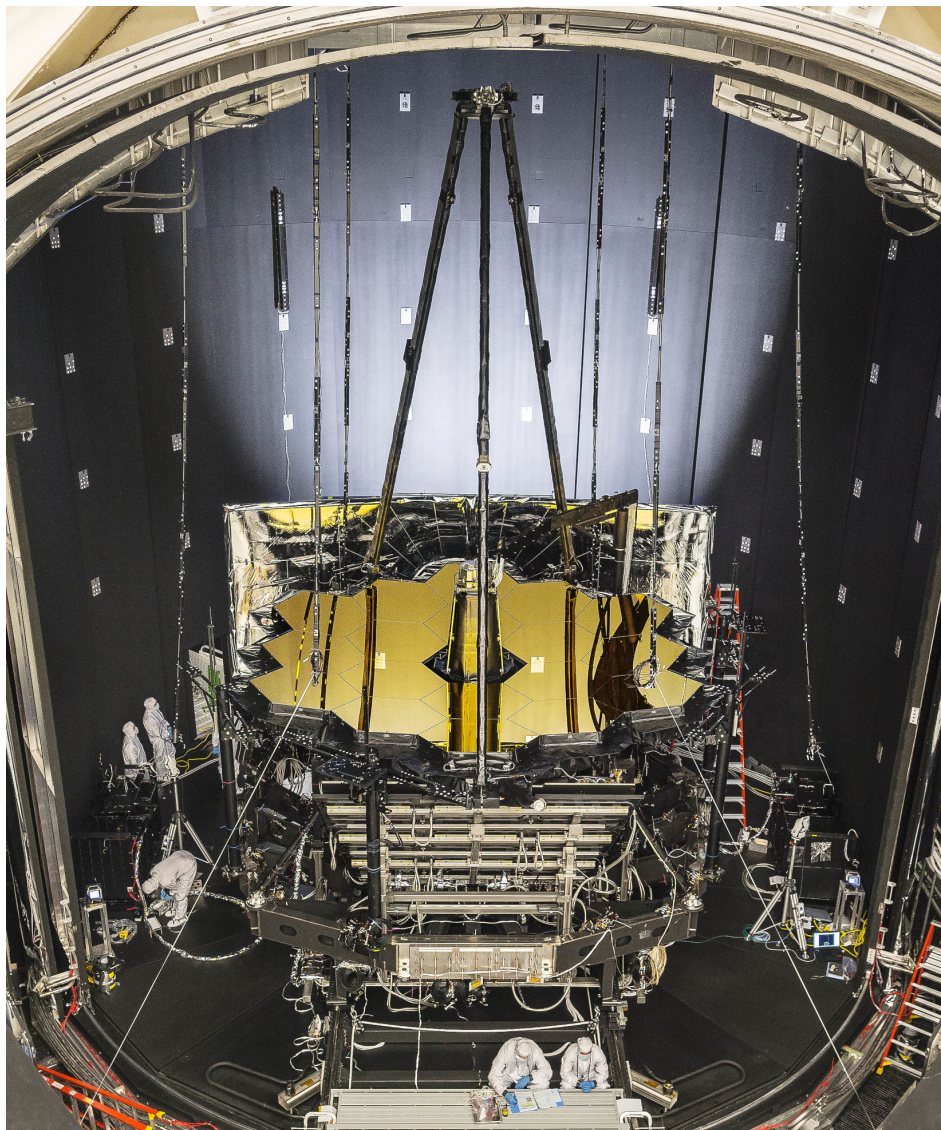



POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis * ročník 26 * číslo 3/2018



SLOVO ÚVODEM. 100 let? Co to znamená ve vývoji astronomie a fyziky? Tuto otázku si klademe u příležitosti, která je v základu politická, ale zároveň osobní, protože prostě: ! Zároveň si dovoluujeme upozornit na zbrusu novou mapku otočné oblohy a připojit pojednání o dvou orlojích, které jsou v leccems podobné orloji Pražskému.

Miroslav Brož

Obsah

strana

Miroslav Brož: <i>Co jsme věděli (a nevěděli) před 100 lety</i>	3
Miroslav Brož, Miroslav Krejčí, Martin Mařák: <i>Nová otočná mapka oblohy</i> . .	23
Miroslav Brož, Martin Šolc: <i>Podobné orloje v Lundu a Doberanu</i>	25

Titulní strana — James Webb Space Telescope při testech v chladné komoře. © NASA. K článku na str. 3.

Povětroň 3/2018; Hradec Králové, 2018.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (3. 11. 2018 na 333. setkání ASHK)
ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 28 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213-659X

Redakce: Miroslav Brož, Miloš Boček, Martin Cholasta, Josef Kujal,

Martin Lehký, Lenka Trojanová a Miroslav Ouhrabka

Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,- Kč za číslo (včetně poštovního)

Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828

e-mail: ashk@ashk.cz, web: <http://www.ashk.cz>

Dovolu mi u příležitosti 100letého výročí naší milované republiky zamyšlení nad tím, nad čím lidé přemýšleli před 100 lety. Zřejmě nad budováním republiky! Obávám se, že astronomie byla naprosto okrajová; nicméně doufám, že dnes to už neplatí. V rozmezí let 1918 až 1928 se totiž odehrálo několik převratných fyzikálních objevů, které nejen, že změnily fyziku, ale ve svém důsledku celou společnost.

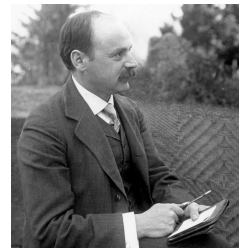
Předtím se ale musím k něčemu přiznat. Některé věci totiž člověku dojdou poněkud pozdě. Když jsem před lety navštívil observatoř ve Flagstaffu, kde Tombaugh (1930) objevil Pluto, visely na zdi nějaké místní noviny, možná The Coconino Sun, a v nich čerstvá zpráva o objevu Pluta. Přečetl jsem si pár odstavečků, kde se mimo jiné psalo, že: „Použijeme-li *podivný* Titiův–Bodeho zákon pro odhad vzdálenosti planety, ...“ A tehdy mi to všechno došlo, to slovo „*strange*“ znamená, že oni věděli, že neví! Že onen „zákon“ neplatí, protože nevědí, proč by měl, že neznají vzdálenost, že neznají albedo, že velikost Pluta je nejistá, atd. Jsem si naprosto jist, že bychom si s tehdejšími vědci rozuměli. Pochopil jsem, že i přes uplynulé století jsme si blízcí. A pokud bychom se znali osobně, pravděpodobně bychom si tykali. :)

A nyní k jednotlivým osobnostem a objevům. Kromě nich sem–tam zmíníme i „drby“. Ne že bych chtěl Povětroň posunout na úroveň bulváru, ale drby používám jako mnemotechnickou pomůcku, pomocí které si zpětně zapamatují zmiňované objevy. Kvůli dobovému kontextu začneme o pár let dříve, kdy ještě zuřila první světová válka. . .

1916: Karl Schwarzschild

*

Karl se narodil roku 1873 ve Frankfurtu. Působil na univerzitě v Göttingenu, kde se potkával s Hilbertem, s Minkowskim. Není divu, že proto rozuměl geometrii křivého prostoru. V roce 1914 však narukoval a účastnil se bojů na západní i východní frontě. Při čekání v zákopech, které nebralo konce, našel přesné sférické řešení Einsteinových rovnic pole, neboli následující metriku:



$$g_{ik} = \begin{pmatrix} 1 - r_S/r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(1 - r_S/r)^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r^2 \sin^2 \vartheta \end{pmatrix},$$

kde $r_S \equiv 2GM/c^2$ je pojmenováno na jeho počest. Není to ostatně jediná věc; známe též kupříkladu Schwarzschildovo kritérium (pro konvekci). Dosadíme-li do

$R_{ik} - \frac{1}{2}Rg_{ik} = 0$ (vakuové), vyjde $0 = 0$. V metrice je zřejmá skutečná singularita $r \rightarrow 0$; naopak $r \rightarrow r_S$ je jen souřadnicová singularita, kterou je možné odstranit transformací. $r = r_S$ interpretujeme jako horizont černé díry.

Objev světového významu však vzal smutný konec. Karl se vrátil z války jako invalida, trpěl těžkým autoimunitním onemocněním a zemřel roku 1916 v Postupimi, ve věku 42 let. Dokázal by si představit, že zatímco v jeho době bylo známo řešení a mohly se počítat světočáry (viz obr. 1 vlevo) — ovšem bez jakékoliv garance, že něco takového existuje — v dnešní době přímo pozorujeme hvězdy obíhající okolo existující černé díry mající $M = (4,1 \pm 0,1) M_\odot$ (obr. 1 vpravo)? Například pro hvězdu S0-2 Abuter aj. (2018) změřili při průletu pericentrem rychlost $0,0255c$ a zjistili gravitační rudý posuv a transversální Dopplerův jev, se $z \equiv \Delta\lambda/\lambda \doteq 200 \text{ km s}^{-1}/c$. Nechci Karla podceňovat, ale asi nedokázal.

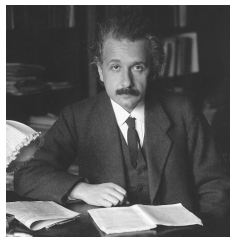
100

Dokážeme si představit, co budeme vědět za 100 let? Obávám se, že se budeme muset opravdu odvázat! Zkusme to, byť z nás budou mít legraci. Najdeme další přesná řešení Einsteinových rovnic (cf. Kerr 1963 a další). Změříme tangenciální pohyb hvězd v galaxii M 87. Předpovíme pády hvězd do černé díry. Objevíme exotické substelární černé díry? Objevíme existující červí díru? To jsme asi přehnali.

