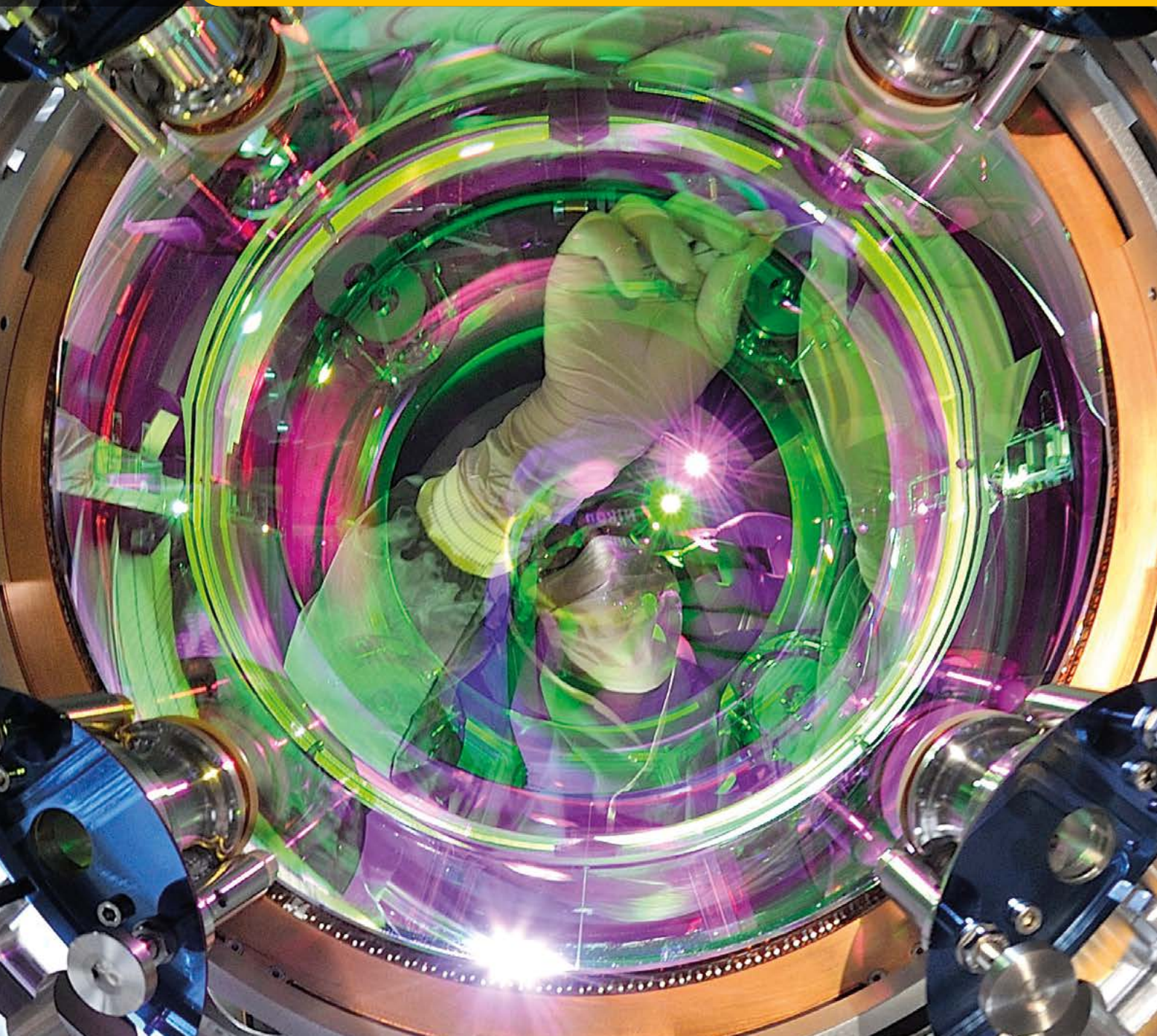


2/2019
SVAZEK 69

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS **PRO FYZIKU**



- FYZIKÁLNÍ ZAJÍMAVOSTI ROKU 2018 • KOSMOLOGICKÁ KONSTANTA •
- LIGO A OBJEV GRAVITAČNÍCH VLN – NOBELOVSKÉ PŘEDNÁŠKY 2017 •
- FYZIKÁLNÍ OLYMPIÁDA V SR • DIDYMOS „NA ODSTŘEL“ •

Čs. čas. fyz.
ccf.fzu.cz

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS PRO FYZIKU 2/2019

Založen roku 1872 jako
„Časopis pro pěstování matematiky a fyziky“
Vydává Fyzikální ústav Akademie věd
České republiky, v. v. i.
Vychází 6 čísel ročně,
uzávěrka tohoto čísla: duben 2019

Founded in 1872 as „Časopis pro pěstování
matematiky a fyziky“ „The Journal for
Cultivation of Mathematics and Physics“
Published bimonthly in Czech and Slovak by
Institute of Physics, v. v. i.
Academy of Sciences of the Czech Republic

Vedoucí redaktor – Editor-in-Chief:
Jan Valenta

Výkonná redaktorka:
Jana Žďárská

Oboroví redaktori – Associate Editors:
Jaroslav Bielčík, Pavel Cejnar, Juraj Fedor,
Petr Káckovský, Jiří Limpouch, Jan Mlynář,
Karel Rohlena, Štěpán Stehlík, Alena Šolcová,
Patrik Španěl, Ivan Zahradník

Redakční rada – Editorial Board:
Ivo Čáp, Stanislav Daniš, Pavel Demo,
Ivan Gregora, Libor Juha, Jan Kříž, Štefan Lányi,
Jana Musilová, Tomáš Polívka, Aleš Trojčák,
Eva Klimešová, Martin Ledinský

Sekretariát redakce:
Ondra M. Šípek
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8
tel.: +420 266 052 152, fax: 286 890 527
e-mail: cscsfyz@fzu.cz

Propagace, inzertní oddělení:
Jana Tahalová, Jana Žďárská
tel.: +420 775 690 324, e-mail: tahalova@fzu.cz

Jazyková úprava:
Stanislava Burešová, Lýdia Martinová

Vedoucí výroby a grafik:
© Jiří Kolář

Tisk: Grafotechna plus, s. r. o.

Cena jednoho výtisku je 85 Kč.
Objednávky a prodej jednotlivých čísel
v ČR vyřizuje redakce.
Na Slovensku časopis rozšiřuje
Jednota slovenských matematikov a fyzikov,
pobočka v Žiline, Ul. 1. mája 32, 010 01 Žilina,
e-mail: ivo.cap@fel.uniza.sk
Distribution rights in foreign countries:
Kubon & Sagner, PO Box 240108,
D-8000 München 34

Časopis je zařazen na Seznam recenzovaných
neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.
Registrace: MK ČR E 3103, ISSN 0009-0700
(Print), ISSN 1804-8536 (Online).
Copyright © 2019 Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.



Úvodník



Presumpce chyby

Gravitační vlny byly poprvé detekovány právě před půlstoletím... Jakže?! Vždyť máme ještě v čerstvé paměti, že první detekce gravitačních vln ze srážky dvou masivních černých děr se podařila teprve před několika málo lety (2015). Ano, paměť vás neklame, nicméně první „úspěšná“ detekce gravitačních vln byla oznámena již o 46 let dříve – roku 1969 Joe Weberem v časopise *Physical Review Letters*.

Joseph Weber (1919–2000) byl velmi nadaný americký fyzik, který (mimo jiné) přišel s myšlenkou zkoušet detekovat gravitační vlny. A nezůstalo jen u návrhu, který přednesl spolu se slavným Johnem Wheelerem na konferenci roku 1957. Weber se pustil do stavby detektorů v podobě velkých hliníkových válců (viz obr.), které měly „zarezonovat“ při průchodu gravitační vlny jisté frekvence (sám autor je nazýval „antény“). Detektorů bylo postaveno několik a byly rozmístěny ve větší vzdálenosti od sebe (~1 000 km). Když v roce 1969 Weber oznámil opakovanou úspěšnou detekci gravitačních vln, vzbudil tím velkou pozornost nejen ve fyzikálních kruzích. Přes mnohé pochybnosti (udáváná data ukázala, že by zdroj gravitačních vln musel být nereálně silný) se pustil asi tucet dalších týmů do stavby Weberových „antén“. Během mnoha let však nikdo nedokázal Weberovo pozorování potvrdit, až nakonec všichni tento směr opustili s výjimkou samotného Webera, který jako soukromý badatel v tomto směru pokračoval až do smrti.

K úspěšné detekci gravitačních vln nakonec vedla mnohem delší, čtyři desetiletí trvající cesta a úsilí více než tisíce vědců, kteří se podíleli na návrhu, vývoji, stavbě a zdokonalování obřích laserových interferometrů LIGO. Za všechny byly oceněny Nobelovou cenou za rok 2017 tři hlavní postavy: Weiss, Barish a Thorne, kteří podrobně popsali celou historii a fyziku kolem gravitačních vln ve svých nobelovských přednáškách (jejich překlady publikujeme v tomto čísle žlutého časopisu). Nechci zde nyní rozebírat podivuhodný příběh vzniku těchto nákladných a neuvěřitelně přesných přístrojů, ani obrovskou odvahu americké Národní vědecké nadace (NSF) věnovat tolik peněz do tak dlouhodobého projektu s nejistým výsledkem. Chci jen poukázat na velký rozdíl ve stylu práce Webera ve srovnání s týmem projektu LIGO.

Do oznámení objevu roku 1969 pracoval Weber na svých anténách usilovně asi deset let, přičemž většinu článků publikoval jako jediný autor (s poděkováním řadě technických pomocníků a několika „diskutérů“). Pod tlakem stále nepřícházejícího úspěchu a při absenci rovnocenných spolupracovníků zřejmě polevila jeho kritická pozornost a přesvědčil sám sebe o tom, že vidí v datech důkazy o detekci gravitačních vln. S tím kontrastuje postup projektu LIGO, kde se od počátku kladl důraz na rozbor zdrojů šumu, falešných signálů a na širokou otevřenou diskusi. Po první úspěšné detekci v září 2015 pak trvalo několik měsíců, než byl objev oznámen. Během té doby se prováděly nejrůznější simulace pro naprosté vyloučení chyby a k odborné veřejnosti se dostaly jen nepotvrzené náznaky, že se něco děje (při počtu mnoha stovek zainteresovaných lidí je to obdivuhodné utajení).

U Webera zřejmě selhal „autocenzurní“ přístup, který jsem si pojmenoval jako *presumpce chyby*. Tento kontrolní mechanismus si musí osvojit každý skutečný vědec. Musí neustále pochybovat o svých výsledcích, hledat experimentální chyby a možná alternativní vysvětlení – nejen to vysvětlení, které by si autor přál a které by umožnilo publikaci v časopisech s „nebytyčným“ impakt faktorem. V poslední době mám stále silící pocit, když tak čtu mnohé vědecké články a nalézám zjevné metodické chyby a pochybné argumentace, zda tlak na publikační výkony (publikovat hodně, rychle a v nejlepších žurnálech) nevede k nebezpečnému potlačení právě *presumpce chyby*. Bohužel není vždy snadné poznat „předčasně narozené“ nebo „falešné“ objevy, které potom svedou na falešnou cestu řadu badatelů, čímž se ztratí mnoho času i prostředků. Jistou útěchou nám může být, že takové falešné objevy nejsou otázkou poslední doby (připomeňme si třeba třicáté výročí „studené fúze“ Fleischmanna a Ponse) a že věda vždy eliminuje falešné objevy poté, co se je nepodaří potvrdit nezávislými laboratořemi. Koneckonců, badatelské úsilí vyvolané falešným objevem může někdy přinést i skutečné objevy (často s velkým zpožděním, jako v případě gravitačních vln).

