

Miliardy cizích sluncí, aneb proč by v noci tma být neměla

... EXISTUJÍ-LI SLUNCE, KTERÁ MAJÍ TUTÉŽ POVAHU JAKO TO NAŠE, TÁŽEME SE, PROČ VE SVĚM ÚHRNU DALEKO NEPŘEKONAJÍ NAŠE SLUNCE, POKUD JDE O JASNOST?

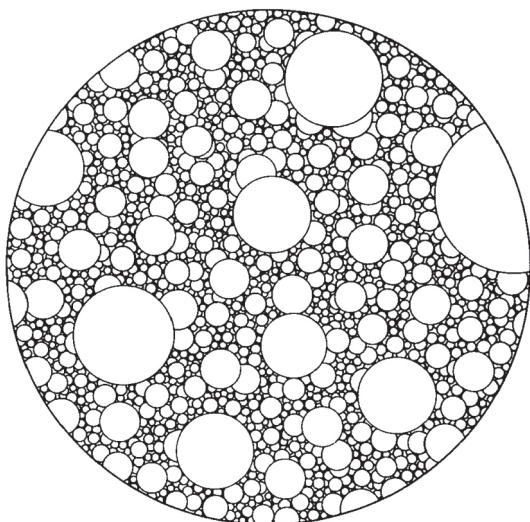
JOHANNES KEPLER

Pojďme na to od lesa. Když se v lese rozhlédneme, co uvidíme? Samé stromy, v každém směru náš pohled narazí na nějaký strom. Zaplňují celý zorný úhel kolem nás (alespoň v horizontální rovině). A podobně jako s lesem na Zemi by to mělo být i s lesem hvězd v kosmickém prostoru: v každém směru by měla nějaká svítit.² Hvězdy by měly bez mezer pokrýt celou nebeskou klenbu. A jelikož měl Kepler pravdu, když předpokládal, že hvězdy jsou cizí slunce podobné tomu našemu Slunci s velkým „S“, jejich povrchy září jako povrch Slunce. Měla by nás proto obklopovat nesnesitelná záře. Nebyla by noc, nebyl by den, stále jen pekelná výheň. A jsme u jádra pudla: v noci není ani světlo, ani výheň, natož pekelná. Panuje tma a chlad, peklo se nekoná.³ Narazili jsme na rozpor, kterému se říká fotometrický paradox. Bývá také nazýván paradoxem Olbersovým, někdy i paradoxem noční tmy, Keplerovým paradoxem, Halleyovým paradoxem a kupodivu i paradoxem svítícího nebe.

2 Podobenství vesmíru s lesem uvádí už Otto von Guericke (1602–1686).

3 Myšleno je naše středoevropské řádně vytopené peklo. Severské národy mají totiž peklo mrazivé.

Změní se něco, když přejdeme od dvojrozměrného pozemského lesa do trojrozměrného lesa hvězd? Představme si naší zeměkouli, a kolem ní nekonečný soubor soustředných sférických slupek. Něco na způsob vrstev cibule, s tím rozdílem, že se struktura táhne do nekonečna. Slupky mají stejnou tloušťku a jsou tak obrovské, že každá z nich obsahuje veliké množství hvězd. (Tak veliké, že se nerovnoměrnosti jejich rozložení zprůměrují. Počet hvězd v jednotlivých slupkách je pak úměrný jejich objemu a objem je zase



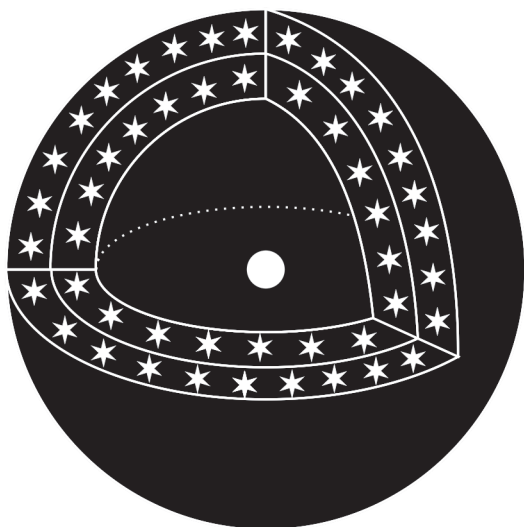
Obloha by měla být úplně pokrytá kotoučky hvězd a měla by rovnoměrně intenzivně zářit

