomske snovi.

**III. Znanstvena metoda.** Dvojni vlogi poskusov in posledičnega sklepanja v znanosti – t.j. **poskus** omejuje matematično **teorijo**. Znanstveni skepticizem in neodvisno razmišljanje – dokaz čutil proti besedi avtoritete. Nenatančnost znanstvenih rezultatov in njihovo izboljšanje s časom.

Vsak glavni znanstveni lik v filmu ima svoje poglavje. Lahko si izberete tistega, ki najbolje podpira vaše učne potrebe. Vsako poglavje je razdeljeno v tri dele:

**Zapiski** o delu vsakega znanstvenika, kaj so dosegli in zakaj je bilo to pomembno.

**Vaje v razredu** - poskusi in naloge - temelječe na delu posameznega znanstvenika.

**"Plonk listki"** za učitelje vsebujejo rešitve nalog in predloge tem za nadaljnjo razpravo.

Dovoljeno je fotokopirati karkoli iz te knjižice, kar bi radi razdelili v razredu (glejte Avtorske pravice na str. 38). Barvna PDF datoteka te knjižice je na voljo na spletni strani:

v angleščini: <http://star.herts.ac.uk/starry-messenger>  
v slovenščini: <http://www.portalvvesolje.si/zvezdni-sel>



# KAZALO

## I. GALILEO GALILEI

(a) Znanstveno ozadje	<i>Galilejev svet: astronomija leta 1600</i> Geocentrična teorija; Kopernik in heliocentrična hipoteza; Galilejeva metodologija: matematično sklepanje podprto s poskusom; prva opazovanja s teleskopom in narava nebesne snovi; Galileo in cerkev	6
(b) Vaje v razredu	<i>(i) Jumbo Bunjee</i> Ponovitev slavnega Galilejevega miselnega poskusa prostega pada <i>(ii) Mož na Mesecu</i> Treniranje opazovanja s prostim očesom; učiti se verjeti svojim očem	10 11
(c) Učiteljevi plonk listki	(za Jumbo Bungee in Moža na Mesecu)	12
(d) Dodatno gradivo	<i>Vincenzo Galilei: glasba in znanstvena metoda</i> Harmonija in kozmologija; Galilejev oče in njegov vpliv	13

## II. ISAAC NEWTON

(a) Znanstveno ozadje	<i>Univerzalna gravitacija</i> Gravitacija kot univerzalna sila; prosti pad in tirnice, zakoni gibanja; Optika: zrcalni teleskopi in prizme; Newton – alkimist	14
(b) Vaje v razredu	<i>(i) Parabolična zrcala</i> Prikaz zrcalnega teleskopa s svinčnikom in papirjem <i>(ii) Pletenje mavrice</i> Disperzija svetlobe s prizmo; kako dežne kaplje narišejo mavrico <i>(iii) Rezanje kril angelu</i> Razprava: znanost in lepota, poezija proti racionalizmu	16 17 18
(c) Učiteljevi plonk listki	(za Parabolična zrcala, Pletenje mavrice in Rezanje kril angelu)	19

## III. ARTHUR EDDINGTON

Znanstveno ozadje	<i>Eddington in ukrivljen prostorčas</i> Splošna relativnost: Einsteinova teorija gravitacije; Eddington in popolni Sončev mrk 1919	22
-------------------	---	----

## IV. EDWIN HUBBLE IN MILTON HUMASON

(a) Znanstveno ozadje	<i>Širjenje vesolja</i> Einsteinova "največja zmeta", kozmološka konstanta; koncept razširjajočega se prostora; gibanje galaksij in rdeči premik	24
(b) Vaje v razredu	<i>(i) Ponovno odkrijte Hubblov zakon</i> Določi zvezo med hitrostjo in oddaljenostjo galaksij z uporabo Hubblovih podatkov	26
	<i>(ii) Balonsolje</i> Naredi svoje razširjajoče se vesolje z balonom! Pokaži, da je Hubblov zakon preprosta posledica širjenja	27
(c) Učiteljevi plonk listki	(za Hubblov zakon in Balonsolje)	28

## V. "CELESTE HEAVENS"

(a) Znanstveno ozadje	<i>Temna snov in temna energija</i> Iz česa je vesolje? Dokaz o temni snovi iz gibanja galaksij; Dokaz o temni energiji iz pospeševanja vesolja; Iskanje delcev temne snovi na Zemlji; Končna usoda vesolja	30
(b) Dodatno gradivo	<i>Ujeti nevidne slone</i> (članek dr. Meghan Gray o iskanju temne snovi)	33

## VI. DODATKI

(a) Literarno ozadje	<i>Zvezdni sel</i> in mitologija Simbolični in literarni viri zgodbe	34
(b) Igralska zasedba	<i>Dramski liki</i> Liki in ljudje, ki so jih igrali	36
(c) Dodatne informacije	<i>Nekaj besed za konec</i> DVD hitri vodič, Avtorske pravice, Kontaktne podatke	38
(d) Za zaveso	Nastajanje <i>Zvezdnega sla</i>	39

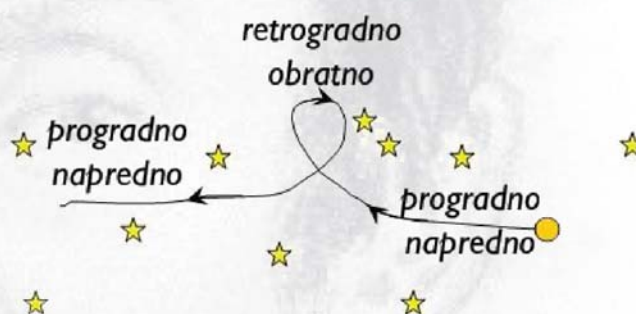
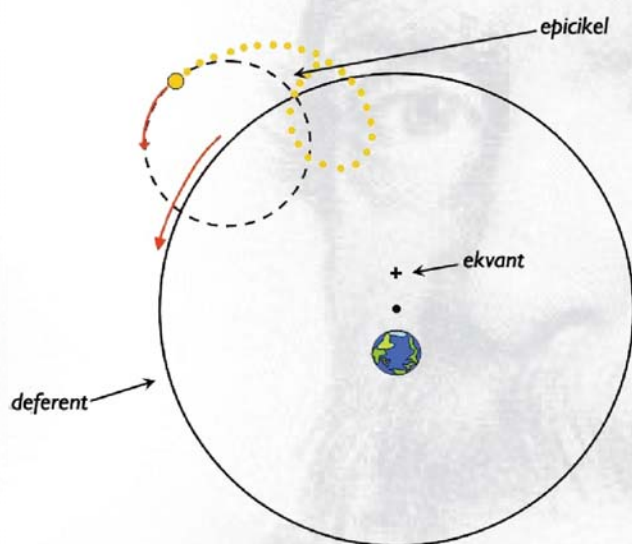
---

# GALILEJEV SVET:

## astronomija leta 1600

---

Začetek 17. stoletja je bilo eno najbolj razburljivih in revolucionarnih obdobj v znanosti. Evropski učenjaki so bili zelo zaposleni s ponovnim odkrivanjem znanja antičnih Grkov, ki so jim ga prenesli arabski astronomi. Sprejeli so model vesolja, ki je temeljil na delu Egiptčana iz 2. stoletja, **Klavdija Ptolemaja**. Po tej teoriji je Zemlja ležala v središču vesolja in vsa druga telesa – Sonce, Luna, planeti in zvezde - so se po krožnih tirnicah gibala okrog nje (*spodaj*).



Velik izziv za grško astronomijo je bilo razložiti opazovane "pentlje" v gibanju planetov glede na zvezde (*zgoraj*). "Sprejeta" rešitev je bil Ptolemajev model (*levo*), po katerem se planeti ne gibljejo neposredno okrog Zemlje, ampak krožijo okrog točke, ki kroži okoli Zemlje. Opazite lahko tudi, da je bila Zemlja postavljena nekoliko izven središča: s tem so razložili majhna odstopanja, ki jih je kasneje Johannes Kepler razložil s tem, da tirnice planetov niso krožnice ampak *elipse*!

Leta 1543 je **Nikolaj Kopernik** posthumno objavil radikalno konkurenčno *heliocentrično teorijo* – t.j. teorijo, ki je postavila v središče Sonce, ne Zemljo. Pokazal je, da bi ta teorija lahko matematično razložila opazovano, včasih pentljasto, gibanje planetov prav tako dobro kot Ptolemajeva – pravzaprav se je izkazala za veliko preprostejšo od Ptolemajeve, ker ni bilo nobene potrebe za vse tiste čudne epicikle, s kolesi znotraj koles znotraj koles; imela je le eno orbito za vsakega od svetov. To ni bilo ravno povšeči tistim, ki so menili, da bi Zemlja, kot dom Človeštva, morala zasedati v vesolju posebno mesto.

Prav tako je bila ta teorija v nasprotju s priljubljeno teorijo fizike tistega časa, ki je temeljila na idejah grškega filozofa **Aristotela**. Po slednji vse

pozna svoje mesto. Težke, umazane, pokvarljive stvari spadajo na Zemljo in se zato potopijo dol, saj jih njihovi grehi vlečejo proti peklu; težje kot so, hitreje bi se morale gibati proti tlem, če jih spustimo. Lahke, puhaste, nedolžne stvari spadajo v nebesa in torej zletijo v nebo, da bi bile eno z angeli. Vse pod tirnico Lune je bilo po tem prepričanju narejeno iz grobe, Zemeljske snovi, ki je podvržena razpadanju in smrti. Vse nad njo pa naj bi bilo narejeno iz čiste snovi imenovane *eter*, brez napak in večne, ki se za vedno giblje po tej najbolj popolni geometrični obliki – krogu.

Take so bile stvari v prvem desetletju 17. stoletja. Potem je prišel Galileo...



## Znanstvena metoda: matematična teorija in poskus

Do Galilea so bile teorije o naravi nejasne in bolj podobne mahanju z rokami (ali *kvalitativne*, da uporabimo pravo besedo). Galileo pa je gradil na delu antičnega grškega matematika Arhimeda<sup>4</sup> in je pokazal, da kvantitativni opisi ne samo osupljivo dobro ustrezajo realnim dejstvom, ampak lahko tudi pomagajo odkriti nova, nepričakovana dejstva – saj večino dela za nas opravi matematika!

Morda je Galileo najbolj znan po tem, da je iznašel novo vrsto argumenta imenovanega *miselni poskus* – z njim je z logičnim sklepanjem prišel do svoje slavne zamisli, da različna telesa padajo *enako* hitro (tudi vi lahko to naredite, čisto zares! – *glejte poskus na str. 10*). Z njim je pokazal, da sprejeta teorija – da težja telesa padajo hitreje – vodi do protislovja in mora torej biti nesmisel.

Toda, to še vedno ni bilo dovolj za Galilea. Zanj je bil *poskus* – torej opazovanje posameznega od okolice ločenega pojava v realnem svetu pod kontroliranimi pogoji – sredstvo s katerim mora biti teorija omejena, pobrušena in preizkušena. Slavna zgodba o tem, da je metal telesa s poševnega stolpa v Pisi – da bi pokazal zbrani množici, da svinčene ali lesene krogle, jabolka in melone, vse padajo enako hitro – verjetno ni resnična. Čeprav je tak poskus take vrste stvar, ki bi jo on naredil (rad se je namreč važil).

Galileo je vrsto marljivih let porabil za merjenje tirnice padajočih teles. Bil je prvi, ki je razumel pomen pospeška kot merila za gibanje. Ugotovil je, da telesa padajo s konstantnim pospeškom ( $9,82 \text{ ms}^{-2}$  na površini Zemlje). Ugotovil je, da je tirnica izstrelkov – na primer topovskih krogel – parabola.

Tako daleč je prišel Galileo do leta 1609, potem pa je naletel na kamen spotike. Spomnimo se, da so po Aristotelovi fiziki Zemeljske stvari spadale na Zemljo, ne na nebo (saj, zato pa so padle na Zemljo, bučman!), zato bi samo največji neumnež sploh pomislil, da bi katerikoli zakon gibanja, ki deluje v na Zemljo vezanem laboratoriju, lahko

uporabili za opis gibanja eteričnih planetov. Ti se gibljejo po krogih: kaj pa naj bi drugega, ko so tako popolni? Pozabite na parabole in pospeševanje – te ne spadajo tja gor.

## Več stvari na Nebu in Zemlji: narava nebesne snovi

Leta 1608 je - tako pravijo - postala glavna tema pogovorov v Evropi optična naprava, ki jo je iznašel holandski izdelovalec leč Hans Lipperhey. Galileo je kmalu začel izdelovati svoje verzije. In je bil tako vztrajen, da so bili njegovi modeli kmalu na vrhu novoletnih želja vseh premožnejšev. Konec leta 1609 je Galileo prvič obrnil enega svojih teleskopov proti nebu. In bil zelo presenečen nad tem, kar ga je tam čakalo.

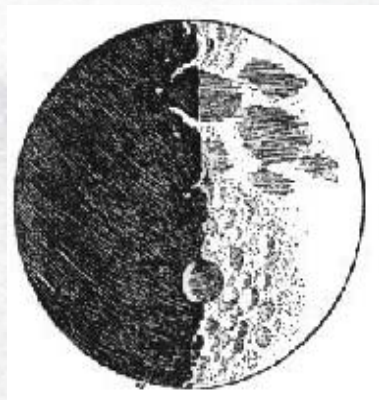
### Gore na Luni

Spodaj je prikazana ena od Galilejevih skic Lune, narejena leta 1609. Trudoma je pokazal, da je Luna packasta in daleč od tega, da bi bila brezmadežna podoba kakršno naj bi kazala eterična kroglja. Luna je pikasta, brazgotinasta, razbrazdana z ostrimi sencami, ki jih čez njen obraz mečejo velikanske gorske verige, obsijane v lunarnem mraku. Kako bi lahko še kdo mislil, da je ta nebesna snov, sestavina vesolja, nepokvarljiva, vzvišena nad našim vsakodnevnim izkustvom in razumevanjem smrtnikov? Luna ima *pokrajino*, bolj ali manj podobno Zemljini z gorskimi verigami, kot so Alpe v bližini Galilejevega doma v Padovi. Ni bilo več razloga, da bi mislili, da niso narejene iz enake snovi. In če so narejene iz enake snovi, morajo ubogati enake zakone fizike.

### Jupitrove Lune

10. januar 1610 je bil eden najpomembnejših dni Galilejevega življenja. Zadnjih nekaj noči je gledal pikice, ki jim je rekel "zvezdice" zraven Jupitra.

Videti je bilo, da se njihova razporeditev spreminja iz noči v noč (*glejte sliko na naslednji strani*), čeprav takrat še



<sup>4</sup> Da, on je tisti, ki je znan po tem, da je nag tekkel po ulicah Sirakuz vprijoč: "Eureka!"

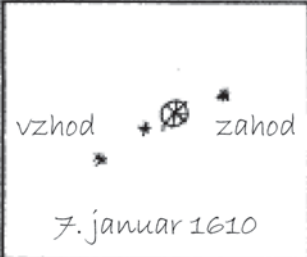

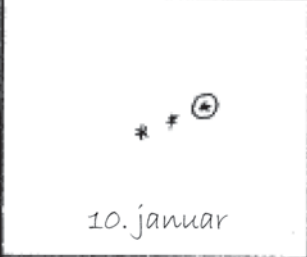




ni bilo jasno ali ni to morda le zato, ker se Jupiter, ki nam je bližje kot zvezde, premika glede na zvezde v ozadju. Toda tretje noči se je, po njegovih besedah, "moje nerazumevanje spremenilo v začudenje": dve izmed zvezdic sta se pojavili na nasprotni strani Jupitra, tretja pa je *izginila!*

Sedaj ni bilo več dvoma: **zvezdice se gibljejo okoli Jupitra!!!** To je bilo šokantno. Pomenilo je lahko le eno stvar: **VSE SE NE VRTI OKOLI ZEMLJE!!!** Če se lahko telesa gibljejo okrog drugih planetov, **zakaj se ne morejo vsi planeti gibati okoli Sonca?** (Danes vemo, da so te zvezdice pravzaprav lune, ki se gibljejo okrog Jupitra, tako kot se naša Luna okoli Zemlje. Imenovane so Galilejevi sateliti v čast njihovem odkritelju.)

**Johannes Kepler** je objavil obrambo Kopernikovega sistema, *Mysterium Cosmographicum*, leta 1595, vendar v podporo ni navedel nobenih opazovalnih dokazov. Galilejevo delo s teleskopom torej predstavlja pomembno prelomno točko. Dalo je dve pomembni ugotovitvi v prid nove astronomije:

- Nebo in Zemlja sta narejena iz iste snovi. Ubogata iste zakone: zakoni fizike, ki jih ugotovimo na Zemlji, veljajo vsepovsod v vesolju. Ni nobenega razloga, da bi mislili, da je kak del vesolja drugačen od kateregakoli drugega dela. Ni razloga, da bi mislili, da Zemlja zavzema kako posebno mesto v središču.
- Zemlja ne more v nobenem primeru biti središče okrog katerega krožijo vsa druga telesa, saj imajo drugi planeti (točneje Jupiter) lastne miniaturne sisteme. Če se nekatere stvari dejensko ne gibljejo okoli Zemlje, zakaj bi potem verjeli, da se vse druge gibljejo okoli nje? Okoli Zemlje se giblje Luna, seveda, ampak zaradi tega ni nič posebnega, saj ima tudi Jupiter svoje lune.