Závěrem chci vyslovit přání, aby badatelé více dbali na *presumpci chyby*. Je to sice mechanismus, který nám zdánlivě „brání v rozletu“, ale zároveň je to „záchranná brzda“, která nás chrání před ztrátou kredibility následkem publikování falešných objevů a redukuje zbytečně vynaložené úsilí mnoha kolegů svedených na scestí. Mysleme tedy neustále na *presumpci (své) chyby* a zároveň na *presumpci nevinu* autorů nereprodukovatelných objevů a předpokládáme, že se v jejich případě nejednalo o podvod, ale o náhlý nedostatek *presumpce chyby* – stejně jako u Webera.

Jan Valenta

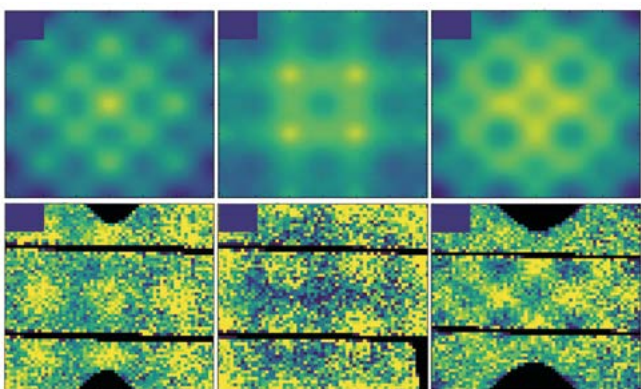
* J. Weber: Evidence for discovery of gravitational radiation, *Phys. Rev. Lett.* **22**, 1320 (1969), došlo do redakce 29. 4. 1969.

Obsah

AKTUALITY

Fyzikální ohlédnutí za rokem 2018 80

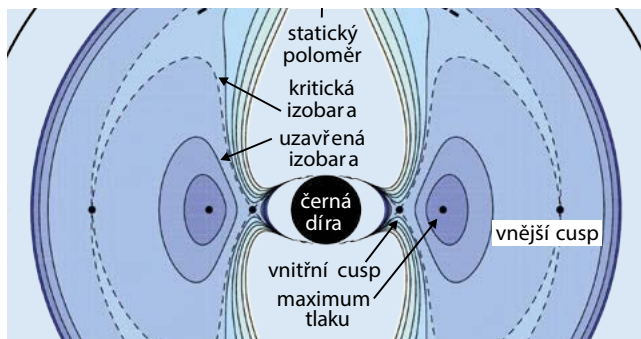
Stanislav Daniš



VE ZKRATCE

Projevy kosmologické konstanty v astrofyzice 99

Zdeněk Stuchlík, Petr Slaný a Jiří Kovář

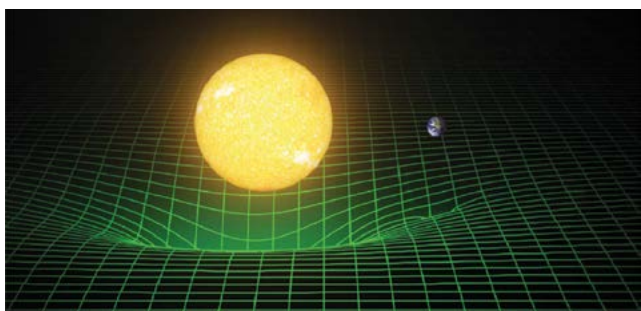


REFERÁTY

LIGO a objev gravitačních vln I. 103

Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2017

Rainer Weiss

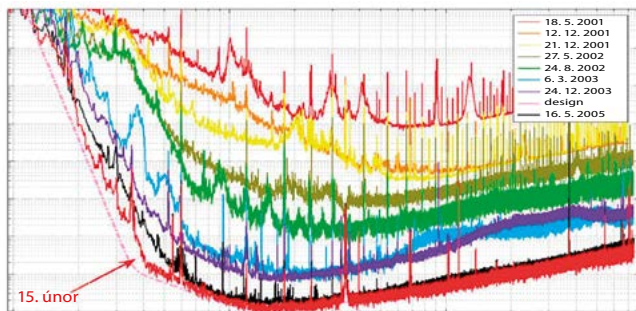


REFERÁTY

LIGO a objev gravitačních vln II. 114

Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2017

Barry C. Barish



REFERÁTY

LIGO a objev gravitačních vln III. 128

Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2017

Kip S. Thorne



NOBELOVA CENA ZA FYZIKU 2017

Proslov Rainera Weisse na banketu u příležitosti udělení Nobelovy ceny 144

Rainer Weiss

Slavnostní proslov prof. Botnerové před předáním Nobelových cen 145

Olga Botner



NOBELOVA CENA ZA FYZIKU 2017

Životopisy laureátů Nobelovy ceny za fyziku pro rok 2017

146

Rainer Weiss, Barry C. Barish, Kip S. Thorne



NOBELOVA CENA ZA FYZIKU 2017

Telefonická interview

148

Adam Smith, Rainer Weiss, Barry C. Barish, Kip S. Thorne



MLÁDEŽ A FYZIKA

Fyzikálna olympiáda v Slovenskej republike

151

Ivo Čáp



ZPRÁVY

Temná hmota, nebo milgromovská dynamika?

155

Jana Žďárská

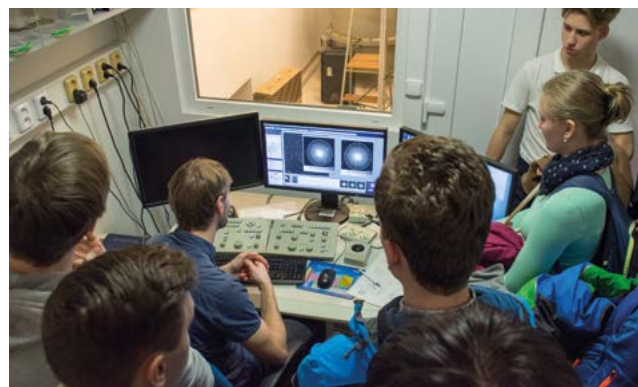


ZPRÁVY

Příležitosti dnešní fyziky

156

Luboš Veverka



ROZHOVOR

Didymos „na odstřel“

157

Jana Žďárská, Petr Pravec



Obrázek na obálce: Zadní pohled na 42 kg těžké zrcadlo interferometru, které je zavěšené na čtyřech křemenných vlákních přilepených na boky zrcadla a jeho povlak odráží infračervený laser, ale je propustný ve viditelné oblasti. Pracovník laboratoře právě odstraňuje bezpečnostní zárazky používané během instalace zrcadla. EGO/Virgo Collaboration/Perciballi. Více na str. 103–143.

2018

Fyzikální ohlédnutí za rokem 2018

Stanislav Daniš

Katedra fyziky kondenzovaných látek, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, Ke Karlovu 5, 121 16 Praha 2; danis@mag.mff.cuni.cz

Nedávno uplynulý rok 2018 byl bohatý na celou řadu objevů a zajímavých poznatků nejen v oblasti fyzikálního výzkumu. Přinášíme krátký přehled novinek z časopisů Nature a Science.

Sezonní výkyvy obsahu metanu v atmosféře Marsu

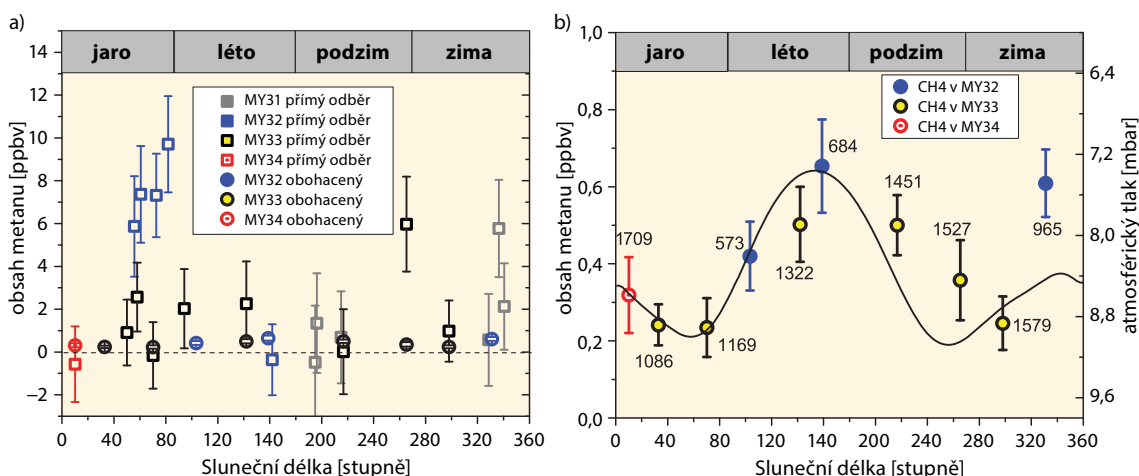
Začneme na rudé planetě. Na jejím povrchu provádí od roku 2012 výzkumy vozítko Curiosity, které je jakousi pojezdovou fyzikálně-chemickou laboratoří. Během šesti let zjistila sonda v atmosféře Marsu také přítomnost metanu CH_4 [1]. Odkud však metan pochází? Na Zemi převážná část tohoto plynu pochází z metabolismu živých organismů. Ještě překvapivější bylo to, že koncentrace metanu není konstantní, ale že se mění v průběhu marsovského roku, viz obr. 1.

Střední hodnota objemové koncentrace metanu je podle měření sondy $0,41 \pm 0,16$ ppb (části na miliardu, v zemské atmosféře je koncentrace CH_4 1 800 ppb), vykazuje rozptýl s rozpětím od 0,24 do 0,65 ppb během roku. Navíc byla pozorována opakovaná zvýšení přítomnosti metanu na konci marsovského jara na severní polokouli s amplitudou až 7 ppb (obr. 1a).

Biogenním zdrojem metanu mohou být (žijící) mikroorganismy, jimiž vytvořený metan se zachytil v půdě, ze které se uvolňuje. Pravděpodobnější je, že metan pochází z hydrotermální reakce minerálů bohatých na olivín nebo reakce uhlíku v meteoroidech

v atmosféře Marsu za účasti UV záření. Christopher R. Webster a kol. ve svém článku v časopise Science [1] dochází k závěru, že roční periodickou změnu obsahu metanu v atmosféře lze vysvětlit uvolňováním metanu vázaného v minerálech na povrchu Marsu. Při uvážení energetické bariéry $\sim 25\text{--}30$ kJ/mol adsorpce metanu z marsovských hornin lze podle autorů [1] pozorované sezonní proměny objasnit.

