

UKRAJNA OKTATÁSI ÉS TUDOMÁNYÜGYI MINISZTERIUMA
ÁLLAMI FELSŐOKTATÁSI INTÉZMÉNY
„UNGVÁRI NEMZETI EGYETEM”
UKRÁN-MAGYAR OKTATÁSI-TUDOMÁNYOS INTÉZET
FIZIKA ÉS MATEMATIKA TANSZÉK

**Gecse Ferenc, Sáfrányos Mirosláv,
Traski Natália, Turóci-Sütő Jolán**

Laboratóriumi munkák mechanikából

Módszertani segédeszköz az Ungvári Nemzeti Egyetem
első évfolyamos fizika szakos hallgatói részére

Ungvár
2023

Gecse Ferenc, Sáfrányos Miroszláv, Traski Natália, Turóci-Sütő Jolán.
Laboratóriumi munkák mechanikából (Szak: „Fizika”). – Ungvár, 2023. – 40 old.

Recenzensek:

Prof. Mikla Viktor, a fizika és matematika tudományok doktora, Fizika és Matematika Tanszék

dr. Szuhovija Mária, a szilárdtest elektronika és információbiztonság tanszék docense

Kiadását ajánlotta:

- a Fizika és Matematika Tanszék (2023. június 23-i ülésén, 11. sz. jegyzőkönyv)
- az Ukrán-Magyar Oktatási-Tudományos Intézet Módszertani Bizottsága (2023. június 27-i ülésén, 2. sz. jegyzőkönyv)
- az Ukrán-Magyar Oktatási-Tudományos Intézet Tudományoss Tanácsa (2023. június 30-i ülésén, 10. sz. jegyzőkönyv)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ УЖГОРОДСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНСЬКО-УГОРСЬКИЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ- ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН

**Гече Федір Елемирович, Шафраньош Мирослав Іванович,
Трошкі Наталія Василівна, Туровці-Шютев Йолана Менґертівна**

Лабораторні роботи з механіки

Методичні розробки для студентів першого курсу спеціальності 6. 014.08
Середня освіта. Фізика

Ужгород
2023

УДК 53(076.1)
ББК 22.2я73-5
К93

Гече Ф.Е., Шафраньош М.І., Трошкі Н.В., Туровці-Шютев Й.М. Лабораторні роботи з механіки / Методичні розробки для студентів першого курсу спеціальності 6. 014.08 Середня освіта. Фізика. – Ужгород, 2023 – 40 ст.

Рецензенти:

Мікла В.І., доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізико-математичних дисциплін Українсько-угорського навчально-наукового інституту «УжНУ».

Суховія М.І., доцент кафедри твердотільної електроніки та інформаційної безпеки Фізичного факультету «УжНУ».

Рекомендовано до друку Кафедрою фізико-математичних дисциплін Українсько-угорського навчально-наукового інституту ДВНЗ «УжНУ» (протокол № 11 від 23 червня 2023 року).

Рекомендовано до друку Методичною комісією Українсько-угорського навчально-наукового інституту ДВНЗ «УжНУ» (протокол № 2 від 27 червня 2023 року).

Рекомендовано до друку Вченою радою Українсько-угорського навчально-наукового інституту ДВНЗ «УжНУ» (протокол № 10 від 30 червня 2023 року).

© Гече Ф.Е., Шафраньош М.І., Трошкі Н.В., Туровці-Шютев Й.М.
©Ужгородський Національний Університет, 2023.

Tartalom

Előszó	6
1. számú laboratóriumi munka <i>A szabadesés gyorsulásának meghatározása matematikai inga segítségével</i>	7
2. számú laboratóriumi munka <i>A szabadesés gyorsulásának vizsgálata Atwood-féle gép segítségével</i>	11
3. számú laboratóriumi munka <i>A merev test tehetetlenségi nyomatékának meghatározása az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényei alapján</i>	15
4. számú laboratóriumi munka <i>Az energiamegmaradás törvényének tanulmányozása Maxwell-inga segítségével</i>	19
5. számú laboratóriumi munka <i>A testek ütközési törvényeinek tanulmányozása</i>	23
6. számú laboratóriumi munka <i>A Young-modulus meghatározása hajlítási módszerrel</i>	27
7. számú laboratóriumi munka <i>A nyírási modulus meghatározása rugós inga segítségével</i>	30
8. számú laboratóriumi munka <i>A giroszkóp tulajdonságainak tanulmányozása</i>	33
Irodalomjegyzék	39

