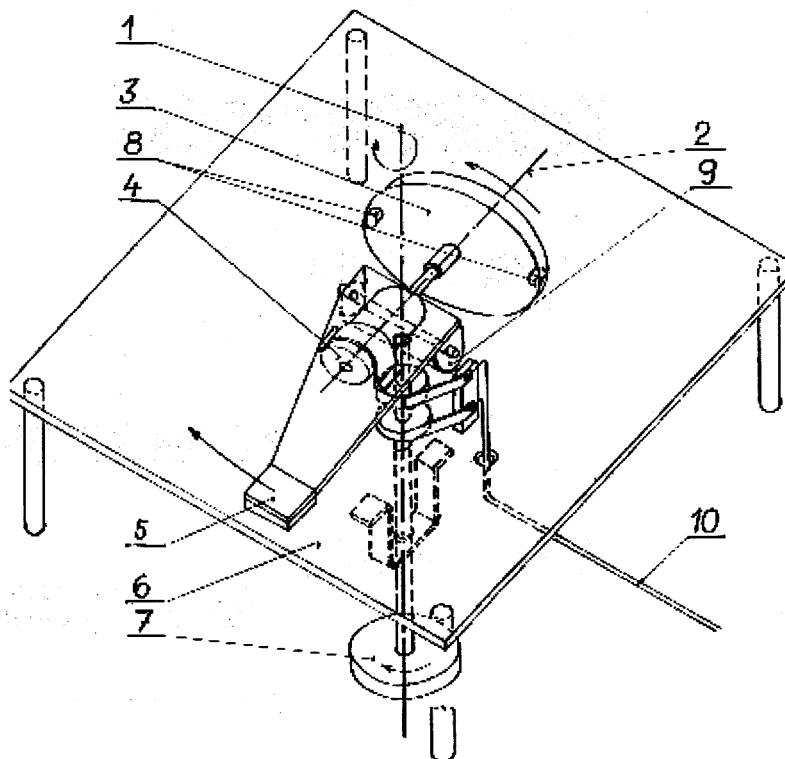


## Neobvyklá precese

Zdeněk Olexa, Ústí nad Labem

**Úvod:** V současné době je teorie a praktické využití setrvačnicků oblastí, kde se jen těžko dají očekávat nové poznatky. Nicméně si dovoluji upozornit na následující popis precesního pohybu spolu se zařízením, na kterém byl vyvolán. Dále uvádím některé výsledky experimentů s ním souvisejících, které nejsou pro tento pohyb obvyklé.



Obr. 1

### Legenda:

- |   |                                     |    |   |
|---|-------------------------------------|----|---|
| 1 | osa precese                         | 6  | plotna rámu   |
| 2 | osa rotace setrvačnicku             | 7  | kotouč pro experimentální účely   |
| 3 | setrvačnick                         | 8  | válcová tělíska opatřená závitovým dřikem pro připevnění na čela setrvačnicku |
| 4 | elektromotor pohánějící setrvačnick | 9  | kloub umožňující vychylování desky pohonu (3 stupně volnosti setrvačnicku)    |
| 5 | deska pohonu                        | 10 | přívod elektrického proudu z elektronického regulátoru otáček                 |

\* zolexa@iol.cz

Z. přiloženého obrázku zařízení pro demonstraci jevu neobvyklé precese je možno usuzovat na určitou podobnost se známým Fesselovým přístrojem. Jedná se obdobně o tzv. těžký setrvačnick. který je podepřen v ose souměrnosti mimo těžiště. V tomto případě, jak je ukázáno Fesselovým přístrojem, při skloněné ose rotace setrvačnicku, působí na setrvačnick jeho hmota momentem, který se snaží osu rotace otočit kolem vodorovné osy. Výsledkem je, že setrvačnick koná precesní pohyb, obdobně, jak je možno ukázat zmiňovaným Fesselovým přístrojem. Nastane stažení osy setrvačnicku kolem svislé osy v jednom nebo opačném smyslu, v závislosti na tom, je-li moment tíhy setrvačnicku větší nebo menší než moment tíhy pohonného zařízení. Tím však podobnost obou mechanismů končí. Zatímco u popisovaného mechanismu je nutné k vyvolání trvalé precese (trvalé v tom smyslu, že trvá, pokud se setrvačnick otáčí) stálý silový kontakt desky pohonu s plotnou rámu, Fesselův přístroj by se za těchto okolností zastavil.