1917: Albert Einstein

*

Albert se narodil 1879 v Ulmu, působil později v Bernu, Zürichu, Praze, Berlíně, atd., zemřel roku 1955 v Princetonu. Mimochodem, neviděli jste film, který momentálně běží? Dovolím si pouze poznamenat pod čarou, že jeho syn Hans A. Einstein byl hydraulický inženýr a že o svém otci nikdy nemluvil. Jako druhý zmíníme jeho objev stimulované emise, nikoliv relativitu. Publikoval jej v *Phys. Zeit.*, **18**, 121–128, 1917, kde emisní a absorpční koeficient:

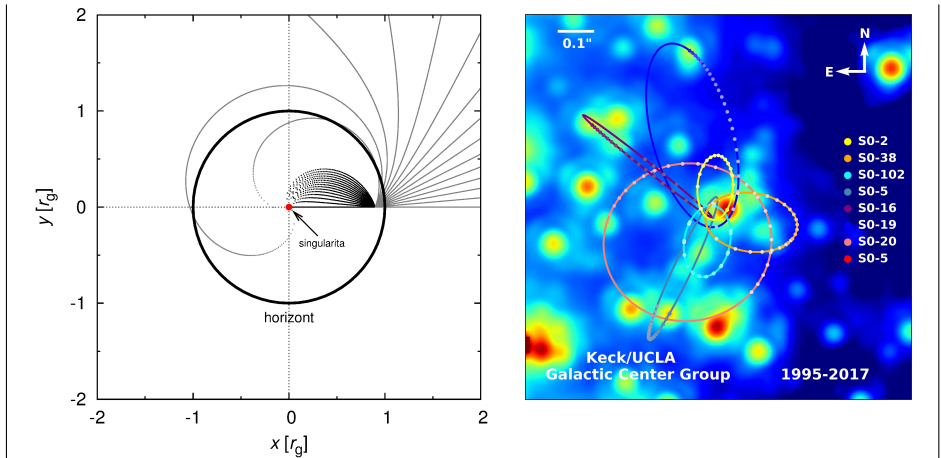


$$j_\nu \rho = \frac{h\nu_{12}}{4\pi} n_2 A_{21} \phi_{12}(\nu),$$

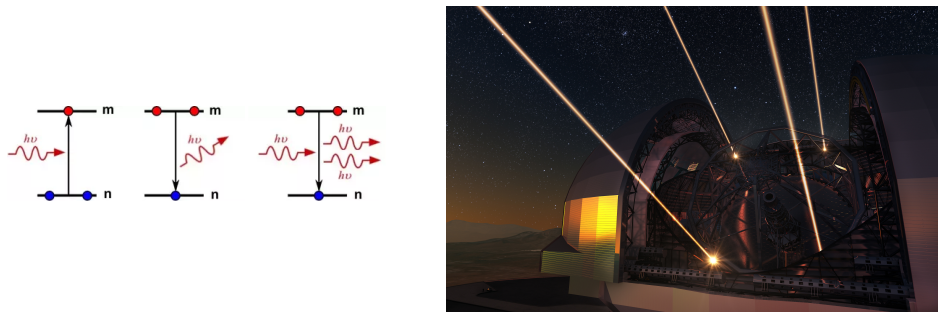
$$\kappa_\nu \rho = \frac{h\nu_{12}}{4\pi} (n_1 B_{12} - n_2 B_{21}) \phi_{12}(\nu),$$

vztáhl ke kvantovým vlastnostem (dvouhladinového) atomu, koeficientům A_{21} , B_{12} , B_{21} spontánní emise, absorpce a stimulované emise, která se zde jeví jako záporná absorpce. Vznikají při ní koherentní fotony, mající stejnou frekvenci, směr, polarizaci. Vztahy mezi A_{21} , B_{12} , B_{21} přitom určuje detailní vyrovnání (rovnováha). Před 100 lety nebylo zřejmé, zda může v přírodě nebo alespoň v laboratoři vzniknout situace tak nerovnovážná, že stimulovaná emise zcela převládne. Až Kastler (1950) navrhl, že pumpování na vyšší (třetí) hladinu může vytvořit inverzi

*



Obr. 1 — Vlevo: teoretické trajektorie fotonů ve Schwarzschildově metrice, začínající pod horizontem černé díry a padající do singularity. Vpravo: hvězdy obíhající okolo černé díry v centru Galaxie pozorované pomocí adaptivní optiky na dalekohledu Keck. Odvozené trajektorie osmi hvězd jsou vyznačeny elipsami. Převzato z Hees aj. (2017).



Obr. 2 — Vlevo: schématické znázornění dvouhladinového atomu, v němž probíhá absorpce fotonu a zvýšení energie atomu z hladiny n na m , spontánní emise a stimulovaná emise. Vpravo: představa fungování adaptivní optiky na ELT, kde 4 laserové svazky vytvářejí vysoko v atmosféře umělou hvězdu (LGS). © ESO.

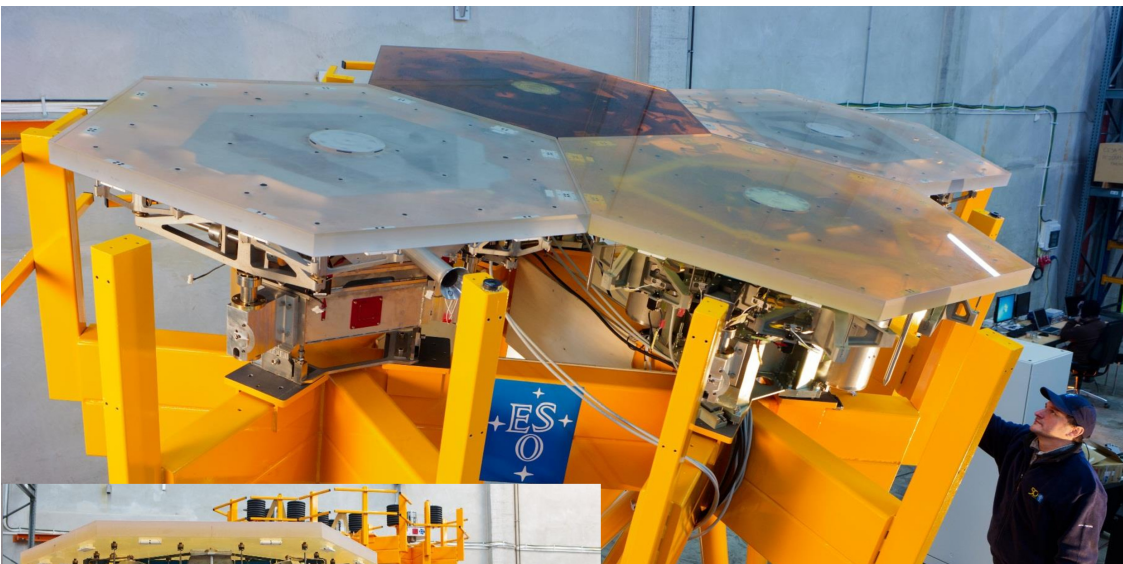
hladin, což by vedlo k zesilování světla, čili *laseru* (angl. light amplification by stimulated emission of radiation). Jeho konstrukce se podařila Maimanovi (1960).

Nejdůležitější aplikací laseru je bezpochyby metrologie. S pomocí techniky PDH (Drever aj. 1983) se podařilo stabilizovat fluktuace frekvence natolik, že svazky jsou vysoce koherentní a umožňují fungování přístrojů, jako jsou zpoždovací dráhy interferometrů (VLTI), detektory gravitačních vln (LIGO, Virgo), astrometrické družice (Gaia) nebo v blízké budoucnosti ELT, jehož segmentové zrcadlo bude

řízeno právě laserovou metrologií. Další netušenou aplikací je adaptivní optika (obr. 2), kde se pomocí laseru vytváří umělá hvězda (LGS), jejíž obrazy se analyzují pomocí Hartmannova–Shackova senzoru. Nechci Einsteina podceňovat, ale. . .

100

Během dalšího století zvládneme kosmickou interferometrii. Družice LISA objeví stochastické pozadí gravitačních vln. Postaví se 2. generace ELT. Vyšleme interstelární interferometrické sondy do všech možných směrů a vzdáleností?

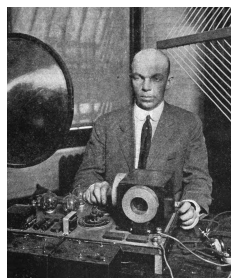


Obr. 3 — Prototyp 4 segmentů dalekohledu ELT, na němž probíhá testování a podle něhož bude vyrobeno celkem 798 segmentů. Převzato z Cayrel (2017).

1918: Edwin Armstrong

*

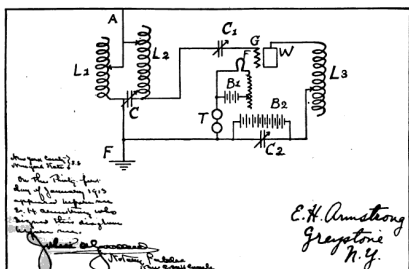
Není Armstrong jako Armstrong. Edwin se narodil roku 1890 v New Yorku a zemřel 1954 tamtéž. V roce 1918 podal patent na super-heterodynní obvod (přičemž za ním stála firma Westinghouse) a následně vedl spor s francouzem Lucienem Lévyem (za ním stála AT&T). V moderním provedení obvod sestává z následujících prvků: anténa → vlnovod → VF předzesilovač → směšovač + lokální oscilátor → NF zesilovač → diodový detektor → A/D převodník. Obvod je zásadním zlepšením přijímače; umožňuje volbu nosné frek-



*

vence, použití velkého zesílení, neboť je velmi selektivní, jen část pracuje na vysokých frekvencích, zbytek na nízkých. Obvod používají prakticky všechna rádia, televize, ale i rádiové a sub-mm dalekohledy, jako je ALMA (obr. 4).

Očekávat lze rozvoj terahertzové elektroniky. Rozvoj bezztrátových vlnodů. Proběhne rozšíření interferometru ALMA, a to ve frekvencích, ve sběrné ploše i ve vzdálenosti antén. Část bude obíhat na excentrické oběžné dráze (viz družici Spektr-R). Perturbace Měsíce zajistí rovnoměrné pokrytí (u, v) ? Postavíme kosmické antény napínané slunečním větrem?



Obr. 4 — Vlevo: schéma jednoduššího regeneračního obvodu E. Armstronga. Vpravo: heterodynní přijímače dalekohledu ALMA pro pásma 4, 8 a 10 (787 až 950 GHz). U posledního by byly patrné (shora): zrcadlo M1, zrcadlo M2, trychtýř, drátová síťka, izolátory, směšovače SIS, zesilovače, 1. stupeň chlazený na 4 K, 2. na 15 K, tepelné mosty a radiátory, 3. na 115 K a 4. na 300 K.

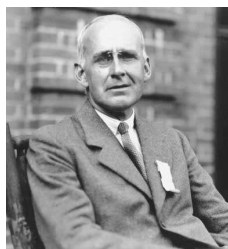
1919: Arthur Eddington

*

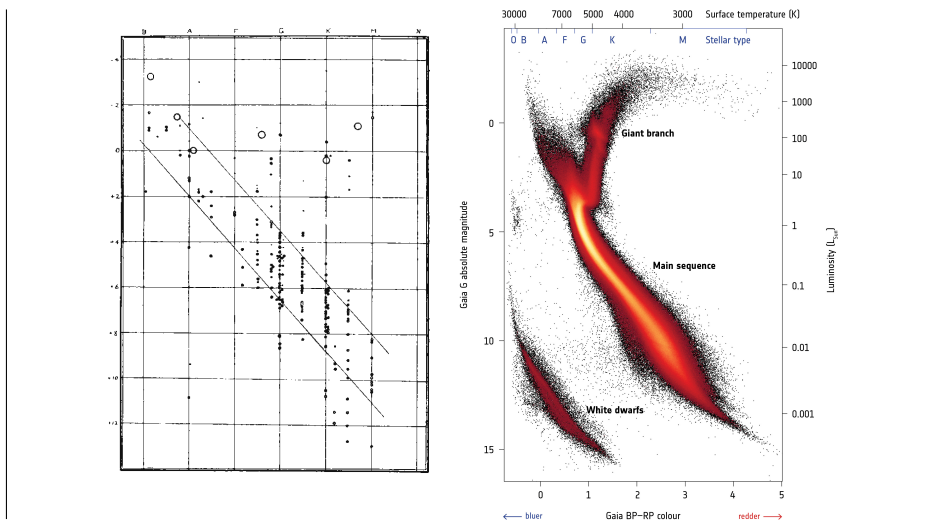
Arthur — to jsem si dovolil příliš, se sirem Eddingtonem bych si určitě netykal — se narodil v roce 1882 v Kendalu a žil do roku 1944 v Cambridge. Na tamní univerzitě studoval vnitřní stavbu hvězd, konkrétně použil rovnici kontinuity, rovnici hydrostatické rovnováhy a rovnici polytropy $P = K\rho^\gamma$, čímž získal rovnici typu:

$$\frac{d^2\varphi}{dz^2} + \frac{2}{z} \frac{d\varphi}{dz} + \varphi^n = 0,$$

kde φ označuje škálovaný gravitační potenciál, z škálovanou souřadnici; dnes ji nazýváme rovnice Laneova–Emdenova. Byl tak schopen spočítat centrální hustotu hvězd a nebyl přitom daleko od pravdy. A to přesto, že neznal opacitu κ , neznal parametry turbulence (konvekce), nepoužil ani rovnici přenosu energie.