Előszó

A módszertani segédeszköz „A mechanika fizikai alapjai” című tantárgy laboratóriumi munkáinak elméleti alapjait tartalmazza. A fő figyelem a törvényszerűségek és jelenségek tanulmányozására, a fizikai mennyiségek meghatározásának módszereire és elveire, valamint a laboratóriumi munkák elvégzésének technikájára irányul.

A segédlet nyolc laboratóriumi munkát tartalmaz. A munkák kiválasztása úgy történt, hogy a hallgatók kísérleti úton reprodukálhassák a tantárgyban vizsgált jelenségek nagy részét, és a gyakorlatban ellenőrizhessék az ezekből adódó fizikai törvényszerűségeket és következményeket.

Minden laboratóriumi munka elején megfogalmazódik a munka célja, amely lehetővé teszi, hogy megtudjuk, mi a legfontosabb ebben a munkában. A munka egy kiterjesztett elméleti résszel egészül ki, amelyben a vizsgált jelenségeket és azok főbb jellemzőit tekinthetjük át. A tantárgyból származó tudást és információkat a kísérleti feladatokhoz kapcsolódó további kérdések egészítik ki és mélyítik el. Ez a szemlélet egyrészt lehetővé teszi a hallgatók számára, hogy egyetlen forrásban összegyűjtött elméleti anyagot használjanak, másrészt hozzájárul az ismeretek elmélyítéséhez, rendszerezéséhez.

Az elméleti ismeretek és a kísérleti berendezés leírása után, a közvetlen mérések során a munka menetét szabályozó feladatok kerülnek feltüntetésre. A leírás végén minden munkához mellékletként az ellenőrző kérdések listáját és az ajánlott irodalomjegyzéket láthatjuk.

Megjegyzendő, hogy a fő hibaforrások elemzése, mérlegelésük módszerei, és a végeredményre gyakorolt hatás csökkentése a hallgatók előtt már ismertek, ezért csak a laboratóriumi munkavégzés során kell azokat ügyesen alkalmazni.

1. számú laboratóriumi munka

Téma: A szabadesés gyorsulásának meghatározása matematikai inga segítségével

A munka célja:

- A nehézségi gyorsulás meghatározása különböző hosszúságú fonálingák lengésidejének mérésével.
- A grafikonkészítés gyakorlása, linearizálás, a meredekség fizikai jelentésének felhasználása.

Eszközök: Változtatható hosszúságú fonálinga, Bunsen-állvány, mérőszalag, tolómérő, stopperóra, mm-papír.

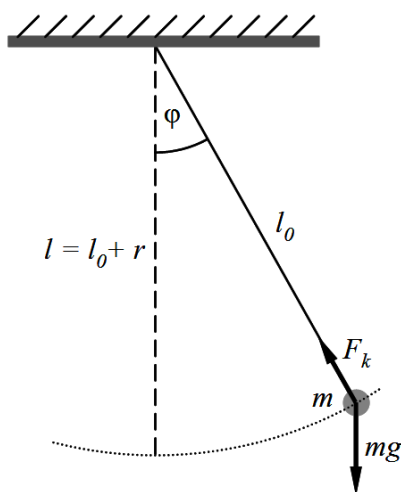


1.1. ábra. Matematikai inga.

Elméleti összefoglaló

Az egyik végén rögzített, elhanyagolható tömegű, hosszú, nyújthatatlan fonálból és a végére erősített viszonylag nagy tömegű nehezékből álló testet *fonálingának* nevezzük. Ha a nehezék mérete elhanyagolható a fonál hosszához képest, *matematikai ingáról* van szó, amely egyensúlyi helyzetéből kimozdítva, majd elengedve kis

kitérések esetén harmonikus rezgőmozgást végez. A rezgőmozgást a testre ható mg nehézségi erő (szabaderő) és a fonalban ébredő F_k kényszererő eredője (lásd a 1.2. ábrát) biztosítja.