Tímto způsobem však nelze vysvětlit náhlá zvýšení koncentrace metanu. V roce 2014 proletěla v těsné blízkosti Marsu kometa s označením C/2013 A1 Siding Spring. Družice MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution Mission) americké NASA sledovala výskyt hořčíku v atmosféře jako nepřímého důkazu přítomnosti kometárního prachu (s možným obsahem metanu). Z naměřených hodnot vyplynulo, že do atmosféry Marsu se dostalo asi 16 tun prachu ze zmíněné komety. To nepředstavuje nijak zvýšený přísun materiálu, neboť na Mars dopadají denně odhadem asi 3 tuny meziplanetárního prachu. Na vysvětlení náhlých vzrůstů obsahu metanu bychom potřebovali, aby v krátkém čase dopadly do atmosféry desítky tisíc tun prachu... Na počátku loňského roku proletěla v blízkosti



Obr. 1 Obsah metanu v objemových ppb. Na obrázku a) jsou zakresleny úrovně metanu během tří marsovských roků (MY – Mars Year) pro vzorky odebrané do 27. 5. 2017. Ty byly odebírány dvěma způsoby – přímým odběrem z atmosféry a odběrem s obohacením, kdy odběr vzorku na tlak 7 mbar probíhal přes filtr, který odstraní CO_2 a H_2O , avšak nikoliv metan. Na obrázku b) je zakreslena sezonní závislost koncentrace metanu měřená mimo body s velkými výkyvy a). Převzato a upraveno z [1]

Projevy kosmologické konstanty v astrofyzice

Zdeněk Stuchlík, Petr Slaný a Jiří Kovář

Ústav fyziky, Filozoficko-přírodovědecká fakulta v Opavě, Slezská univerzita v Opavě, Bezručovo nám. 13, 746 01 Opava

Pestrá škála kosmologických testů ukazuje, že různé vlastnosti našeho vesmíru lze přesvědčivě vysvětlit, pokud je dominantní složkou jeho současného energetického obsahu rovnoměrně rozptýlená substance, jež dostala název *temná energie*. Jejím základním rysem je kosmická repulze způsobující zrychlené rozpínání prostoru, přičemž hustota temné energie zůstává neměnná; v Einsteinových rovnicích pole ji velmi dobře reprezentuje *kosmologická konstanta* Λ . Přirozeně, kosmologická konstanta se musí projevovat nejen v evoluci vesmíru, ale též v astrofyzikálních procesech. Představíme některé její astrofyzikální projevy studované opavskou relativistickou skupinou – vliv na pohyb hvězd v gravitačním poli supermasivních černých děr, na pohyb trpasličích galaxií na periferii obřích galaxií, na tvar a vlastnosti toroidálních konfigurací hmoty obíhajících supermasivní černé díry nebo sférických polytropických konfigurací modelujících hala temné hmoty.

Kosmologická konstanta

Rostoucí přesnost astronomických pozorování velkoškálové struktury vesmíru a vlastností mikrovlnného záření kosmického pozadí společně s proměřováním historie kosmické expanze pomocí supernov s velkým rudým posuvem silně podporují pravost modelu vesmíru označovaného jako Λ CDM vesmír. Použitá zkratka odkazuje na dvě dominantní složky současného energetického obsahu vesmíru. Těmi jsou chladná temná hmota (*Cold Dark Matter*) nebaryonické povahy, jež tvoří něco přes 26 % pomyslného energetického koláče, a temná energie reprezentovaná kosmologickou konstantou Λ , tvořící zhruba 69 %; zbývajících necelých 5 % připadá na běžnou baryonickou hmotu, z níž ovšem pouhé 1 % je v podobě svítivé látky obsažené ve hvězdách a v mezihvězdném (a mezigalaktickém) plynu.

Temná energie má tu základní vlastnost, že se oproti ostatní hmotě, která se gravitačně shlukuje, chová repulzivně. To znamená, že má tendenci se gravitačně rozpínat. Tato vlastnost úzce souvisí s její stavovou rovnicí – vztahem mezi jejím tlakem a hustotou energie ve tvaru $p = -\epsilon$. V případě, že se její hustota v průběhu expanze vesmíru nemění, o čemž existují velmi přesvědčivé experimentální důkazy, chová se temná energie jako látka ve stálém stavu extrémního napětí s hustotou energie $\epsilon_\Lambda = \Lambda c^4 / 8\pi G \cong 3 \text{ GeV/m}^3$. Je zajímavé, že právě tyto vlastnosti vykazuje fyzikální vakuum. Je tak možné, že se jedná prostě o energii vakua. Tato interpretace však naráží na naši neúplnou znalost fyziky mikrosvěta. Nevíme totiž, která fyzikální pole prostřednictvím svých vakuových stavů přispívají k celkové hustotě energie vakua a jak. Nesoulad mezi teoreticky předpovězenou a z kosmologických pozorování určenou hodnotou hustoty energie vakua (potažmo temné energie) může být až 121 řádů. A to z něj činí nejhůře predikovanou hodnotu v historii fyziky. Na druhou stranu, téměř identické vlastnosti jako vakuum může vykazovat obecně i jakékoliv skalární pole, pokud je jeho časová změna ve srovnání s hustotou jeho potenciální energie zanedbatelná, příp. se s časem nemění vůbec. V tomto případě jsou totiž jak vakuum, tak i příslušné skalární pole reprezentovány

v Einsteinových rovnicích gravitačního pole identickým, tzv. *kosmologickým členem*. Označení tohoto členu historicky odkazuje k původnímu účelu jeho zavedení coby repulzivní složky gravitace umožňující existenci prostorově uzavřeného statického řešení Einsteinových rovnic pro vesmír rovnoměrně vyplněný prachem. Podrobnější informace o problému kosmologické konstanty lze najít například v [1, 2, 3].



Schwarzschildův–de Sitterův prostoročas a jeho geodetiky

Podle obecné relativity je dynamika tzv. testovací hmoty v blízkosti silně gravitujícího objektu řízena geometrií prostoročasu, jehož zakřivení charakterizuje gravitační pole tohoto objektu. Samotná geometrie je řešením příslušných Einsteinových rovnic, jež je za určitých zjednodušujících podmínek poměrně snadné. Příkladem je známé Schwarzschildovo řešení popisující geometrii prostoročasu v okolí centrálního statického a sféricky symetrického gravitujícího objektu,¹ potažmo geometrii prostoročasu obsahujícího nejjednodušší, statickou a sféricky symetrickou, tzv. *Schwarzschildovu černou díru*.

¹ Schwarzschildovo řešení dobře popisuje geometrie prostoročasu kolem obyčejných hvězd či planet, pokud můžeme zanedbat strhávání prostoročasu způsobené jejich rotací.

LIGO a objev gravitačních vln I.

Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2017

© The Nobel Foundation 2017

Rainer Weiss

Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, Massachusetts 02139, USA

Obsah

My všichni tři – Barry Barish, Kip Thorne a já – chceme ocenit kritickou roli, kterou sehráli vědci, inženýři, studenti, technici a administrativní pracovníci *Laserové interferometrické observatoře gravitačních vln* (LIGO) a *Sdružení vědců při LIGO* (LSC), kteří se zasloužili o otevření nového vědeckého výzkumu: Astronomie a astrofyziky gravitačních vln. Také cítíme hlubokou vděčnost k *Národní grantové agentuře* Spojených států (NSF: *National Science Foundation*), jež ochotně přijala riziko podpory nového oboru vědeckého výzkumu, který vyžadoval podstatný technický vývoj a který se vyznačoval velmi nejistou znalostí zdrojů, avšak jistotou, že v případě úspěchu bude mít hluboký vliv na naše porozumění fyzice a vesmíru.

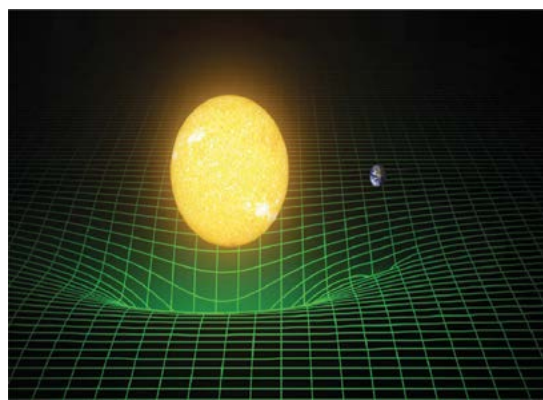
Všechny tři naše přednášky mají shodný název – „LIGO a objev gravitačních vln“. Budou však zaměřeny na různé aspekty. Já budu diskutovat ranou historii gravitačních vln a soustředím se na představy, jak koncipovat detektory a překonat tak úskalí při měření nepatrných deformací, řádu 10^{-21} . Barry ukáže, jak byl projekt LIGO organizován, aby se stále zdokonaľoval a nakonec umožnil uskutečnit úspěšný vědecký program. Také se zaměří na popis detekcí a na návrhy zdokonalení detektorů hnané novou vědou, kterou se doufám naučíme. Kip se bude zabývat širšími aspekty nového oboru astronomie gravitačních vln. Buďe hovořit o kritické roli, kterou sehrála numerická relativita a naše porozumění kvantové mechanice přesných měření. Také se zaměří na představu o vědě, jež by se mohla vyvinout z výzkumu gravitačních vln od intervalů řádu milisekund až po desítky miliard let.

V roce 1915, před více než sto lety, publikoval Einstein svoji Obecnou teorii relativity (OTR) [1, 2], novou teorii gravitace, jež nahradila newtonovskou sílu představou, že hmota deformuje geometrii prostoru a tok času. Hmota se pak v tomto novém prostoročase pohybuje podél nejkratších drah v čtyřrozměrném prostoru. (Tuto představu ilustruje obrázek 1 a jeho titulček.)

Nová teorie vyřešila záhadu týkající se newtonovského popisu pohybu planety Merkur. Tato planeta se pohybuje v nejsilnějším gravitačním poli Slunce a ani po započtení oprav vlivem pohybů ostatních těles sluneční soustavy se zřejmě Newtonovou teorií neřídí. Konkrétně: Merkur se nepohybuje po dráze dané gravitační silou úměrnou $1/r^2$. K záchraně Newtonovy teorie byla navržena hypotéza, že mezi Sluncem a Merkur se nachází ještě další planeta. Ta však nebyla nikdy

nalezena. K Einsteinově nesmírné radosti se shodovala pozorovaná dráha Merkura s předpověďmi jeho teorie. To bylo pro něj prvním potvrzením, že je na správné stopě. OTR také nabízela některé nové měřitelné jevy: efekty malé, obtížně měřitelné, ale s hlubokým významem. Předpovídala, že hodiny v silných gravitačních polích jdou pomaleji než ve slabých [3, 4] a že světlo hvězd procházející těsně kolem slunečního kotouče se odchýlí směrem k Slunci – tzv. ohyb světla [5]. Je jen holdem obtížnosti těchto měření, že oba efekty byly spolehlivě změřeny až asi o 50 let později.

OTR měla v sobě ještě něco víc. Jak jsme nyní přímo zjistili, bylo principiálně možné vypočíst chování hmotných systémů pohybujících se relativistickými rychlostmi. Navíc, gravitační informace – gravitační vlny – se nešíří nekonečnou rychlostí, jak by vyplývalo



Obr. 1 Pokus o znázornění Einsteinova pojetí gravitace (obecná teorie relativity), v níž distorze geometrie času a prostoru nahradily Newtonovu gravitační sílu. Představte si souřadnicový systém ve třech rozměrech. Průsečíky přímků jsou rovnoměrně rozmístěny. Dále si představte, že v každém z průsečíků jsou umístěny hodiny, které v daném okamžiku ukazují stejný čas. Taková je situace, když v okolí nejsou žádné hmoty. Teď si představte dvojrozměrný rovinný řez touto strukturou a umístěte do obrázku Slunce a Zemi. Struktura (prostoru) v okolí Slunce a v menší míře i okolo Země je zakřivená. Také hodiny v průsečících poblíž Slunce (a v menší míře i poblíž Země) jdou poněkud pomaleji než ty v méně zakřivených oblastech. Dráha Země kolem Slunce je nyní určena distorzí prostoru a dilatací času – jako dráha objektu, na nějž v této nové geometrii nepůsobí žádné síly. [Red. pozn.: Obrázek je reprodukován tak, jak byl uveřejněn v původním článku, ale má špatný poměr stran – správně by Slunce a Měsíc měly být přibližně koule.]



