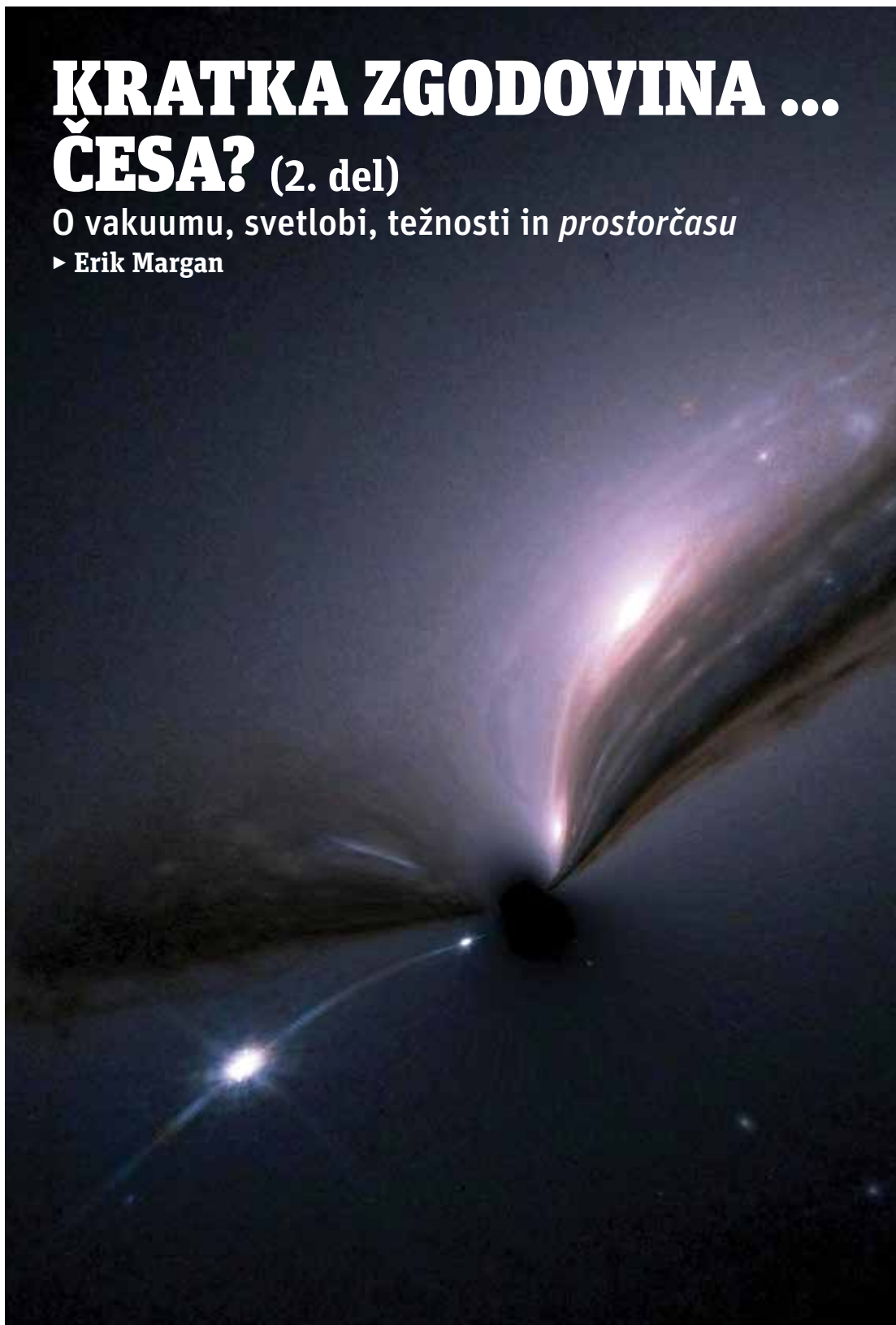


# KRATKA ZGODOVINA ... ČESA? (2. del)

O vakuumu, svetlobi, težnosti in *prostorčasu*

► Erik Margan



Prvi del prispevka smo zaključili z opazko o orjaškem in do danes še nerazrešenem nesoglasju med prostorsko gostoto temne energije ter prostorninsko gostoto energije vakuuma v Planckovi limiti. V drugem delu si bomo za začetek ogledali energijo vakuuma v povezavi s težnostjo ter zaključili z morebitnimi novimi načini pogona vesoljskih plovil.