*



Obř. 5 — Vlevo: Russellův diagram z roku 1914, pro několik desítek hvězd se známým spektrálním typem (O až M) a vzdáleností, potažmo luminozitou L . Vpravo: HR diagram podle astrometrických měření družice Gaia, pro 4 milióny hvězd, které byly zatím zpracovány (Babusiaux aj. 2018). Bod neznázorňuje polohu jedné hvězdy, nýbrž jeho barva znázorňuje, kolik hvězd tam spadá.

V důsledku však předpověděl termonukleární reakce a vyvrátil teorii Kelvinovy–Helmholtzovy kontrakce. Jeho velkým rivalem byl mimochodem Jeans (viz dále) nebo Chandrasekhar. Bylo to ostatně období před kolapsem Britského impéria, jehož představitelé se vůči jiným chovali přinejmenším povýšeně, ne-li hůře. Chandrasekhar ho dokonce popisuje jako hrubého, dogmatického a rasistického; i když je pravda, že jím rozpracovaná teorie černých děr byla „černým hadrem“.

Porovnejme však vizuálně, co jsme o hvězdách věděli před 100 lety. Russell se odvážil na diagramu spektrální typ – luminozita načrtnout dvě linie, naznačující korelaci dnes nazývanou hlavní posloupnost. Naproti tomu aktuální HR diagram zahrnuje milióny hvězd. Nikdy předtím jsme ji neviděli tak zřetelně, včetně červených trpaslíků. Její šířka je dána metalicitou, rotací, případně dvojhvězdami. Vyvinuté hvězdy pak tvoří větev podobrů, větev červených obrů (RGB), horizontální větev, asymptotickou větev (AGB). Patrné jsou i detaily, jako je zastávka na větvi červených obrů (RGB dip) kvůli interakci zóny konvektivní se zónou změněného chemického složení, která způsobuje změnu složení obálky, nebo vrchol této větve (RGB tip), kde dochází k zažehnutí helia v jádře, nebo dvojitá posloupnost bílých trpaslíků. Nikdy předtím jsme neměli tak přesné parametry hvězd, čímž se podstatně zpřesňují i parametry exoplanet (Johns aj. 2018).

Již nyní začínáme získávat HR diagramy pro cizí galaxie, i když z nich zatím vidíme vršek. S pomocí extrémních gravitačních čoček rozlišíme populace hvězd v nejbzdálenějších galaxiích. Najdeme konečně hvězdy populace III. Nedržíme se při zemi. Prozkoumáme Proximu Centauri *in situ*? Pronikneme snad do nitra Slunce?

1919: James H. Jeans

*

James se narodil roku 1877 v Ormskirku, působil v Cambridge, Princetonu, na observatoři Mt. Wilson, zemřel roku 1946 v Dorkingu. Je po něm pojmenováno vícero věcí v astrofyzice, např. Jeansova délka, hmotnost, nestabilita, únik, teorém, atd. Konkrétně délka (Phil. Trans. R. Astron. Soc., **199**, 1–53, 1902):



$$\lambda_J = \frac{c_s}{\sqrt{G\rho}}, \quad c_s = \sqrt{\frac{\gamma kT}{\mu m_u}},$$

kde c_s označuje rychlost zvuku, ρ hustotu. Pro mezihvězdný oblak, který by měl určitou ρ , c_s a poloměr $r > \lambda_J$, by došlo ke gravitačnímu kolapsu. Jednalo se o zásadní výsledek. James podrobně studoval hypotézy vzniku planetárních systémů, nebulární *versus* rotační *versus* slapové. Byl též zastáncem hypotézy stacionárního vesmíru, v němž se tvoří hmota.

Co se planetárních systémů týče, byl schopen počítat stacionární řešení rotujících těles a mezi nimi črtat obrázky (Jeans 1919). Usoudil, že sluneční soustava nemohla vzniknout rotací, nýbrž slapové. Porovnejme to se současností, přihřejme přitom vlastní polívčičku, kdy jsme schopni počítat vývoj disku plynu, balvanů a prachu v čase, jeho vliv na planety, jak planety migrují, akretují, jak se zvyšují jejich excentricity a sklony, jak interagují navzájem (Chrenko aj. 2017, Brož aj. 2018). Na druhou stranu ale nejsme schopni rozhodnout, jak přesně vývoj probíhal, neboť to pochopitelně závisí na počátečních podmínkách a parametrech problému.

Po 100 letech bychom měli vývoj disků přímo pozorovat, tedy alespoň 10 oběhů (na 5,2 au). Při pozorování 10^3 disků uvidíme vzácné události, např. srážky protoplanet. Konečně porozumíme turbulenci. Výpočty budou pokrývat celou dobu existence plynného disku, včetně jeho rozplynutí, a přitom zahrnovat přesný přenos záření, nerovnovážné hydrodynamické jevy (neideální MHD). Namísto hydrodynamiky se snad použije úplný popis distribuční funkcí (v každém bodě)?

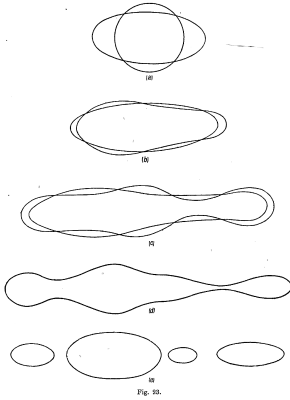
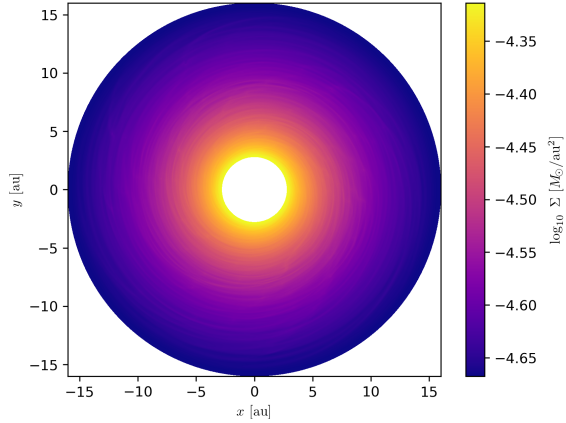


Fig. 59.

EXPLANATION.

- (a) Collapsed sphere, and inner spheroid which is statically stable.
- (b) Longest spheroid which is dynamically stable, and pear-shaped figure derived by tidal harmonic displacement.
- (c) More elongated pear-shaped figure, and figure derived by fourth harmonic displacement.
- (d) The last figure more elongated, and with 8th harmonic displacement superposed.
- (e) Conjectural drawing of subsequent configuration.

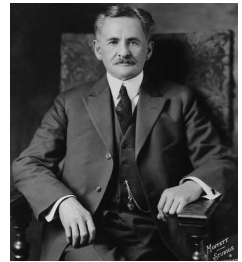


Obr. 6 — Vlevo: kvalitativní popis vývoje rotujícího tělesa pod vlivem slapů dalšího tělesa (Jeans 1919). Vpravo: dvourozměrná hydrodynamická simulace protoplanetárního disku se 120 vnořenými planetami o počáteční hmotnosti $0,1 M_{\oplus}$ (Brož aj. 2018).

1921: Albert A. Michelson

*

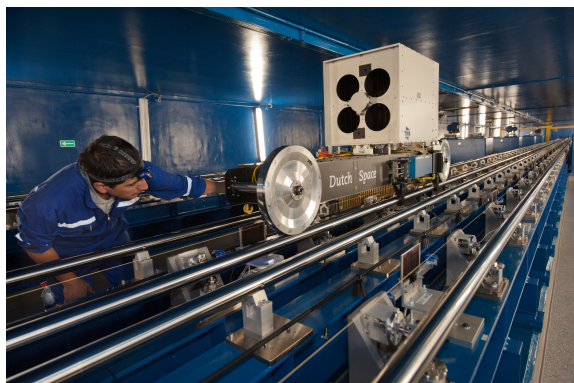
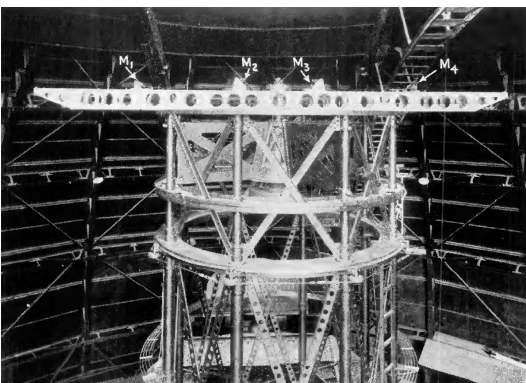
Albert se narodil roku 1852 ve Strzelnu (Polsku) a zemřel roku 1931 v Pasadeně. Jeho práce (např. z roku 1880) by si měli přečíst studenti praktika; je radost číst, jak přemýšlel o nejistotách při měření rychlosti světla. Ostatně za c v roce 1907 obdržel Nobelovu cenu. My si ho ovšem připomínáme pro optickou interferometrii, čili první pozorování proužků, čili kontrastu, čili průměru kotoučku hvězdy (α Ori). Pokud bychom takové pozorování zapsali matematicky (van Citterta 1934, Zernikeho 1938):



$$\mu(\vec{B}) \equiv \frac{\int I(\vec{\alpha}') e^{-ik\vec{\alpha}' \cdot \vec{B}} d\alpha'}{I_0},$$

kde μ označuje komplexní funkci viditelnosti, $I(\vec{\alpha}')$ rozložení intenzity zdroje, $k = 2\pi/\lambda$ vlnové číslo, $\vec{B} \equiv \lambda(u, v)$ promítnutou základnu interferometru. Jinými slovy, světlo přicházející od hvězdy, dopadající na dvě zrcadla (otvory), skládající se konstruktivně nebo destruktivně v ohniskové rovině, umožňuje při různých nastaveních \vec{B} získat Fourierovu transformaci $I(\alpha)$, respektive vypočítat průměr kotoučku. Michelson byl po zásluze jmenován prezidentem Národní akademie věd.