1.2. ábra. A matematikai inga mozgását meghatározó erők.

Az eredő erő a mozgás során jó közelítéssel az egyensúlyi helyzet irányába mutat, és nagysága arányos az egyensúlyi helyzettől mért távolsággal. A harmonikus rezgőmozgás T periódusideje kis kitérések esetén ($\varphi < 5^\circ$) csak az inga hosszától (l) és a g nehézségi gyorsulástól függ, az alábbi képlet szerint:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1.1)$$

A fonálinga *hosszán* a felfüggesztési pont és az inga tömegközéppontjának távolságát kell érteni. A *periódusidő* az az időtartam, amíg az inga az egyik szélső helyzetből indulva 1 teljes lengést megtéve ugyanoda visszatér. A (1.1) összefüggés alapján a nehézségi gyorsulás számítható:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (1.2)$$

Az összefüggésből látható, hogy a T^2 egyenes arányban áll az inga hosszával, az arányossági tényező - vagyis a $T^2(l)$ függvény meredeksége a $4\pi^2/g$ kifejezés. A g értéke tehát grafikus ábrázolás után a meredekségből is meghatározható. Ezt az eljárást, amikor a lengésidő (1.1) képletét célszerűen úgy alakítjuk át, hogy az ábrázolt mennyiségek között lineáris legyen a kapcsolat, *linearizálásnak* nevezzük.

Pontosabb számításhoz a nehezék geometriai méretét és tömegeloszlását is figyelembe kell venni, ilyenkor ún. fizikai ingáról beszélünk, amelynek periódusideje:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{mgs}} \quad (1.3)$$

ahol Θ a rendszer tehetetlenségi nyomatéka az inga felfüggesztési pontján átmenő vízszintes tengelyre vonatkozóan. Az összefüggésben s a forgástengely és az inga tömegközéppontjának távolságát jelenti.

A munka menete

Különböző fonalhosszaknál mérje meg az inga lengésidejét! Ehhez 10 teljes lengés idejét mérje össze, majd a mért összidőt ossza el tízzel! A mérést háromszor ismételje meg! Mivel a (1.1) képletben az ingahossz a forgástengely, illetve a felfüggesztési pont és az inga tömegközéppontjának a távolságát jelenti, ezért l az l_0 fonálhossz és a nehezékként használt fémgolyó r sugarának az összegével egyenlő:

$$l = l_0 + r \quad (1.4)$$

A fonálhosszt mérőszalag segítségével határozza meg, a vasgolyó sugarát (d átmérőjét) tolómérővel mérje! Az így kapott adatokat a táblázatban való rögzítés előtt többször ellenőrizze!

Az inga indításánál az ingának kis amplitúdójú kitérést adjon - a kitérés szöge 5° -nál ne legyen nagyobb - engedje el, és ügyeljen arra, hogy az inga síkmozgást végezzen!

1.1. táblázat - Táblázat az 1. és 2. feladat mérési eredményeihez.

$d = \dots \text{cm}$		$l_0 = 50 \text{ cm}$	$l_0 = 55 \text{ cm}$	$l_0 = 60 \text{ cm}$	$l_0 = 65 \text{ cm}$	$l_0 = 70 \text{ cm}$
$r = \dots \text{cm}$		$l = \dots \text{cm}$	$l = \dots \text{cm}$	$l = \dots \text{cm}$	$l = \dots \text{cm}$	$l = \dots \text{cm}$
$10 \cdot T \text{ (s)}$	1.					
	2.					
	3.					
$10 \cdot T_{\text{átl}} \text{ (s)}$						
$T_{\text{átl}} \text{ (s)}$						
$g \text{ (m/s}^2\text{)}$						
$g_{\text{átl}} \text{ (m/s}^2\text{)}$						
$\sigma_n \text{ (m/s}^2\text{)}$						

