Seznam literatury

Odkud to všechno víte? A kde se dočtu víc?

1. a 2. kapitola

Zmíněný poměr temné hmoty a temné energie pochází z měření uskutečněných v roce 2013 v rámci iniciativy Planck Collaboration: https://arxiv.org/abs/1303.5062. Existují i aktualizovaná měření, ale nijak výrazně se neliší.

Křivky rotace galaxií studovali jako první Vera Rubinová a Kent Ford v šedesátých a sedmdesátých letech dvacátého století. Rubin, Vera, Thonnard, Norbert a Ford, W. Kent, Jr. 1980. *The Astrophysical Journal* 238:471–87.

Gravitační čočkování ve skutečnosti zahrnuje dva odlišné přístupy. Silné čočkování ukazuje dramatické zkreslení jedné galaxie (např. https://arxiv.org/abs/astro-ph/9801158), zatímco slabé čočkování měří drobné projevy na mnoha galaxiích pomocí statistických metod (např. https://arxiv.org/abs/astro-ph/0307212).

Jako příklad kolize galaxií zmiňujeme kupu galaxií zvanou Kulka nebo Střela (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0608407). Z téhle kolize jsme se dozvěděli, že temná hmota nemá silné interakce sama se sebou (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0309303).

Souhrn současných poznatků o temné hmotě a dosavadního pátrání po částicích WIMP najdete na http://arxiv.org/abs/1401.0216.

3. kapitola

Supernovy typu Ia pozorovala skupina High-Z Supernova Search Team (https://arxiv.org/abs/astro-ph/9805201) a Supernova Cosmology Project (https://arxiv.org/abs/astro-ph/9812133). Tyto supernovy nemají všechny stejný maximální jas, ale mají charakteristickou světelnou křivku, tedy množství vydávaného světla v poměru k uplynulému času, která se dá nakalibrovat tak, aby tyto supernovy sloužily jako ukazatel vzdálenosti. Phillips, Mark M. 1993. *The Astrophysical Journal* 413, č. 2: L105–8.

4. kapitola

Spoustu informací o našem momentálním chápání částic najdete na webové stránce projektu Particle Data Group: http://pdg.lbl.gov.

5. kapitola

Energie všech vazeb začíná odpovídat energii všech kusů lamy při počtu „$n = 10^{23}$ nebo tak nějak“ kusů z toho důvodu, že tohle číslo vyjadřuje přibližný počet atomů v makroskopickém objektu (Avogadrova konstanta).

K experimentálním pozorováním toho, jak vazebná energie ovlivňuje hmotnost, patří pozorování procesů radioaktivního rozpadu, například rozpadu beta na neutronech. Neutron s hmotností 939,57 MeV se rozpadá na proton s hmotností 938,28 MeV, elektron s hmotností 0,511 MeV a neutrino se zanedbatelnou hmotností. Část energie zmizí (939,57 – [938,28 + 0,511] = 0,78 MeV) kvůli tomu, že proton má vazby s nižší energií a převede se na kinetickou energii protonu, elektronu a neutrina. Opačným příkladem je molekula O_2, která má *nižší* hmotnost než dva atomy kyslíku, protože tyto dva atomy se přitahují a utvořením molekuly O_2 se *uvolní* energie.

Údaj 0,005 procenta vychází ze skutečnosti, že průměrná vazebná energie na jeden nukleon je několik málo MeV (obvykle až devět), zatímco hmotnost nukleonu je skoro 1 000 MeV.

Up kvark a *down* kvark mají hmotnost nižší než 5 MeV, zatímco proton a nukleon mají hmotnost kolem 1 000 MeV. Proto se celková hmotnost kvarků v nukleonech pohybuje kolem 15/1 000 čili zhruba 1,5 procenta.

Top kvark má hmotnost kolem 170 000 MeV a *up* kvark kolem 2,3 MeV. Z toho vychází poměr přibližně 1 : 75 000.

Technický popis toho, jak Higgsovo pole funguje a jak řeší problém hmotnosti W a Z bosonů, najdete na http://arxiv.org/abs/0910.5095 nebo podrobněji v našem videu na https://vimeo.com/41038445.

6. kapitola

Je několik způsobů, jak se dá gravitace porovnat s ostatními silami.