Galileo je objavil svoja opazovanja marca 1610 v delu z naslovom *Sidereus Nuncius* ali (kot predvidevam, da že veste!) **Zvezdni sel.**

 <p>vzhod    * ⊕ * *    zahod</p> <p>7. januar 1610</p>	 <p>8. januar</p>	<p>[OBLAČNO]</p> <p>9. januar</p>
 <p>10. januar</p>	 <p>11. januar</p>	 <p>12. januar</p>
 <p>13. januar</p>	<p>[OBLAČNO]</p> <p>14. januar</p>	 <p>15. januar</p>

Galilejeve skice zvezdic okrog Jupitra. 7. januarja 1610 je Galileo z radovednostjo opazil tri telesa na isti črti v ravnini Jupitrove tirnice. 8. januarja je opazil, da so se premaknila glede na Jupiter – ali se je morda Jupiter premaknil v levo glede na njih? Do 10. januarja ni mogel biti prepričan (9. januarja je bilo oblačno), nato pa sta se dve izmed zvezdic premaknili nazaj na nasprotno stran Jupitra, tretja pa je izginila. Sedaj je bolj smiselno predpostaviti, da se zelo hitro gibljejo okoli Jupitra in občasno izginejo, ko se skrijejo za njim.



## Beseda avtoritete *proti* dokazom čutil

Leta 1600 je kardinal Roberto Bellarmino (*desno*), vodja Inkvizicije v Rimu in kasneje razglašen za svetnika, obsodil radikalnega filozofa in hermetista Giordana Bruna (*spodaj*) na sežig na grmadi zaradi razglašanja (med ostalimi krivoverstvi) obstoja tujih planetov, svetov podobnih Zemlji, ki krožijo okoli drugih zvezd.



*"Točno tako kot je rekel Aristotel; težja je padla hitreje."*

Galilejeva opazovanja s teleskopom so ga pripeljala na potencialno nevaren teren. Teologi so identificirali Luno z devico Marijo. Torej je morala biti brezmadežna, popolna, prosojna obla (*desno*). Galilejeva Lunina morja, gore in kraterji so bili kot oskrunjenje, omadeževanje s pokvarljivostjo Zemlje. To je bil greh večji od bogokletstva kopernikanizma, ki ga je, v času Zvezdnega sla, Inkvizicija še bila pripravljena tolerirati.



*Brezmadežno spočetje, kot ga je naslikal Bartolome Murillo. Luna je prikazana kot popolna krogla.*

Toda leta 1616 se je Kopernikova heliocentrična teorija zdela dovolj sumljiva, da so jo uvrstili na seznam knjig, prepovedalnih s strani Inkvizicije, dokler je podrobneje ne pregledajo. Tega leta je kardinal Bellarmino poklical k sebi Galilea, da ga posvari, naj ne zagovarja resničnosti Kopernikove teorije. Bellarminovo stališče je bilo, da je postavitve Sonca v središče vesolja *samo* matematično ugodno. Tako so bili računi lažje rešljivi, toda zaradi tega to še ni bilo res – del numerične spretnosti in nič več. Razlika med



*Giordano Bruno.*

Kopernikovim in Ptolemajevim sistemom, o obeh je Bellarmino menil, da sta le računski orodji, je bilo le iskanje dlake v jajcu. Vse dokler ni človek padel v past, da bi mislil, da te teorije predstavljajo pravo stanje stvari, Inkvizicija ni bila preveč zaskrbljena.

Na Galilejevo žalost, je sam *res verjel*, da se Zemlja giblje okoli Sonca. Galileo je bil končno poklican pred Inkvizicijo v Rimu leta 1633, obtožen bogokletstva kopernikanizma in bil prisiljen, da se pokesa. V nasprotju z Brunom se je Galileo pred Inkvizicijo odrekel svojim nazorom. Bil je obsojen ne na usmrteitev pač pa na zapor, pri čemer so slednjega kasneje omilili na hišni pripor v Galilejevi vili v kraju Arcetri<sup>5</sup>.

Morda je ironično, da je Galilejevo skesanje tako njega kot njegovo znanost rešilo: če bi ostal močan in uporen kot Bruno, bi po vsej verjetnosti njegovo delo končalo na grmadi, njegovi dosežki pa bi zbledeli v nepomembne govorice. Tako pa je bila začetna prepoved ponovnega tiska Galilejevih knjig leta 1718 preklicana. A njegova spreobrnitev je bila le navidezna. Ko je zapuščal sojenje, po tem ko je bil prisiljen reči, da Zemlja negibno leži v središču vesolja in da je Kopernikova hipoteza le matematična abstrakcija, je baje Galileo zamomljal: "*eppur si muove*", kar pomeni "*in vendarle se premika*".

<sup>5</sup> Žal je le nekaj dni po očetovi vrnitvi v Arcetri v starosti samo 34 let umrla Galilejeva hči in *zaupnica* Virginia – takrat že imenovana sestra Maria Celeste.

# VAJA V RAZREDU

## Jumbo Bunjee – Miselni poskus o prostem padu

Predstavljajte si, da živite v svetu, v katerem veljajo Aristotelovi zakoni fizike. Zlasti zakon, ki pravi:

### \* "Težka telesa padejo na Zemljo hitreje kot lahka"

je sveta resnica... Simbolično, če označimo hitrost padanja s  $H$  in maso z  $M$ , to zapišemo:

\* če  $M(A) > M(B)$  potem  $H(A) > H(B)$ .

Sedaj si predstavljajmo, da spuščamo različna telesa z nekega primerno visokega kraja: poševnega stolpa v Pisi, Eiffelovega stolpa, od koderkoli. Točneje, spustili bomo slona in lutnjo.

1. Označite hitrost, s katero pada slon (po imenu Giordano), s  $H(S)$  in hitrost, s katero pada lutnja, s  $H(L)$  ter zapišite neenakost med  $H(S)$  in  $H(L)$  ob predpostavki, da drži (\*) (namig: sloni so veliko težji od lutenj!) Sedaj pa ju spustite! Kateri je prej padel na tla?

To je bilo zabavno! Dajmo še enkrat ... počakajte malo... ta drugi slon - naj mu bo ime Vincenzo - je virtuozi na lutnji in njegova zadnja želja je, da bi igral medtem ko pada! Prav...!

2. Slon, ki igra na lutnjo, se sliši nekoliko sumljivo, kajne? Morda je to Vincenzov zvit načrt! Ve, da je lutnja veliko lažja od njega, in torej, če se je bo držal... no kaj to pomeni? (namig: morda bi jo lahko imenovali padalutnja). Ali Vincenzo z lutnjo pada hitreje ali počasneje kot bi brez nje? Zapišite neenakost za  $S + L$  in  $S$ .

Po drugi strani pa... kaj če si ju predstavljamo kot eno telo: slon + lutnja? Konec koncev so tudi sloni zgrajeni iz mnogih manjših kosov (oklov, repa, nohtov na nogah itd.). Ponovimo poskus s slonom po imenu Isaac, ki je pojedel lutnjo za zajtrk (temu rečemo nenavaden glasbeni okus). Kot pravijo, si to kar ješ, zato Isaac plus lutnja postaneta nov, še večji Isaac.



3. Kolikšna je masa sestavljenega Isaaca-lutnje? Uporabite (\*) in zapišite še eno neenakost za  $S + L$  in  $S$ . Ali Isaac pada hitreje ali počasneje kot bi, če ne bi pojedel lutnje?

Ali je ta fantazijski svet smiseln? Ali je hitrost, s katero padajo sloni, res odvisna od tega ali so ali niso za zajtrk pojedli lutnjo? Galileo je menil, da to ni smiselno in zaključil, da mora (\*) biti napačen.

4. Najdite alternativo k (\*), ki ima smisel in ni sama sebi nasprotje.

Ta vrsta sklepanja je, mimogrede, imenovana *reductio ad absurdum*, kar je latinsko za "pripeljati do nesmisla". In preden smo preveč kruti do Aristotela, se splača opozoriti, da je ravno on postavil logično teorijo, ki podpira ne samo take vrste deduktivnega sklepanja, ampak celo osnovna načela digitalnih vezij v računalnikih...

<sup>6</sup> V tej domišljjski vaji ni trpela nobena žival: v tem domišljjskem svetu lahko sloni, kot tudi prašiči, letijo, zato v resnici nikoli ne treščijo ob tla.



# VAJA V RAZREDU

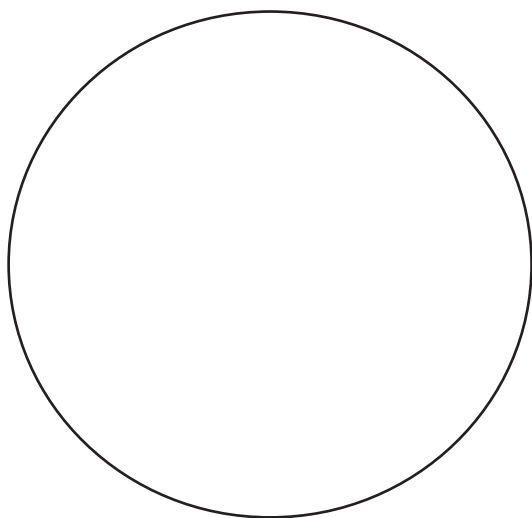
## Mož na Mesecu – Kdo potrebuje teleskop?

Mnogi Galilejevi kolegi preprosto niso verjeli svojim očem, ko jim je skozi svoj teleskop pokazal astronomska telesa. Predpostavljali so, da so madeži na površju Lune napake na leči ali prah na okularju. Zatrjevali so, da ima Galilejeva oprema napake in tako so lahko še naprej verjeli v brezmadežnost nebes.

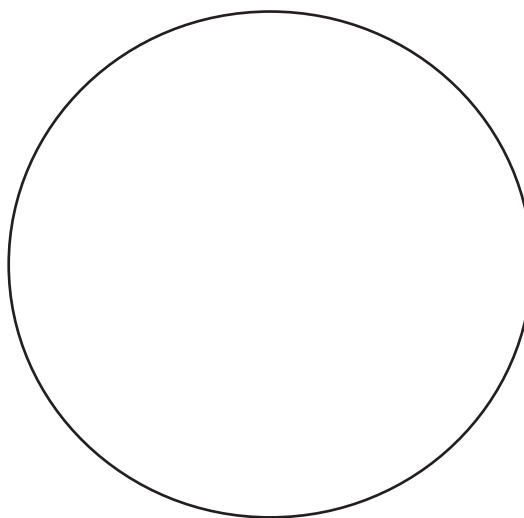
To se vam verjetno zdi presenetljivo: gotovo je splošno znano, da je Luna polna madežev? Saj lahko vsi vidimo "moža na Mesecu", kajne, in to celo brez teleskopa?

Pa ugotovimo! Naslednjič, ko bo Luna vidna, pojdite ven in narišite to kar vidite previdno in natančno kolikor morete. Naj vas ne zavedejo slike, ki ste jih kdaj prej videli – delajte se, da gledate Luno prvič. Naredite nekaj skic, ob čim več različnih Luninih fazah. V razredu med seboj primerjajte rezultate.

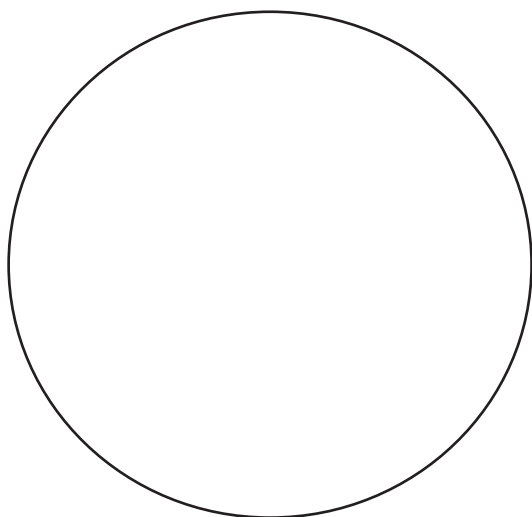
Opazovanje 1: \_\_\_\_\_



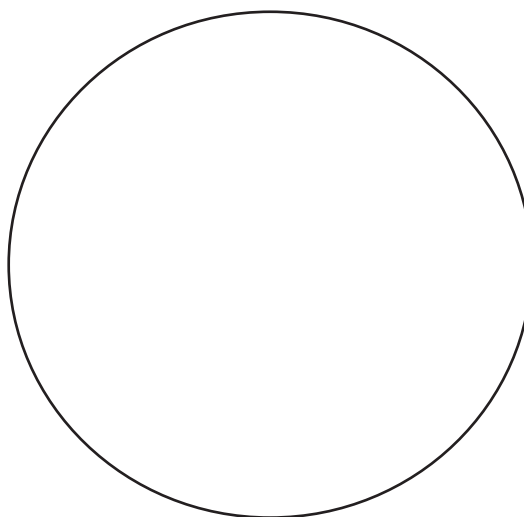
Opazovanje 2: \_\_\_\_\_



Opazovanje 3: \_\_\_\_\_



Opazovanje 4: \_\_\_\_\_



# UČITELJEVI PLONK LISTKI

## Jumbo Bungee in Mož na Mesecu

**JUMBO BUNJEE:** Ta vaja je identična (če odvezamemo slona) argumentu, ki ga je uporabil Galileo, da je pokazal, da se je Aristotel moral motiti. V filmu starejša Celeste uporabi isti argument, da mlajšo samo sebe prepriča o moči sklepanja, ki ga še izostri in podpira opazovanje.

1. Po (\*) padajo težja telesa hitreje, torej  $H(S) > H(L)$ .

2. Tukaj pričakujte nasprotno odgovore. Nekateri bodo morda trdili, da bo Vincenzo padal hitreje, kakor hitro se zgrabi za "padalutnjo", saj bo imel sistem večjo maso (glejte 3). Toda namen te vaje je uporabiti Aristotelov zakon. Lutnja bi morala padati počasneje kot Vincenzo, zato bi jo moral imeti možnost uporabiti kot neke vrste padalo/"padalutnjo", ki upočasni njegov padec. Vaša intuicija se bo verjetno upirala temu zaključku – a vendarle le ta sledi, če vzamete (\*) popolnoma zares. Z Vincenzovega stališča bo lutnja začela lebdeti nad njim in, če se je oklene, ga bo potegnila nazaj gor, torej sledi  $H(S + L) < H(L)$ .

3. Mase se linearno seštevajo, zato je masa Isaaca plus lutnje enaka masi Isaaca plus masi lutnje:  $M(S + L) = M(S) + M(L) > M(S)$ . Po (\*) je torej skupna hitrost padanja  $H(S + L) > H(S)$ .

4. Trditev (\*) nas je torej pripeljala do dveh nasprotujočih si zaključkov, (2) in (3). Toda težavo lahko odpravimo, če vse neenakosti spremenimo v enakosti:  $H(S) = H(L) = H(S + L)$ . Z drugimi besedami, če vsa telesa padajo enako hitro ne glede na maso – tako kot je sklepal Galileo in to s poskusom preveril.

Kot bomo videli kasneje (poglavje "Eddington") je Einstein to vrsto sklepanja o prostem padu popeljal še naprej in prišel do nekaterih še globljih zaključkov glede narave gravitacije...



**MOŽ NA MESECU:** Namen te vaje je, da vzbudi razpravo o sociologiji in psihologiji znanosti. Razredu lahko za pomoč pri razpravi postavite nekaj vprašanj, na primer:

- Do kolikšne mere je opazovanje večšina, ki si jo je treba pridobiti skozi prakso? Kako zlahka nas zavedejo naša pričakovanja o tem, kar bomo videli? Če vidite nekaj povsem novega, brez kakršnekoli reference o podobni stvari – na primer, da še nikoli prej niste pogledali skozi teleskop in vam nenadoma pokažejo sliko Jupitra – kako bi interpretirali to, kar gledate?
- Do kolikšne mere spoštovanje ali strah pred našimi vrstniki, kolegi ali nadrejenimi vpliva na to, kako vidimo stvari? Do kolikšne mere nam to preprečuje videti nove stvari, tudi če nam ležijo tik pred nosom? (Spomni se na "Cesarjeva nova oblačila"!)
- Kontroverzni filozof znanosti Paul Feyerabend je trdil, da je "*bila Cerkev v Galilejevem času veliko bolj zvesta razumu kot sam Galileo in je vzela v obzir tudi etične in sociološke posledice Galilejeve doktrine. Njena obsodba Galilea je bila razumna in pravična.*" Feyerabend je označil Galilea za prenagljenega oportunisto, ki je ojačeval vse dokaze, ki jih je potreboval za podporo svojih trditev, namesto da bi sledil strogi metodologiji. Do kolikšne mere je to v znanosti običajno? Ali lahko Galilejevim sovražnikom oprostimo, da so bili sprva skeptični in so šele kasneje sprejeli njegova odkritja? Ali je lastnost genija, da vidi koncepte, ki presegajo običajne enačbe in metode – da "misli zunaj škatle" in se požvižga na previdnost?



