

# Proč je v noci tma

K. Břinda\*, T. Koubský\*\*, L. Blažej\*\*\*

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

\*brinda@tereza.fjfi.cvut.cz, \*\*tkoubsky@gmail.com,  
\*\*\*krio767@gmail.com

## Abstrakt

Ve svém příspěvku jsme se pokusili uceleně zpracovat Olbersův neboli fotometrický paradox. Dozvíte se, o co se jedná, jak se měnil historicky názor na problém, jaká se postupně objevovala vysvětlení a jak si Olbersův paradox vysvětlují dnešní fyzici.

## 1 Úvod

Za předpokladu, že vesmír je nekonečný, věčný, stacionární a hvězdy jsou v něm rozloženy rovnoměrně, měla by teoreticky každá linie přímé viditelnosti ze Země končit na povrchu nějaké hvězdy, ať už blízké či vzdálené. V každém bodě na obloze by tedy měla být vidět hvězda, a proto by celá obloha měla zářit přibližně stejně, jako povrch průměrné hvězdy, a to nezávisle na tom, je-li den, nebo noc. Problém lze nastínit ještě jinak: Rozdělme prostor kolem Země na pomyslné kulové slupky o síle  $\Delta d$  a poloměru  $r$ , a se středem ve středu Země. Celková hodnota dopadajícího světla z jedné hvězdy dané slupky bude s rostoucím poloměrem slupky klesat s jeho kvadrátem (bude nepřímou úměrná  $r^2$ , tedy druhé mocnině vzdálenosti od Země). Takových hvězd bude ale ve slupce tím víc, čím bude  $r^2$  větší. Když tedy světlo ze všech hvězd sečteme, měla by Země přijímat z každé takovéto slupky stejné množství světla. Vezmeme-li v úvahu i zákryt hvězd, dala by se na Zemi očekávat teplota přibližně 6000K. Taková teplota ale na Zemi není a v noci je dokonce tma. Této skutečnosti se říká Olbersův nebo fotometrický paradox.

## 2 Historický vývoj názoru na fotometrický paradox

Otázku, proč je vlastně v noci tma, si pokládalo lidstvo snad vždy. Evoluce názoru se vyvíjela až do dvacátého století, vždy se vycházelo z „aktuální“ představy o fungování vesmíru.

### 1 Starověk

Z dob starověku zmíníme tři důležité modely vesmíru. První z nich je *Aristotelovský model*, podle kterého Zemi obepínají vrstvy. Tou poslední je sféra stálic, kterou tvoří právě hvězdy. Už slovo stálice značí, že se jednalo o statický pohled na vesmír. *Stoický model* předpokládá existenci hvězdného prostoru kolem naší planety, za kterým je prázdko. V obou těchto modelech fotometrický paradox není paradoxem, je s modely kompatibilní.

Asi nejvýznamnějším starověkým modelem a vlastně i prvním vědeckým byl *Epikurejský model*. Ten popisuje vesmír jako časově a prostorově homogenní. V podstatě už zde se setkáme s definicí slabého a silného kosmologického principu. Ač ze všech starověkých modelů byl nejbližší realitě, jeho nedostatky ukazuje právě nemožnost vysvětlit fotometrický paradox.

## 2 Středověk a novověk

Prvním člověkem, který formuloval fotometrickým paradoxem, byl britský astronom Thomas Digges. Sám si ho vysvětlil tím, že oko není schopné přijímat paprsky od příliš vzdálených hvězd, což evidentně neplatí<sup>1</sup>.

Významní velikáni Galileo a Kepler však věřili stoickému modelu a žádný paradox neviděli. Jejich následovník Newton ale dokázal, že v takovém případě by musel vesmír zkolabovat – zhroutil by se vlivem gravitace.