Feladatok

1. A (1.2) összefüggés alapján, az ingahosszak és a hozzájuk tartozó periódusidők ismeretében számolja ki a szabadesés gyorsulásának értékeit, majd ezek átlagát! Adja meg az eredmények szórását is!
2. Ábrázolja a periódusidők négyzetét az ingahosszak függvényében! Határozza meg a kapott egyenes meredekségét, majd ez alapján is számítsa ki a nehézségi gyorsulás értékét!
3. Adja meg a (1.2) képlettel meghatározott nehézségi gyorsulások átlagának, valamint a grafikus módon meghatározott nehézségi gyorsulásnak az irodalmi értéktől való relatív eltérését: $\delta_{\text{rel}} = (g - g_{\text{irod}})/g_{\text{irod}}$! Értelmezze a kapott eredményt!

Ismeretellenőrzés

Ellenőrző kérdések

- Hogyan függ a nehézségi gyorsulás értéke az inga hosszától?
- Hogyan függ a nehézségi gyorsulás értéke az inga kitérésétől?
- Milyen mozgást végez a matematikai inga?
- Rajzolja fel a testre ható erőket, írja fel a mozgásegyenleteket és oldja meg kis kitérésekre!
- Hogyan határozható meg grafikusan a nehézségi gyorsulás értéke?
- Mi az izokronizmus? Ki állapította meg ezt a tényt először?

Igaz-hamis állítások

- A matematikai inga mindig síkingaként mozog.
- A matematikai inga mozgása rezgőmozgás.
- A matematikai inga kis kitéréseknél harmonikus rezgőmozgást végez.
- A matematikai inga hosszának meghatározásakor a golyó sugarát elhanyagolhatjuk.
- A nehézségi gyorsulás grafikus meghatározása linearizálással lehetséges.
- Az izokronizmus jelenségével először Newton foglalkozott.

2. számú laboratóriumi munka

Téma: A szabadesés gyorsulásának vizsgálata Atwood-féle gép segítségével

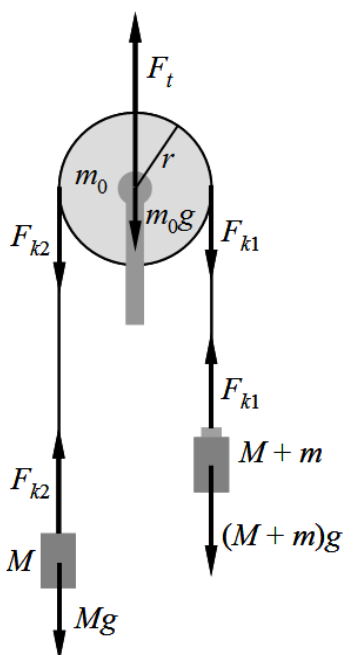
A munka célja:

- Kényszermozgás vizsgálata, értelmezése inerciarendszerben.
- A dinamika alapegyenletének alkalmazása.
- Egyenletesen gyorsuló mozgás megfigyelése, útképletének használata.

Eszközök: Leybold gyártmányú Atwood-féle gép tartozékokkal: $M = 2 \times 50$ g, tömegek, $m = _$ g, $_$ g, $_$ g mozgatható tömegek, stopperóra, mérőszalag.

Elméleti összefoglaló

A készülék megalkotója George Atwood, angol matematikus és fizikus, a Cambridge-i Trinity College tanára, aki 1784-es értekezésében említi először a készüléket, amely - helyettesítve Galilei lejtőjét - a nehézségi gyorsulás pontos meghatározására készült.



2.1. ábra. Az Atwood-féle ejtőgép mozgását meghatározó erőrendszer.

Az Atwood-féle géppel egyenes vonalú, egyenletesen változó mozgást állíthatunk elő, különböző tömegű mozgatott testek és különböző nagyságú mozgató erők esetén. Az eszköz alkalmas az egyenletesen változó mozgás, valamint az erő és a mozgatott tömeg közötti kapcsolat (dinamika alapegyenlete) vizsgálatára.