Rainer Weiss
(© Nobel Media AB.
Foto: A. Mahmoud)

Nobelova cena
za fyziku 2017



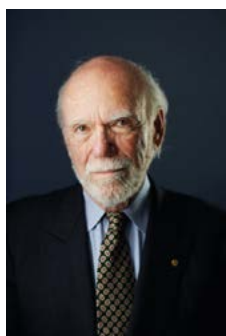
LIGO a objev gravitačních vln II.

Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2017

© The Nobel Foundation 2017

Barry C. Barish

California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, USA



Barry C. Barish
(© Nobel Media AB.
Foto: A. Mahmoud)

I. Úvod

Pozorování gravitačních vln v laserové interferometrické observatoři gravitačních vln LIGO bylo oznámeno 11. února 2016 [1], 100 let poté, co Einstein předpověděl existenci černých děr [2, 3]. Stalo se tak po více než padesáti letech experimentálních snah sestavit dostatečně citlivé detektory k pozorování nepatrných deformací prostoročasu gravitačními vlnami. Nobelova cena za fyziku byla v roce 2017 udělena Reineru („Rai“) Weissovi, Kipu Thornovi a mně za „rozhodující příspěvky k detektoru LIGO a k pozorování gravitačních vln“. Úspěch LIGO ve skutečnosti vyplývá z několika desetiletí výzkumu a vývoje koncepce a metod, která byla shrnuta v nobelovské přednášce Raie Weisse, po níž následoval projekt, konstrukce a vylepšování velkých interferometrů LIGO, tak aby se rok od roku stávaly citlivější na gravitační vlny. Tato práce byla realizována v laboratoři LIGO a prostřednictvím Sdružení vědců při LIGO (LIGO Science Collaboration, LSC), zahrnujícího více než tisíc vědců – spoluautorů článků o pozorování gravitačních vln. Navíc řada dalších vědců významně přispěla k vědě o černých dírách, k numerické relativitě atp.

V těchto třech přednáškách vyprávíme, Rai, Kip a já, příběh LIGO a gravitačních vln ve třech částech. Rai se zaměří na fyziku gravitačních vln, experimentální úskalí a na některé průkopnické práce na interferometru. Zdůrazní experimentální výzvy a některé z počátečních inovací, které byly navrženy, v menším měřítku testovány a poté použity v interferometrech LIGO. V této přednášce popíšu projekt LIGO a jeho zdokonalení, která vedla k detekci srážky černých děr. Také se budu věnovat některým klíčovým vlastnostem interferometrů, několika důsledkům těchto objevů, a nakonec i představám o dalším vývoji LIGO v příštím desetiletí. Kip promluví o počáteční osobní historii, o pokrocích teorie, které byly klíčové pro konstrukci interferometru LIGO a interpretaci měření, a nakonec představí svoji vizi budoucnosti tohoto nového vědního oboru.

Naše tři přednášky mohou být čteny jako částečně se překrývající seriál nebo lze každou z nich číst jednotlivě. V přednáškách chceme vyzdvihnout některé jednotlivé osoby, které sehrály klíčovou úlohu v objevu gravitačních vln, museli jsme však nezbytně opomenout mnoho dalších velmi důležitých přispěvatelů.

II. Laboratoř LIGO

Počátkem roku 1994 jsem se stal ředitelem výzkumu v LIGO, a tak moje část celého příběhu začíná v tomto

bodě. Několik měsíců předtím jsem se totiž stal „disponibilním“, a to vzhledem k nešťastnému zrušení projektu supravodivého „supersrážeče“ (SSC: *Superconducting Super-Collider*) v Texasu Kongresem Spojených států [4]. Projekt SSC byl výsledkem dlouhodobého úsilí amerických a světových vědeckých komunit vyvinout koncepčně i technicky zařízení, které by pro fyziku částic otevřelo nový obor energií. Existovaly silné argumenty pro to, že by tento režim mohl zpřístupnit fyziku částic nad rámec standardního modelu. K vysvětlení původu hmotností elementárních částic byl navržen Higgsův jev a pátrání po přidružené Higgsově částici mělo být prvním velkým cílem SSC. Ta byla nakonec objevena na velkém hadronovém srážeci (LHC: *Large Hadron Collider*) v laboratoři Evropské organizace pro jaderný výzkum (CERN) ve švýcarské Ženevě, která má některé z možností, jaké měl mít SSC.

SSC byl projektován tak, aby měl dva komplementární detektory s různými vlastnostmi, které by se doplňovaly a potvrdily případné objevy. Spolu s Billem Willisem z Kolumbijské univerzity jsem byl mluvčím za detektor „Gamma, Electrons, Muons“ (GEM), jednoho z těchto dvou velkých detektorů. Počátkem devadesátých let jsme spolu strávili několik let vývojem koncepce, technologie a návrhu detektoru GEM a v roce 1993 byla celá koncepce úspěšně obhájena. Právě jsme se pouštěli do přípravy finálního technického návrhu a připravovali se na začátek stavby, když Kongres celý projekt SSC zrušil. Pro všechny zainteresované na projektu SSC to bylo ovšem mimořádně demotivující. Významná část fyziků z projektu GEM se pak připojila k experimentům na LHC a mnohé z našeho technického vývoje bylo využito v detektorech CMS a Atlas v CERN.

Tehdy jsem se rozhodl nepokračovat v experimentech v CERN, přinejmenším ne hned, protože jsem preferoval vzít si čas na rozmyšlenou, než si ujasním, co chci dělat dál. Vlastně jsem byl mimořádně zaměstnán všemi úkoly, které souvisely s ukončením prací na detektoru GEM, zejména pomocí najít práci mnoha kolegům, které jsem do projektu SSC najal. Počátkem zimy v roce 1994 mě však oslovil Kalifornský technologický ústav (Caltech), s nabídkou místa vedoucího projektu LIGO. Moje předchozí role v LIGO byly spíše poradní, protože jsem byl v Caltechu velkým zastáncem úsilí vyvinout experimentální základnu pro gravitační vlny. Souhlasil jsem s převzetím vedení projektu LIGO a mým prvním úkolem bylo posílit tým a také zhodnotit a revidovat

Nobelova cena
za fyziku 2017



LIGO a objev gravitačních vln III.

Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2017

© The Nobel Foundation 2017

Kip S. Thorne

California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, USA



Kip S. Thorne
(© Nobel Media AB.
Foto: A. Mahmoud)

Nobelova cena
za fyziku 2017



I. Úvod

První pozorování gravitačních vln na detektoru LIGO 14. září 2015 bylo vyvrcholením téměř padesátiletého úsilí asi 1 200 vědců a inženýrů kooperace LIGO/Virgo. Byl to také pozoruhodný začátek zcela nového způsobu pozorování vesmíru – gravitační astronomie.

Nobelova cena za „rozhodující příspěvky“ k tomuto triumfu byla udělena pouze třem vědcům z kooperace: Raineru Weissovi, Barrymu Barishovi a mně. Ve skutečnosti však si primární uznání zasluhuje celá kooperace. Z tohoto důvodu se přijetím Nobelovy ceny považují pouze za jednu z jejích ikon.

Poněvadž šlo o výsledek práce celé kooperace, Rai, Barry a já jsme se rozhodli přednést jednu přednášku, a to ve třech částech. Ačkoliv moje třetí část může být částečně srozumitelná i bez ostatních dvou, úspěchu naší kooperace, jak k ní došlo a kam směřuje, mohou čtenáři plně porozumět po přečtení všech tří částí. Naše trojdílná psaná přednáška je detailním rozvedením přednášek, které jsme ve skutečnosti přednesli ve Stockholmu 8. prosince 2017.

V první části této psané přednášky popisuje Rai Einsteinovu předpověď gravitačních vln a experimentální úsilí od roku 1960 do 1994, které je základem našeho objevu gravitačních vln. Ve druhé části popisuje Barry experimentální práce od roku 1994 do současnosti (včetně našeho prvního pozorování gravitačních vln) a také to, co můžeme očekávat, až současné detektory LIGO dosáhnou kolem roku 2020 své projektované citlivosti, případně ještě vyšší. Ve své třetí části popisují já roli teoretiků a teorie na úspěchu LIGO a také to, kam nás podle mého očekávání astronomie gravitačních vln během několika příštích desetiletí přivede, a to ve čtyřech různých frekvenčních pásmech. Nejprve bych však uvedl několik osobních poznámek o rané historii našeho společného experimentálního úsilí: otevřít k pozorování vesmíru první okno pro gravitační vlny.

II. Trochu z rané osobní historie: 1962–1976¹

Do relativity jsem se zamiloval, když jsem byl dospívajícím chlapcem v Loganu (Utah), a tak bylo nevyhnutelné, že bych měl jít na Princetonskou univerzitu a studovat pod vedením velkého guru relativity Johna Archibalda Wheelera. Do Princetonu jsem přijel

na podzim roku 1962, doktorské zkoušky (Ph.D.) složil na jaře 1965 a zůstal jsem tam ještě rok po doktorátu. Wheeler mne nadchl pro černé díry, neutronové hvězdy a gravitační vlny: relativistické pojmy, pro něž dosud nebyla žádná experimentální svědectví. Kdežto Robert Dicke mě inspiroval a vzdělával v experimentální fyzice, zvláště pak v experimentech k ověření Einsteinovy teorie relativity.

V létě roku 1963 jsem se účastnil osmitýdenní Letní školy teoretické fyziky (*École d'Été de Physique Théorique*) o obecné relativitě v Les Houches, Francie. Tam jsem byl vystaven působení elegantní matematické teorie gravitačních vln v přednáškách Raye Sachse a experimentů s gravitačními vlnami v přednáškách Joa Webera. Tyto přednášky a Wheelerův vliv, spolu s rozhovory, které jsem měl s Weberem při pěších túrách po francouzských Alpách, mě připoutaly ke gravitačním vlnám jako potenciálnímu směru výzkumu. A tak bylo nevyhnutelné, že v roce 1966, kdy jsem z Princetonu přešel na Caltech a začal budovat výzkumnou skupinu šesti graduovaných studentů a tří postdoktorandů, jsem ji nasměroval na černé díry, neutronové hvězdy a gravitační vlny.