úměrný ploše slupky. Množství hvězd tedy roste s druhou mocninou poloměru slupky – tj. se čtvercem vzdálenosti od Země. Intenzita světla jednotlivých hvězd naopak s druhou mocninou vzdálenosti klesá.⁴ Obě závislosti se vyruší a všechny slupky by tak

4 Pokles intenzity záření s druhou mocninou vzdálenosti patří mezi základní zákony optiky. Formuloval ho roku 1604 Johannes Kepler ve svém spise *Dodatky k Vitellovi týkající se optické astronomie (Ad Vitellionem paralipomena quibus astronomie pars optica traditur)*, Frankfurt 1604. (Vitellius byl významný optik – teoretik z 13. století, Kepler tu však vykládá pouze své názory a objevy.) Zákon platí pro bodový zdroj světla, nepohlcující prostředí a pro třírozměrný eukleidovský prostor. (Slupkový model zavedl britský astronom Edmond Halley.)

měly přispívat k jasů oblohy stejným dílem. Slupek je ale nekonečný počet, a proto by se z oblohy měla linout nekonečná záře...

Nekonečná záře se ale neline. Kde se stala chyba, co jsme vymodelovali špatně? Po zkušenosti s pozemským lesem nás patrně napadne, že jsme pochybili, když jsme hvězdy nahradili geometrickými body. Byť se to na první (a ani na druhý) pohled nezdá, hvězdy jsou ohromné koule, které se mohou – na rozdíl od geometrických



Soustředné slupky kolem Země

bodů – vzájemně zakrývají stejně jako se zakrývají kmeny stromů. V důsledku toho nevidíme do nekonečna, nevidíme všechny sféry, ani nekonečný počet hvězd. Celkový svit oblohy tedy nebude nekonečný. Je však předčasné jásat, vzájemné zakrývání hvězd nás před pekelným žářem neochrání. Jas oblohy by sice nebyl nekonečný, přesto by celá obloha zářila jasněji jak 90 000 Sluncí!

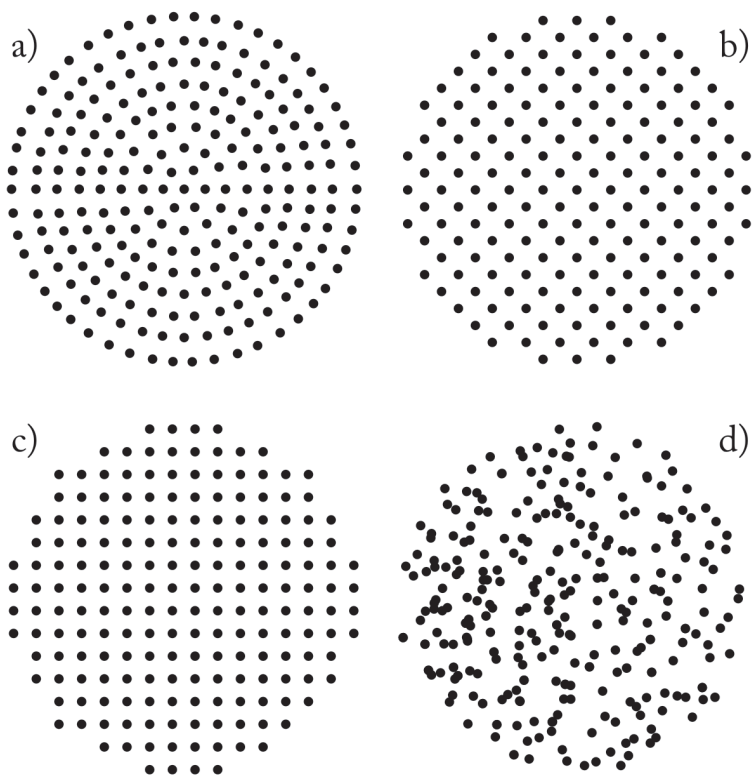
Úvahy typu „co by bylo, kdyby bylo“ bývají hrubě zjednodušující, zkreslující a zavádějící. To platí i o této naší analýze. Teploty povrchů hvězd dosahují tisíce stupňů. To se může

