

Entropická gravitace

David John

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

johndavi@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Je gravitace skutečně jednou z elementárních interakcí? Holandský teoretický fyzik Erik Verlinde vytvořil hypotézu, dle níž gravitaci ve své podstatě neexistuje a je pouhým projevem růstu entropie. Přiblížme si zhruba principy, na nichž je tato nová a neortodoxní myšlenka postavena. Demonstrujme si, že statistické chování mikrosystémů opravdu může makroskopicky působit jako síla. Podívejme se, jaké zásadní změny v našem pohledu na svět by správnost entropické gravitace znamenala. Může se natolik „divoká“ hypotéza potvrdit?

1 Úvod

Jednou z největších výzev současné fyziky je hledání tzn. teorie supersymetrie. Jedná se vlastně o hledání jediné společné podstaty všech sil, které působí ve vesmíru. Dnes již poměrně jistě víme, že tyto základní interakce jsou nanejvýše tři (elektroslabá, silná a gravitační) přičemž existuje několik neověřených teorií, dle nichž jsou prvé dvě projevem jediné. Velkým problémem však zůstává jejich sjednocení s gravitací. Snahy o to probíhají bezúspěšně již několik desetiletí. Podstatou tohoto problému jsou nepřekročitelné rozdíly v modelech popisu těchto sil.

Se zajímavým řešením přišel Erik Verlinde, když prohlásil, že je možné odvodit gravitační zákony z chování částic mikrosvěta popsaného kvantovou mechanikou. Tím by vlastně byla gravitace podřízena kvantovým silám a hledání supersymetrie by bylo redukováno „pouze“ na experimentální ověření teorií sjednocení silné a elektroslabé interakce. Verlindova odvážná hypotéza stojí na dvou předpokladech, platnosti druhého termodynamického zákona (postulát o entropii) a tzn. holografické principu, oba si pokusíme alespoň trochu přiblížit.

2 Entropie

Entropie je stavová fyzikální veličina mající význam logaritmické míry pravděpodobnosti realizace určitého systému. Obdobnou definici je možné najít v odborné literatuře. My se pokusíme podstatě jevu přiblížit méně přesným, avšak intuitivnějším způsobem, na konkrétních příkladech. Řekněme, že entropie je jakýsi doplněk přírodních zákonů, který dává fyzikálním procesům určitý směr.

Například postrčíme-li křídu ležící na stole, začne se pohybovat a po chvíli se zastaví v důsledku tření. Z hlediska fyziky nejde o nic jiného, než přeměnu kinetické energie na tepelnou. Asi nikdo z nás ale nepozoroval, že by volně ležící křída samovolně snížila svou teplotu a se získanou energií se dala na útěk. Přitom neexistuje principiální důvod (při neuvažování entropie, resp. 2. termodynamické věty), proč by se „samohybná křída“ nemohla

objevit. Jako názornější příklad může posloužit i chování vzduchu v učebně. Očekávali bychom, že plyn jako soubor chaoticky se pohybujících částic bude vykazovat fluktuace v lokální hustotě. *Ad absurdum* bychom se mohli třeba i obávat, že v určitou chvíli se veškeré molekuly přesunou do protější části místnosti a my se začneme dusit. V praxi však ani poměrně mírné fluktuace nepozoruje. Jak je to možné? Pro vysvětlení takového chování byl zaveden pojem entropie. Platí postulát entropie pravící, že entropie uzavřeného systému nikdy neklesá, ale může vzrůstat. Pokusme se, přiblížit si entropii pomocí následujícího příkladu.

Pro zjednodušení uvažujme místnost jako uzavřenou nádobu s plynem, který tvoří pouhých šest atomů, které se neustále chaoticky pohybují a jejich srážky jsou dokonale pružné. Když si nádobu pomyslně rozdělíme na dvě poloviny a v určitých intervalech budeme sledovat, jak jsou v nich atomy rozmístěny, zjistíme, že některá rozložení se objevují znatelně častěji než jiná. Vysvětlení tkví v tom, že sledujeme pouze makrostavy, tj. jen početní poměry v obou polovinách a nerozlišujeme od sebe konkrétní atomy. Jeden makrostav se ale může skládat z větší počtu mikrostavů. Náhodný pohyb způsobuje stejnou pravděpodobnost mikrostavů avšak my, protože jsme schopni sledovat pouze makrostavy, interpretuje některé jako častější (případně stabilnější). Protože platí, že entropie makrosystému je přímo úměrná počtu mikrosystémů, ze kterých se může skládat, zapsáno formálně (1), je vysvětleno proč pozorujeme systémy s rostoucí entropií.