---

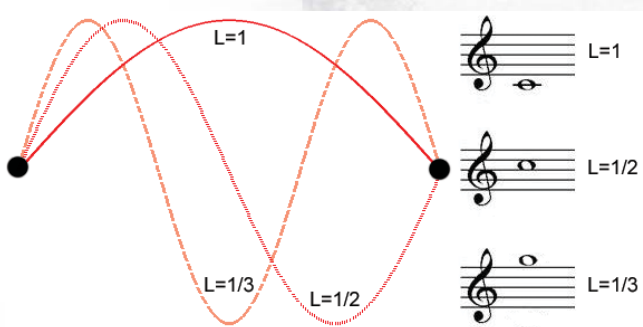
# VINCENZO GALILEI:

## Glasba & znanstvena metoda

---

### Harmonija sveta

Morda se zdi čudno, da sta glasba in astronomija povezani, a njuna zveza je pravzaprav že zelo stara. Grškemu filozofu **Pitagori** (6. stol. pr.n.št.) pripisujejo odkritje, da glasbene harmonije temeljijo na preprostih številskih razmerjih:



Menil je, da se planeti vrtijo po tirnicah, ki jih določajo ista razmerja in tako, medtem ko se gibljejo, pojejo sladke harmonije. Ta pesem Sončevega sistema je postala znana kot *Glasba sfer*. Lepa ideja – ki je pripomogla k začetku cele grške filozofije – a stvari so se nato nekako zataknila za naslednjih 2000 let. Do okrog 1600 so vsi mislili, da so ta razmerja začetek in konec vse glasbe.

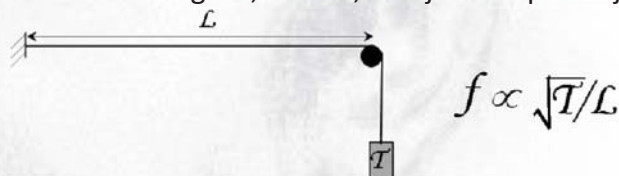
**Vincenzo Galilei** (1520-91) je bil popularen igralec lutnje (avtor uspešnice "*Igranje lutnje za*



"moj oče je odkril, da je uglasjevanje lutnje stvar matematike"

*telebane*" ali nekaj takega), skladatelj (ravno tako kot Lennon & McCartney) in glasbeni teoretik. V prostem času se je tudi igralkal s škripci in kosi strun – čuden hobi, ki mu je prinesel prvi resnično nov rezultat v znanosti akustike od Pitagore naprej.

Grki so vedeli, kako je višina zvoka odvisna od dolžine strune. In da je odvisna tudi od *napetosti* – sile, s katero je struna napeta (ki je v napravi na sliki spodaj enaka sili teže mase uteži obešene na struno preko škripca). Vsi so, tako kot Pitagora, mislili, da je z napetostjo



tako kot z dolžino, da torej preprosta razmerja napetosti določajo harmonijo. Vincenzo je naredil natančne poskuse in pokazal, da to *ne drži*: frekvenca tona se spreminja kot *kvadratni koren* napetosti. To je zmedlo vse, ki so se trdno oprijemali razmerij – nekateri preprosti kvadratni koreni (števila 2 na primer) *se ne dajo zapisati z razmerji*.

Verjetno se vam njegovo ime zdi znano – zato je čas, da vas odrešimo muk: Vincenzo Galilei je bil oče Galilea Galilea. In verjetno je bil ravno Vincenzov izjemen prikaz, kako lahko matematika, ki jo vodi poskus, pripelje do bistva harmonije na način, ki ga nihče ni pričakoval, to, kar je navdihnilo Galilejev podvig, da ujame *celotno naravo* v zakone in enačbe. Vincenzo je šel celo tako daleč, da je označil poskus za "*učitelja vseh stvari*": če metodološka opazovanja pojava nasprotujejo avtoriteti – celo tako ugledni kot je Pitagora – je treba opustiti avtoriteto. Če je bil, kot je rekel Einstein, Galileo oče moderne znanosti, potem je moral biti Vincenzo... no, njen dedek.

---

# Univerzalna gravitacija: ISAAC NEWTON

---

## Jabolko in Luna

Leta 1665 je bil Cambridge zaradi nevarnosti Velike kuge evakuiran in Isaac Newton se je vrnil domov v Woolsthorpe v pokrajini Lincolnshire, kjer je delal v samoti, ki ji lahko z vso pravico rečemo blažena. Med poletjem 1666 je pričel razmišljati o naravi gravitacije. Čeprav je zgodba o tem, da je Newtonu na glavo padlo jabolko verjetno v celoti gnila, pa je bil morda res pogled na sadež v prostem padu to, kar je navdihnilo njegova odkritja.

Ni pomembno od kje jo spustite: z vrha drevesa, z vrha stolpa, z vrha gore, jabolko bo vedno padlo na Zemljo. Doseg Zemljine gravitacije je videti brezmejen. Kaj pa če bi prepotovali celotno razdaljo do Lune in spustili jabolko? Gotovo bi še vedno čutilo Zemljino gravitacijo? Kako pa je potem s samo Luno??? Newton je hitro doumel, da je: *Lunina tirnica okoli Zemlje oblika prostega pada zaradi gravitacije.*

Če lahko tirnico Lune okoli Zemlje razložimo z gravitacijo, zakaj pa ne bi tudi tirnice planetov okoli Sonca? Newton je predpostavil, da je gravitacija SILA, ki deluje med masivnimi telesi. In to univerzalna sila – ni samo Zemlja povzročala gravitacijskega privlaka, ampak vse mase v vesolju gravitacijsko delujejo na vse druge mase. Newton je predpostavil, da je naravna oblika gibanja nekega telesa ravna črta – ne krožnica, kot so menili antični Grki. Katerokoli telo se bo gibalo po premici v neskončnost, razen če nanj deluje neka sila.

Johannes Kepler je odkril, da se planeti gibljejo okoli Sonca po eliptičnih tirnicah... torej definitivno ne po ravnih črtah! Da gravitacijska sila povzroči eliptične tirnice mora, je ugotovil Newton, padati *obratno sorazmerno s kvadratom*

razdalje med dvema telesoma ( $R^{-2}$ ).

Če se vam zdi čudno, da lahko o tirnici govorimo kot o obliki padanja, si predstavljajte, da močno vržete žogo. Običajno se žoge gibljejo po paraboličnih tirih: najprej se dvigajo, dosežejo najvišjo točko, se obrnejo navzdol in končno priletijo na tla. Žoga se trudi potovati po ravni črti, toda Zemljina gravitacija jo vleče navzdol in ukrivlja njeno pot v krivuljo. Močnejše ko vržete žogo – hitreje se giblje v prečni smeri – večjo razdaljo preleti, preden udari ob tla. Načeloma bi lahko vrgli žogo tako močno, da bi ostala v zraku vse dokler ne bi prišla do Kitajske... ali Avstralije...ali tako močno, da preleti skoraj celo pot okrog Zemlje in pristane točno za

vašim hrbtom! Ali pa še močnejše, tako da... no, sploh ne pride več na tla! In se kar naprej giblje okrog in okrog Zemlje. In točno to je tirnica. Med letom žoga sicer nekoliko pada zaradi gravitacije, a medtem preleti tako veliko razdaljo, da se že pozna, da je Zemlja pod njo ukrivljena, in tako gre kar naprej in naprej po krožnicah. (*spodaj*)





Newton je končno objavil svoje Zakone gibanja v *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ali na kratko Principi, leta 1687. Ta knjiga je imela globok vpliv ne samo na razvoj fizikalnih znanosti, ampak tudi na celotno kulturo in je s svojim idealom razumnosti pomagala vzpodbuditi dobo razsvetljenstva. Poet Alexander Pope je hvalil Newtonove dosežke v njegovem epitafu:

*Narava in zakoni narave so ležali skriti v noči:  
Bog je rekel: "Bodi Newton!" in povsod bila je luč.*

### Optika

Newtonovo delo na področju optike je prav tako pustilo globok pečat v astronomiji: Newton je iznašel novo vrsto teleskopa. Medtem ko je Galilejev model uporabljal steklene leče, ki so zbirale in ukrivljale svetlobo, je Newtonov uporabljal parabolično zrcalo (zlahka lahko pokažete z uporabo odbojnega zakona, kako to deluje – vaja *Parabolična zrcala*, str. 16).

Taka izvedba se v astronomiji izkaže za veliko boljšo. Objektiv teleskopa (glavna leča ali zrcalo) mora biti čim večji. Tako zbere več svetlobe (pomislite na posode, ki bi jih pustili zunaj na dežju: vedro zbere veliko več vode kot pokrovček plastenke) in lahko vidite šibkejše objekte. In čim večja so, tem več podrobnosti lahko vidite. Veliko lažje je narediti velika zrcala kot velike leče. In ker so lahko zrcala trdno podprta zadaj, ne samo šibko ob straneh kot leče, je veliko lažje narediti gibljive teleskope z uporabo zrcal. Največji optični teleskopi na svetu temeljijo na različicah Newtonove zamisli. Trenutno imajo rekorderji okrog 10 metrov premera, a obstajajo že načrti za gradnjo optičnih teleskopov z zrcali premera okrog 50 metrov!

Newton je tudi pokazal, da je belo svetlobo z uporabo steklene prizme mogoče razdeliti – razpršiti – v celo mavrico barv, ali spekter. Prizma lomi ali ukrivlja svetlobo in to različno močno za različne valovne dolžine. Zato se bela svetloba, v kateri je izobilje barv, razprši. (To je še en razlog, zakaj so zrcala boljši objektivni teleskopov kot leče: steklena leča lomi svetlobo in obda vsak objekt z motečim barvnim robom.) Kasneje so ugotovili,

da spektri niso vedno gladki, ampak prekrizani s temnimi absorpcijskimi črtami ali svetlimi emisijskimi črtami, ki so izdajajoči prstni odtisi posameznih kemijskih elementov. Astronomi proučujejo spektre zvezd in galaksij, da izvedo iz česa so narejene in kako hitro se gibljejo, kakšni pogoji so v njih itd. Kasneje bomo videli, kako se je to izkazalo ključnega pomena za ugotavljanje narave samega vesolja.

### Isaac Newton in kamen modrosti

Poleg dela, ki ga danes razumemo kot strogo znanstvenega, je Newtona privlačilo okultno in ezoterično vedenje. Poskušal je odkriti slavni kamen modrosti (ali Chrysopoeia) – čarobno snov, ki bi spreminjala običajne kovine v zlato. Verjel je, da je bog razkril to skrivno znanje antičnim filozofom, ki so v šifrah zapisali svoja odkritja te skrivne modrosti. Na primer, Newton je mislil, da je Pitagora v doktrini *Glasbe sfer* v šifrah zapisal gravitacijski zakon. To verovanje je sledilo odkritju Vincenza Galilea, da je spremembe napetosti (t.j. sile) v struni možno uravnovesiti s spremembami kvadrata dolžine strune – čeprav je bilo to odkrito šele 2000 let po Pitagori! Prav tako kot je v glasbeni lestvici sedem tonov, je Newton menil, da mora biti sedem barv v mavrici – od tod torej rdeča, oranžna, rumena, zelena, modra, indigo, vijolična.

Za nas je enostavno se norčevati iz Newtona, a ne pozabimo, da živimo v zelo razumskem svetu, ki so ga deloma pomagali ustvariti njegovi Principi. Tudi Kepler se je trudil oživiti antični pitagorijanski misticizem in na vse možne načine poskušal uskladiti *Glasbo sfer* v nove kozmologije,



ki jih je odkrival. Pot naprej ni vedno jasna in dolžnost znanstvenika je, da izziva vsakodnevno dožemanje stvari z vseh možnih zornih kotov. Nova odkritja zelo pogosto pridejo z najbolj čudnih krajev.

# VAJA V RAZREDU

## Parabolična zrcala

Ta vaja prikaže, kako parabolična zrcala zbirajo svetlobo v gorišču.

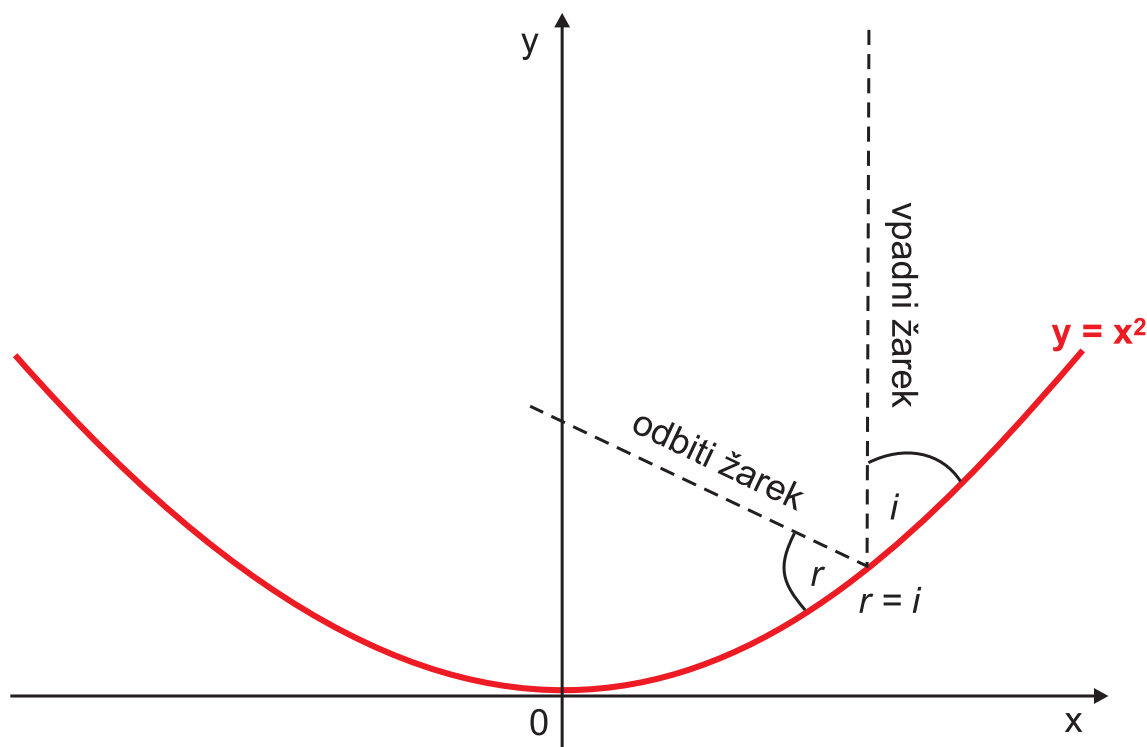
1. Vzemite list papirja, narišite nanj  $x$  in  $y$  os in krivuljo (parabolo). Naj bo kar velika. Narišite veliko točk in jih čim bolj gladko povežite.

Sedaj narišite serijo črt vzporednih z osjo  $y$  in ugotovite, kako se odbijejo od zrcala. Te črte predstavljajo svetlobne žarke, ki prihajajo z objekta zelo daleč proč od zrcala (t.j. z zvezde).

2. Izberite točko z visoko vrednostjo koordinate  $y$  in katerokoli vrednostjo koordinate  $x$ . Skozi to točko narišite vzporednico osi  $y$  dokler ne seka krivulje. To je vpadni žarek.

Ali se spomnite odbojnega zakona? *vpadni kot = odbojni kot*. To uporabite, da določite pot odbitega žarka.

3. točki, kjer vaš žarek seka zrcalo, narišite tangento na krivuljo, kolikor natančno zmorete. Izmerite kot, ki ga oklepa žarek s tangento. Sedaj narišite drugi žarek, ki naj oklepa enak kot s tangento a na drugi strani. To je odbiti žarek.
4. Ponovite korake (2) in (3) za večje število vpadnih žarkov. Ali kaj opazite?





# VAJA V RAZREDU

## Pletenje mavrice

Ta vaja prikazuje **disperzijo** svetlobe, ki jo pogosto vidimo v svetu okrog nas.

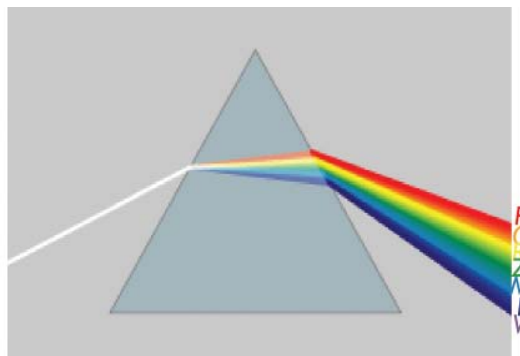
Disperzija je ime za pojav, pri katerem valovi z različnimi frekvencami potujejo z različno hitrostjo skozi snov, na primer steklo ali vodo.

V naravi vidimo ta pojav v mavrici. Sončeva svetloba se običajno zdi bela, toda, ko gre svetloba skozi vodo v atmosferi, se razcepi na posamezne sestavne barve.