Další možné vysvětlení nastínil Edmond Halley roku 1720. Podle něj světla ubývá rychleji než se čtvercem vzdálenosti. Ověřme, z jakého důvodu by k tomu mělo docházet. Pokud by světla ubývalo tak, že by bylo pohlcováno nějakou mezihvězdnou hmotou, tak by, jak bylo později dokázáno, se musela ona hmota vypařit, ale také by zářila dle Planckova vyzařovacího zákona. Dalším důvodem by mohla být neeuklidovská povaha vesmíru. Neeuklidovské prostory však byly definovány a matematicky popsány až později.

Fotometrický paradox je znám nejčastěji jako paradox Olbersův. Heinrich Olbers byl lékař a amatérský astronom. Důvod, proč paradox nese jeho jméno, je ten, že ho v 19. století zpopularizoval. Sám předpokládal, že dochází k mezihvězdné absorpci.

Mnoho astronomů si také myslelo, že je fotometrický paradox způsoben vhodným rozmístěním vesmírných objektů. Buď se hvězdy kupí do stále větších celků, jsou rozmístěny ve fraktálech, nebo je Galaxie tak veliká, že zaujímá většinu vesmíru. Ani jedna z těchto domněnek, pokud nebyly přímo vyvráceny, nebyla potvrzena.

Se zajímavým vysvětlením se setkáme u Edgara Allana Poea<sup>2</sup>. Podle něj k nám z dostatečně vzdálené části vesmíru nemohl proniknout žádný paprsek (jedná se tedy o Epikurejský model s konečnou rychlostí světla).

Přesné vysvětlení ale přineslo až dvacáté století.

## 3 Dnešní vysvětlení paradoxu

Než se pokusíme předložit řešení fotometrického paradoxu, uvědomme si důležitý fakt – totiž jakou roli v našem problému existence paradoxu hraje. Nesnažíme se totiž „vyvrátit“ ho jako nějakou teorii, která zjevně pravdivá není, jak by se mohlo zdát. Postup je opačný – paradox je zde jako nástroj pro vědecké poznávání našeho světa. Věda tvoří jisté teorie, jež se také snaží dokazovat. Formulace paradoxu znamená jakousi vyslovenou nutnost dovysvětlit určité jevy, a oním dovysvětlením je právě vyvrácení paradoxu. Fotometrický jev tedy není překážkou, nýbrž uměle vytvořeným problémem a nástrojem ke zdokonalení vědeckého poznání.

Nyní se ale opět postavme proti Olbersovu paradoxu a snažme se „potvrdit jeho neplatnost“. Nejprve si zopakujme jeho základní předpoklady. Jsou to následující čtyři charakteristiky vesmíru: Vesmír je nekonečný, věčný, stacionární a hvězdy jsou v něm rozloženy rovnoměrně. Dále se pokusíme nastínit, proč jsou některé tyto předpoklady nepravdivé.

Pro nás snad nejvýznamnějším nástrojem je teorie velkého třesku. Její pravdivost (doložena zejména obecnou teorií relativity) podmiňuje vesmír jako konečný. Pomeranč, kterým vesmír byl při vzniku a stále je, přece stále má své hranice, i když se zvětšuje. Kromě jiných jistě závažnějších faktů to minimálně znamená, že ani hvězd ve vesmíru není nekonečně mnoho a na obloze jsou místa, kde žádnou hvězdu nenajdeme. Zmiňovaná přímka vedoucí z našeho

---

<sup>1</sup> Okem je možné zaregistrovat dokonce i jediný foton, a to emitovaný v libovolné vzdálenosti od pozorovatele.

<sup>2</sup> Ve skutečnosti se nemuselo jednat o jeho vlastní nápad. Navštěvoval přednášky o astronomii a tento názor na některé z nich možná zazněl.

oka nemusí nutně nějakou hvězdu protnout. První předpoklad tedy platný není. Stačilo by ale toto, aby naše noc byla skutečně černá?