**Z**ELO VISOKA VREDNOST ENERGIJE vakuuma že sama po sebi povzroča nekatere teoretične težave, za katere zaenkrat nimamo odgovora. Možno je sicer, da je gostota energije vakuuma precej nižja od Planckove teoretične limite, denimo, lahko bi bila nekje med volumsko gostoto energije protona, za katerega vemo, da je dolgoročno stabilen delec, ter gostoto energije vrhnjega (top) kvarka, žal pa zaenkrat še ne poznamo nobene možnosti, kako bi to gostoto energije lahko vsaj približno določili.

#### ► ENERGIJA VAKUUMA

Postavlja se vprašanje: zakaj te energije ne zaznavamo? In če že obstaja, ali jo je mogoče praktično izkoriščati?

Načeloma je tako, da eksperimentalno lahko zaznavamo le energijsko razliko med dvema območjema z različno gostoto, to nam potrjuje Ca-

simirov pojav, ki ga danes merimo že na 1 % natančno. Ne moremo pa zaznati absolutne vrednosti energijske gostote, kadar je ta enakomerno porazdeljena po vsem prostoru. To je zelo podobno zračnemu tlaku, ki znaša približno  $1 \text{ kg/cm}^2$ , toda enak tlak je tudi v našem telesu. Če pa se vzpenjamo s hitro žičnico na visoko goro, bomo zaradi padca zunanega tlaka začutili pritisk v ušesih, ker ta v notranjosti telesa pada počasneje. Če torej neko telo obliva enaka količina energije z vseh strani, morda le z malenkostnimi kvantnimi fluktuacijami oz. spremembami, se njeno delovanje medsebojno izniči in je praktično nezaznavna.

Na enako težavo naletimo, če želimo to energijo izkoriščati. Izkoriščamo lahko le spontano pretakanje energije iz območja z višjo gostoto v območje z nižjo gostoto. Vendar je energija vakuuma spodnja meja gostote energije v tem

vesolju, nižje gostote ni. Bolje povedano, lahko sicer ustvarimo lokalno nižjo gostoto energije, podobno kot v primeru Casimirovih plošč, toda tako ustvarjena energija je posledica razlike pri dolgih valovnih dolžinah, dolgi valovi pa nosijo zelo malo energije. Poleg tega se gostota energije pri Casimirovem učinku med dvema kovinskima ploščama spreminja obratno sorazmerno če-

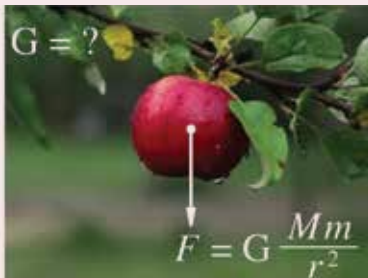
trti potenci razdalje med ploščami, zato z večanjem oddaljenosti zelo hitro pada. Za bolj učinkovito izražbo energije vakuuma bi potrebovali prostor, omejen z visoko gostoto snovi, denimo kot pri nevtronskih zvezdah, v katerih so nevtroni natičeni tesno skupaj. Seveda pa je to dokaj nepraktično, morebitno rešitev bo treba poiskati na kakšen drug način.

## Konstanta $G$ pri Newtonu in Einsteinu

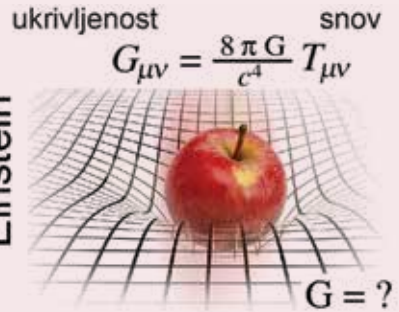
V Newtonovi teoriji gravitacije oz. težnosti je gibanje telesa določeno s silo  $F$ , ki je sorazmerna zmnožku mase telesa  $m$  z referenčno maso  $M$ , obratno sorazmerna kvadratu razdalje  $r$ , ter pomnožena s splošno gravitacijsko konstanto  $G$ . A slednje teorija ne določa, njeno vrednost pa dobimo iz meritev. V Einsteinovi splošni teoriji relativnosti je tenzor

ukrivljenosti *prostorčasa* določen z tenzorjem vseh nastopajočih mas in energij, ter prav tako s splošno težnostno konstanto  $G$ , privzeto iz Newtonove teorije. V stohastični (naključni) elektrodinamiki je težnost posledica energijske gostote vakuuma  $\rho_p$ , ta pa tudi določa velikost Newtonove splošne gravitacijske konstante.