Výzkum gravitačních vln mé skupiny byl zpočátku dost teoretický. Soustředili jsme se na reakci gravitačního záření (zda a jak gravitační vlny působí zpětným rázem na svůj zdroj, podobně jako puška při výstřelu kulky „kopne“ zpět). Důležitější bylo, že jsme vyvinuli nové metody přesného výpočtu detailů gravitačních vln emitovaných astrofyzikálními zdroji, jako např. rotujícími deformovanými neutronovými hvězdami, pulzujícími neutronovými hvězdami a pulzujícími černými dírami. Ale nejdůležitější bylo (aniž bychom se spoléhali pouze na práci naší skupiny, ale také na práce kolegů odjinud), že jsme začali vyvíjet *Vizi pro budoucnost astronomie gravitačních vln*: Jaká by měla být pásma frekvencí, v nichž by bylo možné je pozorovat, jaké nejsilnější zdroje gravitačních vln by v každém z takových pásem mohly být a jakou informací bychom z vln od těchto zdrojů mohli získat. Tuto stále se vyvíjející vizi jsme popsali v řadě přehledových článků, počínající článkem mého studenta Billa Presse a mne v roce 1972 [1] a pokračující po několika letech až do roku 2001 [2], kdy jsem s kolegy napsal vědeckou studii k podpoře pokročilých interferometrů gravitačních vln Advanced LIGO [3].

Zvláště významný pro rozvoj našich představ byl extrémní rozdíl mezi elektromagnetickými vlnami,

¹ Podrobnější osobní detaily, které souvisejí s touto přednáškou, najdete v mém životopise.

Nobelova cena za fyziku pro rok 2017



Rainer Weiss,
Barry C. Barish, Kip S. Thorne

str. 144–150 Copyright © The Nobel Foundation 2018

Proslov Rainera Weisse na banketu u příležitosti udělení Nobelovy ceny

10. prosince 2017

Vaše Veličenstva, Vaše královské Výsosti, Vaše Excellence, drazí laureáti, dámy a pánové,

my všichni tři, Barry, Kip a já, reprezentujeme asi tisíc vědců, inženýrů, techniků, studentů a administrativních pracovníků, kteří se zasloužili o to, že objevy gravitačních vln na aparatuře LIGO jsou zde dnes večer oslavovány. Také oslavujeme nedávno zesnulého Ronalda Drevera, který věnoval aparatuře LIGO větší část svého profesionálního života. Dnes ho zde zastupuje jeho bratr Ian a neteř Anna. Jsme všichni nesmírně vděční Státní nadaci pro vědu (*National Science Foundation*) Spojených států i americké veřejnosti za stálou podporu během téměř padesáti let.

To, čeho jsme dosáhli s pomocí mimořádně citlivých přístrojů, bylo přímé měření gravitačních vln, které před sto lety předpověděl Albert Einstein. Tyto vlny představují novou cestu ke studiu vesmíru a očekává se, že budou mít významný dopad na astronomii a astrofyziku v následujících letech. Gravitační vlny se šíří rychlostí světla a mírně stlačují a roztahují prostor ve směru kolmém ke směru jejich pohybu. První vlny, které jsme změřili, pocházely ze srážky dvou černých děr o hmotnosti každé z nich asi třicetkrát větší, než je hmotnost našeho Slunce. Od té doby jsme změřili čtyři další události; poslední z nich nejen s aparaturou LIGO, ale také se zařízením VIRGO, francouzsko-italským detektorem, který nám pomohl tuto událost na obloze lokalizovat. Všechny tyto události s černými dírami se odehrály přibližně před miliardou let. Vloni v srpnu jsme změřili vlny pocházející ze srážky dvou neutronových hvězd: jsou to hvězdy o hmotnosti Slunce, ale velikostí srovnatelné se Stockholmem – mimořádně husté objekty. Tato událost byla pozorována pomocí mnoha dalších astronomických přístrojů

a demonstrovala naději na mnohostrannou spolupráci astronomie a astrofyziky.

Z důvodů pravděpodobně souvisejících s populární představou Alberta Einsteina a také s hrozbou, jakou černé díry představují v komiksových příbězích a ve vědeckofantastické literatuře, měly naše objevy gravitačních vln úžasný ohlas u veřejnosti. Krátce po našem prvním oznámení jsem viděl v newyorském metru inzerát: „Vědci objevili ve vesmíru gravitační vlny. Kéž by tak bylo stejně snadné najít v New Yorku byt s oddělenou toaletou!“ V témže týdnu se v časopise *New Yorker* objevila kresba znázorňující dva ptáky sedící na větvi stromu. Jeden se díval na druhého a ptal se: „To jsi byl ty, nebo se právě srazily dvě černé díry?“

Přeložil **Ivan Gregora**
Copyright © The Nobel Foundation 2018



Rainer Weiss promlouvá na banketu.
Copyright © Nobel Media AB 2018

Nobelova cena
za fyziku 2017



Slavnostní proslov prof. Botnerové před předáním Nobelových cen

Úvodní projev profesorky Olgy Botnerové, členky Královské švédské akademie věd, členky Nobelova výboru pro fyziku, 10. prosince 2017

Vaše Veličenstva, Vaše královské Výsosti, vážení laureáti, dámy a pánové!

Gravitace je nejslabší silou, jakou známe – přesto je to síla, která drží naše nohy na zemi, určuje pohyb planet kolem našeho Slunce a vládne nad dramatickými srážkami černých děr ve vzdáleném vesmíru. Nobelova cena za fyziku v roce 2017 oceňuje objev, který rafinovaným způsobem reflektuje tento zdánlivý nesoulad mezi silou a slabostí: pozorování neuvěřitelně malého zakřivení prostoru způsobeného průchodem gravitační vlny vyvolané významnou srážkou dvou černých děr v nesmírně vzdálené galaxii.

Přibližně před 1,3 miliardami let, v době, kdy na Zemi vznikal první mnohobuněčný život, vstoupily dvě černé díry o hmotách blízkých třicetinasobku hmoty našeho Slunce do poslední fáze smrtelného baletního tance. V tanečním víru při rychlosti poloviny rychlosti světla se srážily a spojily v jedno těleso – událost, která vyslala gravitační vlny šířící se prostorem a časem, nesoucí informaci o tom, co se právě stalo. Od té doby tyto vlny putovaly vesmírem a prošly Zemí 14. září 2015, kdy je objevily dva nově postavené detektory Laserové interferenční observatoře gravitačních vln, které byly navrženy tak, aby zaznamenaly ty nejslabší možné vibrace. To bylo poprvé, kdy procházející gravitační vlna byla na Zemi přímo pozorována. Toto ohromující pozorování představuje úsvit nové éry, která otevírá nové pohledy pro astronomii a přináší nové možnosti studia gravitace v okolí černých děr tam, kde je nejsilnější.

Gravitační vlny byly předpovězeny přibližně před sto lety v rámci Einsteinovy obecné teorie relativity, která spojuje gravitaci s geometrií prostoročasu. Vznikají jako vlnky v prostoročase, kdykoli objekty zrychlují, a vzdalují se od zdroje jako stále slabší a slabší vlny. Když gravitační vlny dosáhnou Země, nepatrně roztahují a stlačují prostor, a to měrou mnohem menší, než jakou jsou schopny vnímat lidské smysly. Nicméně tím vědců vedený letošními laureáty Nobelovy ceny tuto výzvu úspěšně zvládnul, sestrojil detektory, tzv. laserové interferometry, schopné měřit mikroskopické změny – miliardkrát menší než tloušťka pavoučího vlákna – vzdálenosti mezi dvěma zrcadly. Tyto interferometry používají světlo laseru, které se rozdělí do dvou ramen o délce čtyři kilometry. Zrcadla na koncích obou ramen odrazí světlo zpět do bodu, kde se oba svazky superponují. Výsledná světelná vlna je pak přivedena na detektor, kde se pozoruje a zaznamenává obrazec světla a stínů. Procházející gravitační vlna jedno rameno nepatrně roztáhne a druhé stlačí. Tím dojde k nepatrnému posuvu interferenčního obrazce, a tento právě vědci



Profesorka Botnerová pronáší úvodní projev při udělování Nobelových cen za fyziku ve stockholmském koncertním sále. Copyright © Nobel Media AB 2017

měří. Aby se vyloučily lokální poruchy, jako projíždějící kamiony nebo drobná zemětřesení, které by mohly vyvolat vibrace přístroje, skládá se observatoř ze dvou identických detektorů na opačných stranách amerického kontinentu, vzdálených od sebe asi 3000 km. Dne 14. září v 9:50 URC zaznamenaly oba detektory téměř identické signály od procházející (gravitační) vlny se zpožděním menším než 7 milisekund. To nejenže potvrdilo, že jde o signál, ale také umožnilo lokalizovat jeho zdroj na jižní obloze s přesností lepší než jeden úhlový stupeň.

První přímé pozorování gravitační vlny je v mnoha ohledech mimořádně významná událost. Jde o přelomový objev, po němž následovala další důležitá pozorování. Otvírá nečekané příležitosti ke zkoumání dosud neviditelných částí vesmíru, ve kterém podle slavného astronoma Carla Sagana „na naše poznání čeká něco neuvěřitelného“.

Profesore Weissi, profesore Barishi, profesore Thorne, byla vám udělena Nobelova cena 2017 za vaše rozhodující příspěvky k detektorům Laserové interferenční observatoře gravitačních vln a za pozorování gravitačních vln. V zastoupení Královské švédské akademie věd je mi ctí a velkým potěšením vyjádřit vám naše nejvřelejší blahopřání. Nyní vás žádám, abyste přistoupili a převzali své Nobelovy ceny z rukou Jeho Veličenstva krále.¹

¹ To cite this section Award ceremony speech. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2018. Sun. 25 Nov. 2018. Dostupné z WWW: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2017/ceremony-speech/>

Nobelova cena
za fyziku 2017



Životopisy laureátů Nobelovy ceny za fyziku pro rok 2017

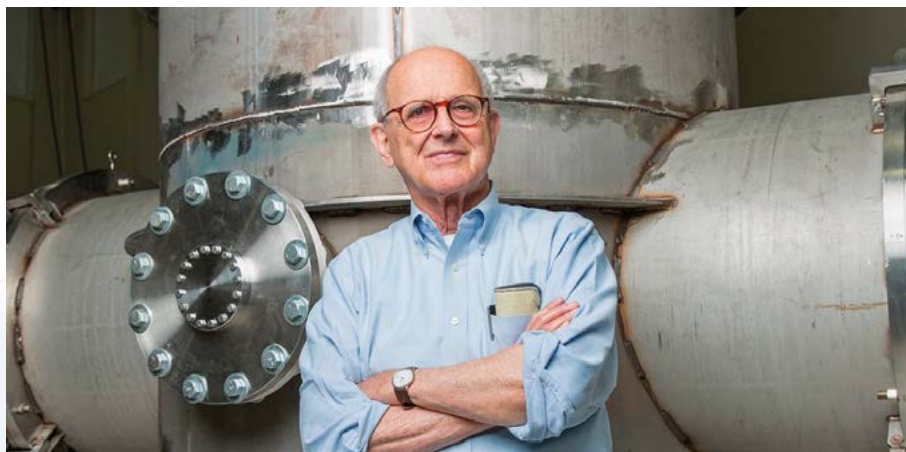
RAINER WEISS¹

Rainer Weiss (narozen 29. září 1932 v Berlíně, Německo) je americký fyzik německého původu. Weissův otec Frederick Weiss byl neurolog židovského původu a jeho matka Gertruda Loesnerová byla křesťanská herečka. Krátce před Rainerovým narozením svědčil Frederick Weiss u soudu proti jednomu nacistickému doktorovi, který provedl zpackanou operaci. Weissův otec byl nacisty odveden, ale Loesnerové se podařilo využít svých politických konexí k tomu, aby byl propuštěn. Frederick Weiss odjel z Německa do Československa a krátce po narození Rainera se k němu připojila i manželka. V září 1938, po oznámení mnichovské dohody, která umožnila Německu invazi do československých Sudet, získala Weissova rodina víza k odjezdu do Spojených států. Tam dorazili v lednu 1939.

