

Úloha III.P ... umělá gravitace

9 bodů; průměr 5,10; řešilo 61 studentů

Jak by mohla být na vesmírné lodi realizována umělá gravitace? Jaké by to mělo výhody a nevýhody v závislosti na různých charakteristikách vesmírného plavidla? Je realistická představa, že by v různých patrech vesmírné lodi měla různý směr či že by se rychle měnila, jak někdy můžeme vidět ve sci-fi filmech při „selhání umělé gravitace“?

Karel se zasnul při sledování sci-fi.

Lineární zrychlení

Pokud se omezíme na dostupné znalosti fyziky, k realizaci umělé gravitace potřebujeme, aby se loď pohybovala s nenulovým zrychlením. Setrvačné síly jsou totiž z pohledu pasažérů na lodi nerozeznatelné od gravitačních (viz Einsteinův myšlenkový experiment s výtahem)¹.

V lineárním směru by to stálo velké množství paliva. Loď by se neustále musela pohybovat se zrychlením g , které by jako přetížení cítili astronauti. Není však známa žádná technologie, která by lodí dodávala takto velké zrychlení kontinuálně. Navíc bychom se po nějaké době (řádově měsíce) začali blížit rychlosti světla, takže by loď musela zrychlovat zase na opačnou stranu (brzdit), přičemž aby se nezměnily vnitřní podmínky, musela by se otočit svou původně přední částí dozadu.

Odstředivé zrychlení

Dobrá, jaké máme jiné možnosti? Třeba bude loď rotovat kolem vlastní osy. Odstředivé zrychlení ale závisí na vzdálenosti od osy otáčení a rychlosti a pochopitelně nikdy nenasimuluje dost přesně gravitační působení, jaké známe na Zemi. Současné moduly velké desítky metrů by se musely otáčet velkou úhlovou rychlostí, aby udržely požadovanou „gravitaci“².

Například pro rotující modul s poloměrem $r = 50$ m by udržení $a = g$ znamenalo vyvinutí obvodové rychlosti

$$a = \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{ar}.$$

Číselně je to přibližně

$$v \doteq 22,14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

To se nezdá nějak hrozné, vždyť často cestujeme i větší rychlostí. Jenže je potřeba si uvědomit, že to znamená pohyb po kružnici rychlostí 4,2 rpm (otáček za minutu). Vzhledem k velikosti lidského těla (které je relativně velké k rozměrům celého rotujícího tělesa) by to znamenalo, že na části těla od hlavy k patě by působily značně jiné síly, takže bychom pocítovali konstantní napětí, což by vedlo ke zdravotním potížím.

Právě proto je lepší postavit loď s řádově větším poloměrem. Gradient setrvačných sil nebude tak výrazný a navíc získáme větší plochu „podlahy“.

Zatím se tento model testoval jen v laboratoři na rozměrech řádu desítek centimetrů. Ostatně na simulaci toho, jak bychom se cítili, stačí obyčejná zábavní centrifuga na pouti. Zemskou gravitaci si příliš neuvědomujeme, neboť na nás působí neustále a ve stálém směru. Působící síly si však rychle všimneme, když udeláme stojku nebo se projedeme (alespoň ti šťastnější

¹<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20020052455/downloads/20020052455.pdf>

²<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20070001008/downloads/20070001008.pdf>

z nás) v Tesle Model S schopné vyvinout zrychlení $a = g^3$. Naše tělo vnímá silně pouze gravitaci v jiném směru než od hlavy k nohám, nebo naopak beztlíží.

Podle psychologie je pro naše subjektivní vnímání zásadní, když se mění zrychlení. Tuto situaci popisujeme veličinou ryv (anglicky: jerk)

$$[j] = \text{m}\cdot\text{s}^{-3}.$$

Ryv definujeme jako derivaci zrychlení

$$j = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3s}{dt^3}.$$

Účinky ryvu na organismy pozoruje i biologie. Například točení hlavy poté, co jsme vystaveni proměnnému zrychlení, je dáno pohybem mikrokrytalů kalcitu ve vnitřním uchu. Velikost ryvu $j = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-3}$ je na hranici našeho vnímání, $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-3}$ a více již výrazně pocítíme a hodnota $10\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-3}$ způsobí trhání měkkých tkání (tohle doma nezkoušejte)⁴

Samozřejmě můžeme definovat i další derivace zrychlení a ryvu a diskutovat jejich krátkodobé i dlouhodobé dopady na lidské tělo.

Jiné interakce

Co kdybychom gravitaci nahradili jinou interakcí, třeba elektromagnetickou? Pokud bychom se dostatečně silně nabili vůči okolí, byli bychom buď přitahováni, nebo odpuzováni. Elektromagnetická interakce je dokonce o mnoho řádů silnější než gravitační. Jenže není univerzální. Oddělení kladných a záporných nábojů přináší problémy v jaderné fyzice a s našimi možnostmi není ve větším měřítku realizovatelné, takže by se náboj brzy neutralizoval.

Loď by také mohla vzlétnout už nabitá. Ovšem i v tomto případě by srážkami s částicemi hmoty docházelo k postupnému rozptýlení náboje do okolního vesmíru. Dále by elektrostatickou indukci na elektricky vodivých předmětech docházelo k jiskření, případně vzniku korony, což by zaprvé náboj rychle vybilo, zadruhé to v přítomnosti oxidačních činidel (vzduchu) může způsobit požár. O tom, že náboj na lodi není úplně žádoucí, mohli vyprávět přeživší katastrofy vzducholodi Hindenburgt.⁵

Všechny tyto možnosti ale spoléhají na to, že bychom byli ještě naživu, a je nutné dodat, že to by byl hned největší problém. Při vystavení extrémně silným EM polím by došlo k desynchronizaci elektrických nervových impulzů. Experimentálně to však zatím na lidech nikdo neověřoval.

Pokud by navíc pole byla proměnná, způsobí indukci vznik proudů a zahřívání tkání, což by nás mohlo v podstatě upéct (po dosažení teploty v rozpětí $43\text{ }^\circ\text{C}$ až $45\text{ }^\circ\text{C}$ by došlo k denaturaci bílkovin, enzymů a následně ke smrti buněk).

³<https://www.techtimes.com/articles/261675/20210618/tesla-model-s-plaid-peak-acceleration-1-2-gs-elon-musk-faster-than-failing.htm>

⁴<https://link.springer.com/article/10.1007/s00221-020-05745-7>

⁵<https://www.caltech.edu/about/news/historys-mysteries-caltech-professor-helps-solve-hindenburg-disaster>

Sci-fi

Dosud jsme se bavili pouze o situaci, kdy pasažéři zažívají rozumně „předvídatelnou“ gravitaci. V různých patrech lodi by směřovala stále stejným směrem, pouze s různou intenzitou. Měnící se umělá gravitace by byla možná jen obrovskými změnami rychlosti a opět se dostáváme k problému, jak vyvinout takové zrychlení.

Změny gravitace jsou však ve sci-fi literatuře a kinematografii možné téměř okamžitě a nečekaně. Například by se mohlo jednat o jistou exotickou hmotu, která dokáže rušit gravitační působení, případně ho obrátit apod. Například v herní sérii *Mass Effect* je objevena hmota, která je schopná měnit hmotnost okolních těles. Žádnou takovou částici však neznáme. Veškerou známou hmotu spojuje právě jednotná gravitace⁶ a její hmotnost ovlivňuje Higgsovo pole všem stejně.

Daniel Fousek

daniel.fousek@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, 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 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

⁶<https://cds.cern.ch/record/2295704/files/pdf.pdf>