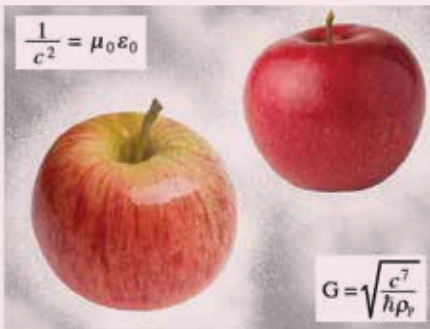
Newton



Einstein



stohastični  
(naključni) model



## ► DOLOČANJE TEŽNOSTNE KONSTANTE $G$

Nekaterim raziskovalcem, med prvimi Andreju Saharovu [7], se je že pred časom utrnila ideja, da bi lahko sprememba gostote energije vakuuma v bližini masivnih teles bila razlog za pojav težnosti in bi na tej osnovi lahko poenotili kvantno z relativnostnima teorijama. To si razlagamo tako, da masivna telesa predstavljajo oviro za nemoteno širjenje valov z dolžino, primerljivo z velikostjo masivnega telesa. Tako bi v okolici telesa bila energija vakuuma nekoliko manjša, gradient proti bolj oddaljenim območjem z višjo energijsko gostoto pa bi predstavljal težnostni potencial. To pa povsem ustreza ukrivljenosti prostora v splošni teoriji relativnosti.

V izrazih za ukrivljenost prostora v splošni teoriji relativnosti najdemo tudi Newtonovo splošno gravitacijsko (težnostno) konstanto  $G$ , ki pa je ne Newton ne Einstein nista pojasnila. Oba sta jo privzela kot naravno dano lastnost, katere velikost je določena s poskusi, ne pa na podlagi osnovnih teoretičnih načel. V znanosti si vedno prizadevamo zmanjšati število prostih parametrov, določenih le s poskusi, s tem teorija dobi večjo notranjo povezanost. Zato pogledjmo, ali lahko  $G$  določimo še na kakšen drug način.

Eden izmed možnih načinov je, če izhajamo iz Planckovih naravnih merilnih enot [8]. Planck je izpeljal razmerja za različne fizikalne količine zgolj z uporabo temeljnih naravnih konstant: svetlobne hitrosti  $c$ , Planckove konstante  $\hbar$ , Newtonove splošne gravitacijske konstante  $G$  ter Boltzmannove termodinamične konstante  $k_B$ . Tako je izpeljal izraze

naravnih enot za dolžino, čas, energijo, itd., pa tudi za gostoto energije vakuuma:  $\rho_0 = c^7 \hbar^{-1} G^{-2}$

Privzemimo, da – namesto Newtonovi konstanti  $G$  – lahko pripišemo primarni fizikalni pomen gostoti energije vakuuma  $\rho_0$ . Potem bi lahko enačbo preuredili in prikazali  $G$  kot funkcijo  $\rho_0$ , takole:  $G = (c^7 \hbar^{-1} \rho_0^{-1})^{1/2}$

Seveda bi to veljalo le, če gostota energije vakuuma res ustreza Planckovi limiti. Drugače bi morali odkriti kakšno drugo povezavo oz. vpeljati še kakšen člen v enačbo, da bi dobili pravilen številčni rezultat. Vendar imamo načeloma vsaj teoretično možnost prikazati težnost kot posledico lokalne gostote energije vakuuma.

