

24. ročník, úloha V. P ... nabitý svět (3 body; průměr 2,00; řešili 3 studenti)

Jak všichni víme, kladné a záporné elektrické náboje jsou ve vesmíru v rovnováze, jinak by elektrická odpudivá síla překonala gravitační a tělesa by nedržela pohromadě. Ale je ta rovnováha dokonalá? Co když jsou všechna tělesa ve vesmíru nepatrně kladně (nebo záporně) nabitá a odpudivá elektrická síla snižuje účinek gravitace. Jak by se taková nerovnováha projevila?

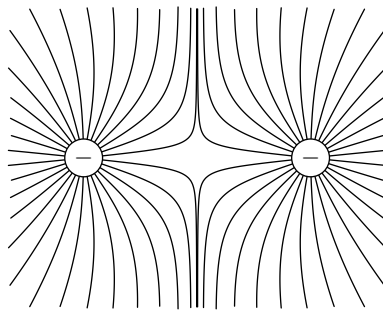
Navrhněte způsob, jak tuto nerovnováhu zjistit, a odhadněte, jakou nejmenší nerovnováhu jsme touto metodou schopni určit. Nerovnováhou myslíme celkový náboj (rozdíl kladného a záporného) v nějakém velkém objemu.

napadlo Jáchyma, když mu tvrdili, že vesmír je v elektrické rovnováze

Stěžejní otázkou úlohy je, zda jsme schopni detekovat případnou nerovnováhu v neutralitě vesmíru. Než na tuto otázku odpovíme, je třeba se zamyslet, jak vlastně víme, že vesmír je neutrální. Tahle otázka není úplně triviální a je těžké na ni odpovědět se sto procentní jistotou. Faktem zůstává, že do vzdálenosti 10^5 světelných let od naší galaxie jsme obklopeni ionizovaným plynem. To ovšem není nic abnormálního, vesmír byl krátce po svém zrodu naplněn neprůhledným ionizovaným plynem, v dalším vývoji zprůhledněl, následně byl znovu ionizován a začaly se tvořit nejstarší známé vesmírné objekty. Tuto éru jsme nazvali érou reionizace, trvala 600 milionů let a skončila v době, kdy byl vesmír stár asi jednu miliardu let.

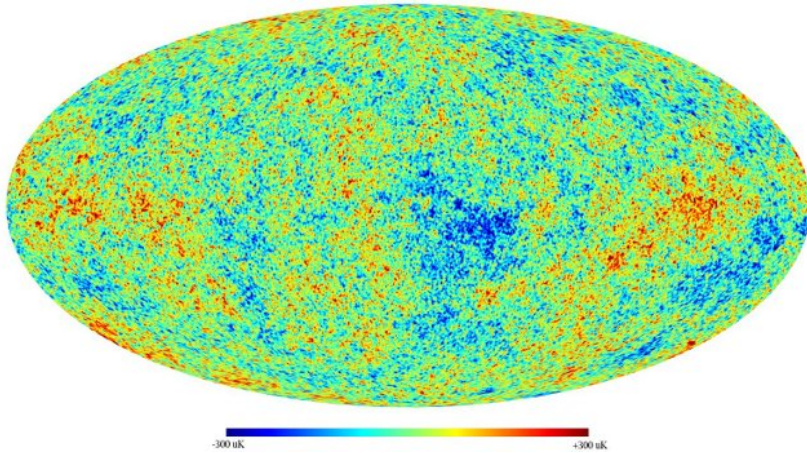
Budeme-li tedy vesmír pozorovat pouze lokálně, je možné, že narazíme na nějakou nerovnoměrnost v kladných a záporných částicích. Budeme-li se však na vesmír koukat jako na celek, žádnou nerovnováhu bychom neměli pozorovat. Koneckonců veškerá pozorování naznačují, že vesmír skutečně neutrální je, ostatně jak je zmíněno v zadání, odpudivá síla by jinak nedovolila zformování hvězd, galaxií a ostatních vesmírných objektů. Kdyby ale lehká nerovnováha existovala, kde bychom ji pozorovali?

Můžeme s úspěchem předpokládat, že v celém vesmíru platí zákon zachování náboje. Tedy náboj byl ve vesmíru pořád a nikam nezmizel ani by se nemohl najednou objevit. Zkusme se teď zamyslet, jak nejlépe poznat, že se někde nachází přebytek kladného/záporného náboje. Stejně jako v našich lidských měřítkách bychom pozorovali, že dva stejně nabitě náboje se odpuzují a dva rozdílně nabitě náboje se přitahují. Velmi dobře to lze ilustrovat siločárami (obrázek 1).



Obr. 1. Siločáry kolem stejných nábojů

Ve vesmíru bychom tedy museli detekovat něco podobně vypadajícího, ale ve velkých škálách. Obdobné struktury by byly i jedním z projevů nerovnováhy náboje ve vesmíru. Teoreticky by měly být dobře detekovatelné ve vesmírném mikrovlnném pozadí (anglicky *Cosmic Microwave Background*, čili CMB), které vzniklo cca 380000 let po Velkém Třesku. Podíváme-li se na CMB dnes (obrázek 2), zjistíme, že je veskrze homogenní a žádné proudy se zde nevykytují.



Obr. 2. Vizualizace dat z družice WMAP

Jak velká by musela být nerovnováha, třeba ve Slunci, abychom ji vůbec zvládli detekovat? Za předpokladu, že je Slunce pouze z vodíku, obsahuje $N_A M_R(\text{H})/M_{\text{Slunce}} \approx 10^{57}$ elektronů.¹ To odpovídá náboji přibližně $2 \cdot 10^{38}$ C. Pokud si dovolíme mít o jeden elektron v miliardě víc, náboj bude stále v řádu 10^{29} C. Dejme si tedy elektrickou a gravitační sílu do poměru a dostaneme

$$\frac{Q_{\text{Slunce}}}{4\pi\epsilon_0} = 10^{16} \cdot \kappa \cdot M_{\text{Slunce}}$$

Tedy elektrická síla bude v řádech 10^{16} větší než síla gravitační. S úspěchem můžeme předpokládat, že takové Slunce by nemohlo existovat, tedy lze říct, že až do řádu okolo 10^{-25} je Slunce skutečně elektricky neutrální, tedy v rovnováze. Podobný výpočet pak můžeme aplikovat prakticky na jakýkoliv objekt ve vesmíru. Zmíněná hodnota nám také naznačuje, jakou nejmenší rovnováhu můžeme principiálně odhadnout.

Jana Poledníková
janap@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

¹⁾ Hmotnost Slunce je $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹ je Avogadrova konstanta a $M_R(\text{H}) = 1,01$ g·mol⁻¹ je relativní atomová hmotnost vodíku.