V první řadě můžete porovnat vazbovou konstantu gravitace ($\alpha_g = Gm_e^2/\hbar(c) = 1{,}751\,8 \times 10^{-45}$) s vazbovou konstantou elektromagnetismu, které se říká též konstanta jemné struktury ($1/137 = 7 \times 10^{-3}$). Výsledný poměr je 10^{-42}.

Ale síla, kterou objekty cítí kvůli působení gravitace nebo elektromagnetismu, závisí taky na hmotnosti a náboji. Můžete například porovnat gravitační a elektromagnetickou sílu mezi dvěma protony (náboj = 1, hmotnost = 1 000 MeV):

$F_g = G(m_p m_p/r^2)$

$F_{em} = k_e(q_p q_p/r^2)$

Což znamená $F_g/F_{em} = G(m_p m_p)/ke(q_p q_p) = [G(m_p)^2] / [k_e(q_p)^2] = [6{,}674 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2\ (1{,}67 \times 10^{-27}\ kg)^2] / [8{,}99 \times 10^9\ Nm^2/C^2\ (1{,}6 \times 10^{-19}\ C)^2]$

$= 8 \times 10^{-37}$, *což je skoro* 1×10^{-36}

Gravitační vlny způsobují drobné zakřivení prostoru. První vlna zaznamenaná observatoří LIGO způsobila zakřivení zhruba 1×10^{-21} (viz první ilustrace v https://arxiv.org/abs/1602.03837).

7. kapitola

Skutečnost, že prostor je rovný s odchylkou zhruba 0,4 %, vychází z měření kosmického mikrovlnného pozadí sondou WMAP v roce 2013 (http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_shape.html) a z výzkumů velkých trojúhelníků (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0004404).

Vzdálenost 10^{-35} metrů odkazuje na měřítko Planckovy délky: $\sqrt{(\hbar G/c^3)} = 1{,}616 \times 10^{-35}$ metrů.

8. kapitola

Jestli vás zajímá víc o šipce času, doporučujeme vynikající knihu Seana Carrolla *From Eternity to Here* (Od věčnosti až potud).

9. kapitola

Proud neutrin ze Slunce má hodnotu zhruba 7×10^{10} částic na cm^2 za sekundu, podle knihy Clause Grupena *Astroparticle Physics* (Fyzika astročástic), str. 95.

Víc o slabosti gravitace viz poznámky k šesté kapitole, kde rozebíráme poměr 10^{-42} mezi silou gravitace a silou elektromagnetismu.

Poznámka pod čarou pojednávající o kvantové mechanice a jejím náhledu na čas odkazuje na princip neurčitosti, který dokáže vztáhnout neurčitost v energii na neurčitost v čase.

10. kapitola

Dobré vysvětlení relativity najdete v knize *Modern Physics for Scientists and Engineers* (Moderní fyzika pro vědce a inženýry) od Johna R. Taylora, Chrise D. Zafiratose a Michaela A. Dubsona.

Rychlost světla je 299 792 458 metrů za sekundu. Jedná se o přesné číslo, protože se pomocí něj definuje délka jednoho metru.

Limity lidské tolerance vůči gravitačnímu zrychlení byly testovány v kontextu stíhacích pilotů. Viz *Medical Aspects of Harsh Environments* (Zdravotní aspekty nehostinných prostředí), 2. svazek, 33. kapitola, napsal Ulf Balldin.

Při zrychlení 3 g (kolem 30 m/s^2) by dosažení rychlosti světla trvalo 10 milionů sekund (jednu třetinu roku), ale pamatujte na to, že abyste si udrželi stejné tempo zrychlování, museli byste vynakládat stále víc a víc energie.

Nejbližší hvězda je Proxima Centauri, vzdálená 4,2 světelných let = $4{,}0 \times 10^{16}$ metrů.

11. kapitola

Vysvětlení kosmického záření a způsobu, jakým se zachycuje, najdete v knize *Extensive Air Showers* (Rozsáhlé vzdušné sprškы) od Petera Griedera.

Zpomalování kosmického záření o mimořádně vysoké energii je způsobováno jeho interakcí s fotony v raném vesmíru. Jedná se o takzvaný GZK (Greisenův–Zatsepinův–Kuzminův) jev.

Nutno podotknout, že mnohá z čísel zmíněných v této kapitole jsou jen přibližná, protože četnost vysokoenergetických částic je značně nejistá. Celkové vyznění se tím ale nemění.