Pozorni bralci boste najbrž takoj protestirali, saj smo prvotno napovedali, da se mora gostota energije vakuuma v bližini masivnih objektov spreminjati, to pa pomeni, da  $G$  ni konstanta. Toda spomnimo se izraza za  $c$  na začetku, ta je določena z magnetilno in dielektrično konstanto,  $\mu_0$  in  $\epsilon_0$ . In če se ti konstanti z gostoto energije vakuuma spreminjata tako, da ostane  $G$  nespremenjena? To sicer pomeni, da sedaj  $c$



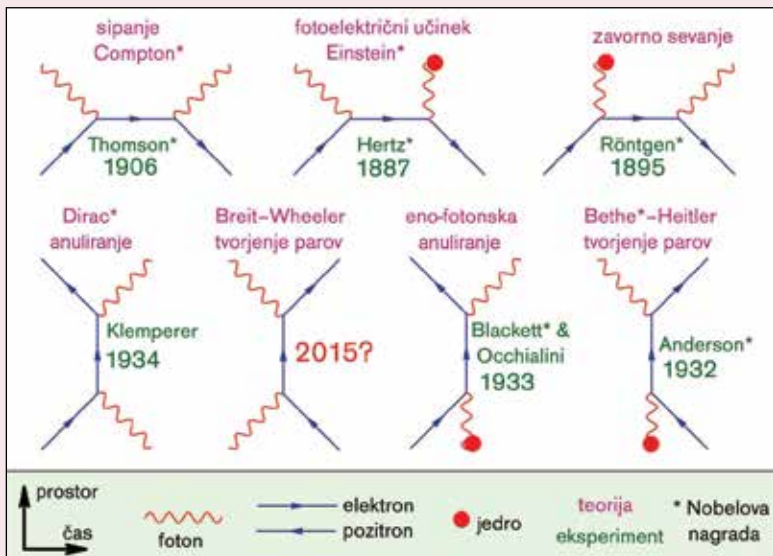
📍 John Archibald Wheeler in njegov izrek (prirejeno po spletni strani Univerze Princeton)

## Medsebojni vpliv svetlobe in snovi

Risba prikazuje vse do sedaj znane načine medsebojnega vpliva svetlobe in snovi, ponazorjene s Feynmanovimi diagrami. Z vijolično barvo so označena teoretična dognanja, z zeleno pa s poskusi potrjene teorije. Simboli pod sliko pojasnjujejo posamezne elemente, ki pri tem nastopajo, poleg tega pa so podana imena znanstvenikov, ki so prispe-

vali na poskusih temelječa opažanja, teoretične napovedi ali pojasnila. Prejemniki Nobelove nagrade so označeni z zvezdico. Breit-Wheelerjevo tvorbo parov elektron-pozitron iz para fotonov še ni bilo mogoče neposredno potrditi, čeprav so leta 2015 že izvedli dva različna poskusa, ki posredno nakazujeta na to možnost.

(ilustracija: Erik Margan)



ni konstanta! Vendar to ni posebno huda težava, saj sta tako dolžina kot čas v standardni teoriji in v merilni praksi določena s pomočjo svetlobne hitrosti. Povrh pa pri relativistični hitrosti, pa tudi v Schwarzschildovi gravitacijski metriki, vplivajo tako na dolžino  $x$  kot na čas  $t$  ustrežni relativistični popravki na enak način. Ker pa je  $c = x/t$ , sledi, da lokalno ne moremo določiti, ali se je  $c$  spremenila, za nas in naše merilne enote je ta še vedno konstanta. Kar pa lahko izmerimo, je sprememba zakasnitve in

ukrivljanje poti svetlobe, ko ta potuje mimo večje mase, kot je npr. Sonce. To je sicer skladno s teorijo relativnosti, saj meritve opravljamo iz svojega referenčnega okvirja s temu ustrezno prostorsko-časovno metriko.

Kako lahko energija vakuuma vpliva na  $\mu_0$  in  $\epsilon_0$ ? Spomnimo se še enkrat Heisenbergove nedoločenosti [5]. Če je prostor res poln energije, torej fotonov vseh možnih frekvenc, ki potujejo v vse možne smeri, potem se lahko občasno zgodi, da se v neki točki prostora večje število



fotonov fazno ujame in lokalna gostota energije postane dovolj velika, da iz vakuumu nastane par elektron-pozitron. Proces tvorbe parov iz fotonov je bil teoretično napovedan že dolgo tega (Breit-Wheelerjev proces), leta 2021 pa je bil tudi zaznan v poskusu, izvedenem v raziskovalnem centru Brookhaven national laboratory (*relativistic heavy ion collider – RHIC*) [9].