zdat mnoho, avšak na hvězdy to vysoká teplota není. Ve hvězdných nitrech totiž panují teploty 15 milionů stupňů a více (podle typu hvězdy). Kdyby došlo k výše popisovanému „žhavému peklu“, pak by hvězdy neměly kam svou energii vyzařovat, přehřály by se, a termojaderná reakce, která normálně topí jen v jejich jádrech, by se rozšířila do celého objemu hvězdy. Došlo by k mohutné explozi.⁵

Předvedli jsme si případ, jak by vesmír vypadal, kdyby byl neko-
nečný a rovnoměrně (či alespoň náhodně) zaplněný hvězdami.
Kdyby tak skutečně vypadal, tak bychom ho neviděli, protože by
tu panoval takový žár, že bychom nemohli existovat.

*Už při letném pohledu na oblohu vidíme, že hvězdy rovno-
měrně rozloženy nejsou. S rovnoměrným rozložením objektů
se setkáváme pouze tam, kde působí nějaký uspořádající či-
nitel, třeba mezimolekulární vazby v krystalu, nebo záměr
sadaře vysadit stromy do řad. Pokud působí jen náhodné
faktory, vzniká náhodné neboli Poissonovo rozdělení, kde se
nepravidelně vyskytují místa hustší a řidší. (K tomu dojde
pokud náhodné faktory převáží spořádané faktory, když
se například krystal zahřeje, nárazy rychle se pohybujících
molekul zruší krystalografické uspořádání a krystal se roz-
teče. Příkladem náhodného rozložení může být počet stro-
mů v lese, počet úmrtí v Praze za den, počet rozpadů atomů
nějakého radionuklidu za časovou jednotku apod.) Avšak,
průměrujeme-li náhodné rozdělení přes větší oblast, blíží se
rovnoměrnému rozdělení. Je třeba možné říci, že za hodinu
se rozpadne např. 3 600 atomů nějaké látky, i když to nezna-
mená, že k nějakému rozpadu dojde přesně každou sekundu.
Proto můžeme pro naše účely brát náhodné rozložení hvězd
za rovnoměrné. U prostorového rozdělení hvězd, stejně jako
u mnoha dalších přírodních prvků, se z pravidla kombinuje
náhodnost s jistým druhem pravidelnosti.*

5 Astrofyzikové předpokládají, že k podobné explozi dochází při srážce hvězd. (Na rozdíl od automobilů se hvězdy srážejí zřídka.)



Tři jednoduché případy rozdělení pravidelného (a,b,c) a rozdělení náhodného (d)

Co tedy na noční obloze vidíme? Klenbu pokrytou sametovou tmou a na ní myriády hvězd?⁶ Zní to vzletně, pravda to ale není.⁷ Pouhým okem jsme schopni napočítat jen asi 2 až 3 tisíce hvězd. (Na obou nebeských polokoulích asi 6 tisíc.) Žádné miliardy ani myriády, žádné astronomické číslo. Větší počty přijdou, když si vezmeme dalekohled. Ten obraz oblohy zvětší. Samo zvětšení však není důležité – slabé hvězdy nevidíme ne proto, že by se jevily

6 Myriáda znamená deset tisíc. Staří národové, ať už Řekové nebo třeba Číňané, považovali běžně deset tisíc už za nesčíslné, nekonečné množství.