12. kapitola

CERN dokáže vytvořit 10 milionů antiprotonů za sekundu. Viz *Cold Antihydrogen: A New Frontier in Fundamental Physics* (Studený antivodík: Nové neprobádané hranice v elementární fyzice) od Nielse Madsena, vyšlo v časopise *Philosophical Transactions of the Royal Society* v roce 2010.

Gram antihmoty by v kombinaci s gramem hmoty uvolnil 2 gramy × c^2 energie = (2 × 10^{-3} kg) (3 × 10^8 m/s^2)^2 = 1,8 × 10^{14} J = 43 kilotun.

Hledání galaxií skládajících se z antihmoty je popsáno tady: http://arxiv.org/abs/0808.1122.

Antivodík se vyrábí a analyzuje v rámci experimentu ALPHA v CERN. Viz https://home.cern/about/experiments/alpha.

14. kapitola

Údaj o stáří vesmíru – 13,6 (13,8) miliardy let – pochází z dat Planckovy společnosti za rok 2013 (2015).

Za svůj nezamýšlený objev kosmického mikrovlnného pozadí v roce 1964 získali Arno Penzias a Robert Wilson v roce 1978 Nobelovu cenu za fyziku.

Údaj o čase, ve kterém se vesmír stal průhledným – 380 000 let po velkém třesku – pochází z dat Planckovy společnosti za rok 2013 (https://www.mpg.de/7044245).

Existuje celá řada inflačních teorií. My používáme přibližná čísla, která jsou mezi nimi obvyklá: rozpínání na 10^{25}násobek během krátkého časového úseku, který začal 10^{-30} sekund po velkém třesku.

15. kapitola

Počet hvězd v Mléčné dráze není jednoznačně znám. Odhady se pohybují mezi sto miliardami a jedním bilionem (http://www.huffingtonpost.com/dr-sten-odenwald/number-of-stars-in-the-milky-way_b_4976030.html).

Ani počet galaxií v pozorovatelném vesmíru není jednoznačně znám. Odhady se pohybují mezi stem, dvěma sty miliardami (http://www.space.com/25303-how-many-galaxies-are-in-the-universe.html) a až dvěma biliony (https://arxiv.org/abs/1607.03909).

Podle odhadů má naše nadkupa 10^{15}násobně větší hmotnost než Slunce (https://arxiv.org/abs/0706.1122).

Simulace prokázaly, že formování galaxií závisí na přítomnosti temné hmoty (http://arxiv.org/abs/astro-ph/0512234).

Velikost pozorovatelného vesmíru se odhaduje na 14,26 gigaparseků čili 46,5 miliard světelných let čili 4,40 × 10^{26} metrů ve všech směrech (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0310571).

Odhad počtu částic ve vesmíru je velice přibližný a z větší části se opírá o odhad počtu hvězd a poměru mezi temnou hmotou a normální hmotou. Jelikož hmotnost temné hmoty je neznámá, panuje v tomto ohledu značná nejistota. Viz http://www.universetoday.com/36302/atoms-in-the-universe/.

16. kapitola

Poloměr protonu je kolem 10^{-16} metrů, ačkoli sama jeho definice je poněkud filozofická.

Velký hadronový urychlovač sráží částice při energii kolem 10 TeV, což je 10^{13} eV odpovídajících 10^{-20} metrům.

17. kapitola

Odhad poměru hvězd s planetami podobnými Zemi pochází z dat Keplerova teleskopu (http://arxiv.org/abs/1301.0842).

Databáze *Meteoritical Bulletin* momentálně uvádí 177 meteoritů pocházejících z Marsu (http://www.lpi.usra.edu/meteor/index.php).

Doporučená četba

Our Mathematical Universe, napsal Max Tegmark, vydalo nakladatelství Knopf v roce 2014. Česky vydalo Argo v roce 2016 pod názvem *Matematický vesmír*.

From Eternity to Here (Od věčnosti až potud), napsal Sean Carroll, vydalo nakladatelství Dutton v roce 2010.

Seven Brief Lessons on Physics, napsal Carlo Rovelli, vydalo nakladatelství Riverhead v roce 2015. Česky vydal Dokořán v roce 2016 pod názvem *Sedm krátkých přednášek z fyziky*.