Že od prej pa vemo, da se par delcev lahko anulira (medsebojno izniči) in energija preide v par fotonov (Dirac). Življenjska doba tako ustvarjenega para delcev je razmeroma kratka, približno ustreza obratni vrednosti Comptonove frekvence,  $f = mc^2/h$ , za skupno maso elektrona in pozitrona pa je ta čas  $1/f = t = 1.6 \times 10^{-20}$  sekunde. V tem kratkem času se par nasprotno naelektrenih delcev obnaša kot par električnih polov z nasprotnima nabojema, svojo orientacijo pa spreminja glede na obstoječe okoliško polje. Ko se zasučje za majhen kot, pobere del energije okoliškemu polju. To je ob velikem številu takih dogodkov mogoče zaznati in tudi izmeriti kot vpliv na lokalno jakost električnega polja, ki je določena z lokalno dielektričnostjo. Podobno razmišljanje bi lahko uporabili tudi za magnetilnost vakuumu, saj magnetne lastnosti delcev izhajajo iz njihovega spinskega kvantnega momenta.

Oktober leta 2023 pa je bil objavljen še en opis poskusa ustvarjanja parov delcev s pomočjo laserske svetlobe, opravljene pri Helmholtzovem centru v Dresdenu (D) [10]. Vpričo vedno večjega zanimanja za tovrstno problematiko je napovedanih še več podobnih poskusov, zato lahko z nestrpnostjo pričakujemo nove potrditve, morda pa tudi ka-

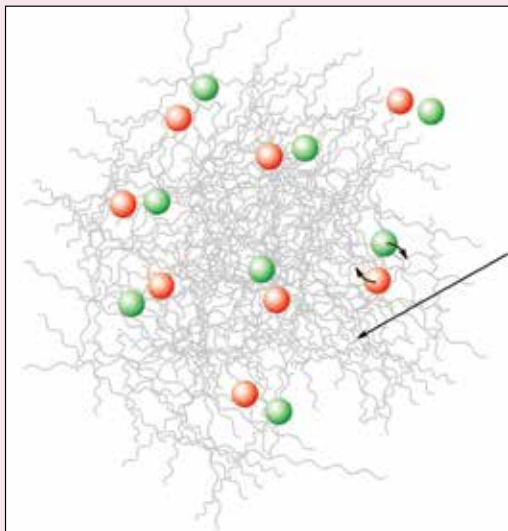


kšna nova odkritja že v letošnjem letu.

Ali na povezavo med energijo vakuumu in težnostjo kaže še kaj? Pred časom so pri poskusu LIGO (Vzpon in zaton planeta Zemlja, tematska priloga 2023, str. 34) zaznali težnostne valove, ki so nastali ob združitvi oz. zlitju dveh črnih lukenj. Dodatna astronomska opazovanja so pokazala, da so nas težnostni valovi dosegli s hitrostjo, enako svetlobni. To dokaj dobro nakazuje, da bi težnost lahko bila posledica elektromagnetnega medsebojnega vpliva. Na to kaže tudi ukrivljanje svetlobe okoli masivnih objektov, npr. zvezd. Fotoni namreč nimajo mase, torej nanje težnost po Newtonovi razlagi ne more imeti vpliva. Einsteinova razlaga ukrivljanja prostora sicer daje pravilne napovedi kota ukrivljanja, ne pove pa, zakaj je prostor v bližini mase ukrivljen in se konča pri razlagi, da je temu pač tako. Če pa privzamemo, da je ukrivljenost prostora posledica obstoja gradienta v gostoti energije vakuumu, to omogoči podporo osnovnih fizikalnih načel. Seveda pa tovrstni poskusi potrjujejo le, da obe razlagi o ukrivljenosti prostora ustrezata

🔗 Gravitacijska leča: na posnetku vesoljskega teleskopa Hubble vidimo masivno jato galaksij, ki povzročajo krivljenje svetlobe drugih galaksij v ozadju. (vir: NASA)

## Kvantna vakuumska nihanja



Preprosta predstavitev kvantnih vakuumskih fluktuacij (nihanj) zaradi visoke gostote energije vakuuma: iz naključne fазne koherence večjega števila fotonov se lahko rodi par elektron-pozitron, ki pa se pod vplivom zunanjega polja v svojem kratkem življenjskem času obnaša kot par nasprotno nabitih električnih polov. Dokajšnja pogostost takih dogodkov vpliva na makroskopsko zaznavanje elektromagnetnih lastnosti vakuuma. Ta proces je tudi osnova Hawkingovega sevanja črnih lukenj.