### Vaja s prizmo:

Postavite prizmo na sončno svetlobo in jo obračajte dokler ne zagledate mavrice na mizi ali steni. Koliko barv lahko vidite?

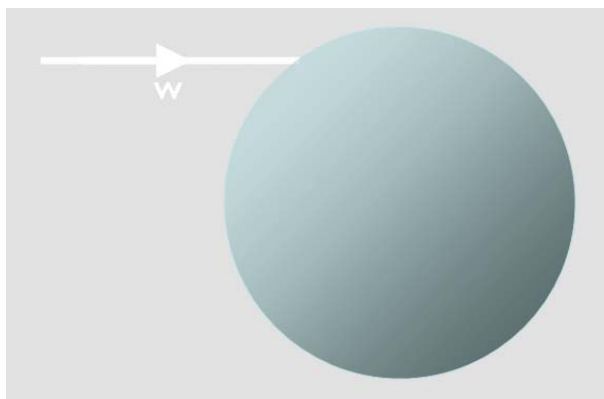
Rdeča in modra komponenta svetlobe potujeta z različnima hitrostima skozi steklo in se različno lomita. Tako prepotujeta različni razdalji znotraj prizme. Rdeča svetloba se "lomi" manj kot modra, ker ima daljšo valovno dolžino.



Če je kot med svetlobnim žarkom in drugo stranjo površine prizme dovolj velik, se svetloba odbije nazaj v prizmo: temu pojavu rečemo totalni odboj in je osnova delovanja optičnih vlaken.

### Vaja z mavrico:

Pri mavricah se zgodi enak pojav, le da gre svetloba skozi vodno kapljo. Ali lahko dokončate skico za pot svetlobnega žarka skozi vodno kapljo? Spomnite se, da je Sonce za opazovalcem mavrice; kako torej pride svetloba mavrice do njega?



*Dodatek:* Včasih vidimo dvojno mavrico. Kako se ta po vašem mnenju razlikuje od enojne mavrice?

*Dodatek:* Mavrico lahko naredite povsod, kjer se Sončevi žarki takole odbijajo. To se dogaja v meglici nad valovi oceana in nad vodo pod slapom. Tudi doma jo lahko naredite na sončen dan nad razpršeno vodo iz cevi za zalivanje.

# VAJA V RAZREDU

## Razprava: Rezanje kril angelu

Mehanicistični svetovni nazor, ki so ga vzpodbudili Newtonovi Principi, so romantični pesniki zgodnjega 19. stoletja prezirali. Leta 1819 je John Keats v svoji pesnitvi *Lamia*<sup>7</sup> napadel prevlado Razuma nad Čutili:

*Še zadnji čar se umakne,  
ko hladna se filozofija ga dotakne!  
Na nebu silna mavrica blestela je nekdej,  
poznamo njene niti, tkivo; toda zdaj  
se v običajno stvar je spremenila.  
Filozofija angelu odstriže krila,  
s predpisom in metodo vse skrivnosti osvoji,  
odčara zrak, podzemlje škratov osvobodi -  
razplete mavrico ...<sup>8</sup>*

### Vprašanja za razpravo:

- Ali "filozofija striže krila angelu"? Ali razumevanje naravnih pojavov – na primer kako nastane mavrica – zmanjšuje njeno lepoto? Ali znanost prevede vzvišeno in skrivnostno v dolgočasen katalog "običajnih stvari"?
- Če privzamemo, da znanstveno razumevanje ne zmanjšuje lepote narave, ali nismo kljub temu v nevarnosti, da pozabimo na pomen poezije, umetnosti, religije itd. v našem odnosu do veselja? Einstein je nekoč rekel: "*Religija brez znanosti je slepa; znanost brez religije je šepava*". Ali je znanstveno razumevanje samo po sebi zadostno?
- Mnoge velike znanstvenike je motiviral abstrakten občutek občudovanja in lepote in ne praktične koristi ali tehnološki spin-off njihovega dela. Ali v modernem svetu dajemo premalo poudarka prepletenim koristim znanosti zaradi nje same?



*Newton, kot ga je naslikal William Blake (1795). Slika prikazuje Blakeovo nasprotovanje Newtonovim pogledom na veselje. Ta nazor se odraža v izvlečku Blakeovega Jeruzalema:*

Obrnil sem oči k šolam in univerzam Evrope in tam zagledal Lockove statve, katerih strašen besen lajež spirajo Newtonova vodna kolesa. Črno orginjalo težko pokriva vse narode; vidim kruta dela mnogih koles, kolo brez kolesa, z zobniki tiranskimi ki prisiljeno poganjajo eno drugo, ne tako kot tista v Raju, ki kolo znotraj kolesa se svobodna vrtijo v harmoniji in miru

<sup>7</sup> V kateri slučajno nastopa tudi bog Hermes... - Q.

<sup>8</sup> prevod Matej Krajnc, v Richard Dawkins: *Razpletanje mavrice*, 2009.



# UČITELJEVI PLONK LISTKI

## Parabolična zrcala

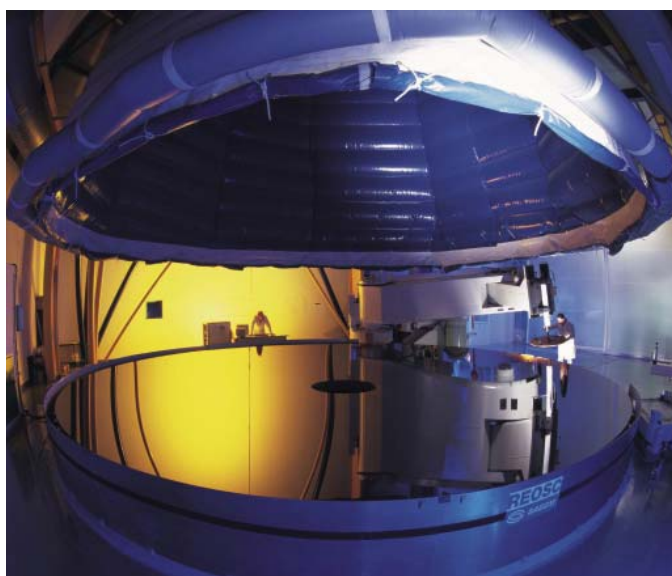
Če imate v svojem laboratoriju pravo parabolično zrcalo, ga poiščite in pokažite razredu. Naj ga primejo in proučijo, medtem ko delajo to vajo. Pokažite jim, kako nastane površina tega zrcala, če zavrtite parabolo okoli njene simetrijske osi. Pokažite jim tudi nekaj ravnih zrcal, da prikažete, kako je slika odvisna od oblike zrcala.

Pred tem poskusom boste morda želeli ponoviti z razredom nekaj osnovnih načel geometrije in optike. Prepričajte se, da razumejo osnovne lastnosti in enačbo parabole v kartezičnih koordinatah. To boste morda želeli primerjati z drugimi stožnicami (hiperbolo in elipso). Prepričajte se, da razumejo, kaj je tangenta na krivuljo in kako jo narisati (Enostaven način razumevanja tangente je, da je vzporedna trenutni smeri gibanja, če bi se premikali po krivulji).

Še zlasti ponovite z njimi odbojni zakon. Lahko uporabite ravna zrcala in ga z njimi enostavno prikažete, tako da na njih usmerite poševen svetlobni žarek ter opazite, da se je odbil pod enakim kotom na drugi strani pravokotnice. Razredu lahko rečete, da si lahko parabolično zrcalo predstavljajo kot sestavljeno iz množice drobcenih ravnih zrcal, ki so postavljena pod različnimi koti.

Odgovor v koraku (4) je, da se žarki zberejo v eni točki. Zrcalo zbere svetlobo ravno tako kot leča. Imejte zraven tudi sliko, ki ste jo »pripravili že prej«, da pokažete razredu, da res deluje – v primeru, da njihove ne bodo!

Končno, razredu se splača povedati, da večina današnjih velikih teleskopov na svetu deluje po tem načelu. Pokažite jim fotografije velikih optičnih zrcal teleskopov, kot sta Gemini in Zelo velik teleskop (Very Large Telescope – VLT) in krožnike radijskih teleskopov kot sta Jodrell Bank in Arecibo.



*Eno od 8,2-metrskih zrcal Zelo velikega teleskopa, Evropskega južnega observatorija (European Southern Observatory – ESO) med končnim poliranjem. Zelo velik teleskop stoji na gori Cerro Paranal v puščavi Atacama v Čilu in ga sestavljajo štiri 8,2-metrski teleskopi. (Vir: SAGEM).*

# UČITELJEVI PLONK LISTKI

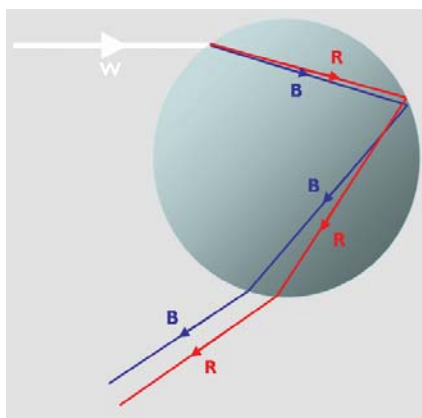
## Pletenje mavrice

### Vaja s prizmo

Najprej pustite učencem, da prosto preizkušajo delovanje prizme na sončni svetlobi. Kasneje jim lahko bolj formalno prikažete delovanje prizme na močnejši, kompaktni svetlobni izvor (npr. snop svetlobe; če nimate ustreznega kompaktnega izvora svetlobe, lahko pošljete svetlobo skozi ozko režo): projicirajte svetlobo na nekaj metrov oddaljen zaslon. Sedaj postavite lečo na optično pot in jo premikajte naprej in nazaj dokler ni svetloba svetlo fokusirana na zaslonu. Postavite prizmo med lečo in zaslon in jo premikajte dokler ne dobite dovolj dobre spektralne slike.

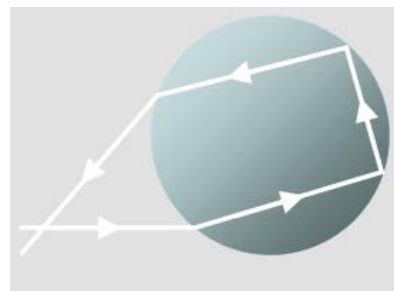
To lahko prikažete z različnimi svetlobnimi izvori: npr. (a) z belo svetlobo, ki vsebuje cel spekter barv, (b) s filtri različnih barv, postavljenimi pred belo svetlobo, (c) z razelektritveno svetliko kot je npr. neonska, argonska ali natrijeva svetilka.

Če uporabite (a) boste videli cel kontinuumski spekter, v (b) boste videli le ozek del tega; poudarite, kako se vsaka barva lomi pod različnimi koti; in v (c) boste videli diskretne spektralne črte, ki ustrezajo vzbujenim elektronom v atomih plina, ki prehajajo na nižje energijske nivoje. Ravno te črte, značilni prstni odtisi kemijskih elementov, omogočajo astronomom proučevanje plina v oddaljenih objektih, kot so zvezde in meglice, ter merjenje rdečega premika oddaljenih galaksij (glej poglavje Hubble & Humason).



Vprašanje "koliko barv lahko vidiš?" je nekakšna sociološka vaja. Fizikalno gledano je v spektru neskončno mnogo barv, če z "barva" mislimo valovno dolžino svetlobe. Vendar je fenomenološka barva, ki jo zavestno zaznamo, odvisna tudi od drugih lastnosti in ne samo od valovne dolžine (narava teh *sekundarnih kvalit* ali *qualia* – rdečnost rdeče itd. – velik problem v filozofiji, ki ga je načel Newtonov sodobnik John Locke v odgovor na Newtonove poskuse). Kot je razloženo v glavnem besedilu, je Newton vztrajal, da mora biti sedem barv samo zaradi svojega prepričanja, da mora spekter ustrezati intervalom na glasbeni lestvici.

Končno, če imate še eno identično prizmo, poskusite "čarovniški trik" *rekombiniranja* spektra v belo svetlobo! (Morda lahko daste učencem nalogo, da ugotovijo, kako bi to naredili...) Postavite drugo prizmo za prvo, jo zavrtite za 180 stopinj in... *voila!*



### Vaja z mavrico

V najpreprostejšem primeru se bela svetloba razkloni ob vstopu v kapljo, odbije na drugem delu kaplje in se lomi še enkrat ob vstopu nazaj v zrak.

Dvojne mavrice nastanejo zaradi dveh notranjih odbojev. Opazite, da to pomeni, da je vrstni red barv v drugi mavrici obrnjen in da je druga mavrica šibkejša.



# UČITELJEVI PLONK LISTKI

## Razprava: Rezanje kril angelu

Kritika znanosti – veselje z iracionalnim, beg pred hladnim, železnim prijemom Razuma – je bila pomembna sestavina upora romantičnih umetnikov 19. stoletja. Gre za ekstremno reakcijo; odnosi med znanostjo in umetnostjo niso bili vedno tako napeti (spomnimo se na primer prej omenjenega Popeovega bleščečega hvaljenja Newtona). Zelo koristno bi bilo sodelovati z vašimi kolegi učitelji za jezike in umetnost in skupaj pripraviti razpravo v razredu o tem burnem in spremenljivem odnosu.

O tej temi je bilo veliko napisanega. Morda boste želeli prebrati na primer proti-protiznanstveno knjigo Richarda Dawkinsa: *Razpletanje mavrice*, v kateri na strani znanosti odgovarja na Keatsovo kritiko. Kot nasprotje – v interesu ravnovesja seveda – lahko poskusite proti-proti-protiznanstveno knjigo *Science and Poetry (Znanost in poezija)*.

Poleg Keatsa so bili številni pesniki, ki so izrazili podobne poglede. Walt Whitman je v 19. stoletju v svoji zbirki *Travne bilke* napisal:

*Ko sem slišal učenega astronoma,  
kako pred mano dokaze in številke razvršča v stolpce,  
ko sem videl vse skice in krivulje, ki jih je treba sešteti, zdeliti in izmeriti,  
ko sem slišal v predavalnici astronoma, kako govori navdušenemu poslušalstvu,  
kako čudno hitro mi je postalo mučno in slabo, dokler nisem vstal, se splazil ven  
in se napotil skoz skrivnostni vlažni nočni zrak, in kdaj pa kdaj  
molče pogledal v zvezdnato nebo.<sup>9</sup>*

Pisec znanstvene fantasitke Isaac Asimov tega ni maral in je objavil polemiko v ugovor v *Washington Postu* (12. avgusta 1979) z naslovom *Science and Beauty (Znanost in lepota)*. Zlahka lahko najdete ta zapis (poiščite na google-u ali v zbirki Martina Gardnerja: *Great Essays in Science (Veliki eseji v znanosti)*): skopirajte jo za razred in videli boste ali se strinjajo z Asimovim ali z Whitmanom.

### Reference:

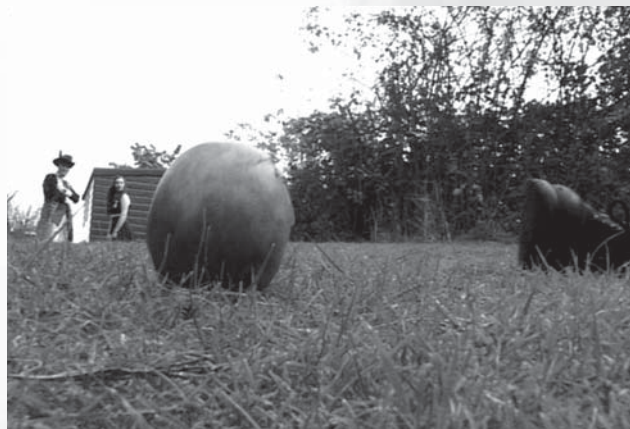
Dawkins, Richard: *Razpletanje mavrice: znanost, praznoverje in moč domišljije*, (2009) Modrijan ISBN 978-961-241-350-7

Gardner, Martin: *Great Essays in Science* (1997) Oxford ISBN 978-0192861948

Midgley, Mary: *Science and Poetry* (2001) Routledge ISBN 0-415-27632-2

<sup>9</sup> Walt Whitman, *Travne bilke*, Založba Mladinska knjiga, 1999, prevod Uroš Mozetič

# EDDINGTON & Ukrivljen prostorčas



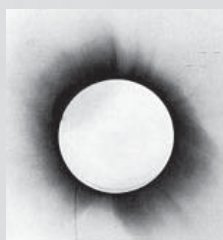
"To je bila ukrivitev, ki je niso napovedali"

**Albert Einstein** je zaključil svojo *Splošno teorijo relativnosti* leta 1915. Bila je nova teorija gravitacije, tekunica Newtonove. V Newtonovi, če se spomnite, so telesa "mirovala ali se gibala po ravni črti razen, če je nanje delovala neka sila". In Newtonova gravitacija je bila taka sila.

