

Fyzika gyroskopu

RENATA HOLUBOVÁ

Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Vše rotuje. Právě nyní se otáčíme spolu se Zemí rychlostí více než $960 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. A Země se otáčí kolem Slunce rychlostí asi $107\,200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Střed sluneční soustavy se kolem středu Mléčné dráhy otáčí rychlostí $892\,800 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. A tyto hodnoty ani zdaleka nedosahují rychlostí, s jakou se pohybují elektrony kolem jádra atomu. Závěr vědců – od rozměrů vesmírných po rozměry atomární vše rotuje.

Gyroskop je jedna z nejběžnějších a nejznámějších hraček, ale jen málo lidí ví, že tato hračka byla původně vyvinuta vědci pro studium spinu a rotace Země. Studium pohybu gyroskopu vedlo k porozumění pohybů Země a k sestrojení mnoha užitečných přístrojů – gyrokompas, zařízení pro letectví, autopilot, gyroskopická stabilizace a navigace lodí, letadel, vesmírných stanic a satelitů.



Obr. 1 Gyroskop

Řada experimentů, které lze provádět pomocí gyroskopu, vede žáky k lepšímu pochopení rotačních pohybů a lze je začlenit do vzdělávacích programů na různých úrovních výukového procesu.

Například:

Úvod do studia: přírodověda + ZŠ 2.st. (způsob experimentování, porozumění způsobu kladení otázek a hledání odpovědi ve vědecké práci)

Fyzika: ZŠ (poloha a pohyb těles, světlo, teplo, elektřina, magnetismus, pohyb a síla)

Zeměpis: objekty na nebi (vesmír), změny na Zemi a ve vesmíru, Země a sluneční soustava

Věda a technika: věda a technologie, design, objekty přírody a objekty vyrobené člověkem, jejich vzájemný vztah. Porozumění vztahu vědy a technologie.

Dějiny a podstata vědy: věda jako snažení lidstva, podstata vědy, dějiny vědy

Sled výukových jednotek s experimenty:

1. Bud'me vědci

Základní postup vědecké práce:

- Kladení otázek – proč, jak, jak dlouho....
- Experiment – hledání odpovědi, ověřování nového..
- Pozorování
- Zápis výsledků pozorování a naměřených dat
- Opakování experimentu
- Shrnutí a analýza výsledků
- Zápis závěrů

Vědci pracují často v týmu, diskutují své závěry a výsledky experimentů.

2. V moci rotace

Cíl: pozorování gyroskopického efektu, vliv tření, zápis pozorování a výsledků experimentů, diskuse v kolektivu

Uvedeme příklady objektů, které konají rotační pohyb. Sestavíme přehled těchto objektů. Rotující objekty mají celou řadu speciálních vlastností, které budeme zkoumat. Diskutujeme způsob vědecké práce, kdo je vědec?

Pokus 1. Spin

Pomůcky: CD, tužka, kousek provázku

Postup: Na tužku přivážeme jeden konec provázku a druhý protáhneme otvorem v CD. Jeden konec provázku držíte volně v ruce, CD nechť visí volně na druhém konci. Opatrně jím houpeme vpřed a vzad. Pozorujte, jak se chová CD – je nestabilní a viklá se. Nyní CD roztočte. Pokud disk rotuje, pohybujte opět provázkem vpřed a vzad. Jak se mění chování disku? Pokus opakujte a запиšte svá pozorování.

Závěr: demonstrovali jsme gyroskopický efekt (princip). Každé rotující kolo či těleso má snahu setrvat v rovině rotace, pokud na ně nepůsobí vnější síla.

Upozorníme na důležitost tohoto jevu. Diskutujeme, která síla má vliv na zastavení disku.

Pokus 2. Tření

Pomůcky: CD, gumová páska, pero, různé povrchy, siloměr

Postup: Zkoumáme, jak snadno se CD pohybuje po různých površích – stůl, podlaha, časopis, notebook, papír, hliníková fólie, noviny, smrkový papír... Změřte sílu potřebnou pro uvedení CD do pohybu.

Závěr: Třecí síla působí proti pohybu tělesa. Zkuste chvíli gumovat své dlaně. Ucitíte teplo. Třením vzniká teplo. Diskutujte vlastnosti materiálů a způsoby, kterými lze tření zmenšit.

Kdy je tření užitečné a kdy nám škodí?