(ilustracija: Erik Margan)

dobljenim rezultatom, ne nudijo pa razsodbe, katera je dejansko fizikalno utemeljena, katera pa zgolj dober matematični model.

Opisano je bolj podrobno obdelano v članku, ki sem ga napisal že leta 2002, potem pa s popravki in dopolnitvami končno dal na splet [11]. Nato je sledil še pregled nekaterih možnih scenarijev različnih vrednosti gostote energije vakuuma [12]. Objave tega v tiskani obliki se nisem lotil, ker se mi ni zdelo smiselno plačevati kakšni ugledni reviji za objavo. Danes pa mislim, da sem bil v sklepkih prvega članka [11] preveč zadržan.

Na tej točki nam resnično preveč primanjkuje s poskusi pridobljenih podatkov, da bi o vsem tem lahko rekli kaj bolj določenega. Vendar nas to ne sme ustaviti. Znanost napreduje tako, da se znanstvenik, inženir, tehnik, v nekem trenutku vpraša: kaj, če ...? Kaj se zgodi, če

kje kaj spremenim? Kakšni bi bili odzivi, kakšne spremembe? Lahko to na kakšen način preskusim? Iz takih razmišljanj večinoma ne nastane nič uporabnega, občasno pa le imamo srečo in poskus pripelje do zanimivega odkritja. Zato se bomo tudi mi tu vprašali: kaj, če ...?, ter nato z logičnim premislekom na osnovi obstoječega znanja skušali ugotoviti, kam nas to lahko pripelje.

### ▶ ANTIGRAVITACIJA

Vprašajmo se torej: kaj, če bi znali na nek način kontrolirati gostoto energije vakuuma? Denimo, da bi na eni strani ustvarili večjo gostoto od okolice, na drugi strani pa manjšo. Bi s tem lahko ustvarili težnosti nasprotno silo, torej antigravitacijo? Že pred leti se je to vprašanje porodilo mehiškemu znanstveniku Miguelu Alcubierru, kar je opisal v danes že znamenitem članku [13],



📍 Zaslihanje o domnevnih NLP-jih v ameriškem Kongresu (vir: [15])

kjer je predstavil način za ustvarjanje medzvezdnega pogona po vzoru znamenitega *warp drive* iz nekoč kulturne znanstveno-fantastične TV nanizanke Zvezdne steze. Alcubierreva rešitev je bila dokaj neučinkovita, saj bi bila energija potrebna za ustvarjanje *warp*-mehurčka, primerljiva z energijo Sonca, ki jo to odda v enem letu. Kasneje so objavili tudi drugačne različice pogona s precej nižjo vrednostjo energije, a še vedno daleč od česa obvladljivega za praktično rabo.

Ampak ... Kaj pa, če se je kaj podobnega že zgodilo? Kaj, če je neka druga veliko starejša civilizacija neke v vesolju že uspešno rešila ta problem, zgradila vesoljska plovila s takim pogonom? In če se je to zgodilo že daleč nazaj, kaj, če so nas že obiskali? Kaj, če se je kakšno njihovo plovilo pokvarilo, ker je npr. vanj treščila strela, in je strmoglavilo? Kaj, če je kdo te ostanke pobral, jih proučil in posnel ter iz njih uspel razviti podobno plovilo? Kaj, če se kdo od nas s takim plovilom že podi naokoli po Zemlji, morda pa tudi po vesolju?

Smo šli že predaleč? Presodite sami.

Najprej naj oznamim, da tudi sami najbrž nismo več tako daleč od iznajdbe vesoljskega pogona, ki bi bil

veliko učinkovitejši od obstoječih na kemijskih reakcijah temelječih raket, pa s tem ne mislim na že znane različice ionskega pogona. Številni raziskovalci so se v preteklosti že ukvarjali s podobnimi idejami in so poročali o elektromagnetnem pogonu, ki bi lahko dosegel potisk reda velikosti milijoninke ali tisočinke  $N$ , vendar ne na osnovah Newtonovega zakona o vzajemnem učinku. Pred kratkim pa sta dva znanstvenika ameriške agencije NASA prijavila patent pogona z možnostjo pospeška, večjega od tistega na površju Zemlje (torej en  $g$ ) [14]. Po njihovih izjavah naj bi bolj izpopolnjene različice tega pogona zmogle še mnogo večje pospeške.