Mozgatott tömegnek kell tekinteni a csigán átvett zsinór két végén függő egy-egy M tömegű testet, a mozgató erőt is képviselő m tömeget, valamint a

csiga m_0 tömegét. E három test mozgására írjuk fel a haladó- és a forgómozgásra vonatkozó dinamika mozgásegyenleteit:

$$(M + m)g - F_{k1} = (M + m)a, \quad (2.1)$$

$$F_{k2} - Mg = Ma, \quad (2.2)$$

$$(F_{k1} - F_{k2}) \cdot r = \Theta \beta = \frac{1}{2} m_0 r^2 \cdot \frac{a}{r}. \quad (2.3)$$

ahol F_{k1} és F_{k2} a kötelekben ébredő erők, r a csiga sugara, Θ a csiga forgástengelyre vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka, $\beta = a/r$ (tisztá gördülést feltételezve) a csiga szöggyorsulása. Ezekből a dinamikai egyenletekből az a gyorsulás meghatározható:

$$a = \frac{mg}{2M + m + \frac{m_0}{2}}. \quad (2.4)$$

Ugyancsak meghatározható a gyorsulás kinematikai úton, az egyenletesen gyorsuló mozgás

$$s = \frac{a'}{2} t^2 \quad (2.5)$$

útképletének felhasználásával. A készüléken kényelmesen változtatható az út hosszúsága, és a speciális indítószerkezet lehetővé teszi a pontos, mechanikus időmérést. A kétféle módon nyert gyorsulás egyenlősége a dinamika alapegyenletének teljesülését jelenti.

A mérések megkezdése előtt a csigán a fonalak súrlódását kis, ún. póttömegek segítségével gondosan ki kell küszöbölni! Ehhez hozzuk mozgásba a testeket, és figyeljük meg, hogy egyenletesen mozognak-e. Ha nem, akkor alkalmazzunk póttömeget, majd teszteljük újra a mozgást, és szükség esetén végezzük tovább a korrekciót.

A kísérleti berendezés fő részei

1. állványon közel súrlódás nélküli forgó csiga
2. csigán átvett, súlytalanak tekintett fonal, végén egyenlő tömegekkel (M) és egyik végén kis túlsúllyal (m)
3. mérőrúd (az állvány része), 10 cm-es beosztással
4. mechanikus indítószerkezet

2.1. táblázat - Táblázat a 2., 3., 4. feladat mérési eredményeihez.

M (kg)	m (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	$t_{\text{átl}}$ (s)	a' (m/s ²)	a (m/s ²)	δ_{rel} (%)
0,05										
0,05										
0,05										

Feladatok

1. Tanulmányozza az összeállított kísérleti berendezést!
2. Állítson be $s = _ , _$ m-es utat és $M = 50$ g tömeget, majd változtatva a gyorsító nehezék tömegét: $m = _ , _$ g, mérje meg az út megtételéhez szükséges időket! A mérést ötször ismételje meg! Számoljon időátlagot, majd ennek segítségével számolja ki a gyorsulást (a') az útképlet felhasználásával, a 2.5 egyenlet szerint!
3. Számolja ki a gyorsulást (a) a dinamika alapegyenletének felhasználásával is a 2.4 egyenlet szerint!
4. A kapott eredményeket hasonlítsa össze, számolja ki a $\delta_{\text{rel}} = (a' - a)/a$ relatív eltérésüket!
5. Számolja ki a nehézségi gyorsulás (g) érték felhasználásával a gyorsulást (a')!

Ismeretellenőrzés

Ellenőrző kérdések

- Adja meg a kísérleti elrendezés sematikus rajzát!
- Írja fel a testek mozgásegyenleteit, és határozza meg a testek gyorsulását!
- Hogyan határozza meg mérésekkel a testek gyorsulását?
- Mérései során hogyan küszöböli ki a testek mozgását zavaró súrlódást?
- Hogyan igazolja a dinamika alapegyenletének helyességét az Atwood-féle géppel?
- Hogyan befolyásolja a gyorsulás értékét a csiga tömege?

Igaz-hamis állítások

- Az Atwood-féle ejtőgép megalkotója amerikai származású fizikus és matematikus.
- Az Atwood-féle ejtőgéppel tanulmányozható az egyenes vonalú egyenletes és az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás is.