**Popis zařízení** (viz obr. 1): Po postupném roztocení setrvačnicku, na kterém jsou na přední a zadní čelné straně připevňena válcová tělíska, počne se deska pohonu spolu s elektromotorem a setrvačnickem otáčet kolem osy precese. Deska pohonu klouže svým ohnutým koncem podlepeným plstí po hladké vodorovné plotně rámu, spočívající na čtyřech podpěrách. Přitom kompenzuje tlakovou sílu podpěry (způsobenou složkou tíhy setrvačnicku spolu s jeho pohybem, který přitlačuje desku pohonu na plotnu rámu) a působí na ni třením. Konkrétní hodnota momentu třecí síly vzhledem k ose precese je  $14,0 \text{ N} \cdot \text{cm}$  (hodnota při nerotujícím setrvačnicku). Kloub umožňuje vychylování desky pohonu v rovině určené osou precese (1) a osou rotace (2). Úhel sklonu desky pohonu vzhledem k ose precese měl při provedených experimentech hodnotu  $45^\circ$ .

Plotna rámu (6) je zhotovena z leštěného hliníku o síle 2 mm stejně tak jako deska pohonu (5). Setrvačnick (3) je ocelový o průměru 56,8 mm, síle 5 mm a hmotnosti 114 g. K pohonu setrvačnicku je použit stejnosměrný elektromotor pracující s napětím 3–9 V a proudem 1,1–6,6 A. Maximální otáčky elektromotoru jsou  $11600 \text{ min}^{-1}$ . Zdrojem proudu pro motor je suchá baterie 12 V, 6,5 Ah. Proud z baterie je veden do pulzního regulátoru, spojitě regulujícího otáčky elektromotoru. Proud z regulátoru je veden do elektromotoru přes pružné měděné kontakty a sběrné kroužky upevněné na precesním hřídeli. Pozice (8) na obrázku jsou dvě hmotnostně a tvarově stejná tělíska, z nichž jedno je upevněno na přední a druhé na zadní straně setrvačnicku (3). Obě tělíska jsou stejně vzdálena od osy rotace setrvačnicku (2). Kotouč (7) je upevněn na precesním hřídeli. Při provedených experimentech sloužil k navijení lanka, na kterém bylo připevněno zvedané těleso (viz dále).

**Experimentální výsledky:** Pokud se týká precese samotné a zejména jejich otáček, pak provedené experimenty na popsaném zařízení ukazují, že otáčky precese rostou především s otáčkami setrvačnicku a hmotností tělísek. Při měření byla použita dvě dvojice tělísek o různých hmotnostech. Jedna o hmotnosti 0,4 g a druhá o hmotnosti 2 g. Vzdálenost obou dvojic tělísek od osy rotace setrvačnicku byla stejná a činila 26 mm. K měření otáček setrvačnicku (3) bylo použito digitálního optoelektrického otáčkoměru o rozsahu  $10 - 20000 \text{ min}^{-1}$ .

#### Výsledky měření:

tělíska o hmotnosti 0,4 g		tělíska o hmotnosti 2 g	
otáčky setrvačnicku [ $\text{min}^{-1}$ ]	otáčky precese [ $\text{min}^{-1}$ ]	otáčky setrvačnicku [ $\text{min}^{-1}$ ]	otáčky precese [ $\text{min}^{-1}$ ]
4 260	4,6	3 870	6,0
6 450	4,7	5 680	15,0
7 900	4,8	7 500	30,0
11 600	6,0		