Nedlouho po vzniku Einsteinovy obecné teorie relativity se ukázalo, že při její platnosti vesmír nemůže být stacionární – smršťuje se, nebo rozpíná. Závažný Hubblov objev rudého posuvu světla ze vzdálených galaxií (1929) dokonce ukazuje nejen, že vesmír se skutečně rozpíná, ale že rychlost vzdalování dvou bodů ve vesmíru je závislá na jejich momentální vzdálenosti – čím dál od sebe dva body jsou, tím rychleji se od sebe vzdalují. Z toho také ale vyplývá vcelku překvapivý fakt, že existují místa ve vesmíru, která se od nás vzdalují rychlostí větší, než je rychlost světla. Tato místa leží od pozorovatele dále, než je tzv. *Hubblova vzdálenost* (také „horizont událostí“). Z takovýchto míst nemůže k pozorovateli doletět žádná informace neschopná překročit rychlost světla, tedy ani světlo. Obecná teorie relativity a Hubblov objev dokládající rozpínání vesmíru tedy ve formě teorie velkého třesku říkají, že vesmír není ani věčný, ani nekonečný, ani stacionární.

Na obhajobu černé noci zmiňme ještě jeden fakt – důsledky rudého posuvu. S rudým posuvem se můžeme setkat v situacích tří typů: ve spojitosti s rozdílem gravitačních potenciálů, s pohybujícím se emitorem nebo přijímačem vlnění (Dopplerův efekt<sup>3</sup>), nebo právě s rozpínajícím se prostorem (kosmologický RP). Díky kosmologickému rudému posuvu světlo zvětšuje svou vlnovou délku, ale zároveň také ztrácí energii a tedy i intenzitu. Může se nám to zdát nesmyslné – není přece nic, čemu by světlo mohlo svou energii předat.

Na závěr shrňme důsledky našich tvrzení: Mimo jiné na základě Einsteinovy obecné teorie relativity a Hubblových objevů vzdalování galaxií uznáváme teorii, že vesmír vznikl tzv. velkým třeskem. To už samo o sobě podmiňuje jeho konečné stáří – není tedy věčný. Přestože „hranice“ vesmíru se stále závratnou rychlostí vzdalují a přestože my toho o nich příliš nevíme, podle všeho existují. Vesmír tedy není nekonečný. A samotné rozpínání, na které se stále tolik odvoláváme, odporuje nezbytné stacionaritě vesmíru.

Vypadá to tedy tak, že z původních předpokladů paradoxu zbyl platný jen jeden, a sice homogenita vesmíru. – A skutečně, podle tzv. *kosmologického principu* (někdy také *Koperníkova principu*), ze kterého vychází většina koncepcí současné kosmologie, říká, že v dostatečně velkém měřítku (asi  $10^{25}$  m) je vesmír na všech místech stejný.

Ve světle výše zmíněných poznatků už je pochopitelnější, že hypotetická záře popsaná Olbersovým paradoxem nebude existovat. Můžeme být tedy v klidu, naše Země nebude spálena na popel.

## 4 Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat panu inženýru Svobodovi a všem účastníkům fyzikálního semináře za zhlédnutí našeho příspěvku.

## Reference

- [1] P. Zamarovský (ČVUT FEL), *Olbersův paradox*, Fyzikální čtvrtky, přednáška, 22. 3. 2007, <http://www.avc-cvut.cz/avc.php?id=4325>
- [2] P. Zamarovský (ČVUT FEL), *Staré kosmologické modely a Olbersův paradox*, Seminář dějin matematiky a astronomie SEDMA, přednáška, 9. 10. 2007
- [3] R. Kron, *Temperatures of Stars*, ARCS Winter Workshop, prezentace, 23. 2. 2008

---

<sup>3</sup> Neúspěšné pokusy o popsání vesmírného rudého posuvu pomocí Dopplerova efektu jsou součástí tzv. Newtonovské kosmologie.

- [4] J. Jersák, *Rozpínání vesmíru*, ČS časopis pro fyziku, 2008/3, Fyzikální ústav AV ČR, Praha, 2008
- [5] V. Guruprasad, *An optical solution of Olbers' paradox*, 1999
- [6] Z. Mikulášek, *Stavba a vývoj vesmíru*, cyklus přednášek, PŘF UK, Praha, 2008
- [7] T. Opatrný, L. Richterek, *Vybrané partie současné fyziky*, PŘF UP, Olomouc, 2005