- Az Atwood-féle ejtőgép esetén felírt mozgásegyenletekben a csiga tömegét sohasem kell figyelembe venni.
- A testek gyorsulása a négyzetes úttörvény szerint számolható.
- Mérései során a testek mozgását zavaró súrlódást póttömegekkel lehet kiküszöbölni.
- Az Atwood-féle ejtőgéppel a dinamika alapegyenletének helyessége igazolható.

3. számú laboratóriumi munka

Téma: A merev test tehetetlenségi nyomatékának meghatározása az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényei alapján

A munka célja: a forgási mozgásdinamika törvényszerűségeinek kísérleti vizsgálata.

Elméleti összefoglaló

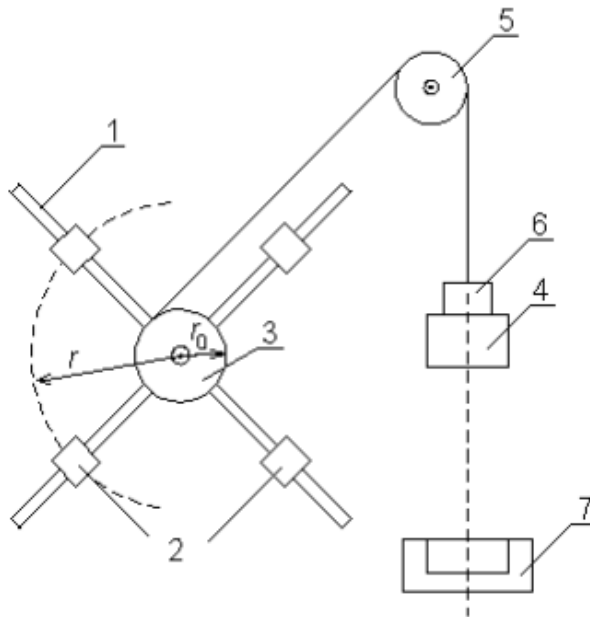
Merev test forgó mozgása során ε szöggyorsulása arányos a testre ható erők M nyomatékával. Ez a következő képlettel fejezhető ki:

$$\varepsilon = \frac{M}{I}. \quad (3.1)$$

Itt azt az I értéket, amely a test forgás közbeni tehetetlenségét jellemzi, *tehetetlenségi nyomatéknak* nevezzük. Egy r sugarú kör mentén mozgó m tömegű anyagi pont tehetetlenségi nyomatéka egyenlő:

$$I = m \cdot r^2. \quad (3.2)$$

A (3.1) relációt a forgó mozgás dinamikájának alaptörvényének nevezzük.



3.1. ábra: Telepítési séma.

A forgó mozgás törvényeinek tesztelésére ez a munka az Oberbeck-ingát használja, amelynek sémája az 3.1. ábrán látható. A vizsgált 1 test négy, a hüvelyben rögzített rúdból áll. A rudakra 2-es súlyok vannak rögzítve, melyek mozgásával megváltoztatható a test tehetetlenségi nyomatéka. Az r_0 sugarú 3. szíjtárcsa ugyanazon a tengelyen van, mint a test. A 4 súly, amely a testet elforgatja, a menet végéhez van

rögzítve, amelyet az 5 tömb fölé dobunk és a 3 szíjtárcsára tekernek. Az m_0 fő súlyra 1-4 további 6 súly helyezhető.

Az inga forgása a menet feszítőerejének M nyomatékának és az M_t súrlódási erők ezzel ellentétes irányú nyomatékának hatására következik be. Így a (3.1) egyenlőség szerint az inga mozgásegyenlete a következő alakú:

$$\varepsilon = \frac{M - M_{TP}}{I}, \quad (3.3)$$

vagy

$$M = M_{TP} + I \cdot \varepsilon. \quad (3.4)$$

A (3.4) egyenlet azt mutatja, hogy ha a súrlódási erő állandó (nem függ a sebességtől), akkor M ε -től való függése $y = y_0 + kx$ alakú lineáris függvény. Ebben az esetben I játssza a k merekségi tényező szerepét. Így az M húzóerő nyomatéka és az ε szöggyorsulás kapcsolatának kísérleti vizsgálata lehetővé teszi, hogy megtaláljuk az I kerék tehetetlenségi nyomatékát.