*



Obr. 7 — Vlevo: Michelsonův hvězdný interferometr v podobě ramene se 4 zrcátky, umístěného v horní části 2,5m dalekohledu na Mt. Wilsonu. Vpravo: zpožďovací dráha VLTI, s jedním vozíkem se zrcadlem typu „kočičí oko“. © ESO.

Za to, že v současnosti interferometry fungují jak na běžícím páse, vdčíme Labeyriemu (1975), který jako první pozoroval interferenci ze dvou oddělených dalekohledů, a Merklemu (1982), který zkonstruoval zpožďovací dráhu, kompenzující otáčení Země. Jedním z přístrojů je VLTI, který dnes umožňuje kombinovat světlo ze všech 4 dalekohledů VLT a 6 pomocných AT. Promítnutá základna $|\vec{B}| = 120$ m sice není z nejdelších, ale schopnost pozorovat slabé zdroje je nedocenitelná a umožňuje donedávna neuvěřitelná pozorování (Abuter aj. 2018). Co si však Albert v žádném případě nedokázal představit, že se interferometr použije zcela jiným způsobem — pro měření deformace řádu $\delta L/L = 10^{-18}$ způsobené procházející gravitační vlnou, periodicky měnící metriku g_{ik} (Abbott aj. 2016).

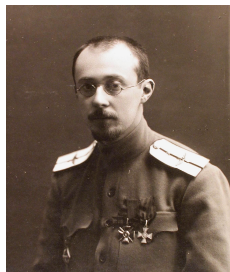
100

V zářné budoucnosti zvládneme interferometrii v UV; využijeme tak skutečnosti, že λ je ve jmenovateli. Provedeme celooblohovou interferometricko–astro-metrickou přehlídku?

1922: Alexandr Fridman

*

Alexandr je rodák z Petrohradu (1888 až 1925), kde také celý život působil. Zabýval se především meteorologií, dokonce jeden čas držel výškový rekord v letu balónem (asi 7400 m). Bohužel, po takovém letu balónem nastydl a zemřel; nebo to snad bylo po dovolené na Krymu? Pro jistotu bych nedělal ani jedno! Předtím našel nestatické řešení Einsteinových rovnic pole (Zeit. Phys., **21**, 326–332, 1922), ve kterém je rozpínání prostoru (nikoli času!) popsané funkcí $a(t)$, nazývanou expanzní parametr, a křivostí

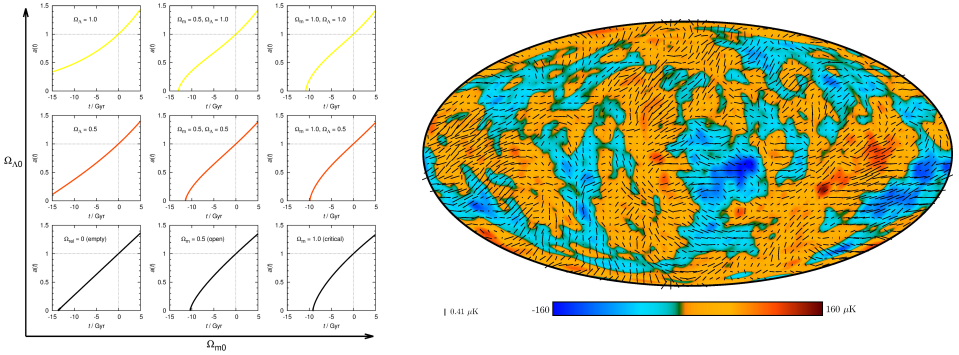


*

prostoru K , prozatím bez kosmologické konstanty Λ . Konkrétně je metrika (označovaná jako FLRW):

$$g_{ik} = \begin{pmatrix} -c^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{a(t)^2}{1-Kr^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a(t)^2 r^2 d\theta^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a(t)^2 r^2 \sin^2\theta d\phi^2 \end{pmatrix},$$

kde konkrétní průběh $a(t)$ nebyl znám, neboť závisí na parametrech, zejména relativní hustotě látky Ω_m a relativní hustotě odpovídající kosmologické konstantě Ω_Λ . Mohl si tedy stejně jako my průběhy spočítat, ale bez měření nevěděl, že správný je někde uprostřed.



Obr. 8 — Vlevo: průběh expanzního parametru $a(t)$ pro různé modely homogenního a izotropního vesmíru. Na vodorovné ose je relativní hustota hmoty Ω_m , na svislé kosmologické konstanty Ω_Λ . Vpravo: mapa kosmického mikrovlnného pozadí podle měření družice Planck, pro jednu z polarizací, s fluktuacemi teploty $\delta T = \pm 160 \mu K$ (Aghanim aj. 2018).

Nejdůležitějším pozorováním, které umožňuje omezit $a(t)$, je kosmické mikrovlnné pozadí (CMB; Penzias & Wilson 1965). Je fascinující, že pro popis jeho fluktuací stačí pouhých 6 kosmologických parametrů! Jejich hodnoty podle měření družice Planck (Aghanim aj. 2018) jsou:

$\Omega_b h^2 = 0,0224 \pm 0,0001$	relativní hustota baryonové látky (dnes);
$\Omega_c h^2 = 0,1193 \pm 0,0009$	relativní hustota temné látky;
$100\theta_{MC} = (1,0410 \pm 0,0003) \text{ rad}$	akustická úhlová škála CMB, $0,5^\circ$;
$\tau = 0,056 \pm 0,007$	optická hloubka reionizace, první *;
$\ln(10^{10} A_s) = 3,05 \pm 0,01$	amplituda fluktuací křivosti (počáteční);
$n_s = 0,967 \pm 0,004$	spektrální index fluktuací.

Vychází odtud přímo stáří vesmíru $t_0 = (13,79 \pm 0,02)$ Gyr nebo Hubblův parametr $H_0 = (67,4 \pm 0,5)$ km s⁻¹ Mpc⁻¹. Je třeba přiznat, že tato hodnota je v určitém rozporu ($3,7\sigma$) s jinými měřeními ($(73,5 \pm 1,6)$ km s⁻¹ Mpc⁻¹; Riess aj. 2018) a není jasné, čím je to způsobeno. Snad přílišnou jednoduchostí kosmologického modelu, snad chybami v kalibraci cefeid.

100

Za další století budeme znát kosmologické parametry „bez“ systematických chyb a s mnohem menší relativní chybou (10^{-6} nebo lepší). Přesná měření polarizace prokáží g-módy, čili prvotní gravitační vlny. Porozumíme, proč standardní model (Λ -CDM) vyžaduje rozšíření nad rámec známé fyziky — inflaci, temnou látku, temnou energii (tzn. Λ). Bude plochost vesmíru zpochybněna?!

1923: Arthur H. Compton

*

Arthur pocházel z Woosteru (1892), působil mj. v Berkeley, kde také zemřel v roce 1962. Jeho první bratr zastával vysokou funkci na MIT, jeho druhý bratr zastával taktéž vysokou funkci na University of Washington, takže se musel jako třetí bratr zatraceně snažit. Je po něm pojmenován Comptonův rozptyl, kdy se rentgenové záření (fotony) rozptylují na elektronech, přičemž se mění vlnová délka, jak se předává hybnost, což je experiment přímo prokazující dvojí povahu záření (vln, částic):



$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \vartheta),$$

kde h označuje Planckovu konstantu, m_e hmotnost elektronu, ϑ úhel rozptylu. Planckův zákon sice naznačoval kvanta, ale až Comptonův experiment je považován za potvrzení duality. Ostatně je to věc, za kterou si fyzikové zaslouží obdiv: první nemá pravdu („záření jsou vlny“), druhý nemá pravdu („záření jsou částice“) a výsledek je, že *oba* mají pravdu! Nejsem si ale jist, jestli by se postup v jiných oborech nezvrtil. Obdobou v politice by byl zřejmě doublethink (Orwell 1984). Arthur se dále věnoval studiu kosmického záření, kladl si otázku jeho původu. V roce 1927 obdržel Nobelovu cenu. Byl též účastníkem projektu Manhattan.

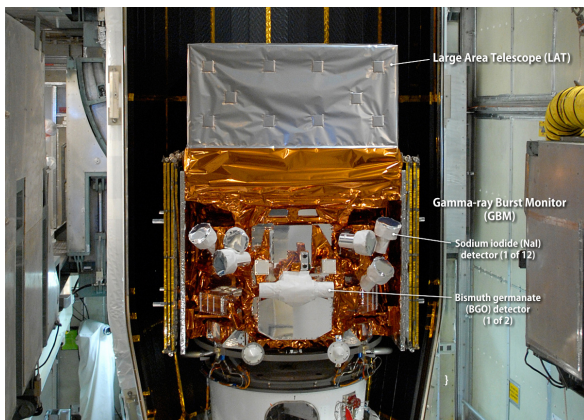
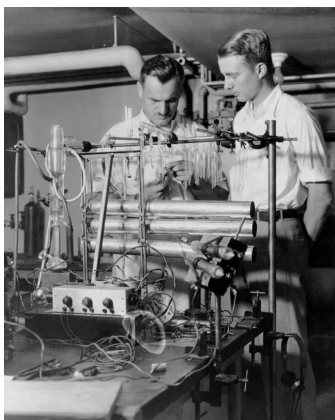
Nepochybně by žasl nad dnešními kosmickými detektory záření γ , například družicí Fermi (Compton byla starší). Ta zachycuje fotony s energiemi 20 MeV až 300 GeV, a to při produkci párů, $\gamma + W \rightarrow W + e^+ + e^-$, pak se sledují trajektorie nabitých částic. Zároveň musí být družice vybavena kalorimetrem ze scintilátoru CsI, který je nutný pro určení celkové energie, a zároveň autokoincidenčním scintilátorem (neboť pozadí je na úrovni 10^5). Dopady fotonů γ jsou vskutku diskrétní události, každé měření směru má jistou chybu, takže oblohu je třeba měřit dosti

*

dlouhou dobu (5 let), abychom identifikovali diskrétní i difuzní zdroje. Mezi nejsilnější patří Cen A, Vela, Geminga nebo M 1, ale známy jsou již stovky. Jeden nenápadný blazar (TXS 0506+056) se nedávno podařilo ztotožnit jako původce neutrína o energii 290 TeV (!), což je v historii podruhé, kdy se podařilo souběžně pozorovat γ a ν (Aartsen aj. 2018).

100

Odteď budeme (alespoň některé) zdroje pozorovat ve všech oborech: γ , ν , gravitační vlny plus „křoví“. Není možné, aby celá Země byla detektorem? Nebo celé Slunce?!



Obr. 9 — Vlevo: Compton v laboratoři s prototypem detektoru kosmického záření. Osoba vpravo je Luis Alvarez, pozdější autor teorie o vyhynutí dinosaurů impaktem. Vpravo: družice Fermi s detektorem záření γ produkujícím páry (e^+e^-), který je vidět v horní části jako obdélník (LAT).