Einsteinova zamisel je bila presenetljiva: **gravitacija v resnici ni sila!** Telesa se pod vplivom gravitacije še vedno gibljejo po ravnih črtah; le da je prostorčas postal ukrivljen in zato je to, kar je v resnici ravno, na koncu videti popolnoma krivo... Masivna telesa v svoji okolici spremenijo geometrijske zakone (čeprav sta v štiridimenzionalni geometriji prostor in čas neločljivo povezana!), zato včasih vsota kotov trikotnika ni 180 stopinj in se vzporedne premice sekajo.

## Mrk na Principu in mrk Principov

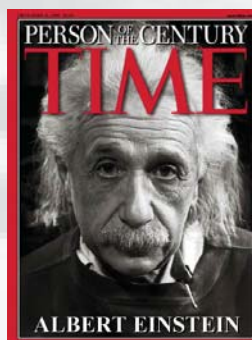
Do leta 1919 so rekli, da so samo trije ljudje na svetu zares razumeli Einsteinovo teorijo. Eden izmed njih je bil britanski astrofizik **Sir Arthur Eddington**. Eddington je bil zelo zavzet



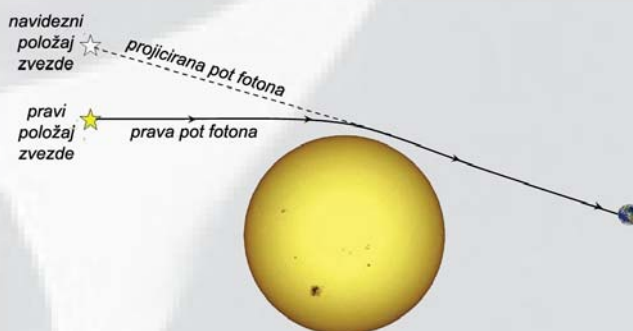
pri širjenju poznavanja teorije svojega prijatelja Einsteina in pri iskanju njene eksperimentalne potrditve. Leta 1919 mu je popolni Sončev mrk (*levo*), ki je bil

viden z afriškega otoka Principe, ponudil tako priložnost.

Po Einsteinovi teoriji mora velikanska masa Sonca ukriviti prostor okrog njega. Svetloba z zvezd, ki bi šla mimo blizu Sonca, bi se morala ukriviti in zvezde bi bile videti, kot da so se na nebu navidezno premaknile (*spodaj*). To se seveda dogaja ves čas, a je Sonce presvetlo, da bi videli zvezde v njegovi bližini – razen med mrkom!



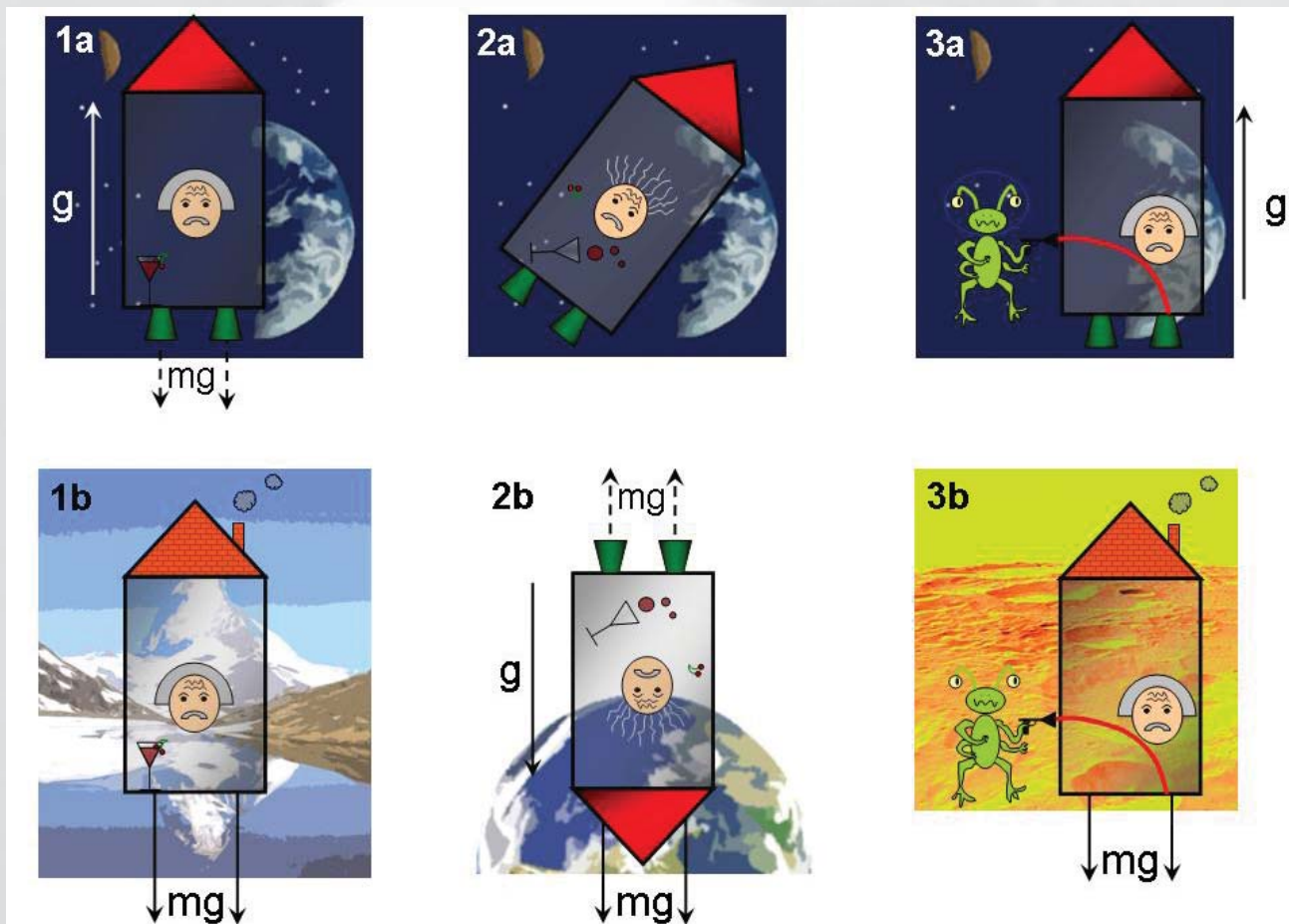
Mrk je omogočil Eddingtonu, da je izmeril ukrivljanje zvezdne svetlobe v bližini Sonca in primerjal meritve z napovedmi Newtona proti Einsteinu. Splošna relativnost je zmagala in Einstein je čez noč postal slaven.





## "Glej, zakon prostega pada!" (spet) – ali zakaj gravitacija ukrivlja svetlobo

Tako kot Galileo je tudi Einstein pričel z **miselnim poskusom** o *prostem padu*. "Ali ni čudno", je razglabljal: "da različne mase padajo *enako* hitro?" Po vsem o čemer smo razpravljali v poglavju o Galileu, si verjetno mislite, da Einsteinu niso delali vsi koleščki (morda pa je to skrivnost genija?). Hiter obisk *Magičnega vesoljskega dvigala strička Alberta (spodaj)*, vas bo pripravil do ponovnega razmisleka:



**1a.** Striček Albert uživa ob srkanju koktejla na svoji raketi in **pospešuje** skozi vesolje s konstantnim pospeškom ( $g$ ). Pospeševanje *navzgor* vas pritiska *navzdol* s silo, ki je enaka *masa krat pospešek* ( $F = m \times a$ ) – ravno tako kot vas potiska *nazaj* na sedežu, ko avto pospešuje *naprej*...

**1b.** ... ali pa je v resnici na Zemlji v svoji švicarski koči in ga vleče dol **gravitacija** in ne pospeševanje? Nenadoma doume, da teh dveh primerov **NI MOGOČE RAZLIKOVATI!!!** (ne da bi pogledali skozi okno, seveda...)

**2a.** Nekdo je ugasnil njegove motorje in Alberta nosi po vesolju, daleč v stran od vseh gravitacijskih polj. Njegovi lasje plavajo okrog in njegov koktejl se razlije iz kozarca...

**2b.** ... ali pa je morda v resnici **v prostem padu** nad Zemljo: pospeševanje navzdol izniči vpliv gravitacije in počuti se **breztežno**. **NI MOGOČE RAZLIKOVATI.**

**3a.** Nezemljan hoče s svojim laserjem ustreliti Alberta!!! K sreči raketa tako hitro pospešuje, da se do takrat, ko pride žarek do njegovega položaja, Albert že premakne daleč v stran. Z Albertovega gledišča je žarek videti ukrivljen.

**3b.** ... ali je morda v resnici na nezemeljskem planetu. Torej, kaj ukrivlja svetlobni žarek? Mora biti gravitacija planeta! Toda svetloba bi se morala gibati po ravnih črtah, kajne? To pomeni, da v gravitacijskem polju »ravno« ni zares ravno. Albert sklepa, da **GRAVITACIJA UKRIVLJA PROSTOR.**

# HUBBLE & HUMASON

## Širjenje vesolja



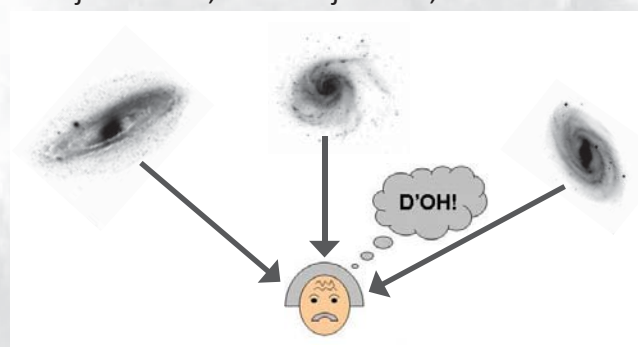
"Bolj ko so galaksije oddaljene, hitreje se oddaljujejo od nas."



"Kdo je vzel moj zvečilni...?"

### Vesoljski zvečilni gumi & Einsteinova največja zmota

Kmalu po izpeljavi svoje teorije gravitacije, imenovane *splošna teorija relativnosti* (1915), jo je **Albert Einstein** uporabil za razvoj teorije zgradbe celotnega vesolja (1917). Težava je bila, da je bilo njegovo vesolje nestabilno – zaradi lastne gravitacije bi se hitro skrčilo (*spodaj*). Einstein je uvedel univerzalno odbojno polje, v enačbah predstavljeno s **kozmoško konstanto** (označeno z grško črko lambda  $\Lambda$ ), ki je uravnesilo gravitacijski privlak in obdržalo vesolje statično, kakršno je mislil, da mora biti.

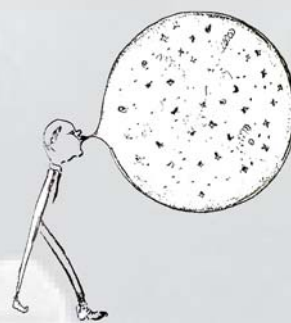


*Einsteinovo vesolje se je kar naprej sesedalo...*

Kmalu zatem (1917) je nizozemski matematik Willem de Sitter **izpeljal novorešitev modificiranih** Einsteinovih enačb, ki je bila nestabilna v nasprotnem smislu: kozmoška konstanta je

povzročila **eksplozivno** (eksponentno) širjenje! Einstein je nato umaknil kozmoško konstanto in jo imenoval za svojo "največjo zmoto". (A ne pozabite je, ker jo bomo še srečali...!)

Risba na desni je iz nekega takratnega nizozemskega časopisa in prikazuje de Sitterja, v obliki male črke lambda ( $\lambda$ ), ki napihuje vesolje kot balon (ali zvečilni gumi, morda). Originalni pripis lahko prevedemo kot: "Kaj napihuje balon? Lambda. Nobenega drugega odgovora ni mogoče dati."



Pravzaprav je leta 1922 ruski matematik Alexander Friedmann pokazal, da se vesolje širi tudi brez kozmoške konstante. Toliko o teoriji, kaj pa so rekla opazovanja?

### Otoška vesolja

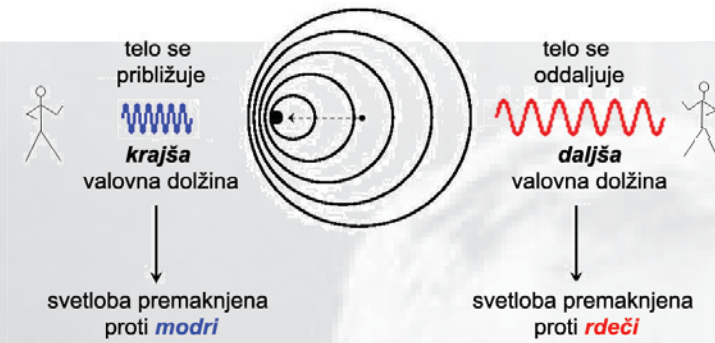
V začetku 20. stoletja še vedno ni bilo gotovo ali ležijo spiralne meglice v našem sistemu zvezd, v naši Galaksiji, ali so ločena »otoška vesolja« – galaksije – podobne naši. Edwin Hubble je izmeril oddaljenosti galaksij in razrešil vprašanje, saj je pokazal, da ležijo daleč izven naše galaksije. Danes poznamo galaksije, ki so tako oddaljene, da njihova svetloba potuje čez 10 milijard let, da nas doseže.

Leta 1917 je Vesto Slipher posnel spekter (graf intenzitete svetlobe v odvisnosti od frekvence ali valovne dolžine) z mnogih oddaljenih galaksij.



Njihove značilne absorpcijske črte (zmanjšana intenziteta svetlobe pri neki dani frekvenci ali valovni dolžini) so vse imele daljše valovne dolžine, kot če so jih izmerili v laboratorijih na

Zemlji – vse so bile premaknjene proti rdečemu delu spektra. Najenostavnejša razlaga je bila, da se galaksije oddaljujejo od nas z ogromnimi (tisoči km/s!) hitrostmi.

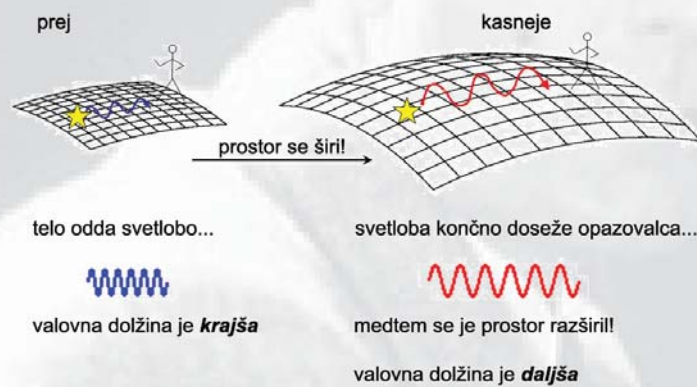


**Dve razlagi rdečega premika:**

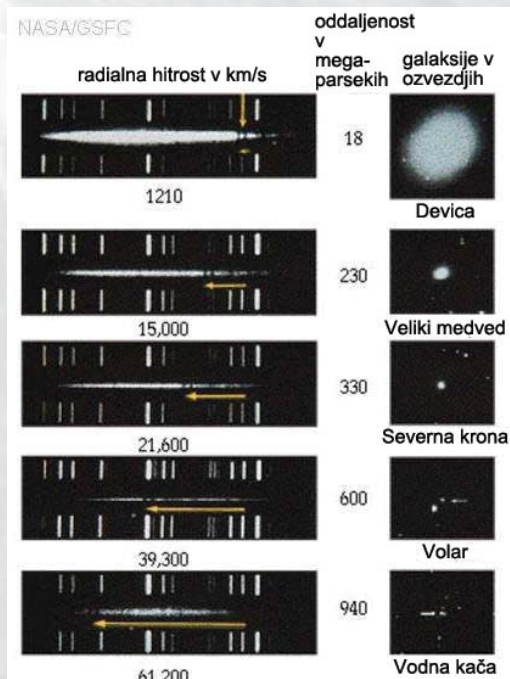
(i) **Dopplerjev pojav.** Zaradi gibanja izvora svetlobe v stran od opazovalca so vrhovi valov videti raztegnjeni – valovna dolžina je daljša, premaknjena k rdečemu delu spektra.



Absorpcijske črte:  
 ← v Sončevem spektru  
 ← v oddaljeni galaksiji (premaknjene zaradi rdečega premika)



(ii) **Širjenje prostora.** Svetloba z oddaljene galaksije potrebuje dolgo časa, da doseže opazovalca. Med tem potovanjem se je vesolje širilo – in skupaj z njim se je valovna dolžina raztegnila – premaknila proti rdeči.



V 1920-tih sta Hubble in njegov asistent **Milton Humason** izmerila oddaljenosti in rdeče premike nekaj ducatov galaksij. Ugotovila sta nekaj čudnega. Kot razmišlja Hubble v *Zvezdnem slui*: "**Bolj ko so galaksije oddaljene, hitreje se oddaljujejo od nas.**" (levo) To je znani **Hubblev zakon**.