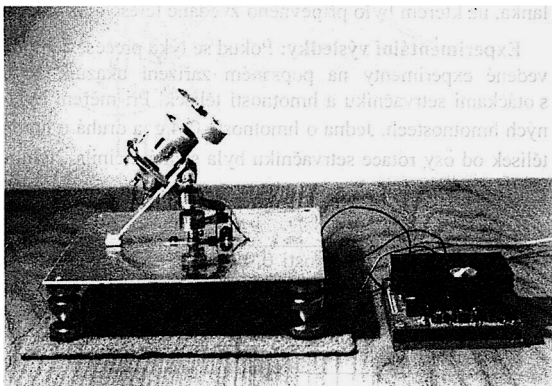
Uvedené hodnoty reprezentují průměrné hodnoty z řady měření. V případě tělísek o větší hmotnosti by velká zátěž ložisek elektromotoru deviačním momentem setrvačnicku mohla vést k jejich destrukci (jedná se totiž o elektromotor obvykle používaný pro modelářské účely). Z těchto důvodů bylo voleno nižší odstupňování otáček.

**Diskuse:** Výsledky měření ukazují na podstatný vliv hmotnosti tělísek na velikost otáček precese. Zatím co otáčky precese při aplikaci tělísek o hmotnosti 0,4 g rostou se zvyšujícími se otáčkami setrvačnicku velmi pozvolna, je nárůst otáček precese při použití tělísek o hmotnosti 2 g markantně strmější a otáčky dosahují také podstatně vyšších hodnot. Zároveň bylo zjištěno, že s rostoucí hmotností tělísek roste kroutící moment precese. Při použití tělísek o hmotnosti 2 g bylo například pomocí kotouče upevněného na precesním hřídeli zvednuto těleso (elektromotorek) o hmotnosti 200 g. Celkový výkon precese (tj. včetně překonávání momentu tření mezi deskou pohonu a základovou plotnou) činil 0,083 W při otáčkách precese 25,5 min<sup>-1</sup>. Zvedané těleso – elektromotorek – bylo zvedáno pomocí silonového lanka. Lanko bylo na jednom konci upevněno ke kotoučku na precesním hřídeli a druhým koncem ke zvedanému tělesu. Zařízení bylo umístěno na okraj pracovního stolu. Lanko bylo vedeno přes okraj pracovního stolu pomocí kladičky volně otočné na ose. Při pokusech byl měřen čas, za který zvedané těleso urazilo určitou dráhu. I takto relativně malé zařízení, jehož celková hmotnost činí 860 g, vytváří obstojný kroutící moment.

**Závěr:** Precesní pohyb je vizuálně plynulý a pravidelný. Pokud jsou obě uvedená tělíska (8) umístěna na čelní straně setrvačnicku, precese nenastane. Provedené pokusy rovněž ukázaly, že obdobný precesní pohyb lze vyvolat rotujícími geometricky symetrickými tělesy, která nejsou, ať již z důvodu rozměrové přesnosti, případně materiálové homogennosti, zcela vyvážená. Tato skutečnost naznačuje, že k vyvolání uvedeného precesního pohybu je nutná určitá dynamická nevyváženost rotujících těles. Změna smyslu otáčení rotujícího tělesa znamená i změnu smyslu precese.

V příspěvku jsou uvedena pouze experimentálně zjištěná fakta. Skutečnou podstatu tohoto rotačního pohybu se dosud nepodařilo teoreticky uspokojivě objasnit.

**Výzva:** Autor by uvítal, kdyby odborná veřejnost pomohla teoretickému objasnění podstaty tohoto pohybu. Autor by rovněž provedl další experimenty podle požadavků řešitelů tohoto problému. Bylo by na prospěch věci, kdyby řešení též zjistilo, jaké dynamické síly brzdí rotující setrvačnick, opatřené tělísky, při precesi. (Tím nejsou myšleny pasivní odpory.) Při stavbě většího zařízení obdobného typu by tyto informace umožnily přesné výkonové dimenzování pohonné jednotky setrvačnicku. Autor poskytně za úplné vyřešení tohoto problému, které by umožňovalo návrh větších zařízení tohoto typu, finální prémii ve výši 10 tisíc Kč.



Obr. 2