1924: Walter Baade

*

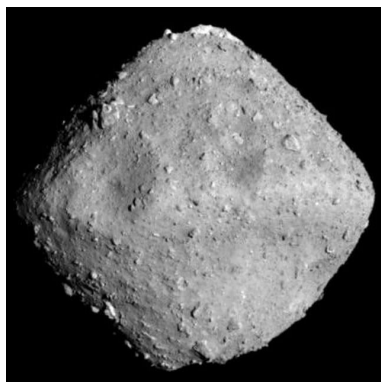
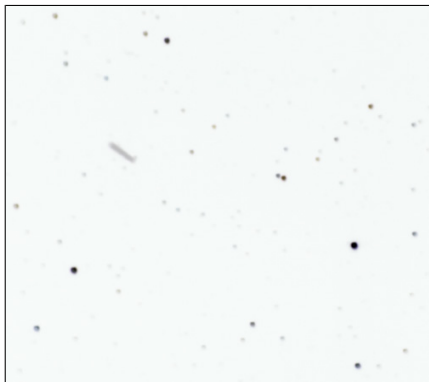
Walter se narodil v roce 1893 ve Schröttinghausenu a zemřel v roce 1960 v Göttingenu. V roce 1924 uskutečnil „malý“ objev planety (1036) Ganymed, což je dodnes největší blízkozemní těleso o průměru 35 km. Později učinil opravdu velké objevy: supernovy (společně s Zwicky), neutronovou hvězdu v M1, „okno“ s výhledem na výduť Galaxie (Baade 1946), 2 populace hvězd a 2 typy cefeid (Baade 1956), čímž se vesmír zvětšil faktorem 2.



Zatímco před 100 lety bylo možné na fotografických deskách měřit pouze polohy a jasnosti, dnes máme pro vybraná tělesa k dispozici poněkud podrobnější údaje. Například asteroid (162173) Ryugu o průměru pouhý 1 km byl nedávno navštíven kosmickou sondou, takže lze poznat tvar, topografii,

*

počty kráterů, počty balvanů, rozdělení velikostí, strukturu prachu, tepelnou setrvačnost, mineralogii povrchu, atd. Nakonec připomeňme, že se vloni dokonce podařilo objevit první *interstelární* asteroid 1I/‘Oumuamua (Weryk aj. 2017; Jewitt aj. 2017).



Obr. 10 — Vlevo: invertovaný snímek blízkozemní planety (1036) Ganymed, který připomíná fotografickou desku. Vpravo: snímek planety (162173) Ryugu ze sondy Hayabusa 2. © JAXA.

100

Když je pokrok takový, představme si, že za 100 let poznáme vnitřní strukturu planetek pomocí radaru. Postaví se konečně na povrch člověk (geolog)? Odebere vzorky z interstelárního objektu? Zjistíme, od které hvězdy pochází?

1925: Edwin Hubble

*

Edwin se narodil v roce 1889 v Marshfieldu a zemřel v roce 1953 v San Marinu. Pracoval na observatoři Mount Wilson s tehdejším největším 2,5m dalekohledem. Někde jsem četl, že si v tamní knihovně dopoledne vždy nastudoval libovolné téma, aby byl důkladně připraven ke hluboké diskuzi odpoledne. Rozpoznal extragalaktické cefeidy a posléze v roce 1929 odvodil vzdalování galaxií:



$$v_{\text{rad}} = Hd,$$

kde Edwinova konstanta úměrnosti $H = 500 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$; dnešní hodnota je však $(67,4 \pm 0,5) \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Zajímavé je, že on sám příliš nedůvěřoval kosmologii, tedy tomu, že by vzdalování bylo způsobeno unášením rozpínajícím se prostorem. To byl jeden z neoficiálních důvodů, proč byla přijata rezoluce IAU 2018 B4, doporučující výše uvedený zákon nazývat Hubblův–Lemâitřův. Georges

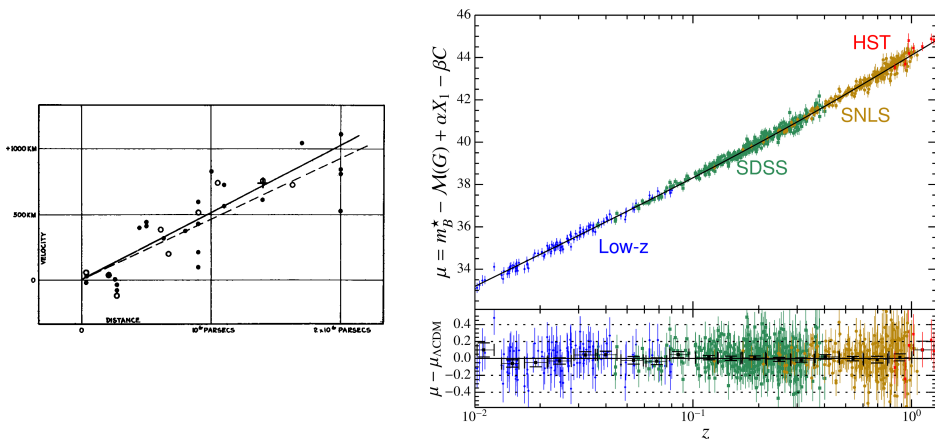
*

Lemâitre si závislosti všiml oficiálně v roce 1927 a navíc byl „rozený kosmolog“. Mimochodem jsem na shromáždění IAU ve Vídni potkal Anne Lemâitre, která je jeho vzdálenou příbuznou, a ptal jsem se jí, co si o rezoluci myslí. Říkala, že je to... poněkud... pozdě... Edwin se nicméně zasloužil o to, že astronomové mohou dnes získávat Nobelovy ceny. V roce 2011 byla udělena právě za měření rozpínání.

Porovnáme-li tehdejší závislost $v(d)$, měřenou lokálně, s nynější závislostí, měřenou v celém viditelném vesmíru na vzorku 740 supernov typu Ia (Betoule aj. 2014), vidíme zásadní rozdíl — není to přímka, nýbrž parabola, čili rozpínání zrychluje. Stejně zásadní jsou rozdíly v pozorovací technice. Zmiňovaný 2,5m dalekohled byl Cassegrain, jehož kresba je omezena aberacemi (komou, astigmatismem), seeingem, tepelnou setrvačností, deformacemi zrcadla, nerovnoměrností chodu a až v poslední řadě difrakcí. Vzhledem k propustnosti atmosféry mohl pracovat v oboru V a blízkém UV/IR. Naproti tomu JWST je třízrcadlový anastigmat v kosmu, který je bez aberací, bez seeingu, na difrakčním limitu, jež je možné při znalosti PSF překonat dekonvolucí, detektor chlazený na 6 K, aby pracoval ve středním IR ($28 \mu\text{m}$).

100

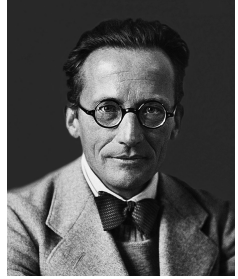
Během dalšího století bude JWST konečně vypuštěn. Přehlídkové dalekohledy (LSST aj.) budou monitorovat všechny pozorovatelné supernovy. Vzorek SN Ia se tak bude nezadržitelně zvětšovat. Zjistíme pak časové změny zrychlení (ryv)? Ukáže se, že se rozpínání liší místo od místa?



Obr. 11 — Vlevo: závislost radiální rychlosti na vzdálenosti pro blízké galaxie (Hubble & Humason 1929). Vpravo: závislost modulu vzdálenosti μ na rudém posuvu z (tj. transpozice výše uvedeného) pro vzorek 740 supernov typu Ia (Betoule aj. 2014).

Erwin pochází z Vídně (1887 až 1961), pracoval však v Breslau, Zürichu, Berlíně a dlouho v Dublinu. Položil základy kvantové mechaniky, formuloval „jeho“ rovnici:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla^2 \Psi(\mathbf{r}, t) + V(\mathbf{r}) \Psi(\mathbf{r}, t)$$



pro vývoj komplexní funkce Ψ , tzn. vlnové funkce; v tomto jednoduchém případě pro e^- v poli p . Byly tak vysvětleny pozorované energetické hladiny atomu vodíku, ale Erwin pečlivě promýšlel, jaký je vlastně význam Ψ . Mohlo by se jednat o rozplývající se částici? Na to přišel Max Born, že kvadrát $\Psi\Psi^*$ je číslo $\langle 0; 1 \rangle$ odpovídající hustotě pravděpodobnosti, že systém při měření najdeme v čase t na místě \mathbf{r} .

Kvantové vlastnosti atomů se projevují v makrosvětě, což exemplárně ukazuje Erwinův experiment s kočkou. Z morálních důvodů je pouze myšlenkový, nicméně zavřeme kočku do krabice s radioaktivním atomem. Když se rozpadne, Geigerův–Müllerův čítač rozpad zaznamená, spustí kládívko či co, to rozbije lahvičku s jedem a kočička. . . Když má ale atom po čase $t = T_{1/2}$ pravděpodobnost 50 %, že je rozpadlý, znamená to, že kočka je položivá nebo polomrtvá? Nevíme, dokud někdo (Erwin, Wigner) krabici neotevře, ale pak je buď živá, nebo mrtvá, nic mezi tím. Tyto souvislosti ho vedly též k přemýšlení o podstatě života, přesněji o jeho molekulární podstatě, což později vyvrcholilo objevem DNA (Watson & Crick 1953).

Extrémně pozoruhodným důsledkem je kvantové provázání. Vzniknou-li společně dva fotony mající opačné polarizace, nemají každý svou vlnovou funkci, nýbrž jednu společnou. Když pak někde Alice (on to ve skutečnosti bude spíš chlap) změří foton 1, vlnová funkce zkolabuje, a jinde změří Bob foton 2, ukáže se opačný výsledek, a to i když se Alice a Bob nacházejí vně světelných kuželů!