3. Gyroskop

Cíl: studovat gyroskopický efekt, gravitace, naučit se uvést do rotačního pohybu gyroskop, osy rotace

Pomůcky: tužka (hexagonální), CD, černá elektrická páska, gyroskop

Diskutujeme pojem gravitace – co všechno víme o gravitaci, osobnost I. Newtona, závislost gravitační síly na hmotnosti těles, jejich vzdálenosti, gravitační pole Země, gravitační působení Měsíce (příliv a odliv).



Pokus 3. Rovnováha

Postup: Postavte tužku na její ostrý hrot. Jak lze tužku v této poloze udržet? Vzpomeňte na gyroskopický efekt. Připravte si pomůcku – tužku prostrčte středem CD a upevněte páskou. Roztočte tužku s CD. Ptáme se: Stojí tužka na svém hrotu? Která síla způsobí, že spadne? Dokážete tužku postavit pomocí rotujícího CD? Proč? Co se stane, když se disk zastaví? Proč se disk zastaví? Jak se jmenuje hračka, kterou jsme takto vyrobili?

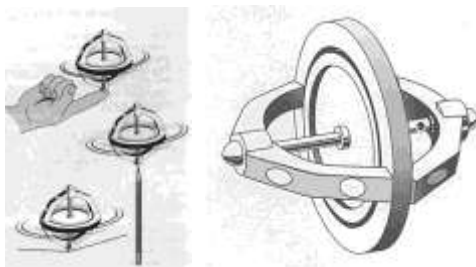
Rotující hračky fascinují lidi odedávna. Vědci se tímto jevem začali zabývat na přelomu 17. a 18. století.

Gyroskop: „otáčet se, rotovat, v kruhu“

Balancujte gyroskop na jeho hrotu na prstu a na hrotu tužky. Musíte se naučit gyroskop roztočit. Pokuste se rotující gyroskop shodit pomocí svého prstu. Udržel se gyroskop v dané poloze, pokud nebyl roztočen? Co se stane, když se gyroskop zastaví? Který objekt rotuje déle: gyroskop nebo tužka s CD?

Hlavní části gyroskopu: osa, rotor, kostra, ložiska

Další hračky využívající rotace pro svou stabilizaci: jo-jo, kopací míč,...



Rotace disku (rotoru) se děje kolem osy rotace (i CD mělo osu rotace), která je uložena v ložiscích. Tím zmenšíme vliv tření a dosáhneme delší doby rotace.

Použijte globus a ukažte, že naše Země je velké rotující těleso letící vesmírem. Vyznačte osu rotace Země, jak se nazývají konce osy rotace? Severní a jižní pól jsou protilehlé konce osy rotace. Rotace Země je odpovědná za řadu dějů na Zemi – počasí, vítr, střídání dne a noci.

Jak rychle rotujeme? Obvod Země je 40 000 km (jedna kompletní rotace kolem osy), rovník se otáčí rychlostí $1\,600\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jak rychle rotujeme, když sedíme ve třídě? Vynásobte rychlost rovníku kosínem zeměpisné šířky.

Např., je-li zeměpisná šířka 41° , $\cos 41^\circ = 0,755$, tj. $1\,600\text{ km}\cdot\text{h}^{-1} \times 0,755 = 1\,280\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Když tak rychle rotujeme, proč nic nepocítujeme? Vše kolem nás se pohybuje také tak rychle. Jsme schopni pozorovat jen změnu polohy Slunce a hvězd.

Objev gyroskopu je přisuzován francouzskému vědci Leonu Foucaultovi. V roce 1852 použil gyroskop k demonstraci rotace Země.

4. Setrvačnost a gyroskopas

Pokus 4. Magnetický kompas versus gyroskop

Pomůcky: gyroskop, CD, magnetický kompas, magnet, železné piliny, arch papíru

Vycházíme z 1. Newtonova zákona. Pozorujeme rotující gyroskop a jeho osu rotace. Osa zachovává svůj směr – gyroskopická setrvačnost.

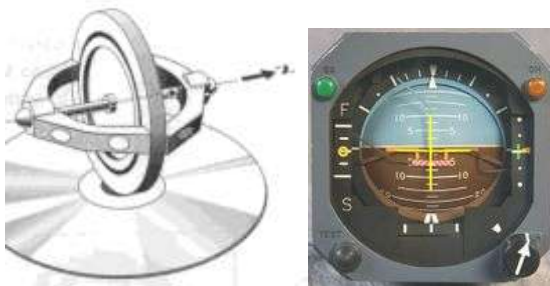
Magnetický kompas známe a víme jak funguje. Magnetické pole je polární, což lze demonstrovat pomocí magnetu a železných pilin. Také Země má magnetické pole. Magnetický pól je od severního pólu vzdálen asi 960 km. Přesná poloha magnetického pólu se mění vlivem pohybu a turbulencí tekutého železného jádra. Poloha se mění každý rok od 1831, ročně asi o 40 km severozápadně.