7 A vinou stále rostoucího světelného znečištění to není bohužel pravda ani s tou sametovostí tmy.

malé, ale proto, že nám od nich přichází málo světla. Pro viditelnost hvězd je proto podstatné, že objektiv dalekohledu⁸ dokáže soustředit více světla než neozbrojená čočka oka. Má-li objektiv průměr dejme tomu 5 cm, je jeho plocha asi stokrát větší než je plocha naší zorničky, a tak zachytí stokrát více světla.⁹ Takovým dalekohledem proto vidíme i hvězdy, které svítí stokrát slaběji. Pokud bychom měli trpělivost, napočítali bychom jich už statisíce, tedy zhruba stokrát víc než nevyzbrojeným okem. Zkusme to s ještě větším dalekohledem, řekněme o průměru objektivu 50 cm (mohutný amatérský dalekohled, nebo běžný profesionální přístroj). Tento dalekohled soustředí asi 10 000krát více světla než oko. Uvidíme jím přibližně 10 000krát víc hvězd, asi 20 milionů. Nespočetli bychom je do konce života.

Počet viditelných hvězd roste zhruba úměrně s plochou objektivu. Čím jsou hvězdy slabší, tím je na ně obloha bohatší. To by mohlo podporovat předpoklad rovnoměrného rozložení hvězd: Desetkrát větší objektiv soustředí stokrát víc světla, jsou tedy viditelné i stokrát slabší hvězdy, tj. hvězdy z desetkrát vzdálenější slupky. A těchto hvězd je zhruba stokrát víc, desetkrát vzdálenější slupka má totiž stonásobný objem a obsahuje stokrát více hvězd. Ale, jak záhy uvidíme, tato závislost přestává platit u velikých průměrů objektivů – to znamená pro vzdálenější oblasti vesmíru.¹⁰

Dalekohledem tedy vidíme celkově větší počet hvězd. Ne však na jednu, úměrně se zvětšováním obrazu se totiž zužuje zorné pole. A tak vidíme stále zhruba podobný obraz – svítící bodové hvězdy

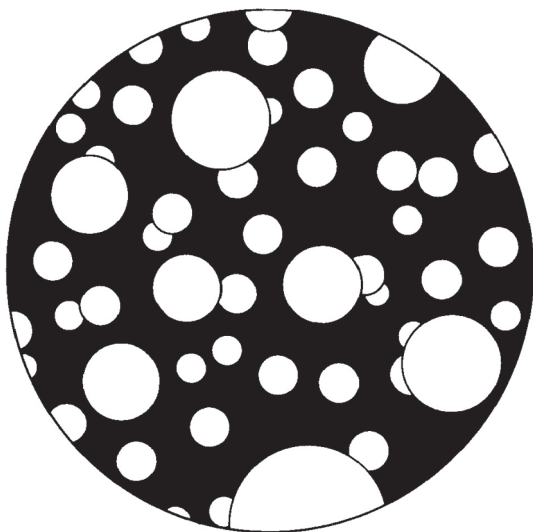
8 Objektivem nazýváme přední čočku (soustavu čoček) dalekohledu, která míří k pozorovanému objektu. U větších astronomických dalekohledů slouží jako objektiv zrcadlo. Soustavu čoček, kterou obraz pozorujeme pak nenazýváme subjektiv, jak by z logiky jazyka plynulo, nýbrž okulár.

9 Lidské oko má průměr zorničky, tedy „objektivu“, od 2 do 8 mm. Pro jednoduchost počítejme 5 mm. Desetinásobný průměr objektivu tedy znamená jeho stonásobnou plochu.

10 Největší hustotu hvězd v zorném poli poskytují dalekohledy o průměru 10-20 cm při použití malého zvětšení (tzv. normálního, které se rovná průměru objektivu děleného průměrem oční pupily). Anglicky se takovému dalekohledu říká „Rich field telescope“, tj. „dalekohled bohatého pole“. Je vhodný nejen pro pokoukání na oblohu, ale např. i pro hledání komet.

a mezi nimi tmu. Existence tmy mezi hvězdami nezáleží na velikosti dalekohledu ani na jeho zvětšení.