Prakticky se experiment provádí tak, že se statisticky testuje Bellova nerovnost. Jde o důkaz sporem. Předpokládá se, že fotony si nějak „pamatují“ své stavy od místa vzniku (neboli existují nějaké lokální skryté proměnné); že nikde nic nekolabuje. Pak ale jako v množinovém diagramu pro množiny A, B, C musejí být splněny určité nerovnosti, například:

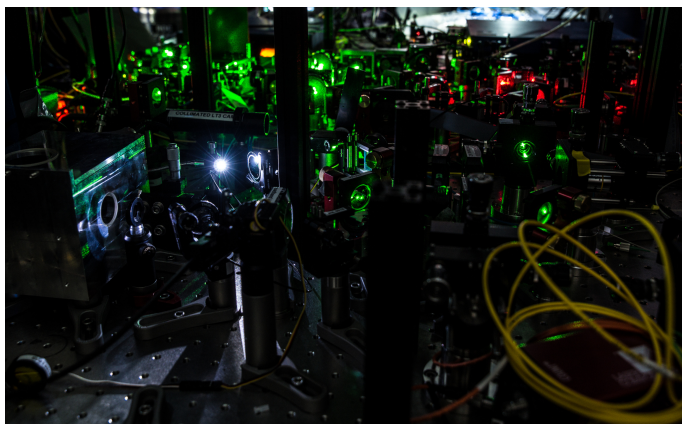
$$A \text{ not } B + B \text{ not } C \geq A \text{ not } C .$$

V Bellově experimentu jsou množinami nastavení polarizátorů Alice a Boba, jež je volí náhodně a jimiž foton buď projde, nebo ne. Experiment je velmi náročný na to, aby se uzavřela všechna „zadní vrátka“: detekční ($\eta < 100\%$), komunikační,

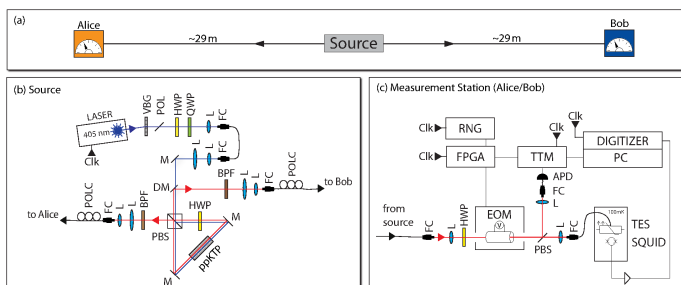
koincidenční, paměťová, nenáhodná, chybová. Zejména se tedy musí provést rychle (pod světelným kuželem). Experiment ukazuje, že nerovnost neplatí (Hensen aj. 2015; Giustina aj. 2015). Pak tedy funguje okamžitý kolaps; jako by se ve vesmíru odehrávaly všechny možnosti najednou a měřením se z nich vybírala pouze jedna. To nás přivádí k myšlence multiverza.

100

Kromě toho, že kvantové jevy vypovídají o samotné podstatě univerza, bezpochyby změní praktická astronomická měření. Využije se například stlačeného světla, čímž se v interferometrech překoná Poissonův šum ($N = \sqrt{S}$), nebo nede- struktivní detekce fotonu (Reiserer aj. 2013).



Obr. 12 — Aparatura použitá v Bellově testu s provázanými spiny elektronů, při vzájemné vzdálenosti Alice a Boba 1,3 km (Hensen aj. 2015).



Obr. 13 — Uspořádání relativně jednodušší aparatury pro Bellův test s provázanými polarizacemi fotonů; vzdálenost Alice od Boba činí 58 m. Základem je krystal ppKTP (KTiOPO_4) pumpovaný ze dvou stran laserem 405 nm v Sagnacově uspořádání, v němž vzniknou dva fotony s opačnou polarizací, vyslané přes polarizační dělič svazku (PBS) k měřicím stanicím. Zde je elektrooptický modulátor (EOM) řízený náhodným generátorem (RND). Průchod fotonu (či ne) je zjišťován rychlým supravodivým detektorem typu TES (Giustina aj. 2015).

Warren, narozen 1896 v Invenary v Kanadě, zemřel 1980 v New Yorku, je konstruktérem hodin řízených mechanickými oscilacemi krystalu SiO_2 . Jedná se o malou ladičku, s vlastní frekvencí:

$$f = \frac{1,875^2}{2\pi} \frac{a}{l^2} \sqrt{\frac{E}{12\rho}},$$

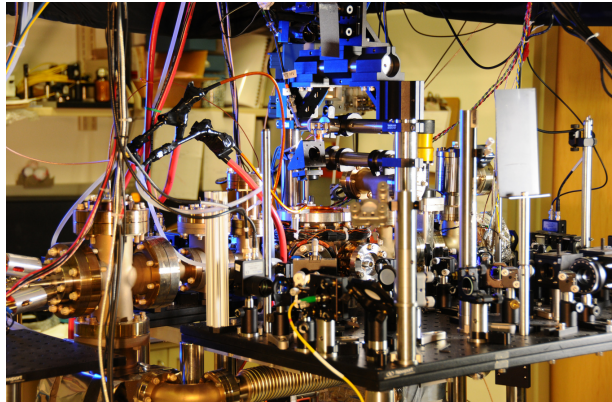
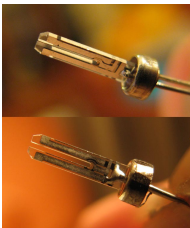


kde a označuje její tloušťku, l délku, E modul pružnosti, ρ hustotu. Volí se tak, aby $f = 32\,768\text{ Hz} = 2^{15}\text{ Hz}$, která se děličem dělí na 1 Hz. Křemíkové hodiny mají obvykle přesnost 1 s za 10^5 s, tj. asi za 1 den; představovaly ve své době převrat.

Srovnáme je s nejmodernějšími kvantovými mřížkovými hodinami — jejich přesnost dosahuje 1 s za 10^{18} s, tj. prosím stáří vesmíru. Drobným termodynamickým problémem by bylo udržet je po tu dobu v provozu. Potřebujeme přitom dvoje. Pracují s 10 000 atomy ytterbia, chlazenými na teplotu $T = 10\ \mu\text{K}$, chycenými v optické mřížce, v nichž jsou vybuzené přechody mezi energetickými hladinami optickým laserem na frekvenci $f \doteq 518\text{ THz}$, přičemž pro středování signálu je třeba řádově 1 s (Hinkley aj. 2013).

100

Důsledky tak přesného měření (času a odvozených veličin) si ani nedokážeme představit. Takové hodiny jsou například schopné zjistit gravitační rudý posuv při změně výšky o pouhý 1 cm. Umožní to časovou gravimetrii? Budeme provádět optickou interferometrii off-line?



Obr. 14 — Vlevo: ladička křemíkových hodin vyjmutá z ochranného pouzdra. Vpravo: aparatura kvantových mřížkových hodin s atomy Yt (Hinkley aj. 2013).

Paul se narodil v Bristolu roku 1902 a zemřel v Tallahassee v roce 1984. Snad o něm mohu říci, že byl takovým nespolečenským podivínem; jeho spolužáci na vysoké škole vymysleli jednotku jeden „dirac“, tzn. jedno slovo za hodinu. Utrpení při jakýchkoliv společenských událostech sám dobře znám — to je prostě „můj člověk“! Traduje se o něm řada milých příhod, kupříkladu jeho setkání s Richardem Feynmanem, který byl naopak velmi společenský člověk. Dlouhou dobu, snad 15 minut, stáli vedle sebe mlčky, ale pak Paul řekl: „Já mám rovnici, a vy?“



Jedná se patrně o nejkrásnější rovnici z 20. století, kterou se mu podařilo odvodit ze Schrödingerovy rovnice a speciálního relativistického vztahu pro energii:

$$E = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2},$$

což není triviální, neboť je nutné eliminovat odmocninu, aby pod ní nebyly operátory a zůstala lineární kvůli superpozici. To je možné, jsou-li ve výsledné rovnici:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \left(\beta mc^2 + c \sum_{n=1}^3 \alpha_n p_n \right) \Psi(\mathbf{r}, t)$$

veličiny β , α_i matice 4×4 . Geniální bylo pochopení, že ony 4 řádky znamenají: spin \uparrow , spin \downarrow , antičástici se spinem \uparrow , antičástici se spinem \downarrow . Předpověď antielektronu neboli pozitronu byla spektakulárně potvrzena Andersonem (1932). Paul proto získal společně se Schrödingerem Nobelovu cenu za rok 1933.

Jestliže jsme na začátku 30. let 20. století měli následující čtveřici „elementárních“ částic: e^- , γ , p , e^+ (neutron ještě ne); dnes máme standardní model částic (a jejich antičástic): e^- , μ , τ , ν_e , ν_μ , ν_τ , u , d , t , b , c , s , γ , W^+ , W^- , Z^0 , g , H , (G) . Od práce Glashowa (1961), sjednocující elektromagnetickou a slabou interakci, byl model dotažen k dokonalosti, včetně experimentálního ověření poslední částice, Higgsova bosonu (Aad aj. 2012). Na druhou stranu, těžko můžeme být spokojeni...

100 Když kosmologie vyžaduje zmiňovanou temnou látku, najdeme odpovídající elementární částice? Anebo budeme nuceni změnit kosmologii, respektive relativitu?! Jedním ze způsobů jak problém rozetnout je pozorování vzácných kompaktních galaxií bez temné hmoty (van Dokkum aj. 2018, cf. Kroupa aj. 2018), avšak potřebujeme jejich statistický vzorek. Obdobné otázky o inflaci nebo temné energii čekají na svou odpověď.

e⁻
 γ
 p
 e⁺

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...			BOSONS			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2			Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν _e electron neutrino	<1·10 ⁻⁸	0	U up	0.003	2/3	γ photon	0	0	g gluon	0	0
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3	W ⁻	80.4	-1	H Higgs	126	0
ν _μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3	W ⁺	80.4	+1			
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3	Z ⁰	91.187	0			
ν _τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3						
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3						

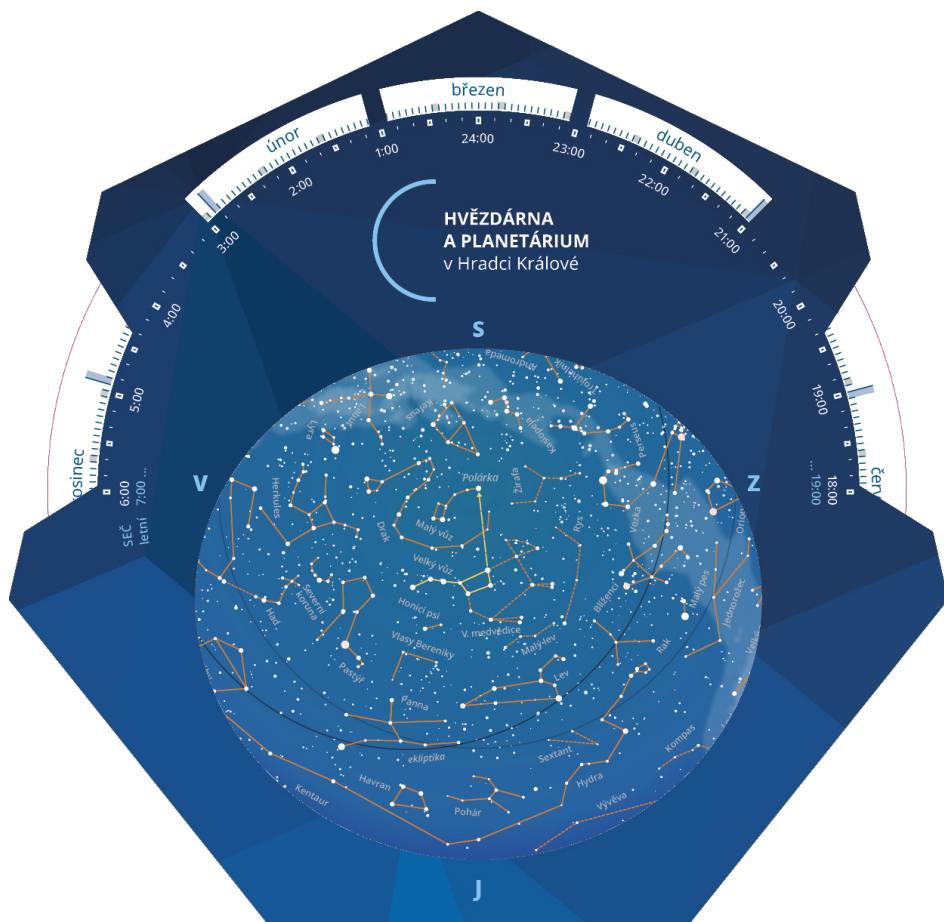
PROPERTIES OF THE INTERACTIONS						
Property	Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)		Strong	
			Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Acts on:		Mass – Energy			Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	W ⁺ W ⁻ Z ⁰	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:		10 ⁻⁴¹	0.8	1	25	Not applicable to quarks
for two protons in nucleus		10 ⁻⁴¹	10 ⁻⁴	1	60	
		10 ⁻³⁶	10 ⁻⁷	1	Not applicable to hadrons	20

Obř. 15 — Vlevo: řtyřĩ řástice, které byly řnřmř v roce 1930. Vpravo: řřehledovř tabulka standardnřho modelu řástic (fermionř se spinem 1/2 a bosonř se spinem 1) a jejich interakcř. Přeřzato z (http://physik.uibk.ac.at/98-99/physik4/cpep/cpep_components.html).