To se na prvi pogled zdi čudno. Zakaj se zdi, da se vse v vesolju giblje v stran od nas? Ali ni delo Kopernika in Galilea pokazalo, da naš položaj v vesolju ni nič posebnega? Pravzaprav je po splošni teoriji relativnosti bolj pravilno reči, da se *sam prostor širi* in z zelo preprostim modelom razširjajočega vesolja (poskus na str. 27) lahko pokažete, da v vesolju ni nobenega posebnega položaja: v katerikoli galaksiji ste, boste videli ostale galaksije, da bežijo v stran od vas (to kozmologi danes imenujejo **Hubblev tok**).



# VAJA V RAZREDU

## Ponovno odkrijte Hubblov zakon

Podatki – oddaljenosti in hitrosti oddaljevanja galaksij – ki sta jih prvotno objavila Hubble & Humason leta 1929 so podani v spodnji tabeli. Zaradi velikih razdalj, s katerimi se ukvarjajo astronomi, bomo definirali enoto parsek kot 3,262 svetlobnega leta ali  $3,086 \times 10^{16}$  metrov.

Oddaljenost galaksije (Mpc)	Hitrost oddaljevanja (km/s)	Oddaljenost galaksije (nadaljevanje...)	Hitrost oddaljevanja (nadaljevanje...)
0,032	170	0,90	-30
0,034	290	0,90	650
0,214	-130	0,90	150
0,263	-70	0,90	500
0,275	-185	1,00	920
0,275	-220	1,10	500
0,45	200	1,70	960
0,50	290	2,00	500
0,50	270	2,00	850
0,63	200	2,00	800
0,80	300	2,00	1090

1. Narišite graf hitrosti oddaljevanja v odvisnosti od oddaljenosti. (Takšen graf se imenuje Hubblov diagram.)
2. Skozi točke potegnite premico, ki se jim najbolj prilega. Določite smerni koeficient (strmino) te premice. (Ta količina, smerni koeficient, je znana kot Hubblova konstanta in je označena s simbolom  $H_0$ .)
3. Ali mora iti premica skozi koordinatno izhodišče ali ne? Utemeljite.
4. V katerih enotah je  $H_0$ ? Ugotovite, kakšne enote ima količina  $1/H_0$  najprej v enotah SI in potem v bolj ustreznih enotah. Čemu bi ta količina ustrezala v fizikalnem pogledu? (Namig: pomislite, kako bi določili čas, ki ga potrebuje neko telo, da pride do vas, če poznate njegovo oddaljenost in hitrost.)
5. Kaj mislite, zakaj so nekatere hitrosti negativne (kar pomeni, da je svetloba galaksije pravzaprav pomaknjena proti *modremu* delu spektra, t.j. da se nam *približuje*), čeprav bi se naj galaksije oddaljevale od nas zaradi širjenja vesolja?

# VAJA V RAZREDU

## Balonsolje

V prejšnji vaji ste iz opazovalnih podatkov odkrili Hubblov zakon - t.j. *hitrost oddaljevanja galaksije je sorazmerna z njeno oddaljenostjo*. Ta vaja predstavlja preprost prikaz, kako ga izpeljati teoretično.

### Potrebščine:

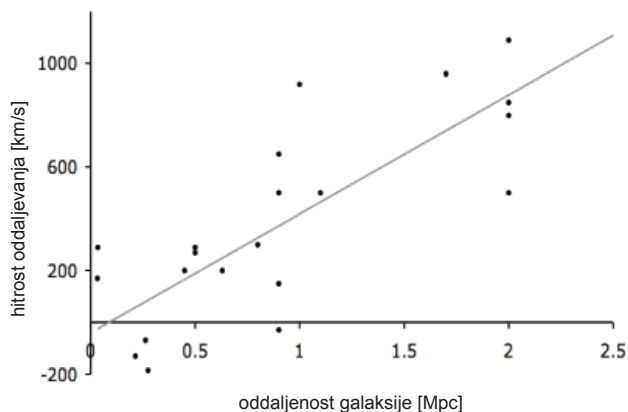
balon (črn, da je videti kot vesolje, bi bil najprimernejši, a katerakoli barva bo v redu)  
drobne nalepke (v obliki zvezd bi bile *najprimernejše!*) ali barvni marker  
vrvica (običajna vrvica (angl. string) bo v redu - kozmični stringi ali superstringi ne bi bili v redu)  
merilo  
štoparica  
pljuča  
prijatelj ali dva (verjemite mi, da je *veliko* lažje to narediti v majhnih skupinah kot vsak zase!)

### Metoda:

- 1a. Delno napihnite balon in okrog in okrog po površini prilepите/narišite nanj več nalepk/točk (a ne preblizu skupaj). Te predstavljajo galaksije.
- 1b. Izberite si eno - katerakoli. To bo vaša domača galaksija. Lahko jo posebej označite. Lepo očitno - s svetlo barvo ali zastavico (samo ne zapičite vanjo *bucike*, prav?!).
- 1c. Označite druge točke/galaksije - s števkami, črkami, barvami, kakorkoli želite.
- 1d. Izmerite razdaljo med vašo domačo galaksijo in ostalimi s kosom vrvice, ki jo napnete med njimi in nato izmerite njeno dolžino z merilom. Zapišite svoje meritve.
  
- 2a. Sedaj izpustite iz balona ves zrak.
- 2b. Začnite štopati čas - to je vaša *Kozmična ura* - in istočasno morate...
- 2c. ... pričeti pihati v Balonsolje in ga napihnite do poljubne velikosti (a ne tako zelo, da eksplodira!). Potem...
- 2d. ... zamrznite vesolje! Nehajte pihati in ustavite štoparico. Pazite, da vam ne uide nič zraka. Močno držite konec ali ga zavežite z vrvico.
  
3. Sedaj izmerite nove razdalje med vašo domačo galaksijo in ostalimi. Zapišite svoje meritve - oddaljenosti vseh galaksij in končni čas na Kozmični uri.
  
4. Sedaj imate dve razdalji za vsako galaksijo. Ugotovite, kako daleč se je vsaka galaksija premaknila zaradi razširjanja Balonsolja, tako da odštejete prvo razdaljo od druge.
  
5. Ugotovite *hitrost* vsake galaksije tako, da delite to razdaljo s končnim časom na Kozmični uri.
  
6. Narišite graf *hitrosti v odvisnosti od razdalje* - Hubblov diagram - za svoje točke/galaksije.
  
7. Potegnite premico, ki se tem točkam najbolj prilega. Določite smerni koeficient premice (ki ga imenujmo *H*).
  
8. Določite  $1/H$ . Primerjajte s končnim časom na štoparici in se začudite.

1. Učenci lahko narišejo graf tudi na računalnik, a je bolj zaželeno, da ga narišejo s svinčnikom na papir. Videti naj bi bil kot graf predstavljen tukaj.

2. Prva stvar, ki jo lahko opazimo je, kako *slabi* so bili Hubblovi podatki! Skozi točke lahko potegnemo premico, toda raztresenost točk okoli nje je zelo velika. Zato se spleča potegniti premico "na oko": tako so učenci prisiljeni razmisliti tudi o tem, kako nenatančni so pogosto astronomski podatki in kako nova odkritja niso vedno zelo očitna. Dandanes je seveda Hubblov diagram razširjen do veliko večjih oddaljenosti, kjer postane ujemanje merskih točk s premico veliko boljše (za primer glej naslednje poglavje).



Najbolj privilegijasta premica bi morala dati:  $v \text{ [Mpc]} = 460 \times D \text{ [km/s]}$  ali nekaj takega.

3. Da, premica mora iti skozi izhodišče koordinatnega sistema. Če ne bi šla, bi se telesa čisto blizu nas oddaljevala z visokimi hitrostmi! Hubblov zakon je z drugimi besedami:

$$v = H_0 D$$

4. To vprašanje je bolj zahtevno, a ga lahko rešite skozi razpravo v razredu. Spomnite se, da so enote neke količine izražene v oglatih oklepajih [ ] take, da je:

$$[H_0] = \frac{[v]}{[D]} = \frac{\text{km s}^{-1}}{\text{Mpc}} = \frac{[\text{razdalja}] \times [\text{čas}]^{-1}}{[\text{razdalja}]} = [\text{čas}]^{-1}$$

Z drugimi besedami: enota za  $H_0$  je enota količine  $1/\text{čas}$ .

$1/H_0$  lahko torej izrazimo kot nek čas. Naj učenci sami ugotovijo, kolikšen je iz njihovih rezultatov. Dobiti bi morali nekaj takega kot:

$$\frac{1}{H_0} \approx \frac{1}{460} \text{ Mpc/km s} \approx \frac{1}{460} \times 3,086 \times 10^{19} \text{ s} \approx 6,7 \times 10^{16} \text{ s} \approx 2 \times 10^9 \text{ let}$$

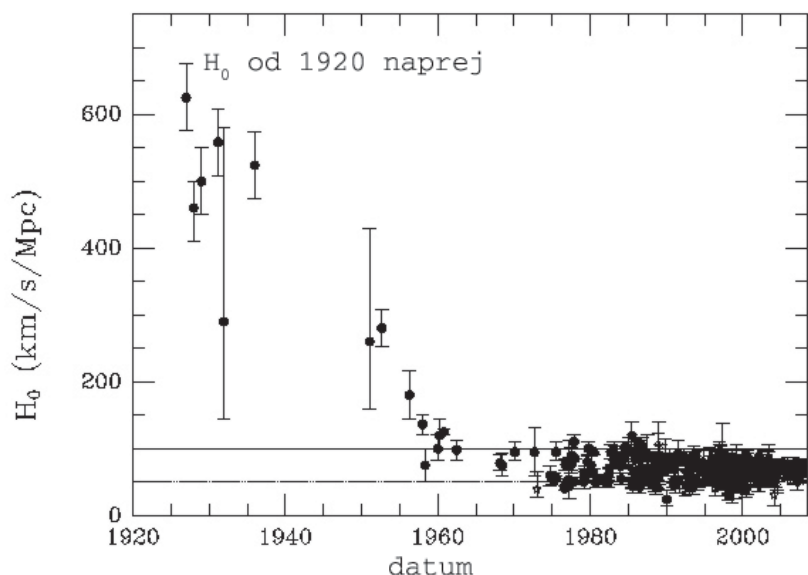
Kaj to pomeni? No, predstavljajte si galaksijo na oddaljenosti  $D$ . Hubblov zakon nam pravi, da se oddaljuje s hitrostjo  $v = H_0 D$ . Čas, ki ga je potrebovala, da je pripotovala tako daleč v stran od nas je  $D/v = 1/H_0$ . Ker to velja za vse galaksije, je moralo biti vse v vesolju zbrano v eni sami točki pred časom  $\sim 1/H_0$ . Z drugimi besedami,  **$1/H_0$  je ocena starosti vesolja**. Razpravljajte z razredom o tem, kaj to pomeni in ali menijo, da je njihova ocena smiselna. Kako se ta čas primerja z drugimi dolgimi časi, ki jih morda poznajo (npr. starost Zemlje).



# UČITELJEVI PLONK LISTKI

Ponovno odkrijte Hubblov zakon, nadaljevanje & Balonsolje

5. Nekatere bližnje galaksije se res gibljejo proti nam. To je zaradi tega, ker so gravitacijsko vezane v jato galaksij imenovano **Lokalna jata** in tako niso vključene v Hubblov tok, ki se dogaja le na večjih razdaljah. Na primer, velika spiralna galaksija Andromeda, M31, se giblje okrog skupnega središča skupaj z našo galaksijo in predvidevajo, da se bosta ti dve galaksiji čez okrog 2,5 milijarde let celo zaleteli.



To je eden od razlogov, zakaj so bili Hubblovi prvotni podatki tako slabi. Zgodovina Hubblove konstante nudi odličen način, kako vašemu razredu predstaviti *nenatančnosti*, ki so del znanstvenih meritev in kako so bolj in bolj natančne meritve ključnega pomena za to, da različne teorije potrdimo ali ovržemo. Hubblovi prvotni podatki so za starost vesolja dali 2 milijardi let, kar je bilo manj kot starost Osončja, ki je iz radioaktivnih izotopov v meteoritih ocenjena na 4,5 milijarde let. Najstarejše zvezde v naši galaksiji so po ocenah stare okrog 10 milijard let. Vse to je zbudilo dvome v nastanek vesolja v Velikem poku. Toda od Hubblovih časov do danes so mnogi astronomi izboljšali njegove meritve in te težave so izginile (*zgornji graf - HST H<sub>0</sub> Key Project/John Huchra*). Zadnja ocena za Hubblovo konstanto je  $H_0 = 71$  km/s/Mpc in za starost vesolja 13,7 milijarde let.

## Balonsolje

Potem ko razred konča poskus, lahko z učenci razpravljate o njihovih ugotovitvah:

- Kako so bili videti njihovi grafi? [morali bi biti premice skozi izhodišče - kot Hubblov zakon].
- Kaj to pomeni za pravo vesolje? [Hubbllov zakon je naravna posledica vsakega enakomernega širjenja]
- Vprašajte jih, kaj bi ugotovili, če bi si izbrali drugo domačo galaksijo [njihove ugotovitve bi bile popolnoma enake]
- Kako so se izšle njihove ocene za starost Balonsolja? Kako so se ujemale s časom na štoparicah? [morale bi biti enake]

---

# "CELESTE HEAVENS"

## Temna snov & temna energija

---

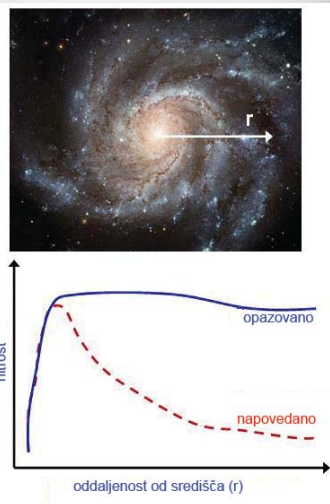
Največje in najbolj *skrivnostno* vprašanje moderne astronomije je:

**Kaj je prava narava temne snovi in temne energije - snovi, ki skupaj sestavljata čez 90% vesolja?**

Najpreprostejši odgovor je, da "v resnici ne vemo!" A imamo nekaj dobrih - in nekoliko bizarnih - idej. A poglejmo najprej, kaj vemo o teh čudnih snoveh in kakšne dokaze o njunem obstoju imamo.

### Nevidni sloni

V 1970-tih je študentka astronomije **Vera Rubin** izmerila hitrosti zvezd, s katerimi so se te gibale okrog središča svojih galaksij. Po Newtonovi teoriji zlahka ugotovimo to t.i. rotacijsko ali krožilno hitrost neke zvezde, če vemo koliko drugih zvezd deluje nanjo s svojo gravitacijo. Ostale zvezde zlahka preštejemo, saj jih lahko vidimo. Galaksije so običajno svetle v sredini in postajajo bolj in bolj redke proti robu: krožilne hitrosti bi morale torej naraščati proti vrhu v bližini sredine, v zunanjih delih pa padati. Izmerjene hitrosti tega niso počele. Ostajale so približno konstantne vse do velikih razdalj od središča galaksije (*zgoraj*)... kar pomeni, da mora tam biti **VELIKO mase, ki je ne vidimo**, a zaradi katere zvezde krožijo. Ko rečem VELIKO, to tudi mislim: desetkrat več kot pa je vidnih zvezd v galaksiji! Ta skrivnostna nevidna snov, ki gravitacijsko drži galaksije skupaj se imenuje (ker nimamo boljšega imena) **TEMNA SNOV**.



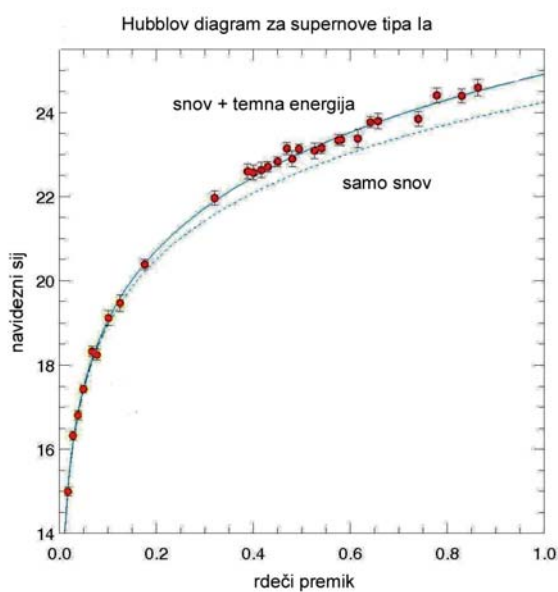
Drugi dokaz o temni snovi prihaja iz proučevanja *jati* galaksij. Uporabimo lahko isti trik in proučujemo gibanje neke galaksije okrog drugih galaksij, da ugotovimo, kolikšna količina mase jo privlači. In (glej, glej!) izkaže se, da je te mase *veliko* več, kot bi pričakovali samo iz tega, kar lahko vidimo. Obstaja tudi zelo zvita metoda, imenovana *gravitacijsko lečenje*, s katero lahko ugotovimo, kje v jati galaksij je temna snov. Temna snov v jati s svojo maso ukrivlja pot svetlobe, ki jo oddajajo galaksije, ki ležijo za to jato - podobno kot pri Eddingtonovem opazovanju Sončevega mrka. Če vas to zanima, si na naslednjih straneh preberite nagrajeni članek "*Ujeti nevidne slone*".