Asi každého, kdo se poprvé podíval astronomickým dalekohledem, zklamalo, že hvězdy se i přes teleskop jeví jen jako svítící body.¹¹ A zklamalo by to jistě i Tychona Braha, kdyby žil o pár let déle a měl dalekohled k dispozici. Brahe totiž odhadoval, že zdánlivé průměry hvězd dosahují kolem dvou úhlových minut.¹² V tom případě by stačilo už patnáctinásobné zvětšení, abychom je viděli veliké jako kotouček Měsíce.



I při pohledu dalekohledem zůstává mezi hvězdami temná obloha

11 Pokud zvětšení dalekohledu přeženeme, z hvězd se stanou svítící kroužky obklopené prstenci, barevným lemováním, případně jakési tančící měňavky. Tyto patvary nemají samozřejmě se skutečným tvarem hvězd nic společného. Jsou projevem optických vlastností (vad) přístroje a turbulencí v atmosféře.

12 Oblouková čili úhlová minuta je šedesátina stupně, úhlová vteřina šedesátinou minuty. Pod úhlem dvou minut se nám jeví hrachová kulička ve vzdálenosti asi 11 m. Abychom ji viděli pod úhlem jedné úhlové vteřiny, museli bychom se od ní vzdálit na 1,4 km.

Zdánlivé průměry hvězd však leží vesměs pod rozlišovací schopností pozemských dalekohledů.¹³ Vezměme si například Síría, nejjasnější hvězdu oblohy. Tato blízká a ještě k tomu obří hvězda se nám jeví pod zdánlivým průměrem 6 tisícín obloukové vteřiny.¹⁴ Praktická rozlišovací schopnost astronomických dalekohledů bývá kolem jedné vteřiny, v nejlepších případech několik desetin úhlové vteřiny. Abychom viděli alespoň některé hvězdy jako kotoučky, potřebovali bychom dalekohledy tisíckrát výkonnější. Avšak ani ty by moc nepomohly. Žijeme na dně vzdušného oceánu, kde se promíchávají masy vzduchu o různé teplotě a hustotě. A tak rozlišovací schopnost většího dalekohledu (obvykle už nad 10–20 cm průměru objektivu) nebývá omezena výkonem samotné optiky, ale právě neostrotí způsobenou turbulencí vzduchu. Proto si ani ve velkých dalekohledech astronomové neprohližejí kotoučky hvězd, jsou odkázáni jen na měření intenzity a spektrálního složení jejich světla.

Situaci mohou řešit dalekohledy umístěné nad zemskou atmosférou. Dokládají to krásné snímky z Hubbleova kosmického dalekohledu. Pro tento unikátní přístroj už nejsou některé nejbližší hvězdy jen svítícími body; v roce 1995 se jim podařilo vyfotografovat kotouček hvězdy Betelgeuse, jedné ze dvou nejjasnějších hvězd v souhvězdí Orionu. Tento hvězdný veleobr (to není metafora, ale oficiální označení) je asi 800krát větší než Slunce, a je od nás vzdálen 130 světelných roků. Jeho zdánlivý průměr činí 90 tisícín úhlové vteřiny, tj. asi 1/500 zdánlivého průměru Jupiteru, nebo 1/20 000 průměru Měsíce.

13 S planetami jsme na tom mnohem lépe. V dalekohledu je můžeme pozorovat jako malé kotoučky nebo srpky a máme-li štěstí, můžeme sledovat i detaily na povrchu. Největšího zdánlivého průměru dosahuje Venuše, její zdánlivý průměr může přesahovat jednu úhlovou minutu.

14 Aby se nám hrachová kulička jevila jako Síríus, musela by být 200 km daleko a mít stejnou teplotu jako Síríus, tj. 10 000 °C.