Zřvřř? Snad vřkaz mladřm astronomřm: myslete na 100 let dopředu!

- [1] AAD, G. AJ. *Observation of a new particle in the search for the standard model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC*. Phys. Lett. B, **716**, 1–29, 2012.
- [2] AARTSEN, M. G. AJ. *Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A*. Science, **361**, 6398, 1378, 2018.
- [3] ABUTER, R. AJ. *Detection of the gravitational redshift in the orbit of the star S2 near the Galactic centre massive black hole*. Astron. Astrophys., **615**, L15, 2018.
- [4] AGHANIM, N. AJ. *Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters*. Arxiv, 1807.06209.
- [5] ANDERSON, C. D. *The apparent existence of easily deflectable positives*. Science, **76**, 238–239, 1967.
- [6] BAADE, W. *A search for the nucleus of our Galaxy*. Publ. Astron. Soc. Pacific, **58**, 343, 249–252, 1946.
- [7] BAADE, W. *The period-luminosity relation of the Cepheids*. Publ. Astron. Soc. Pacific, **58**, 400, 5, 1956.
- [8] BABUSIAUX, C. AJ. *Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung–Russell diagrams*. Astron. Astrophys., **616**, A10, 2018.
- [9] BETOULE, M. AJ. *Improved cosmological constraints from a joint analysis of the SDSS-II and SNLS supernova samples*. Astron. Astrophys., **568**, A22, 2014.
- [10] BROŽ, M., CHRENKO, O., NESVORNÝ, D., LAMBRECHTS, M. *Dynamics of multiple proto-planets embedded in gas/pebble disks and its dependence on Σ and ν parameters*. Astron. Astrophys., accepted, 2018.
- [11] COMPTON, A. H. *A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements*. Phys. Rev., **21**, 5, 483–502, 1923.

- [12] DREVER, R. W. P., HALL J. L., KOWALSKI F. V. AJ. *Laser phase and frequency stabilization using an optical resonator*. Appl. Phys. B, **31**, 2, 97, 1983.
- [13] EDDINGTON, A. S. *On the radiative equilibrium of the stars*. Mon. Not. R. Astron. Soc., **77**, 16–35, 2016.
- [14] GIUSTINA, M. AJ. *Significant-loophole-free test of Bell’s theorem with entangled photons*. Phys. Rev. Lett., **115**, 25, 250401, 2015.
- [15] GLASHOW, S. L. *Partial-symmetries of weak interactions*. Nuclear Physics, **22**, 4, 579–588, 1961.
- [16] HEES, A., DO, T., GHEZ, A. M. AJ. *Testing general relativity with stellar orbits around the supermassive black hole in our Galactic center*. Phys. Rev. Lett., **118**, 211101, 2017.
- [17] HENSEN, B. AJ. *Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres*. Nature, **526**, 682–686, 2015.
- [18] HINKLEY, N. AJ. *An atomic clock with 10^{-18} instability*. Science, **341**, 6151, 1215–1218, 2013.
- [19] HUBBLE, E. *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*. Proc. Nat. Acad. Sci., **15**, 168–173, 1929.
- [20] CHRENKO, O., BROŽ, M., LAMBRECHTS, M. *Eccentricity excitation and merging of planetary embryos heated by pebble accretion* Astron. Astrophys., **606**, A114, 2017.
- [21] JEANS, J. H. *The stability of a spherical nebula*. Phil. Trans. R. Soc. London, **199**, 1–53, 1902.
- [22] JEANS, J. H. *Problems of cosmogony and stellar dynamics*. Cambridge: University Press, 1919.
- [23] JEWITT, D. AJ. *Interstellar interloper 1I/2017 U1: Observations from the NOT and WIYN Telescopes*. Astrophys. J. Lett., **850**, 2, L36, 2017.
- [24] JOHNS, D. AJ. *Revised exoplanet radii and habitability using Gaia Data Release 2*. Arxiv, 1808.04533, 2018.
- [25] KASTLER, A. *Applications of polarimetry to infra-red and micro-wave spectroscopy*. Nature, **166**, 4211, 113, 1950.
- [26] KERR, R. P. *Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics*. Phys. Rev. Lett., **11**, 5, s. 237–238, 1963.
- [27] MAIMAN, T. H. *Stimulated optical radiation in ruby*. Nature, **187**, 4736, 493–494, 1960.
- [28] MICHELSON, A. A. *Experimental determination of the velocity of light*. [online] [cit. 2018-11-01]. (<http://www.gutenberg.net/1/1/7/5/11753/>).
- [29] PENZIAS A. A., WILSON R. W. *A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s*. Astrophys. J., **142**, 419–421, 1965.
- [30] REISERER, A., RITTER, S., REMPE, G. *Nondestructive detection of an optical photon*. Science, **342**, 6164, 1349–1351, 2013.
- [31] RIESS, A. G. AJ. *Milky Way cepheid standards for measuring cosmic distances and application to Gaia DR2: Implications for the Hubble constant*. Astrophys. J., **861**, 126, 2018.
- [32] RUSSELL, H. N. *Relations between the spectra and other characteristics of the stars. II. Brightness and spectral class*. Nature, **93**, 2323, 252–258, 1914.
- [33] WATSON, J. D., CRICK, F. H. C. *Molecular structure of nucleic acids*. Nature, **171**, 737–738, 1953.
- [34] WERYK, R. AJ. *Comet C/2017 U1 (Panstarrs)*. M.P.E.C., 2017-U181.
- [35] *Wikipedia*. [online] [cit. 2018-11-01]. (<https://en.wikipedia.org/>).



Připravili jsme novou otočnou mapku oblohy, která se bude prodávat na hvězdárně jako užitečný upomínkový předmět. Jejím poznávacím znamením je sedmiúhelníkový tvar (nápad p. Hovorky), který se ukazuje jako praktický a ergonomický, protože se rozšiřuje v místě, kde se má mapka držet.

Vnitřní část mapky (planisféry) je projekcí oblohy do roviny. Je vynesena v polárních souřadnicích [1]:

$$(r, \phi) = \left[\frac{12,4 \text{ cm}}{260^\circ} (90^\circ - \delta), t \right],$$

kde δ označuje deklinaci, t hodinový úhel; pro zeměpisnou šířku $\varphi = 50^\circ$ je ve jmenovateli $2(180^\circ - \varphi)$. Souřadnice $t = ST - \alpha$, δ hvězd byly načteny z katalogu YBS, s několika doplňky v okolí pólu. Hvězdný čas ST byl zvolen 90° , čemuž byla přizpůsobena stupnice měsíců po obvodu. Spojnice souhvězdí jsou provedeny dle [2], [3] tak, jak jsou opravdu vidět na obloze. Tvary jsou snadno zapamatovatelné, slabě viditelné jsou čárkované.¹

Podklad byl vytvořen v jazyce Metapost, jehož výstupem jsou soubory PDF. Tyto byly načteny jako vrstvy do vektorového grafického editoru Inkscape, kde byl doplněn gradient pozadí, průhlednost a rozmazání Mléčné dráhy. Pečlivě jsme ladili barevnost a čitelnost, proto jsou hvězdy bílé, spojnice oranžové, Velký vůz se šipkou k Polárce žlutý, nápisy šedé. Kombinace vypadá dobře i ve světle červené baterky, pouze spojnice více splývají s hvězdami. Polohy nápisů byly ručně doladěny později.

Lícovou stranu vytvořil pan grafik, aby byla v souladu s jinými grafickými materiály. Ústředním prvkem je výřez odpovídající obzoru, který vyplývá z transformace souřadnic obzorníkových na rovníkové I. druhu [1]:

$$\delta = -\operatorname{arctg} \frac{\cos t}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Dále je zde logo hvězdárny, stupnice času SEČ, označení stupnice SELČ a světové strany; sazba byla provedena písmem Source Sans Pro.

Rubovou stranu jsme využili pro návod. Text praví: „Otáčením kotoučku nastavíme datum proti času, kdy chceme pozorovat oblohu. Ve výřezu se objeví hvězdy, které jsou v tu dobu nad obzorem. Od souhvězdí Velkého vozu najdeme Polárku (viz mapu). Přímo pod ní je sever; naproti jih. Stojíme-li čelem k jihu, mějme „J“ na mapě dole. Na mapě je vyznačeno 64 souhvězdí viditelných z naší zeměpisné šířky 50° . Celkem je souhvězdí 88. Na tmavé obloze spatříme okem až 3 000 hvězd a také Mléčnou dráhu, neboli pás světla od mnoha nerozlišených hvězd. Pokud na obloze poblíž ekliptiky spatříme „přebývajících“ jasný bod, jde zřejmě o jednu z planet: Venuši, Jupiter, Mars, Saturn nebo Merkur. Na mapě nejsou vyznačeny meteory, zvířetníkové světlo, polární záře, umělé družice, komety, slabé mlhoviny, galaxie, atd.“

Níže najdeme obraz Měsíce, jak by vypadal při pohledu triedrem. Moře jsou označena úsečkami a tečkami, které vedou oči od okraje k místu bez toho, aby byl Měsíc škrtnutý.

[1] BROŽ, M. *Astronomický kurz (5) — Otočná mapa oblohy*. Povětroň, **15**, 3, s. 4–13, 2007.

[2] HLAD, O., HOVORKA, F., POLECHOVÁ, P., WEISELOVÁ, J. *Hvězdná obloha 2000.0*. Praha: Geodetický a kartografický podnik, 1988.