$$S = k \ln W \quad (1)$$

Na základě tzn. experimentu se semipermeabilní membránou jsem se pokusil demonstrovat, že entropie se může navenek projevat jako makroskopická síla (osmotický tlak). Kádinku jsem naplnil destilovanou vodou a na ní připevnil celuloidovou folii tak, aby se dotýkala hladiny vody. Poté jsem na folii nalil předpřipravený roztok (roztok cukru a KMnO_4). V důsledku rozdílné molární koncentrace kapalin vzniká osmotický tlak umožňující průchod molekul vody přes membránu, která je pro částice z roztoku zcela nepropustná. Vyrovnávání koncentrací probíhá do doby, než hodnota hydrostatického tlaku bude rovna osmotickému. V našem případě jsme mohli po přibližně 9 hodinách pozorovat difundování části destilované vody do roztoku.

3 Holografický princip

Princip spočívá v tom, že úplnou informaci o určitém objektu (resp. systému) můžeme uložit na médium, které je o dimenzi menší než objekt sám. Dobře si jej můžeme představit na příkladu klasická fotografie (uvažují-li ji jako dvourozměrnou), ta obsahuje pouze záznam o intenzitě světla, obrázek je tedy pouze „plošný“ protože informace o objektu není úplná. Dnes již umíme vyrobit i tzn. hologram, který kromě informace o intenzitě světla v sobě nese i informaci o jeho fázi. Tím je možné za použití laseru rekonstruovat vyfocený „prostorový“ objekt.

Existuje hypotéza, která na základě tohoto principu vysvětluje některé zdánlivě neřešitelné a podivné paradoxy spojené s černými děrami. Stručně uveďme, co jsou to černé díry a jaké problémy jsou s nimi spojeny.

Černá díra je objekt natolik hmotný, že úniková rychlost z jeho blízkosti je vyšší než rychlost světla. Díky obecné teorii relativity víme, že současně s tím dochází vlivem extrémně silného gravitačního pole i k dilataci času, která v oblasti označované jako horizont událostí dosáhne limitních hodnot. Představit si to můžeme tak, že z určité vzdálenosti budeme sledovat kosmonauta, jak se přibližuje k černé díře. Z našeho pohledu se bude přibližovat stále pomaleji, až se na horizontu událostí pro nás prakticky zastaví. Dilatace však nepostihuje pouze čas, v důsledku čehož můžeme černým děrám přiřadit pouhé tři parametry (M , Q , J), jiné parametry dle klasického popisu zavést nelze. Pokud se budeme ptát po obsahu oblasti za horizontem událostí, dostáváme se za hranu fyzikálních zákonů, do situace obdobné jako je v matematice “dělení” nulou.

V roce 1973 přišel izraelský fyzik Jacob Beckenstein s nepříliš vážně myšleným nápadem na jakýsi druh “výťahu” do černé díry, který by zároveň částečně fungoval i jako jednosměrný stroj času. I když je jasné, že se jedná o velmi vágní myšlenkový experiment, Beckenstein ho rozvedl do nejmenších detailů (kupříkladu určoval, jak blízko by ještě bylo bezpečné se přiblížit apod.). Tímto způsobem nakonec dospěl k zajímavému závěru, a to sice, že to co vymyslel, není vlastně nic jiného než cyklicky pracující tepelný stroj. Díky čemuž byl schopen na základě Carnotově větě o účinnosti přiřadit černé díře další parametr – teplotu. Z pochopitelných důvodů zůstala Beckensteinova práce na okraji zájmu tehdejší vědecké obce, než si článek všiml Steven Hawking a na základě kvantové teorie pole spočítal, že pro černé díry skutečně platí Beckensteinův vztah pro teplotu. Tak byla objevena souvislost mezi gravitací a termodynamikou.

Povrch černé díry tedy má nějakou nenulovou teplotu a entropii, protože má nenulovou teplotu musí zářit (kvantově-mechanickými jevy – Hawkingovo vypařování) a to způsobí, že horizont nebude “prázdný a plochý” ale bude poznamenán fluktuacemi. Zde nastupuje holografický princip, který říká, že tohle je vlastně vše co potřebujeme, že povrch může obsahovat veškeré informace o vlastnostech černé díry zapsané ve fluktuacích a tedy co je pod ním nás nemusí dále zajímat.

Je otázkou, zda musí být holografický princip (za předpokladu, že je platný) omezen jen na černé díry nebo může být přítomný i jinde. Existují teorie přisuzující charakter hologramu celému našemu vesmíru, nebo naopak teorie, které se snaží za hologramy prohlásit elementární částice mikrosvěta a elegantně se tak zbavit nutnosti zkoumat dále jejich vnitřní strukturu.