Jako teenager se Reiner Weiss začal zajímat o elektroniku, zejména o akustické systémy. Trápil ho problém, jak potlačit šum, který dominoval na záznamech pomalých, klidných pasáží klasické hudby. Uvědomil si, že k vyřešení problému potřebuje hlubší matematické a strojírenské znalosti, a tak se zapsal na Massachusettský technologický institut (*Massachusetts Institute of Technology* – MIT), aby se vzdělával v elektroinženýrství. Po druhém ročníku však přešel na fyziku, protože tento obor měl méně povinných přednášek. Ve třetím ročníku se zapletl do milostné aférky, která skončila nešťastně, propadl u zkoušek a z MIT odešel.

V roce 1953 získal Weiss na MIT místo technika v laboratoři fyzika Jerrolda Zachariase, který ho přesvědčil, aby si vzdělání doplnil. Nakonec na MIT získal bakalářský titul (1955) a obhájil tam i doktorát (1962).

V letech 1960 až 1962 pracoval Weiss na Tuftsově univerzitě (*Tufts University*), kde byl nejdříve instruktorem a pak docentem. Od roku 1962 do roku 1964 byl vědeckým asistentem na Princetonské univerzitě, kde pracoval s fyzikem Robertem Dickem a začal se zajímat o obecnou relativitu a kosmologii. V roce 1964 se vrátil se na MIT jako do-



cent a zůstal tam po celou svou další kariéru. V roce 1973 byl jmenován řádným profesorem a v roce 2001 odešel do důchodu.

Na své životní dráze se Weiss soustředil především na dva jevy: kosmické mikrovlnné pozadí (CMB, *Cosmic Microwave Background*) a gravitační záření. V sedmdesátých letech pracoval na projektech výzkumu CMB, mikrovlnného záření pocházejícího z velkého třesku (*big bang*), a to nejdříve pomocí balonů a pak s využitím satelitu COBE (*Cosmic Background Explorer*), který byl vypuštěn v roce 1989. COBE objevil ve vesmíru nepatrné fluktuace hustoty, které mohly umožnit vznik galaxií. (Dva vědci z programu COBE John Mather a George Smoot získali za tuto práci Nobelovu cenu v roce 2006.)

Weissův první pokus o pátrání po gravitačním záření pochází z Princetonu, kde studoval normální vibrační módy Země, které by mohly být vybuzeny gravitačními vlnami z kosmu, podle Bransovy-Dickeovy teorie gravitace. Experimentální měření bylo však zahlceno vibracemi pocházejícími ze zemětřesení na Aljašce v roce 1964.

Americký fyzik Joseph Weber v roce 1969 oznámil, že detekoval gravitační vlny měřením změny délek dvou aluminiových tyčí. Gravitační vlny jsou narušením prostoročasu, a tak při jejich průchodu dochází ke změně vzdáleností. Nikomu se však nepovedlo Weberův výsledek zopakovat. Weiss věřil, že laserový interferometr má k takovému měření potřebnou citlivost. V tomto přístroji se laserový svazek rozdělí na dvě části, které

putují několik kilometrů dvěma navzájem kolmými rameny, na jejichž koncích jsou zrcadla. Při návratu se oba svazky navzájem zruší (anulují). Jestliže však interferometrem projde gravitační vlna, pak vzdálenost, kterou světlo urazí na jedné dráze, je delší než vzdálenost na druhé dráze a oba svazky se nezruší. Weiss zahrnul do úvahy všechny možné zdroje šumu a v roce 1972 napsal zprávu popisující, jak by takový přístroj fungoval. Postavil také malý prototyp s rameny dlouhými jen 1,5 metru.

V sedmdesátých letech pracoval Weiss s fyziky v Ústavu Maxe Plancka pro astrofyziku v německém Garchingu na konstrukci třímetrového a později třicetimetrového prototypu. Získal grant od Státní nadace pro vědu (*National Science Foundation*, NSF) k provedení předběžných studií pro observatoř gravitačních vln. V roce 1983 předvedl své výsledky NSF spolu s Thornem a Ronaldem Dreverem z Caltechu. NSF souhlasila s odstartováním projektu LIGO jako kooperací MIT a Caltechu pod vedením Weisse, Thorna a Drevera.

Projekt LIGO se dále rozvíjel a od roku 1987 už byl pod vedením jediného ředitele. Stavby dvou interferometrů s rameny o délce 4 km v Livingstonu (Louisiana) a Hanfordu (Washington) byly zahájeny v roce 1994. Zkušební pozorování začala v roce 2001 a práce na vylepšení LIGO (tzv. *Advanced LIGO*) byly dokončeny v roce 2014. V roce 2015 začala pozorování a již 14. září téhož roku detekoval přístroj gravitační vlny pocházející od srážky dvou černých děr.

¹ Zdroj: Erich Gregersen, *American Physicist*. Překlad Ivan Gregora.



Telefonická interview

Telefonické interview s Rainerem Weissem, Barrym C. Barishem a Kipem S. Thornem krátce po oznámení Nobelovy ceny za fyziku dne 3. října 2017. Tazatelem je Adam Smith, vědecký vedoucí administrativy Nobel Media.

Rainer Weiss

[Rainer Weiss] Haló!

[Adam Smith] Jmenuji se Adam Smith a volám z Nobelprize.org, oficiální webové stránky Nobelových cen ve Stockholmu.

[RW] Ano, výborně. Už jsem hovořil s několika ... s vašimi kolegy dnes ráno.

[AS] Především vám chci k udělení Nobelovy ceny blahopřát.

[RW] Děkuji vám.

[AS] Musí to být velmi zvláštní pocit, zejména proto, že právě vy jste přišel s nápadem na tento detektor.

[RW] Nu, buďte opatrnější. Jiní lidé také přemýšleli o detektorech – tak proto opatrně. Mním tím, že v roce 1962 byla v Rusku skupina – Gertsenštejn a Pustovojt – ne-umím ta jména pro vás správně vyslovit. Publikovali v ruském časopise krátký článek, o němž nikdo z nás nevěděl, ve kterém ani tak nenavrhovali interferometrii, jako spíše použití světla jako prostředku. A pak se ukázalo, že také Joe Weber¹, nám tehdy zcela neznámý, byl vlastně asi první osobou, která o tom začala přemýšlet.

[AS] Se svými Weberovými válci.

[RW] Ano, Weberovy válce. Ke konci období svých válců však Weber napsal několik poznámek, že by se to mělo dělat pomocí interferometrie. Celý svět se snažil Weberovy experimenty reprodukovat. Nevím – jste možná příliš mladý, než abyste to mohl vědět – ale jde o to, že v šedesátých letech ... Weber publikoval své oznámení v roce 1969 ... a ukázal, že se třemi válci pozoroval gravitační vlny. Pak se to téměř všichni, tedy mnoho týmů, jak v Evropě, Asii a ve Spojených státech, snažili reprodukovat, ale k všeobecnému zklamání nikdo neviděl to, co viděl Joe – tedy Joe Weber. V mém životě se to projevilo při přednáškách z obecné relati-



vity, někdy v roce 1967, když jsem neuměl vysvětlit, na jakém principu Weberův válec vlastně funguje. OK, hlavně proto, že jsem toho dost nevěděl, ale tak to bývá ... myslel jsem si, že musí existovat nějaká snadnější cesta k vysvětlení, jak gravitační vlna interaguje s hmotou. Kdyby se tak někdo podíval na nejprimitivnější problém trojrozměrných hmotných objektů vznášejících se v prostoru a zjistil, jak se prostor mezi nimi při příchodu gravitačních vln mění. A tak jsem tento problém zadal ve svém kurzu. A moji studenti to spočítali, protože to je poměrně přímočarý výpočet. A to bylo v roce 1967, a někdy v letech 1971–1972 se ukázalo, že mnoho lidí nepozorovalo nic. Mním tím, že bylo již docela zřejmé, že pomocí metody válců a Weberových experimentů nikdo jiný nic neviděl. A tak jsem strávil léto přemýšlením, že by snad můj nápad, který jsem zadal jako příklad v svém kurzu, by stál za hezký pokus, poněvadž byl tak snadno pochopitelný. Z toho se pak vyvinula aparatura známá dnes jako LIGO, ale podobný nápad měli i jiní. To jsem tehdy nevěděl.

[AS] Nicméně je to cesta z raných sedmdesátých let až k dnešku. Pocit úspěchu a vzrušení musí být docela ...

[RW] Ach, nepochybně. Podívejte se ... ta věc ... to nemá nic společného s pýchou. Dokázal jsem něco, co jiní neudělali. Ve skutečnosti jsem provedl výpočty všech možných problémů, které by mohly

být překážkou úspěchu v realizaci. To se nakonec ukázalo jako velmi užitečné. Víte, jde o nejrůznější šумы, které by pozorování znemožnily, či naopak umožnily. Bylo třeba vyřešit celou řadu problémů – a to byl můj příspěvek v raných dobách.

[AS] A to je ono. Je jistě nesmírně náročné přemýšlet o tom, jak přesná musí taková aparatura být.

[RW] Ano. (smích) To je pravda, a ... k tomu také došlo. Myslím, že nejsnadnější způsob, jak to vyjádřit, je říci, že tato koncepce je zcela jasná. Změříte čas, který potřebuje světlo k proběhnutí dvou kolmých směrů v gravitační vlně. A ten čas změříte velmi pečlivě. Je to vlastně poněkud triviální nápad. Mním tím to, že většina lidí, kteří o fyzice něco málo vědí, je schopna takový výpočet provést. Na druhé straně ovšem vzniká problém, jak to udělat, když hodnoty veličin jsou tak malé. Nejsnadnější je to ... Je vám známa exponenciální notace? Mohu ji použít?

[AS] Jistě, můžete.

[RW] OK. Myslím, že nejlépe se to dá vyjádřit takto. Jsou dva faktory řádu 10^{12} , které je třeba vyřešit. Jeden z nich je, že vlnová délka světla samotného je 10^{-6} metrů, a musíte tedy pro světlo o této vlnové délce připravit takovou dráhu, abyste mohli změřit 10^{-18} metrů, což představuje faktor 10^{12} . Sice to nebyl nakonec ten největší problém, byl to však jeden z velkých problémů mezi léty 1972 a 2015. Druhý faktor 10^{12}

¹ Joseph Weber (17. května 1919 – 30. září 2000) byl americký fyzik; první, který začal přednášet o principu laseru a maseru. Byl průkopníkem při hledání gravitačních vln a k tomuto výzkumu vyvinul první detektor.