1. Kontrola mapky byla provedena pomocí Stellaria [4]. Do Stellaria byly též doplněny spojnice.

HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM v Hradci Králové

Návod na použití

Otáčením kotoučku nastavíme datum proti času, kdy chceme pozorovat oblohu. Ve výřezu se objeví hvězdy, které jsou v tu dobu nad obzorem. Od souhvězdí Velkého vozu najdeme Polárku (viz mapu). Přímou pod ní je sever; naproti jihu. Stojíme-li čelem k jihu, máme „J“ na mapě dole. Na mapě je vyznačeno 64 souhvězdí viditelných z naší zeměpisné šířky 50°. Celkem je souhvězdí 88. Na tmavé obloze spatříme okem až 3000 hvězd, a také Mléčnou dráhu, neboli pás světla od mnoha nerozlišených hvězd. Pokud na obloze poblíž ekliptiky spatříme „přebývajících“ jasný bod, jde zřejmě o jednu z planet: Venus, Jupiter, Mars, Saturn nebo Merkur. Na mapě nejsou vyznačeny meteory, zvlřetnikové světlo, polární záře, umělé družice, komety, slabé mlhoviny, hvězdkupy, galaxie, atd.



Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové

Zámeček 456/30, 500 08 Hradec Králové

☎ +420 495 264 087 📞 +420 495 270 959

☎ +420 737 456 777

✉ astrohk@astrohk.cz

www.astrohk.cz

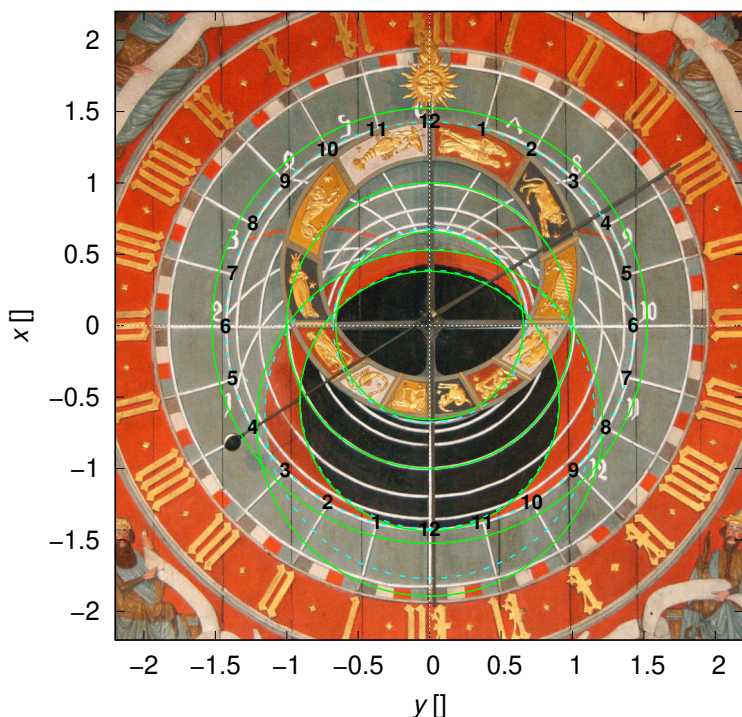
[3] PITTICH, E., KALMANČOK, D. *Obloha na dlani*. Bratislava: Obzor, 1981.

[4] *Stellarium*. [online] [cit. 2018-10-17]. <<http://www.stellarium.org>>

Podobné orloje v Lundu a Doberanu

Miroslav Brož, Martin Šolc

V Evropě jsou přinejmenším dva orloje, které se svým provedením podobají Pražskému. Jedná se orloje s astrolábem, s projekcí ze severního pólu. Označují se jako baltický typ a jejich původ je okolo roku 1400 [2]. Vybrali jsme orloje v Lundu a v Doberanu, protože je na nich zřetelná ostrá hranice soumraku. Souvisí s nimi otázka výškové kružnice, respektive pro jakou výšku je vynesena, otázka lícování teoretického astrolábu na rovník nebo obratník Raka, nebo případných odchylek provedených kružnic [1].

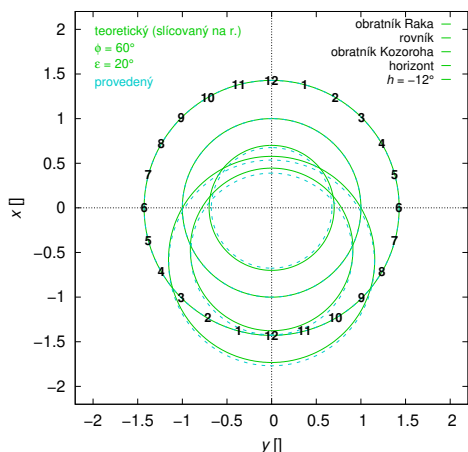


Obr. 16 — Orloj v Lundu, ortoskopické foto s provedenými kružnicemi (modře čárkované) a narýsovaným teoretickým astrolábem (zeleně) s líčováním na rovník. Zeměpisná šířka byla zvolena přesně $\varphi = 55^{\circ}42'$, stejně jako dnešní sklon ekliptiky $\varepsilon = 23,439^{\circ}$. Jednotlivé kružnice reprezentují (shora): obratník Raka, rovník, obratník Kozoroha, horizont a výškovou kružnici (almukantarát) pro $h = -14^{\circ}$. Další provedené koncentrické kružnice odpovídají patrně vstupům Slunce do znamení zvěrokruhu.

Orloj v Lundu vidíme na obr. 16. Ortoskopické foto bylo vytvořeno pomocí Gimpu, lineární transformací odvozenou ze 4 význačných bodů; vnější obratník Raka je pak opravdovou kružnicí. Hodnota zeměpisné šířky φ byla vzata s přesností $1'$, obdobně jako sklon ekliptiky ε . Při líčování na rovník byla určena hodnota výšky $h = -14^{\circ}$ — pak výšková kružnice odpovídá provedené, pouze v horní části je znatelná deformace. Obratník Raka vychází znatelně větší, obratník Kozoroha nepatrně menší. Horizont je při obvodu odchýlen v časové míře až o půl hodiny.

Pokud bychom líčování provedli na obratník Raka, odchylky vnitřních kružnic by byly neúnosné, horizont by byl odchýlen nahore, avšak při obvodu nikoli. Výšková kružnice by vycházela pro $h = -11^{\circ}$.

Kdybychom konečně přijali myšlenku, že φ a ε byly při konstrukci astrolábu zvoleny chybně, mohli bychom hledat jejich optimální hodnoty. Obdrželi bychom $\varphi = 60^\circ$, $\varepsilon = 20^\circ$, $h = -12^\circ$ (viz obr. 17), ale toto nebylo naším záměrem. Hodnoty se jeví jako značně „zaokrouhlené“. Horizont i výšková kružnice mají správný průměr, ale vertikálně jsou poněkud posunuté.



Obr. 17 — Totéž s hodnotami $\varphi = 60^\circ$, $\varepsilon = 20^\circ$, $h = -12^\circ$.

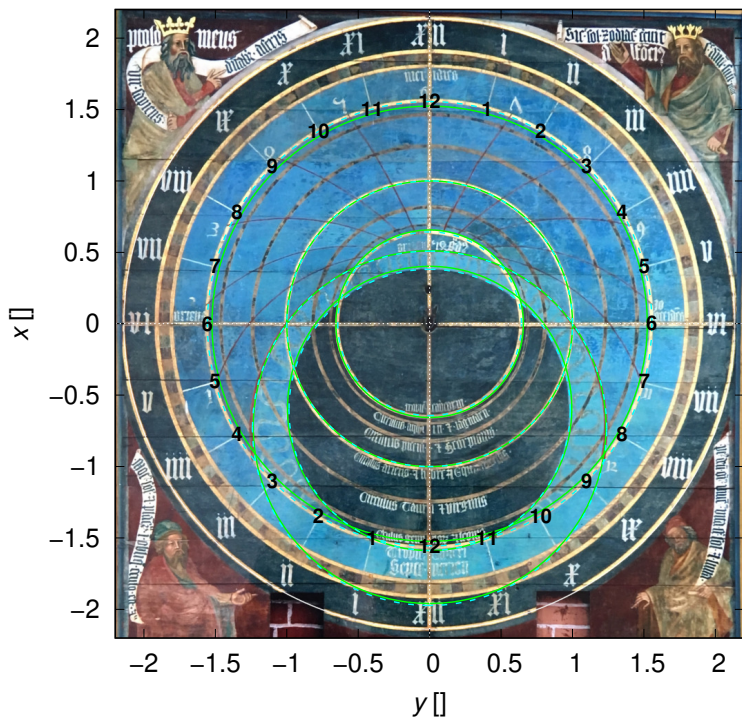
Orloj v Doberanu na obr. 18 je na první pohled podstatně přesnější konstrukcí. Pouze obratník Raka je o něco větší. Na astrolábu nalezneme nápisy odpovídající vstupům do znamení. Můžeme jen litovat, že orloj není vybaven žádnými rafími.

Lícování na obratník Raka by situaci spíše zhoršilo; kromě rovníku a obratníku Kozoroha by se odchyloval i horizont. Výšku by bylo třeba volit $h = -11^\circ$. Ovšem pro hodnotu $\varepsilon = 24,5^\circ$ obdržíme velmi pěknou shodu rovníku s oběma obratníky (obr. 19). Možná se tedy jedná o hodnotu užívanou ve středověku.

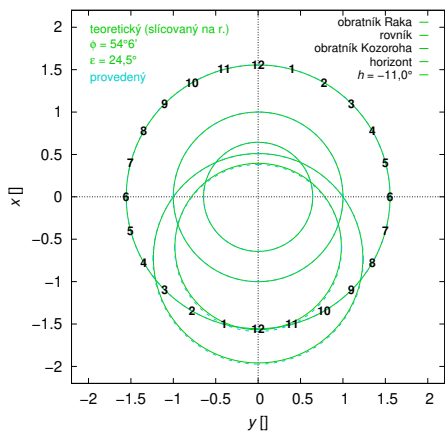
Závěrem shrňme, že na studovaných astrolábech se vyskytují odchylky, které by bylo možné vysvětlit chybnými hodnotami zeměpisné šířky φ nebo sklonu ekliptiky ε , použitými při konstrukci nebo rekonstrukci. V Lundu jsou tyto hodnoty značně zaokrouhlené a navíc jsou patrné posuny kružnic. Výška odpovídající tomu, co bylo vyznačováno jako tmavá noc, se pohybuje okolo $-(12 \pm 1)^\circ$. Tj. hodnota odpovídající spíše konci nautického soumraku (-12°) než konci astronomického (-18°).

[1] BROŽ, M. *K rekonstrukci Pražského orloje*. *Povětroň* 1/2018.

[2] ŠOLC, M. *Evropské astronomické orloje*. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, 54, 4, s. 325–356, 2009.



Obr. 18 — Orloj v Doberanu, ortoskopické foto a teoretický astroláb s líčováním na rovník. Zeměpisná šířka je $\varphi = 54^{\circ} 6'$ a výška $h = -10,3^{\circ}$.



Obr. 19 — Totéž s hodnotami $\varepsilon = 24,5^{\circ}$, $h = -11,0^{\circ}$.