4 Verlindova gravitace

Erik Verlinde postavil svou teorii na platnosti 2. termodynamické věty a správnosti holografického principu, tedy předpokladech, které jsme si právě velmi hrubě přiblížili. Pokusme se o další krok a to zavést nyní entropickou gravitaci.

Představme si svět, jako soubor kulových mikro-hologramů (obdoba monitoru složeného z pixelů), kde povrchu každému z nich lze přiřadit určitou hodnotu entropie a teploty. Pak platí rovnost mezi termodynamickou tepelnou energií a prací vykonanou při pohybu částice (2). Ptejme se na podobu této síly. Zavedením vztahu získaného z ekvipartičního teorému (4) a změny entropie (3), získáváme známí výraz (5). V našem případě je takto vzniklá entropická síla Newtonovou gravitací, přitom jsme vůbec nepředpokládali, že gravitace existuje. Erik Verlinde dále ukázal, že jeho rovnice vede i na Einsteinovu teorii obecné relativity. Gravitu tak lze chápat jako entropickou sílu, tedy gravitace jakožto primární interakce neexistuje, je pouhým důsledkem statistického chování částic mikrosvěta.

$$T\Delta S = F\Delta x \quad (2)$$

$$\Delta S \sim m\Delta x \quad (3)$$

$$T \sim \frac{M}{R^2} \quad (4)$$

$$F = konst. \cdot \frac{Mm}{R^2} \quad (5)$$

Verlindovo pojetí gravitace řeší zcela neobvykle existenci prostoru a času. Prostor a čas se automaticky vynoří v důsledku existence informace (entropie) na uzavřeném holografickém plátně (hranici oblasti). Stejně tak jako vznikne prostor a čas, je i zákon setrvačnosti důsledkem existence informace na hranici oblasti, jde o zásadní odlišnost od obecné relativity, kde jsou zdrojem času a prostoru tělesa samotná.

5 Závěr

Verlindovo pojetí gravitace je ve stádiu neověřené hypotézy, které zatím chybí rigorózní zpracování a obsahuje řadu nedořešených problémů (zejména z hlediska volby holografické plochy). O její pravdivosti či nepravdivosti by měl v ideálním případě rozhodnout experiment, který by vycházel z jejích předpovědí a současně byl v rozporu s obecnou teorií relativity. Takové předpovědi nám však entropická gravitace, přinejmenším prozatím, neposkytuje. Nicméně je šance, že takové předpovědi budou nalezeny při hlubším rozpracování teorie. To je neoptimističtější případ, který by v konečném důsledku mohl přinést i řešení problémů temné hmoty a energie. Nelze ale ani vyloučit, že při takovém rozpracování se objeví problémy, které nám ukáží, že celý koncept je ve své podstatě nepřipustný.

Pokud se vyřeší všechny obtíže v jejím konceptu, je ovšem také možné, že se ukáže, že z této teorie nevzejde nic nového, přesněji řečeno, že se ukáže, že entropická gravitace je zcela ekvivalentní současnému popisu fungování gravitace. Což by ale přesto znamenalo velký převrat v chápání našeho světa. Přípustnost holografického principu by navíc otevřela cestu k novému pohledu na mikrosvět a promítnout by se mohla i do teorie strun. O tom, která varianta se ukáže jako pravdivá, rozhodne čas. Celá teorie je nyní načrtnuta jen v hrubých obrysech a žádá si léta důkladnějšího prozkoumání.

Poděkování

Děkuji panu profesoru Petru Kulhánkovi za jeho mimořádně poutavé a poučné přednášky a články na téma entropická gravitace, ze kterých jsem vydatně čerpal.

Reference

- [1] Štefánikova hvězdárna, novinky ze světa astronomie
<http://www.observatory.cz/news/gravitace-iii---verlindovo-pojeti-gravitace.html>
- [2] Petr Kulhánek, přednáška *Vývoj názorů na podstatu gravitace*, 1.11 2012, online záznam
<http://cas.msite.cesnet.cz/CESNET/Viewer/?peid=569bfabd9038425395d3ce575119a5d71d>
- [3] David Halliday, Robert Resnick, Jear Walker, *Fundamentals of Physics*, Nakladatelství VUTIUM a PROMETHEUS, Praha, (2000)
- [4] Eric Verlinde, *On the Origin of Gravity and the Laws of Newton*, ArcXive Cornell university
http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1001/1001.0785v1.pdf
- [5] FyzSem, Pravidla proceedings pro FyzSem
<http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/public/html/proceedings-rules.html>