Junija 2023 smo lahko spremljali dvourno zaslihanje [15] nekdanjih vojaških letalskih častnikov v ameriškem Kongresu. Ti so sami doživeli nenavadna srečanja z napravami, ki jih očitno poganja neka zelo napredna tehnologija oz. so imeli dostop do dokumentov in prič s podobnimi izkušnjami, ali pa so sodelovali pri proučevanju teh pojavov na tak ali drugačen način. Nedolgo tega je v ZDA potekala prava medijska tekma, kdo bi prej izbrskal kakšno novo informacijo in povedal kaj več, kot je bil v svojem intervjuju pripravljen razkriti žvižgáč David





🔍 Posnetek zaslona letalske termokamere iz leta 2015. Na neznanem predmetu ne zasledimo vročih izpušnih plinov, niti aerodinamičnih površin. Prikaz je negativ in temne površine so tople, svetle pa hladne. Precej hladnejša okolica bi lahko kazala na zmanjšanje gostote energije prostora kot posledici delovanja antigravitacijskega pogona. (vir: [24], [25])

Grusch [16], vojaški obveščevalec z visokimi pooblastili za dostop do tajnih in obveščevalnih podatkov. Povedal je, da so v kopenski vojski ZDA tajne enote, povezane z zasebnimi raziskovalnimi organizacijami, ki se napajajo iz črnih fondov brez vednosti in nadzora Kongresnih odborov, vlade ali samega predsednika. Proučevale naj bi več plovil nezemeljskega porekla, zelo verjetno pa tudi podobna plovila, izdelana na našem planetu. Po drugi strani pa se marsikdo trudi izbrskati kakšno nečednost iz Gruschovega življenja in tako razvrednotiti njegove besede. Že leta 2013 so potekala kongresna zaslivanja prič o že davno minulih nenavadnih dogodkih, zlasti zanimive so bile izjave prič o onemogočanju delovanja sistemov jedrskih raket, kar naj bi povzročili nenavadni predmeti nad vojaškimi bazami [17]. V javnost so že leta 2017 pricurjali video posnetki letalskih toplotnih kamer, na katerih nenavadni pred-

meti brez vidnega pogona ali aerodinamičnih nosilnih ali krmilnih površin izvajajo nenavadne manevre in navidez kršijo vse nam znane zakone fizike [18]. Posnetki so nastali med vojaškimi vajami pomorskih enot in sicer leta 2004 ob tihomorski obali ZDA, leta 2015 pa še ob atlantski. Oglasili so se tudi nekateri piloti in radarski operaterji [19, 20], ki so pričali o skoraj vsakodnevnih nenavadnih srečanjih z neznanimi plovili, po njihovih trditvah pa zagotovo niso bila domače izdelave. Tudi med znanstveniki prihaja do spreminjanja stališč ob teh pojavih [21]. Politiki so v hudi zadregi [22, 23], na dan pa prihajajo tudi dokazila o pristnosti posnetkov [24, 25].

Medtem ko se zaskrbljena javnost sprašuje o obstoju in namerah zunaj-zemljanov, pa tako vojaški kot civilni piloti izražajo skrb za varnost letalskega prometa. Vojaško vodstvo ne ve, kako bi javnosti pokazalo, da opaženi pojavi ne ogrožajo nacionalne varnosti. Številni člani Kongresa skušajo ugotoviti, koliko denarja se pretaka v črnih fondih in tajnih programih in kako bi bilo mogoče ta denar zajeziti in tajnim enotam pristrichi peruti. Mene osebno, najbrž pa tudi mnoge druge znanstvenike in inženirje, bolj zanima, kako ta plovila delujejo in na kakšnih znanstvenih načelih temeljijo. Bi lahko že z danes obstoječo tehnologijo izdelali kaj podobnega, in, ali bi jih bilo mogoče še kako drugače uporabiti? Smo v nevarnosti, da se tehnologije polasti vojska in jo uporabi kot orožje za množično uničevanje?