Fyzikálna olympiáda v Slovenskej republike

Ivo Čáp

Fakulta elektrotechniky a informačných technológií Žilinskej univerzity, Univerzitná 1, 010 26 Žilina



V roku 2019 dovŕši Fyzikálna olympiáda (FO) na území SR a ČR už 60 rokov svojej existencie. Ide o druhú najstaršiu predmetovú súťaž po Matematickej olympiáde. V Československu sa s prvou iniciatívou stretávame v roku 1959, kedy dozrela myšlienka nájsť vhodný nástroj na vyhľadávanie a podporu vo fyzike mimoriadne nadaných žiakov základných a stredných škôl. Inšpiráciou bol systém vzdelávania a súťaženia v Sovietskom zväze, ktorý udával smer najrôznejším aktivitám od priemyslu až po vzdelávanie a kultúru v celom východnom bloku. Keďže konkurencia so Západom bola najsilnejšou motiváciou politických snažení, podpora výskumu a vývoja podmienená výchovou odborníkov najmä v odbore prírodných a technických vied bola značne podporovaná. Takto našiel politickú, a s tým súvisiacu finančnú podporu, aj nový systém vyhľadávania talentovaných žiakov a rozvíjania ich talentu. Tento systém sa ukázal ako životaschopný a čoskoro našiel odozvu aj v medzinárodnom meradle. Už v roku 1967 sa konala vo Varšave prvá medzinárodná súťaž, osem rokov po Medzinárodnej matematickej olympiáde (1959). Prvého ročníka medzinárodnej súťaže – IPhO (International Physics Olympiad) sa zúčastnilo päť krajín (Poľsko, Československo, Maďarsko, Bulharsko a Rumunsko). V roku 2019 sa uskutoční už 50. ročník IPhO (dva ročníky sa nekonali) za účasti približne 80 krajín z celého sveta.

Od začiatkových pokusov o organizovanie súťaže pre talentovaných žiakov až po dnešok prešla FO dlhú cestu, na ktorej sa vyvíjala od jednoduchších foriem až po dnešný systém starostlivosti o talenty. Pôvodne úzko špecializované súťaže v matematike a vo fyzike našli nasledovníkov, ktorí postupne rozvíjali podobné aktivity v ďalších odboroch, ako sú napr. astronómia, chémia, biológia a neskôr aj humanitné a sociálne vedy. História vzniku a rozvíjania FO opísali podrobne autori Jan Kříž a Richard Polma v článku „Role Fyzikální olympiády v historii a dnes“ [1]. Článok je síce zameraný najmä na FO v Českej republike, ale keďže FO sa rozvíjala až do roku 1993 v spoločnom československom štáte, sú korene FO pre obe republiky SR a ČR spoločné. Posledné spoločné celoštátne kolo FO sa konalo v roku 1993 v Žiline na Slovensku. Úlohy celého ročníka 1992/93 boli spoločné, len výsledkové listiny zo spoločného celoštátneho kola už boli rozdelené zvlášť pre SR a ČR. Taktiež reprezentácia na IPhO 1993 v USA už bola rozdelená. Od školského roku 1993/94 už boli obe olympiády celkom oddelené. Ak tento škol-



Obr. 1 Daniel Kluvanec, prvý predseda ÚV FO SR.

ský rok považujeme za prvý ročník v ére samostatnej Slovenskej republiky, oslavuje FO na Slovensku malé jubileum – 25 rokov.

FO SR nadviazala na skúsenosti a tradície FO ČSFR, len formálne prispôsobila organizačný poriadok a zachovala doterajšiu osvedčenú štruktúru troch kategórií pre základné školy a štyri kategórie pre stredné školy. Keďže fyzikálne vzdelávanie v ČR a v SR sa začalo uberať trochu inými smermi, nebolo už možné tvoriť úlohy pre jednotlivé kategórie spoločne pre obe republiky. Spočiatku organizovali FO na všetkých úrovniach dobrovoľní pracovníci okresných a krajských výborov a Ústredný výbor FO SR. Organizačnú stránku postupne prebrala IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, poverená a financovaná Ministerstvom školstva SR. Výbory sa premenovali na komisie, a tie prebrali odborné zabezpečenie súťaží FO. Odborným garantom je Jednota slovenských matematikov a fyzikov. Od roku 1993 vykonával funkciu predsedu ÚV FO prof. RNDr. Ing. Daniel Kluvanec, CSc. z Fakulty prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre. Podpredsedami boli doc. Ing. Ivo Čáp, CSc. z Elektrotechnickej fakulty Vysokej školy dopravy a spojov v Ži-

Temná hmota, nebo milgromovská dynamika?

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

Mezinárodní konference o gravitačních projevech galaxií, Bonn 23.–27. 9. 2019

Soudobá vědecká pozorování nasvědčují tomu, že standardní kosmologický model není zcela v pořádku, a to jak z hlediska teorie gravitace, tak i existence temné hmoty. Díky vesmírným družicím (především Gaia) mají vědci k dispozici velké množství dat, ale dosud na základě jejich zkoumání nebyla definována žádná nová odpovídající teorie, jež by věrohodně popisovala jejich výsledky. Současná situace znamená příležitost především pro mladé výzkumníky, kteří by toho mohli využít a formulovat nové, důležité a zásadní myšlenky. Profesor Pavel Kroupa, organizátor mezinárodní konference v Bonnu a světově uznávaný astrofyzik, přirovnává současnou situaci k „době zhruba před sto lety, kdy už bylo k dispozici velké množství fyzikálních dat, ale někteří tato data pro nás byla dosti nepochopitelná, protože ještě nebyla dostatečně známa nová kvantová teorie“.

Mezinárodní konference o chování galaxií 2019 se uskutečnila na univerzitě v Bonnu (na Argelander Institut für Astronomie). Konferenci organizují respektovaní astrofyzici Indranil Banik (Bonn), Pavel Kroupa (Bonn, Praha), Hosein Haghi (Zanjan), Oliver Müller (Štrasburk), Xufen Wu (Hefei) a Akram Hasani Zoonoozi (Zanjan, Bonn). Podle prof. Kroupy je záměrem tohoto setkání podpořit diskusi mezi vědci, kteří se zabývají kosmologií a studiem galaxií v odlišných hypotézách, a to v Newtonově nebo Milgromově teorii gravitace. Hlavním cílem je dosáhnout výměny názorů při použití obou hypotéz na problémy výpočetní astrofyziky s ohledem na nedávný pokrok v pochopení hvězdných populací, které jsou důležité pro kvantifikaci procesů zpětné vazby. Jde především o modelování vývoje galaxií s temnou hmotou, nebo bez ní.

Dříve byla pro vysvětlení fungování vesmíru používána Newtonova teorie gravitace, která byla empiricky



Prof. Kroupa na mezinárodní konferenci *Cosmology on small scales* v Praze.

odvozena pouze na základě pozorování pohybů ve Sluneční soustavě. V Einsteinově interpretaci gravitace je tato zakotvena jako geometrická časoprostorová deformace. Přesto ani tato hypotéza nepopisuje vesmír dokonale a vznikají zde pozorovatelné a měřitelné odchylky. Tyto odchylky jsou zpravidla interpretovány jako existence nových elementárních částic tzv. temné hmoty. Vzhledem k čerstvým dynamickým údajům byla vytvořena pokroková teorie MOND (*Modified Newtonian Dynamics*), navrhuující jiné než Newtonovy pohybové zákony tak, aby odpovídaly pozorovaným jevům a pohybům ve vesmíru. Tato teorie byla navržena proto, aby bylo možné lépe vysvětlit nesrovnalosti v křivkách rotačních rychlostí spirálních galaxií, a poprvé byla publikována v roce 1983 prostřednictvím Mordehaie Milgroma, který v té době působil na Princeton Institute for Advanced Study. Veškeré předpovědi této teorie byly pozorováním potvrzeny, a to jak u malých galaktických a eliptických galaxií, tak i u galaktických kup. Prof. Kroupa spolu se svým vědeckým týmem v Bonnu vytvořil počítačový program a s jeho pomocí začali vědci simulovat výpočty vývoje galaxií v teorii MOND bez temné hmoty. První propočty ukazují, že i když je uvažován pouze plyn, vznikají v teorii MOND galaxie právě takové, jaké pozorujeme. Jde tedy o mnohem jednodušší a přirozenější výpočet nežli s temnou hmotou.

Řešení tohoto zásadního problému však v současné době ještě není jednoznačně objasněno, a proto je tato konference organizována jako další krok na cestě k pochopení fungování univerza. Více informací na: <https://astro.uni-bonn.de/~pavel/CONFERENCES/MOND2019/website/index.html>.

» Dynamické tření naznačuje, že temná hmota neexistuje...«
Pavel Kroupa



Temná hmota iniciuje vášnivou diskuzi.

Příležitosti dnešní fyziky

Luboš Veverka

Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, Praha

Jeden den s fyzikou, který pořádá tradičně Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, oslovil ve svém 22. ročníku stovky mladých zájemců. Potvrdil jim, že fyzika je perspektivním oborem i z hlediska profesního uplatnění.

V době digitálních technologií snadno podléháme dojmu, že k řešení problémů postačí „chytré aplikace“. Vzniká tak jeden z paradoxů současné společnosti, která nevěnuje dostatečnou pozornost vědním disciplínám, na nichž bytostně závisí. Přitom současná fyzika v mnoha svých odstínech nabízí mimořádně zajímavé možnosti uplatnění.

„Dynamika fyzikálního výzkumu je skutečně nebyvalá. Postupně na to reagují i firmy, které vytvářejí prostor pro tržně úspěšné aplikace. Osobně si myslím, že v posledních letech se aplikovaný výzkum ve firmách posunul na vyšší úroveň a dokáže lépe spolupracovat se základním,“ uvedl proděkan MFF UK pro propagaci doc. Martin Vlach.

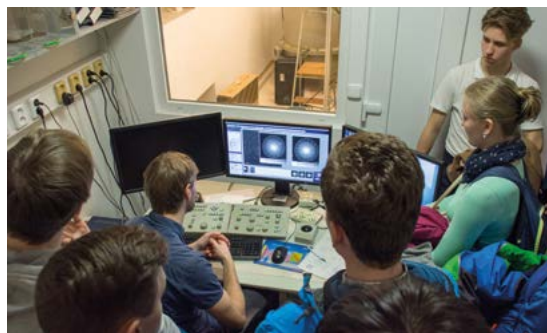


Obr. 1 Doc. Zdeněk Drozd pojal výklad o akustice v posluchárně T1 velmi originálně. Foto: L. Svoboda

Letošní Jeden den s fyzikou se na tuto situaci snažil v části programu reagovat. Přednáška absolventky fakulty Mgr. Jany Preclíkové, Ph.D., byla pro studenty názornou ukázkou možností v dnešní fyzice. Dr. Preclíková vystudovala obor kvantová optika a optoelektronika a postdoktorandské stáže strávila na univerzitě v Bergenu. Nakonec však dala přednost kariéře v aplikovaném výzkumu a s velkým úspěchem dnes působí v turnovském Cryturu, spol. s r. o., který vyrábí umělé krystaly a je oficiálním partnerem fakulty.

„Pro studenty to byl, myslím, velmi pěkný příklad, že studium teoretických oborů neznamená odtržení od praxe. Naopak jim dává daleko větší možnost volby oproti úzce a primárně prakticky zaměřeným oborům,“ rekapituloval význam absolventské přednášky doc. Vlach.

Více než 500 návštěvníků, převážně studentů nižších ročníků gymnázií, však zaujal také další popularizační program. Tradičně značný a kladný ohlas měly demonstrace rozličných fyzikálních jevů ve velkých posluchárnách dopoledne na Karlově (mechanika, op-



Obr. 2 Návštěvníci Jednoho dne s fyzikou na pracovišti elektronového mikroskopu JEOL 2200FS. Foto: L. Svoboda

tika, termodynamika, elektřina) a odpoledne v Troji, kde se prezentátoři zaměřili výhradně na akustické jevy. Studenti pak v nemalém počtu navštívili také odborná pracoviště, kde se seznámili s vybranými výzkumnými metodami a přístroji (rentgenová difrakce, elektronová mikroskopie a spektroskopie, počítačové modelování struktur a procesů apod.).