### Maščevanje Einsteinove zmote

Se spomnite kozmološke konstante  $\lambda$ ? (Opozoril sem vas, da jo boste še enkrat srečali!) Ta dodaten odbojni člen, ki ga je Einstein dodal v svoje enačbe, da je preprečil krčenje vesolja - a ga je kasneje poskušal pomesti pod preprogo, ker se ga je tako sramoval (verjetno zato, ker je bil tako... odbijajoč...)? No, izkazalo se je, da je imel prav ves čas, celo takrat, ko se je motil!

Leta 1999 sta dve skupini astronomov proučevali Hubblov diagram s posebno vrsto eksplodirajočih zvezd imenovanih **supernove tipa Ia** v oddaljenih galaksijah. Kar je na njih posebnega je, da naj bi imele vse točno enak izsev - in takim zvezdam rečemo "standardna svetila". Pomislite na žarnico. 100 watna žarnica, ki bi bila bolj daleč v stran, bi bila videti enako šibka kot (sicer bližnja) 10 watna žarnica. Toda če veste, da je žarnica 100-watna, lahko ugotovite, kako daleč je. No, supernove tipa Ia so kot žarnice v vesolju - le da so tako svetle kot milijarda milijard milijard milijard 100-watnih žarnic in jih lahko zato vidimo, tudi če so zelo daleč v stran. Tako daleč, pravzaprav, da se je širjenje vesolja bistveno spremenilo odkar so naredile **bang!** Zato nam Hubblov diagram, narejen z njimi, lahko odkrije marsikaj.

Do leta 1999 smo mislili, da je vesolje narejeno pretežno iz snovi in iz temne snovi. In smo lahko natančno ugotovili, kako ta snov vpliva na širjenje vesolja. Tako smo vsaj mislili... A izkaže se, da se ta model *ne ujema* s Hubblovim diagramom supernov tipa Ia! Oddaljene supernove so, kot je videti, *bolj oddaljene*, kot bi pričakovali iz njihovih rdečih premikov. Ali, če obrnemo na glavo: videti je, da se oddaljujejo *počasneje*, kot kaže njihov rdeči premik. Kar pomeni, da se je v preteklosti moralo vesolje širiti *počasneje*. Kar pomeni, da se sedaj širi *hitreje* kot prej. Kar pomeni, da **se širjenje vesolja pospešuje!!!!**



Hubblor diagram za supernove tipa Ia, povzet iz *Supernova Cosmology Project*. Supernove z velikimi rdečimi premiki - oziroma z visokimi hitrostmi oddaljevanja zaradi širjenja vesolja in velikimi oddaljenostmi - se ne ujemajo s teoretično napovedano krivuljo za vesolje, sestavljeno le iz snovi. Namesto tega potrebujemo pospešeno širjenje vesolja, sestavljenega iz mešanice snovi, temne snovi in temne energije.

Kaj na svetu (ali ne na svetu) bi lahko povzročilo, da se prostor napihuje vedno hitreje in hitreje? Odgovor že veste - se spomnite de Sitterjevega zvečilnega gumija? To mora biti **kozmoška konstanta**. "Kozmoška konstanta" je slišati preveč dolgočasno za nekaj tako pomembnega in hkrati tako skrivnostnega, zato ji sedaj rečemo **TEMNA ENERGIJA**.

In te je veliko. Da razložimo opazovano pospeševanje, mora biti okrog 75% mase vesolja v obliki te snovi. Večina preostale mase - okrog

20% - je temna snov. Vsa snov, ki sestavlja tebe in mene in lutnje in gore in zvezde in planete in kornete in mangle in štange in oceane in možgane in lune in tune in pavijane in modrijane, vsa ta snov predstavlja borih 5% mase vesolja. In v resnici ne vemo, kaj je preostalih 95%.

### Iskanje WIMP-ov

Priljubljena zamisel za delce temne snovi so tako imenovani šibko interagirajoči masivni delci, po angleško "**W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**articles" ali WIMPs. Obstoj takih delcev napovedujejo teoretični fiziki osnovnih delcev, ki poskušajo poenotiti osnovne sile narave - na primer s **supersimetričnimi (SUSY)** modeli. Če bi našli delec temne snovi, bi tako z enim zamahom rešili eno velikanskih ugank v astronomiji in eno velikanskih ugank v fiziki osnovnih delcev.

WIMPi so zvesti svojemu imenu in res niso pretepači. Milijarda WIMP-ov gre verjetno v *tem trenutku* skozi vas, a ne boste tega niti opazili. Če pa bi zbrali dovolj snovi na enem mestu, obstaja nekaj možnosti, da če dovolj dolgo počakate, se bo *morda* eden od WIMP-ov stepel z enim od delcev običajne snovi. Nekaj poskusov je bilo postavljenih globoko pod zemljo v rudnikih po svetu - na primer v **rudniku Boulby** v Yorkshiru v Veliki Britaniji - da bi našli sledi take krvave bitke - na primer delec, ki bi ga odrinil en tak redek pretepaški WIMP. Rudniki pomagajo skriti sladke, nedolžne detektorje pred razbijaškimi kozmičnimi žarki, ki bi v primeru, da bi bil poskus postavljen na površini Zemlje, povzročili pravo razdejanje.

Tudi če ne morete videti, da je nekje WIMP, pa lahko včasih ugotovite, da nekaj manjka. Predstavljajte si nevidnega moža na zabavi.<sup>10</sup> Če veste, koliko klobas je bilo na začetku in koliko jih je pojedel vsak od vaših vidnih gostov, lahko s tem, da preštejete, koliko jih je še ostalo na koncu, ugotovite ne samo, da je nevidni gost navzoč, ampak lahko nekaj izveste tudi o njegovem apetitu. **Veliki hadronski trkalnik** v Ženevi, ogromen pospeševalnik delcev, ki so ga odprli septembra 2008, bo morda lahko WIMP-e odkril na tak posreden način: da bo pri trkih iskal manjkajočo energijo in gibalno količino.

<sup>10</sup> To se je meni že večkrat zgodilo. - Q.



### Ničelna energija in fantomi

Da povzroči globalno, pospešeno širjenje, mora biti temna energija tekočina z negativnim tlakom, ki se pretaka skozi celotno vesolje. Srečali smo že eno predstavo temne snovi - pravzaprav najpreprostejšo - da je kozmološka konstanta. In prav zares je konstanta: medtem ko se običajna snov s širjenjem vesolja redči, ostaja gostota kozmološke konstante popolnoma enaka! En način razumevanja kozmološke konstante je, da ustreza energiji vakuuma ali praznega prostora - in jo včasih imenujemo ničelna energija. Modeli osnovnih delcev napovedujejo obstoj te ničelne energije, vendar je teoretična vrednost **VELIKO!!!** večja od opazovane velikosti  $\lambda$ .

Druga zamisel, ki nas pripelje okrog tega problema je, da temna energija ni konstantna, ampak se s širjenjem vesolja spreminja. To so, kozmologi z nenavadnim smislom za zgodovino, poimenovali **kvintesenca**, po latinskem izrazu za eter - tej najpopolnejši snovi iz katere naj bi po nekdanjih predstavah bilo vse na nebu (glejte poglavje o Galileu). Kako čudno, da stvari navidez vedno naredijo cel krog.

V nekaterih modelih gostota temne energije - imenovana **fantomska** energija - pravzaprav

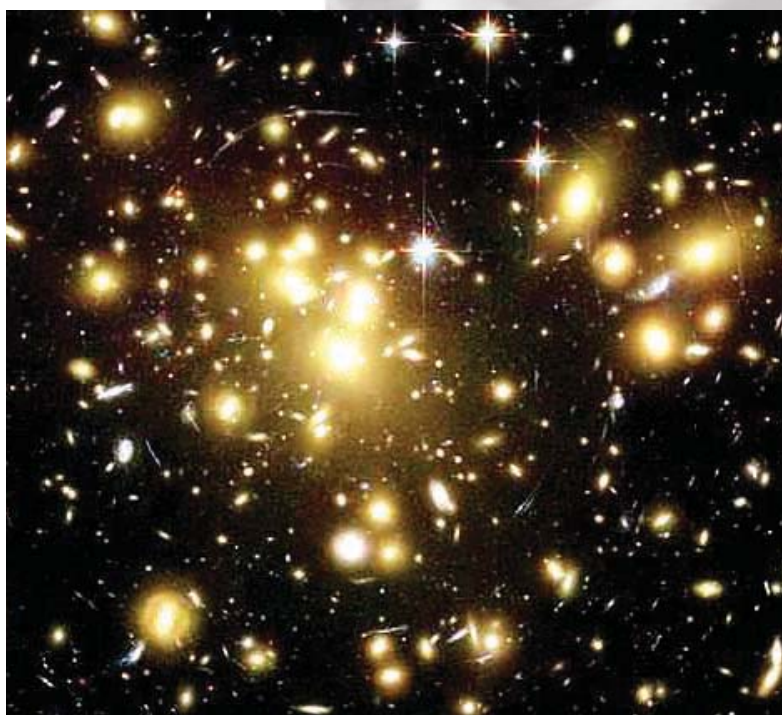
narašča, ko se vesolje širi. Ker temna energija povzroča pospeševanje, se vesolje širi vedno hitreje in hitreje, dokler se - kot balon zvečilnega gumija, ki počni - ne raztrga... Ta apokaliptični razvoj dogodkov se imenuje **Veliki raztrg**.

### Postscript:

#### Ne-tako-daljna prihodnost fizike

V *Zvezdnem slu Celeste (nova Celeste!)* med svojim podiplomskim študijem odkrije pravo naravo temne snovi in nekaj let kasneje za svoje delo prejme Nobelovo nagrado. To je izmišljeno, a je možno: čisto možno je, da bo nekdo, ki bere to knjižico (*mogoče ravno ti!*), naredil ključen korak k temu odkritju - ki bo najpomembnejše znanstveno odkritje 21. stoletja. Lahko bo teoretični fizik, ki bo napovedal nove družine delcev s čudaškimi in čudovitimi lastnostmi. Lahko bo eksperimentalni fizik osnovnih delcev, ki bo iskal WIMP-e v rudnikih. Lahko bo astrofizik, ki bo proučeval vpliv temne energije na pospeševanje širjenja vesolja.

Ali bo to odkritje pripeljalo ali ne do tehnologije za spreminjanje realnosti in potovanja v času ter naših zanamcev, ki se bodo vračali v preteklost in brkljali po zgodovini - no, to je pa že druga zgodba...



*Posnetek jate galaksij Abell 1689, ki ga je naredil vesoljski teleskop Hubble. Svetle neostre lise so galaksije, ki pripadajo tej jati, ki je ena od najmasivnejših znanih jat galaksij in leži 2,2 milijardi svetlobnih let daleč. Loki so popačene slike galaksij, ki ležijo veliko dlje: milijarde svetlobnih let za to jato. Veliki skupki temne snovi v jati ukrivljajo prostor, kakor napoveduje Einsteinova splošna teorija relativnosti. Svetlobni žarki z oddaljenih galaksij potujejo skozi jato in se ukrivijo, kakor da bi potovali skozi lečo. Slike oddaljenih galaksij so zato razvlečene v krožne loke. S proučevanjem teh lokov lahko astronomi določijo maso in porazdelitev temne snovi znotraj jate - čeprav je nevidna!*

---

---

# Ujeti NEVIDNE SLONE

dr. Meghan Gray, University of Nottingham

---

---

IMAM ponavljajoče se sanje, v katerih na moji postelji sedi neviden slon. Ne morem ga videti, a vem, da je tam. Vem po tem, kako se pod njegovo težo upogne vzmetnica, in po tem, kako se v sredino odkotalijo drobtine mojega jutranjega toasta.

Pojav, ki mu astronomi rečejo **gravitacijsko lečenje**, je nekoliko podoben načinu, kako ujeti nevidnega slona. V zadnjih letih smo odkrili, da je v vesolju dobesedno več kot je videti: svetleča snov oz. telesa, ki oddajajo svetlobo, sestavljajo manj kot 10% celotne mase vesolja. To pomeni, da mora biti velik delež vesolja sestavljen iz temne snovi, ki pa je ne moremo neposredno videti, ker ne sveti.

Kako vemo, da je tam? Uporabimo trik kakor pri nevidnem slonu in znanje o gravitaciji. Osnovno načelo gravitacijskega lečenja je, da se pot svetlobe ukrivi zaradi iste privlačne sile, ki drži naše noge trdno na Zemlji.

Po Einsteinovi splošni teoriji relativnosti masivna telesa (kot na primer galaksija) ukrivljajo prostorčas, podobno kot se zaradi nevidnega slona upogiba moja vzmetnica. In ko svetloba iz oddaljene galaksije na poti do naših teleskopov potuje skozi ta ukrivljen del prostorčasa, se svetlobni žarki ukrivijo. Ko gledamo sliko te oddaljene galaksije, vidimo, da je bila popačena ali lečena. Podoben učinek dobite, če pogledate plamen sveče skozi spodnji del kozarca za vino. Svetloba sveče se na poti skozi steklo ukrivi in namesto plamena vidimo čudne vzorce popačenih lokov in obročev. (Ta učinek je seveda še bolj poudarjen, če vino prej popijete...)

V mojem primeru so nevidni sloni, ki upogibajo vzmetnico, jate galaksij. Vsak od teh velikanskih objektov je skupek galaksij, ki jih povezuje gravitacija. In v vsaki od teh stotin galaksij je na milijarde zvezd. In ta svetloba zvezd je tisto kar vidimo skozi naše teleskope.

A celo te stotine milijard zvezd predstavljajo le okrog 5% jatine mase. Drugih 30% lahko najdemo v obliki razpršenega plina, ki je v prostoru med galaksijami. Ta medgalaktični plin oddaja visokoenergijsko rentgensko svetlobo, ki jo lahko detektiramo s sateliti nad Zemljino atmosfero.

Toda še vedno ostane tako več kot polovica jatine mase nepojasnjene! Ta skrivnostna manjkajoča masa je nevidna v vseh delih spektra, od rentgenskih do radijskih valov. Vendar lahko z gravitacijskim lečenjem izsledimo to temno snov, tako da gledamo skozi njo oddaljene galaksije, ležeče daleč za jato galaksij.

Tako kot je svetloba s plamena sveče ukrivljena, ko gre skozi vinski kozarec, tako slike teh galaksij v ozadju gravitacijsko leči masa pred njimi ležeče jate galaksij. Včasih je popačenje tako veliko, da je galaksija normalnega videza raztegnjena in ukrivljena v loke in obroče - in včasih vidimo celo več slik ene same galaksije.

A tudi popačitve, ki jih oko ne opazi, lahko zaznamo statistično. Če izmerimo, kako so oblike galaksij v ozadju spremenjene zaradi lečenja jate, lahko določimo koliko temne snovi je v jati in kako je razporejena. Veliko število popačenih galaksij pomeni, da ima jata zelo veliko maso. Izmerimo lahko maso jate galaksij, ki je oddaljena milijarde svetlobnih let tako, da posnamemo njeno sliko! *(glejte sliko na nasprotni strani, levo)*

Ena od frustracij astronomije kot znanosti je, da čeprav je naš laboratorij celotno vesolje, ne moremo v njem nič spremeniti. Na noben način se ne moremo poigrati z gumbi, spremeniti količine in izmeriti rezultate, kot običajno lahko to storijo eksperimentalci. Namesto tega je vse, kar lahko naredimo to, da obrnemo svoje teleskope v nek del neba in opazujemo. Izziv je, kako izbrati za opazovanje najbolj zanimive stvari in karseda izkoristiti to, kar lahko vidimo. In ravno zato je gravitacijsko lečenje za astronomijo tako pomembno orodje: omogoča nam videti nevidno.

---

*Reproducirano z dovoljenjem avtorice.*



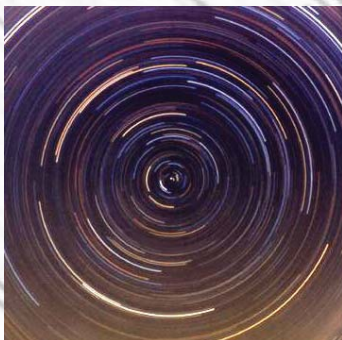
---

# ZVEZDNI SEL & mitologija

---

## "Neminljivi"

V *Zvezdnem slu* so Neminljivi hiper-napredna, post-človeška civilizacija iz daljne prihodnosti, ki ima sposobnost potovanja skozi čas in tudi, do neke mere, spreminjanja same realnosti. Njihovo ime izvira iz staro-egipčanskega izraza za **nadobzornice** - zvezde, ki nikoli ne zaidejo pod obzorje (*spodaj levo*). Za Egipčane je bilo kraljestvo pod obzorjem - *duat* - domovanje umrlih. Bog Sonce je moral prestati vrsto preizkušenj na svoji poti skozi *duat* vsako noč, da si je prislužil pravico do ponovnega rojstva vsako jutro na vzhodu. Nadobzornice pa so bile proste tega večnega kroga rojstva in ponovnega rojstva in so jim zato rekli *ikhmu-sek* - "neminljive zvezde".