Kolem r. 1900 byla schopnost gyroskopu směřovat jedním směrem využita ke konstrukci kompasu, který není ovlivněn přítomností kovu.

Pokus 5. Gyrokompas

Studenti namíří svůj ukazatel (šipku) směrem k severu. Na něj položí CD. Postavte gyroskop na obal jdoucí kolem rotoru do mezery v CD tak, aby osa byla paralelní s povrchem stolu. Opatrně otáčejte CD aniž se dotknete gyroskopu a pozorujte, co se stane. Nesmíme otáčet příliš rychle. Co se stane, když bude gyroskop rotovat? Pokus opakujte s rotujícím gyroskopem.

Tento postup je velmi zjednodušeně demonstrací první myšlenky gyrokompasu. CD představuje letadlo nebo loď. Když gyroskop rotuje, setrvačností způsobí, že směřuje stále stejným směrem, nezávisle na tom, kterým směrem se pohybuje loď. Dnešní gyroskopy jsou mnohem komplexnější. Gyroskop musí rotovat, musí být uchycen tak, aby se zamezilo vlivu vnějších sil (gimbal). Reálný gyrokompas využívá sílu tření, precesi a rotaci Země k vlastní orientaci (*north-seeking*). První tuto konstrukci představil *Elmer Sperry* (autor asi 360 patentů) v roce 1908, mj. autor autopilota, tzv. otec moderní navigace.



Obr. 2 Umělý horizont

5. Gyroskop a létání

Studenti se seznámí se stabilitou gyroskopu v prostoru, a jejich použitím v letectví, satelitech.

Pokus 6.

Pomůcky: gyroskop

Postup: Gyroskop vyhazujeme v různých počátečních polohách do vzduchu. Pozorujeme, jak se gyroskop chová. Totéž opakujeme, když gyroskop roztočíme. Pozorujeme jeho chování.

Pokus 7. Síla působící na osu

Roztočte gyroskop tak, aby osa směřovala nahoru a dolů. Co se děje s osou, když gyroskop zpomaluje? Opět gyroskop roztočíme a prstem tlačíme na vrchol osy rotace. Co se děje s gyroskopem a s osou rotace?

Diskutujeme, jak osa kolísá, když působí vnější síla. Není-li osa gyroskopu vertikální, začne působit síla (gravitace) snažící se gyroskop překlomit – osa se začne pohybovat po kuželové ploše. Toto kolísání osy vlivem vnější síly se nazývá precese. Když gyroskop zpomaluje, precese se zrychluje až nakonec převáží gyroskop.

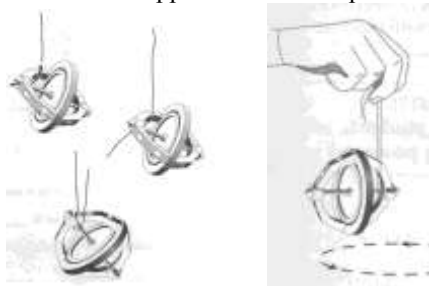
Pokus 8. Moment rotace

Studenti postaví gyroskop na prstenec, který jde kolem rotoru. Obruč kolem osy musí být paralelní se stolem. Zatlačte na konec osy – co se stane? Pokus opakujte, ale tlačte na opačný konec. Co se stane, když bude gyroskop rotovat? Pokus opakujte s rotujícím gyroskopem.

Otázky: Dokážete stlačit konec osy, když gyroskop rotuje? Co se stane, když tlačíte na opačném konci? Cítíte setrvačnost?

Pokud na gyroskop působí vnější síla, gyroskop reaguje změnou momentu setrvačnosti (orientuje se kolmo k působící síle) – precese.

Zemská osa vykonává také precesní pohyb. Trvá 26 000 let (tzv. Platónský rok), než uzavře jeden kruh. Nyní osa míří směrem k Polárce, za 13 000 let bude směřovat k jiné jasné hvězdě Vega a za dalších 13 000 let opět k Polárce. Poprvé precesi zaznamenal řecký Hipparchus v r. 130 př.n.l.



Jednou z nejefektnějších demonstrací precese – gyroskop zachytíme za provázek, který protáhneme pod rámem a mezi osou rotace.

Literatura

Przybilla, K.: Teaching science with a Gyroscopes. NSTA conference Anaheim, CA, USA April 2006 (Duncan Toys).