V rámci slavnostního zahájení připomněl proděkan pro fyzikální sekci MFF UK prof. Vladimír Baumruk, že karlovská budova fakulty je od svého počátku spojena s vynikající tradicí české fyziky. Rozvoji oboru do budoucna může napomoci také rozumná spolupráce s aplikovaným výzkumem, kterou MFF UK realizuje v rámci oficiálního partnerského programu. „Důraz na uplatnění je trvalou součástí propagačních kampaní, například na studium IT. Osobně si myslím, že fyzika nabízí v této oblasti daleko rozmanitější možnosti. Jen je nutné na to opakovaně upozorňovat nejen budoucí studenty, ale vlastně celou společnost,“ uzavřel hodnocení letošního ročníku Jednoho dne s fyzikou doc. Martin Vlach.



Obr. 3 Proděkan MFF UK pro propagaci doc. Martin Vlach zahajuje přednášku absolventky Mgr. Jany Preclíkové, Ph.D. Foto: P. Korcsok

Didymos „na odstřel“

Jana Žďárská¹, Petr Pravec²

¹ Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

² Astronomický ústav AV ČR, v. v. i., Fričova 298, 251 65 Ondřejov

Metodu „kinetic impactor“ (test změny trajektorie asteroidu na kolizní dráze Země) představuje Dr. Petr Pravec, pod jehož vedením česká spolupráce na tomto projektu probíhá.

„LIDÉ JSOU STVOŘENI K TOMU, ABY ROZJÍMALI A PŘEMÝŠLELI O VESMÍRU. ONI SAMI NEDOSAHOJÍ JEHO VRCHOLNÉ DOKONALOSTI, ALE JSOU SOUČÁSTÍ TÉTO DOKONALOSTI.“ *Cicero Marcus Tullius*

Kosmickým prostorem bloudí mnoho vesmírných objektů různých velikostí. Některé se pohybují po svých poměrně stabilních drahách, např. v pásu mezi Marsem a Jupiterem, jiné se nacházejí v oblasti za dráhou Neptuna. Naši Sluneční soustavu mohou navštívit i objekty z hlubokého vesmíru (‘Oumuamua), aby v něm poté opět zmizely. Tato tělesa představují pro Zemi vážnou hrozbu – vzpomeňme jen neslavného konce dinosaurů. Cílem astronomů je proto nejen pečlivě zmapovat pohyb teoreticky nebezpečných objektů, ale také umět změnit jejich trajektorii, pokud by tato směřovala k Zemi. Testování metody *kinetic impactor* proběhne za významné účasti ondřejovských astronomů. Podrobnosti tohoto programu nám objasní Dr. Petr Pravec, pracovník oddělení pro meziplanetární hmotu Astronomického ústavu AV ČR, pod jehož vedením česká spolupráce probíhá.

■ J. Žďárská: Vážený pane doktore, v současné době se zabýváte výzkumem asteroidů a mj. se významně podílíte na programu testování metody *kinetic impactor*. Asteroidy se svým způsobem prolínají všemi oblastmi vašeho vědeckého života. Je pravda, že na začátku této kariéry stál jeden běžný vánoční dárek?

P. Pravec: Ano, pamatuji si to docela přesně. Bylo mi devět let a pod vánočním stromčkem se na mě usmívala kniha „Trošečnicki vesmíru“ od Františka Běhounka. Tehdy jsem ještě nevěděl, že se o tuto tematiku budu v budoucnu tolik zajímat. Kniha vypráví o tom, jak se na Zemi řítí velká kometa. V té době se v autorově vyprávění chystala i mise k Marsu, a tak tato výprava místo na Marsu přistane právě na jmenované kometě a pokouší se ji odklonit.

■ JŽ: Zdá se, že vám tato kniha předpověděla budoucnost. Přesto jste se již od základní školy zajímal širěji o fyziku a matematiku. I na Masarykově univerzitě jste nestudoval astronomii, ale fyziku pevných látek. Uvažoval jste o astronomii spíše jako o koníčku?

PP: Vesmír mě zajímal již dříve. Když jsem přečetl jmenovanou knihu, chtěl jsem jej více poznat. Vyrostl jsem také „na Grygarovi“, jeho knize Vesmír a pořadu Okna vesmíru dokořán. Naučil jsem se hvězdná souhvězdí a sledoval nebeské objekty dalekohledem, který jsem dostal od rodičů. Po gymnáziu, kde jsem byl



Mgr. **Petr Pravec**, Dr. (*1967) je mezinárodně uznávaný český astronom. Vystudoval obor fyzika pevných látek na Masarykově univerzitě v Brně. Postgraduálně absolvoval obor astronomie a astrofyzika na Univerzitě Karlově v Praze. Pracuje jako vedoucí vědecký pracovník na Astronomickém ústavu Akademie věd ČR v Oddělení pro meziplanetární hmotu v Ondřejově. Aktivně působí v oblasti výzkumu asteroidů od roku 1992. Pracuje jako vedoucí skupiny Asteroids a vede také skupinu stanic BinAstPhotSurvey, které hledají binární asteroidy. Objevil více než 300 planetek. Je po něm pojmenována planetka (4790) Petrpravec, kterou v roce 1988 objevila americká astronomka Eleanor F. Helinová. Účastní se programu testování odklonění asteroidu pomocí metody *kinetic impactor*.

v matematicko-fyzikální třídě, jsem přemýšlel o tom, jaký obor na vysoké škole studovat. Rodiče říkali, že astronomů není moc a že bych třeba později nemusel mít dobré uplatnění. Osobně jsem na studiu astronomie tehdy netrval, a tak jsem si vybral fyziku. Zdálo se mi dobré mít solidní matematické a fyzikální základy. Astronomii jako takovou jsem poté studoval až postgraduálně. Do té doby byla jen mým koníčkem, nyní už je to práce, ovšem velmi zajímavá (a pořád vlastně i trochu koníček)...

■ JŽ: Astronomii jste studoval na Univerzitě Karlově v Praze. Jakým vesmírným objektům jste se při studiu nejvíce věnoval?

PP: Já jsem vždycky spíše tíhнул ke Sluneční soustavě, více mě zajímalo to bližší než to vzdálenější. Snad

Abstracts of review articles

Zdeněk Stuchlík, Petr Slaný and Jiří Kovář: **Manifestations of the cosmological constant in astrophysics**

A wide range of cosmological tests indicates that various properties of the Universe can be well explained by the presence of a uniformly dispersed dominant part of the current energetic content, i.e. so-called dark energy. Its basic feature is expressed by cosmic repulsion, causing an accelerated expansion of space, whereas the density of dark energy remains unchanged; in Einstein field equations, dark energy is well described by the cosmological constant (Λ). Clearly Λ must be defined not only in Universe evolution, but also in astrophysical processes. Here we introduce some of the astrophysical phenomena of Λ studied by the relativistic group in



Opava, e.g. its influence on the motion of stars in the gravitational field of supermassive black holes, on the motion of dwarf galaxies at the peripheries of giant galaxies, on the form and properties of toroidal configurations of fluid circling around supermassive black holes, or on polytrophic configurations modelling dark matter halos.

Stanislav Daniš: **Overview of the physical papers in 2018**

2018 was again full of exciting scientific discoveries and foreground knowledge. Here we give a brief overview of selected papers from the best scientific journals, i.e. Nature, Science, Nature Physics, and Nature Astronomy.

Rainer Weiss, Barry Barish and Kip S. Thorne: **Nobel lectures: LIGO and the discovery of gravitational waves I., II. and III.**

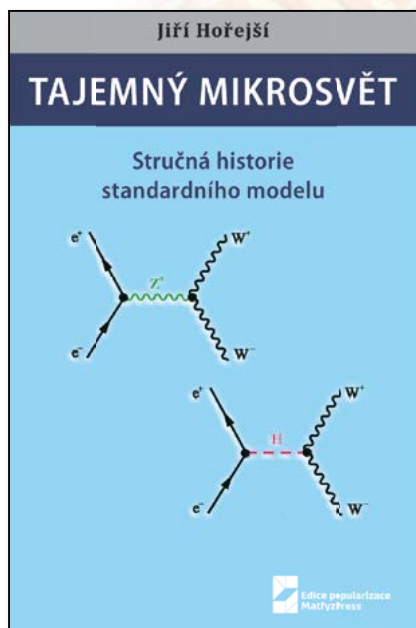
This article presents translations from the Nobel lectures for physics in 2017 given by all three laureates, who decided to use the same title, but each one focused on different aspects of the discovery. Weiss discussed the early history of gravitational waves and presented the concepts needed to understand the detectors as well as the challenges faced in measuring strains as small as 10^{-21} . Barish describes how the LIGO project was organized to make steady improvements and ultimately carried out a successful scientific program. He describes signal detections as well as ideas of how to improve the detectors. Thorne presented the broader aspects of the new field of gravitational wave astronomy. He described the critical role of numerical relativity simulations and understanding quantum mechanics of precision measurements. He also gave a vision of the science that could come from an investigation of the gravitational wave sky from periods of fractions of milliseconds to tens of billions of years.

NAKLADATELSTVÍ MatfyzPress MFF UK

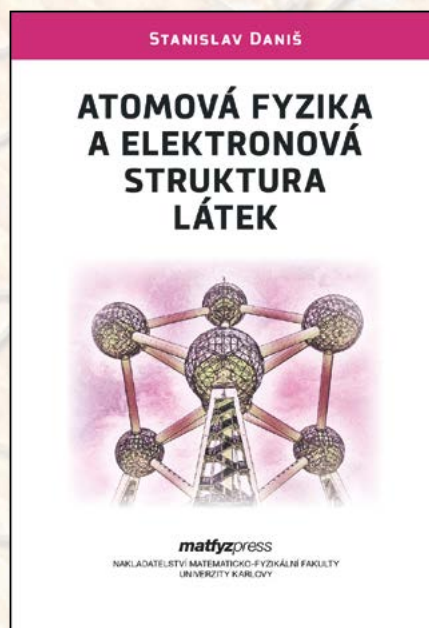


**Edice popularizace
MatfyzPress**

matfyzpress
odborná edice



128 stran
1. vydání
velikost
13 × 20 cm



428 stran
1. vydání
velikost
16 × 23,5 cm

e-shop: www.matfyzpress.cz

prodejna nakladatelství - budova MFF UK, Sokolovská 83, Praha 8



VELETRH VĚDY 2019

VELETRH VĚDY

6.–8. 6. 2019

PVA EXPO PRAHA

VSTUP ZDARMA

WWW.VELETRHVEDY.CZ

ZAŽIJTE FYZIKU

LASEROVÉ BLUDIŠTĚ • MLŽNÁ
KOMORA • TENKÉ VRSTVY
PRO SOLÁRNÍ PANELE • BARVY
SVĚTLA • MĚŘENÍ OBLAČNOSTI
• OPTICKÁ VLÁKNA • CHYTRÉ
MATERIÁLY • A MNOHEM VÍCE ...

FYZIKÁLNÍ ÚSTAV / ÚSTAV FOTONIKY
A ELEKTRONIKY / ÚSTAV FYZIKY
ATMOSFÉRY / ÚSTAV FYZIKY MATERIÁLŮ
/ ÚSTAV FYZIKY PLAZMATU / ÚSTAV
JADERNÉ FYZIKY / ...



Akademie věd
České republiky