

Zákon zachování momentu hybnosti

P.Obšil

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

p.obsil@seznam.cz

Abstrakt

Celý výklad sestával ze tří hlavních částí, v první byli představeny teoretické předpoklady v podobě rovnic a matematických vztahů, ve spojení se slovními příklady, jak se daná veličina chová a jaké má rozměry. Druhá část byla vyplněná praktickými ukázkami a velmi lehkým důkazem předcházející teorie. Praktické ukázky byly prezentovány pomocí točny a setrvačnicku v podobě cyklistického kola. Konečně třetí část byla vyplněná aplikací toho zákona v systémech inerciální navigace, kde byl představen gyrokompas GPK-59, na kterém, díky jeho velikosti, byly jasně rozpoznatelné hlavní části a principy jeho funkcí.

1 Úvod

Zákon zachování momentu hybnosti je fyzikální jev, který jak již bylo řečeno, se využívá v systémech inerciální navigace, hlavně v historii byl v tomto odvětví hojně rozšířen.

Směrový gyroskop, je jedním z nich, jeho ryska se nastaví na požadovaný směr a rychle se otáčející setrvačnick uvnitř, pomocí zákona zachování momentu hybnosti, tento směr udržuje, samozřejmě nám nemůže daný směr ukazovat do nekonečna a po nějakém čase se musí směr opět nastavit.

Podobným přístrojem je gyrokompas, který má na rozdíl od směrového gyroskopu osu otáčení setrvačnicku zatíženou definovaným závažím. Tedy nutí osu otáčení setrvačnicku mít rovnoběžně se zemským povrchem (přesněji řečeno nám zaručuje, aby se osa rotace setrvačnicku naklápěla kolmo ke gravitačnímu zrychlení Země, vlivem jeho působení). Trochu složitější úvaha je, že tato osa otáčení setrvačnicku má tendenci stáčet se do směru osy rotace země, díky presentovanému zákonu. Stáčeující osa ovšem v tomto směru lehce zakmitává (v praxi se proto zavádí určitý útlum) a pohyb, který koná při natáčení se nazývá precese. Vzhledem k tomu, že se natáčí ke směru rotace země, takzvaně vyhledává pravý sever, nikoliv magnetický sever.

Přístroj jež si podvědomě spojujeme s letadly a který slouží k orientaci náklonu letadla vůči zemské rovině se nazývá umělý horizont. Je to opět gyroskop s rychle rotujícím setrvačnickem.

Dále se například setrvačnicku využívají v lodním inženýrství a to nejen k navigaci, ale nyní mám na mysli stabilizaci lodí, tedy aby se plavidlo nepřevrátilo na stranu. Co se týče konstrukce setrvačnicku, jedná se o jedny z největších.

2 Tělo příspěvku

Teorie

Kruhový pohyb byl presentován, jako ekvivalent křivočarého pohybu. Přičemž úhel je ekvivalent dráhy (délky trajektorie), úhlová rychlost-rychlosti a úhlové zrychlení-zrychlení, dle vztahu

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (1)$$

Dále moment setrvačnosti, ekvivalent hmotnosti, je závislí na rozložení hmoty, což i vystihuje rovnice

$$I = \sum m_i r_i^2. \quad (2)$$

Moment hybnosti je ekvivalentem hybnosti a stejně jako hybnost i moment hybnosti se zachovává. Tedy i zákon bude mít podobnou formulaci, že moment hybnosti se v izolované soustavě nemění. Je dán vektorovým součinem poloměru a hybností v daném místě, tedy je kolmý na oba vektory a jeho směr je totožný se směrem osy rotace, matematicky zapsáno

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}, \quad (3)$$

propojenost křivočarého pohybu s kruhovým nám ukazuje vztah

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \Rightarrow \vec{L} = I \cdot \vec{\omega}. \quad (4)$$

Moment sil je ekvivalentní síle a směr je tudíž shodný se směrem momentu hybnosti, úhlové rychlosti a úhlového zrychlení, tedy vzorec může vypadat

$$\vec{N} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (5)$$

a opět můžeme vidět ekvivalenci mezi křivočarým pohybem a kruhovým

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow \vec{N} = I \cdot \vec{\varepsilon}, \quad (6)$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \Rightarrow \vec{N} = \frac{d\vec{L}}{dt}. \quad (7)$$

Praktická ukázka

Skládala se ze známého pokusu, kdy člověk stojí nehybně na točně a drží točící se setrvačnick s osou otáčení rovnoběžnou se zemí. Když pak osu rotace setrvačnicku vychýlí, nejlépe tak aby byla kolmá k zemi, začne se člověk na točně otáčet. Jak je patrné, moment hybnosti člověka na točně, před natočením setrvačnicku, je roven nule a hybnost setrvačnicku ve stejném směru rovněž. Z toho vyplývá, že moment hybnosti dané izolované soustavy je roven nule. Ovšem když změníme osu rotace setrvačnicku, tak nám v daném směru jakoby vznikne nějaký moment hybnosti, a protože moment hybnosti se zachovává a předtím byl roven nule, tak člověk na točně je nucen mít stejný moment hybnosti, ale opačného směru než má samotný setrvačnick.

Ukázka gyrokompasu

Byl ukázán gyrokompas GPK-59, který byl napájen z měniče 36V efektivní hodnoty, při frekvenci 400Hz trojfázově, vnitřní zapojení elektromotoru je do hvězdy. Po rozebrání byly dobře viditelné hlavní konstrukční prvky a jejich provedení, vodotěsná úprava, třecí kontakty, zvláště pak kardanový závěs, sloužící k uchycení kostry setrvačnicku.

3 Závěr

Praktické (experimentální) provedení důkazu zákona zachování momentu hybnosti se povedlo díky vhodné točně a správně zatíženému setrvačníku, při větším tření ložisek by se pokus těžko realizoval. Některé části teorie byli dosti špatně myšlenkově pochopitelné, ale na praktických ukázkách se již daly dobře pochopit, a proto si myslím, že praktické ukázky nejenže vzbudí publikum, ale často obohatí posluchače víc, než pouhý výklad.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi jakkoli pomohli nebo mě podporovali při zpracování experimentu.

Reference

- [1] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *Feynmanovy přednášky z fyziky 1/3 s řešenými příklady*, Nakladatel Fragment, 2000
- [2] R. P. Feynman, M. A. Gottlieb, R. B. Leighton, *Feynmanovy přednášky z fyziky doplněk k Feynmanovým přednáškám z fyziky*, Nakladatel Fragment, 2007