Seveda je vse naštetno odvisno od bistvenega pogoja: da so poročila pristna in ne gre za še eno odvra-

čanje pozornosti javnosti od nečednosti v visoki politiki ZDA, pa od galopirajoče domače in svetovne inflacije, krize gospodarstva in denarnišтва, trgovinske vojne s Kitajsko, nenadzorovane trgovine s orožjem in vse hujšega tveganja jedrskega spopada z Rusijo ter številnih drugih težav, ki pestijo svet.

## ► ZAKLJUČEK

O nekaterih pojavih NLP, omenjenih v javnih zaslišanjih [17], sem bral že pred štirimi ali petimi desetletji. Moj glavni vir informacij je takrat bil Miloš Krmelj, kasneje novinar Dela za vesoljske zadeve, takrat pa vodja Društva NLP pri zvezi ŠOLT, ki je delovalo v kleti 7. bloka ljubljanskega Študentskega naselja. Tam je bil tudi klub radio-amaterjev YU3CNO, preko katerega sva prišla v stik. Bil sem precej nejeveren, saj sem takrat o osnovah kvantne težnosti vedel zelo malo oz. je bilo tedaj vse skupaj

še bolj na ravni teoretičnih ugibanj. Hawking je tedaj že zaslovel z objavo članka o sevanju črnih lukenj, ki so jih kasneje poimenovali po njemu. Tudi Arthur C. Clarke, slavni znanstveno fantastični pisec, ki je svoje zgodbe gradil na najnovejših znanstvenih dosežkih, je leta 1982 v drugem delu serije Odiseja v vesolju 2010 (verjetno na osnovi članka [7]) že omenjal 'pogon Saharova'. Kljub temu sem bil sam še vedno v dvomih.

Sedaj pa si prav lahko predstavljam Miloša, kako sedi v kakšnem udobnem fotelju, si ogleduje tista kongresna zaslišanja, srka pivo in se veselo muza.

## ► VIRI, LITERATURA IN SPLETNI NASLOVI ...

... so zaradi pomanjkanja prostora na voljo na naši spletni strani na povezavi  
<http://tinyurl.com/5buaenv8>



## NAROČITE SE NA REVILJO TIM!

TIM je revija za tehniško ustvarjalnost in je edina tovrstna publikacija v Sloveniji. Namenjena je predvsem mladim, pa tudi vsem tistim, ki jih zanimajo naravoslovno-tehnične in tehnično-športne teme, letalsko, ladijsko, avtomobilsko ali raketno modelarstvo, male železnice, plastično maketarstvo, konstruktorstvo, fotografija, elektronika, robotika ipd. Zanimive prispevke z naštetih področij dopolnjujejo različno zahtevni načrti ter napotki za izdelavo najrazličnejših uporabnih izdelkov iz lesa, papirja, plute, kovine, akrilnega stekla, naravnih gradiv itn., velik pomen pa revija namenja tudi koristni izbiri odpadnih gradiv.

**Iz vsebine februarске številke:** Maketa hišice na drevesu, Tobogan iz papirja, Trik z balonom v plastenki, Model kmečkega poslopja, Robotsko vozilo, Stara številčnica, nov vmesnik, Obesek v tehniki makrame, Pustni kostum Rdeča kapica, Valentin iz steklenega kozarca, Tekstilije iz papirja – Košarica, Morsejeva abeceda

TIM izhaja med šolskim letom, tj. od septembra do junija, in sicer 5. v mesecu. Cena posameznega izvoda v redni prodaji je 4,75 EUR (z vključenim DDV), naročniki pa imate 10 % popusta, tako da celoletna naročnina za 10 številok znaša samo 42,75 EUR oz. za tujino 60 EUR (z vključenim DDV). Revijo prejmete po pošti na svoj naslov, deležni pa ste še nekaterih drugih ugodnosti. Več podatkov najdete na spletni strani [zotks.si/zalozba/](http://zotks.si/zalozba/).

Naročilo lahko opravite po telefonu **01/25-13-743** ali e-pošti ([revija.tim@zotks.si](mailto:revija.tim@zotks.si)).

Za morebitne dodatne informacije pokličite na telefonsko številko **01/4790-220**.



ZVEZA ZA TEHNIČNO KULTURO SLOVENIJE

Zveza za tehnično kulturo Slovenije  
Zaloška 65, 1000 Ljubljana