**Empirej** - domovanje Neminljivih - so "najvišja nebesa" v Dantejevi epski pesnitvi *Božanska komedija* (desno), kraljestvo onstran fizičnega obstoja, kjer domuje "**primum mobile**" ali "glavno gibalo" Aristotelove kozmologije (Irončno je, da so Neminljivi navidez znova vzpostavili srednjeveško Aristotelovo kozmologijo, ki jo je Galileo z velikim trudom podrl...)



## "Quicksilver"

*Quicksilver* je v angleškem jeziku popularno ime za kemijski element živo srebro - in namiguje na njegovo spolzko in hlapljivo naravo. Angleško ime za živo srebro **Mercury (Merkur)** je tudi ime hitrega sla rimskih bogov; **Hermes** je bil njegov grški ekvivalent, bister bog prekanjenosti in sleparij ter spremljevalec mrtvih v posmrtno življenje, ki ga na nebu predstavlja najhitrejši in najbolj izmuzljiv planet (Merkur).

Quicksilver deloma temelji tudi na egipčanskem bogu **Totu** - bogu modrosti, pisanja, časa, magije, skrivnosti in nepravilnosti, ki je včasih prikazan kot ibis, včasih kot igriv pavijan (*levo*). Tot in Hermes sta kasneje združena v božanstvo **Hermes Trismegistus**, ki je bil domnevno utemeljitelj okultnega znanja, ki je postalo znano kot "hermetično" - vključno z ezoteričnimi alkemijskimi izročili, katerih privrženec je bil Isaac Newton.

## "Palas"

*Palas* je bilo eno od imen Atene, grške boginje modrosti in zveste bojevite zaščitnice zakonov svojega očeta Zeusa. *Palas* v *Zvezdnem slu* ima več skupnega z egipčansko **Maat** (*desno*) - boginjo reda, resnice, pravice in gibanja zvezd. *Maat* je bila odgovorna za razsojanje o usodi smrtnikov po smrti: njihovo srce bi stehali v primerjavi s peresom, in če je bilo lahko in neožgano od greha, je bilo njihovi duši dovoljeno povzdigniti se do zvezd in vstopiti v večni krog rojstva, smrti in ponovnega rojstva (takšna nagrada čaka "staro" Celeste...)





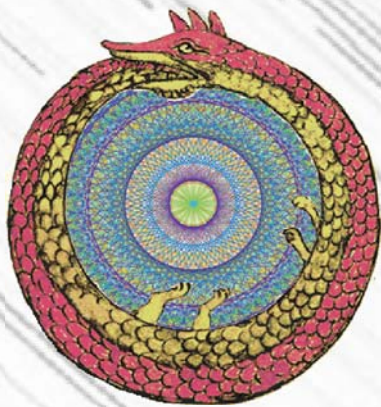
## "Velika knjiga"

Navdih za Veliko knjigo prihaja iz slavne vrstice, ki jo je napisal Galileo leta 1623 v delu *Il Saggiatore* (Preizkuševalec): "Filozofija je zapisana v tej veliki knjigi - mislim na vesolje - ki je nenehoma odprta našemu pogledu. Toda ni je mogoče razumeti, dokler se ne naučimo razumeti njen jezik in črke, v katerih je napisana. Napisana je v jeziku matematike in njene črke so trikotniki, krogi, in drugi geometrijski liki, brez katerih je nemogoče razumeti eno samo njeno besedo, brez njih tavamo v temnem labirintu." V *Zvezdnem slu* je Velika knjiga *dobesedno* vesolje samo - ali bolje Quicksilverjev terminal do glavnega računalnika Neminljivih, v katerem je vesolje simulirano s popolno natančnostjo...

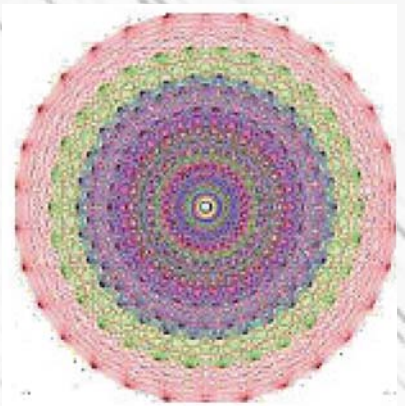
Knjiga, ki vsebuje "vso modrost ljudi in nesmrtnikov", se pojavi v staro-egipčanski pripovedi *Zgodba o Setni*. Opisuje iskanje magičnega zvitka, **Totove knjige**, ki tistim, ki jo berejo, podarja modrost bogov - a je tudi prekleta... Hieroglifski napis na platnicah velike knjige jo res identificira kot legendarno *Totovo knjigo*.

## Uroboros

Kača, ki žre lasten rep ali uroboros, ki krasi zadnjo stran platnic Velike knjige, je podoba, ki se pogosto



pojavlja v staro-egipčanski, kitajski, grški, hindujski in srednjeveški evropski mistični tradiciji. Simbolizira popolno bitje, ki se samo ustvarja iz nič (tako kot vpletanje Neminljivih v Celestino življenje omogoči, da odkrije "Teorijo vsega", ki omogoči njihovo celotno civilizacijo...) Matematični vzorec, ki se navija po njeni celotni dolžini, je umetniška upodobitev simetrijske grupe E8 (desno), ki naj bi bila podlaga



"Teorije vsega", objavljene leta 2007.

## Jar, dežela Žlobudračev

*Jar* je "svet brez znanstvenikov", ki je bil ustvarjen, ko je Celeste raztrgala Knjigo, in katerega prebivalci so *Žlobudrač*i - govorijo v mešanici vseh svetovnih jezikov (*Žlobudranščini*, seveda). Tako kot "Lotofagi" v Homerjevi *Odiseji*,



*"V prazni deželi Lotusov živeti in prislonjeno ležati  
na vrhovih skupaj kot bogovi, brezbrizni do človeštva biti,  
kjer smehljajo se skrivnostno zroč čez neobdelane pokrajine,  
snet in glad, kuga in potres, bučeče globine in ognjene sipine"*  
(Tennyson)

so *Žlobudrač*i obsedeni z zlatim sadežem, imenovanem *soma*, ki jim nudi vsako radost in vso srečo - medtem ko svet okrog njih propada. *Jar* je nasprotje *Raja*, saj uživanje sadja prinese ujetost v nevednosti in zmoti, ne pa izgon in (spo)znanje. Celeste je pred zelo težko izbiro: blaženost nevednosti ali herojsko trdo delo. Sadje, ki daje modrost, mladost ali prekletstvo je v mitih zelo pogosto (na primer v nordijski mitologiji *Idun* in *Loki* - ali sta to *Palas* in *Quicksilver*? - *desno*).

# DRAMSKE OSEBE

## **Celeste Heavens ~ igra jo Samantha Hickey**

Naše "dekle z biserom", Celeste, je ali prestrašena deklica za vse ali samozavestna teoretična fizičarka, ki čez par desetletij dobi Nobelovo nagrado, odvisno od tega v katerem vesolju ste.

Sam Hickey trenutno pripravlja doktorat iz astrofizike na University of Hertfordshire. Njeno raziskovalno delo vključuje iskanje nekaterih najbolj oddaljenih galaksij v vesolju in gledanje 13 milijard let v preteklost vse do izvora struktur v vesolju. To je prva glavna igralska vloga Sam, bila pa je tudi producentka tega filma.



## **Quicksilver ~ igra ga Jon Crowley**

Sam Zvezdni sel Quicksilver frfota skozi čas in izvaja "skrivne misije" za Neminljive. To je njegova kazen za spodleteli upor proti njim. Njegove metode dela običajno vključujejo zavajanje in manipulacijo, navdušuje ga pa tudi vse kar je skrivnostno.

Jon je napol profesionalni igralec in je nastopal v številnih odrskih in filmskih predstavah. Nedavno je igral vlogo Henryja Higginsa v predstavi *My Fair Lady*, ki jo je pripravila Abingdon Operatic Society.

## **Palas ~ igra jo Alice Williamson**

Palas je visoka funkcionarka Neminljivih, ki je odgovorna, da zgodovina teče tako, kot oni želijo. Odveč ji ni niti vohunjenje in se je pogosto vpletala v človeške zadeve, običajno pod krinko arhetipske *femme fatale*.

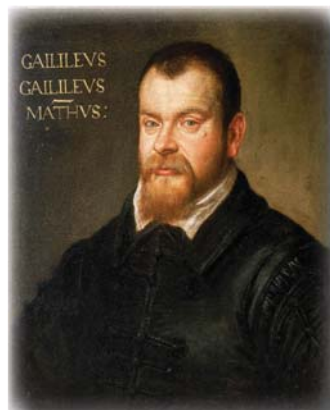
Alice pripravlja interdisciplinarni doktorat iz glasbe in astronomije. Njeno doktorsko delo je osredotočeno na zgodovinske odnose med njima na Kitajskem. Alice je nadarjena klarinetistka in skladateljica in je v filmu prispevala velik del slikovnega materiala in glasbe.



## **Galileo Galilei ~ igra ga Bob Chapman**

Galileo je postavil temelje moderne znanosti. Njegova bojevita drža napram njegovim akademskim tekmecem in cerkveni doktrini mu je prisluzila hišni pripor, a tudi zagotovila zapuščino njegovih znanstvenih metod in odkritij.

Bob ima doktorat iz astrofizike in raziskuje najmočnejše eksplozije v vesolju - izbruhe sevanja gama - in zakaj nekatere med njimi morda le niso tako močne, kot vsi mislijo. Trenutno dela na University of Iceland.







### Edwin Hubble & Milton Humason

~ igrata ju Ken Winter & Glen Parish

Hubble (*spodaj levo*) je bil najpomembnejši opazovalni astronom 20. stoletja. Postavil je skalo za velikost vesolja izven naše Galaksije, iznašel razvrstitev različnih tipov galaksij in odkril širjenje vesolja.

Humason (*spodaj desno*) je sprva vodil mule na vrh Mount Wilsona, kjer je opazoval astronome pri njihovem delu. Čez čas mu je bilo dovoljeno,

da je opazoval tudi sam in čeprav ni imel formalne izobrazbe, se je dokazal kot zelo sposoben astronom ter postal Hubblov neprecenljivi asistent.

Ken pripravlja magisterij iz astronomije na University of Hertfordshire, pri čemer raziskuje zvezdni veter, ki ga oddajajo nekatere od najsvetlejših zvezd. Glen pripravlja doktorat in proučuje zbiranje oddaljenih rdečkastih galaksij v jate.



### Sir Arthur Stanley Eddington

~ igra ga Robert Priddey

Eddington je bil eden največjih teoretičnih astrofizikov 20. stoletja. Postavil je model strukture zvezd in kako svetijo zaradi jedrskih reakcij. Bil je zgodnji popularizator Einsteinove relativnosti in je kasneje v življenju iskal "temeljno teorijo" v kateri bi združil vso fiziko.

Dr. Robert Priddey je bil doktor astrofizike in scenarist, koproducent, so-režiser, urednik in skladatelj glasbe za film *Zvezdni sel*. Žal je februarja 2010 umrl. Bil je vsestransko izobražen in ga močno pogrešajo vsi, ki so ga poznali. Na ta kratek

film je bil zelo ponosen. Celotna filmska ekipa upa, da bo film koristil učencem in dijakom še mnogo let.



### Sir Isaac Newton ~ igra ga James Collett

Newtonov prispevek fiziki je neprecenljiv. So-odkril je infinitezimalni račun in ga uporabil za zapis svojih treh zakonov gibanja, zapisal je zakon gravitacije, raziskoval disperzijo svetlobe in iznašel zrcalni teleskop.

Dr. James Collett predava fiziko na University of Hertfordshire.



### Eddington ~ igra ga Headington

Pot k slavi se je za Eddingtona Arthurja, impresarija in svengalija, pričela, ko je kot mladiček pobegnil iz potujočega cirkusa. V 60. in 70. letih prejšnjega stoletja je posnel nekaj nepozabnih albumov.

Eddingtonov nečak, Headington je sodeloval v resničnostnem TV showu *Življenje v divjini*, kjer si je prislužil status tabloidnega anti-junaka. To je njegova prva prava igralska vloga.





# NEKAJ BESED ZA KONEC

## DVD - hitri vodič

DVD *Zvezdni sel* je najbolje gledati na standardnem PAL televizijskem širokem zaslonu (razmerje 16:9) s stereo zvočniki.

Disk vstavite v DVD predvajalnik in počakajte, da se uvodna animacija konča in se pojavi glavni menu. V glavnem meniju lahko izberete predvajanje celotnega filma ali predvajanje po posameznih delih. Slednje je uporabno, če na primer želite razdeliti ogled filma v dve učni uri ali ga vmes ustaviti za nekaj časa za pogovor v razredu.

Za vklop podnapisov uporabite gumb za podnapise (subtitle) na daljinskem upravljalcu DVD predvajalnika.

## Avtorske pravice

To delo je zaščiten po Creative Commons Attribution-Non-Commercial-No Derivative Works 3.0 Unported License. Za ogled te licence obiščite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/> ali pošljite dopis na Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

## To pomeni:

Dovoljeno (*ne, celo zaželeno*) je, da kopirate in distribuirate to knjižico in film.

## pod naslednjimi pogoji:

- Da je razvidno avtorstvo tega dela, kot so ga navedli avtorji (a da na noben način ne trdite, da avtorji sodelujejo z vami in vašo uporabo tega dela).
- Tega dela ne smete uporabljati v komercialne namene.
- Tega dela ne smete spreminjati, preoblikovati ali nadgrajevati.

## Kontaktne podatki:

Če sta vam bila film in knjižica *Zvezdni sel* všeč, nam kar sporočite. Cel projekt je bil izpeljan z majhnim proračunom. To junaško dejanje je bilo možno le zato, ker je bila večina sodelujočih pripravljena brezplačno prispevati svoj talent in čas. Vzpodbuden odziv bi veliko prispeval k uresničitvi bodočih podobnih projektov.

Če želite več izvodov DVD-ja in knjižice, nam pišite.

Pišete nam lahko na:

[thestarrymessenger@gmail.com](mailto:thestarrymessenger@gmail.com)

[info@portalvvesolje.si](mailto:info@portalvvesolje.si)

---

# Nastajanje ZVEZDNEGA SLA

---

## Teleskop

Repliko (*desno*) Galilejevega prvega teleskopa (iz zime 1609) je izdelala študentka umetnosti in oblikovanja na University of Hertfordshire Tina Moore kot del njenega projekta v zadnjem letniku. Tina je dobila slike in načrt originala iz Galilejevega muzeja v Firencah in je kolikor je bilo mogoče sledila konstrukciji originala. Pozlata na usnju je bila narejena s posebej izdelanim medeninastim orodjem in posnema vzorec na originalu.



## Velika knjiga

Veliko knjigo je izdelal Franck Genet, ilustracije na naslovni in hrbtni strani platnic ter reprodukcije Galilejevih rokopisov pa Alice Williamson (*levo*). Vsebina knjige pokriva vse mogoče stvari - saj knjiga vsebuje vesolje - besedila ali slike, resnične ali izmišljene! Listi so bili postarani s kavo in nepravilno vezani, da na koncu dajejo videz "stare knjige". Platnice so narejene iz usnja postaranega s smirkovim papirjem.

## "Zelo lepa obleka" & drugi kostumi

Celestino "zelo lepo" (in spremenljivo) obleko je naredila Gwen Goodger po zamisli (*desno*) Alice Williamson. Vsi Celestini kostumi so modro-kremaste barve, vsi Quicksilverjevi pa zeleno-belo-kremaste. Kot ustreza njeni vlogi (navidezne) Nemesis, imajo Palasini kostumi inverzno barvno shemo Celestinih in so večinoma rdeče-črni. Zgodovinski kostumi (Galileo, Newton, Eddington, Hubble, Humason) so bili izposojeni v National Theatre.



## Lokacije

- *University of Bayfordshire*: University of Hertfordshire, glavni kampus in Observatorij Bayfordbury (*levo*)
- *Jar, svet brez znanstvenikov*: SQ Environmental Water Hall Quarry, Hertford
- *"Center" mesta Žlobudračev*: Pinetum, University of Hertfordshire Bayfordbury
- *renesančna Padova*: privatna hiša, Baldock, Beds
- *Galilejev dom*: Mill Street, Houghton, Cambs
- *Newtonovo drevo*: Tewin Orchard, Herts
- *šola St Robert Bellarmine*: Samuel Whitbread Community College, Shefford, Beds





## ZVEZDNI SEL

NASLOV ORIGINALA: THE STARRY MESSENGER

KNJIŽICO NAPISAL: ROBERT PRIDDEY

SODELOVALA JE: JOANNA GOODGER

OBLIKOVANJE KNJIŽICE: GEMMA HALL

SLIKE NA PLATNICAH: ALICE WILLIAMSON

PREVOD: ANDREJA GOMBOC

IZDAJATELJ: DMFA SLOVENIJE OB PODPORI MVZT

PRVA IZDAJA

NAKLADA: 1000 IZVODOV

LJUBLJANA 2011

PUBLIKACIJA JE BREZPLAČNA