A 4 súly mozgása az mg gravitációs erő (ahol m a súly súlya; g a szabadesés gyorsulása) és az F fonal feszítőereje hatására következik be. Newton második törvénye szerint, a súly mozgásegyenletének alakja van:

$$m a = m g - F, \quad (3.5)$$

ahol a a súly gyorsulása, amely a süllyedés t idejének és a megtett h távolság ismeretében határozható meg. Az egyenletesen gyorsított mozgás jól ismert egyenletét felhasználva megkaptuk, hogy:

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (3.6)$$

A (3.5) és (3.6) egyenlőségből egy kifejezést kapunk a feszítőerő nyomatékának meghatározására:

$$M = F r_0 = m r_0 \left(g - \frac{2h}{t^2} \right). \quad (3.7)$$

Figyelembe véve az $a = \varepsilon r_0$ összefüggést, amely a tárcsa kerületén lévő pontok szög- és lineáris gyorsulásait viszonyítja, a (3.6) képletből azt kapjuk, hogy:

$$\varepsilon = \frac{2h}{r_0 t^2}. \quad (3.8)$$

Így a (3.7) és (3.8) képletek lehetővé teszik az M feszítőerő nyomatékának és az ε szöggyorsulásnak a kísérleti adatokból történő megtalálását. Ezután különböző m tömegű tömegekkel végzett kísérletek elvégzése után megvizsgálhatjuk M ε -től való függését, és megszerkeszthetjük a megfelelő gráfot. Így a kerék tehetetlenségi nyomatékának meghatározása a tapasztalatból talált $M(\varepsilon)$ függvény szögegyütthatójának meghatározására redukálódik.

Vegyük észre, hogy a mérési hibák miatt az $M(\varepsilon)$ grafikon kísérleti pontjai valójában nem lesznek ugyanazon az egyenesen. Ezért felmerül a probléma, hogy a kapott pontoktól a legkisebb eltéréssel egyenes vonalat húzzunk. Ehhez használja a mellékletben leírt legkisebb négyzetek módszerét!

A munka menete

1. A mérések előkészítésekor az állványt úgy kell felszerelni, hogy leengedéskor a súly ne érje a fotocellákat. Állítsa a súlyokat a kereszt tengelyei mentén $r = 14$ cm-re a forgástengelytől! Csatlakoztasson egy szálát az egyik tárcsához 3, akassza fel a 4 súlyt a szál másik végére, és dobja a szálát a felső tárcsa fölé 5! A 6 súlyok segítségével állítsa be a súly tömegét nagyobbra, mint az a minimális tömeg, amelyen az inga működik. Forogni kezd.

Az inga forgatásával állítsa a súlyt a legfelső helyzetbe úgy, hogy a súly alsó síkja egybeessen a függőleges állvány skáláján található jelek egyikével! Írja le ezt az értéket!

Rögzítse a rakományt ebben a helyzetben! Ehhez nyomja meg az egység "NETWORK" gombját, miközben az elektromágnes tengelykapcsolójának működnie kell.

Szerelje be a tartót a fotóérzékelővel a függőleges oszlop mérlegének alsó részébe, és helyezze el a fotóérzékelőt 7 úgy, hogy a súly a további súlyokkal lefelé haladva áthaladjon a fotóérzékelő munkaablakának közepén! A súly alsó helyzeténél a skálajelzést veszik, amely megfelel a fotóérzékelő testén lévő kockázatnak, és mintegy a fotóérzékelő optikai tengelyének folytatása, amelyet a mozgó súly keresztez.

2. Nyomja meg a blokk "START" gombját! Az elektromágnes elenged, a súly esni kezd, és a blokkidőzítő elkezd visszaszámlálni. Amikor a súly keresztezi a fotocella optikai tengelyét, a visszaszámlálás leáll. Jegyezze fel az időzítő leolvasásait, pl. súly mozgási ideje t !

Határozza meg a mérlegen a teher által megtett h utat, ez a távolság a felső helyzetben lévő súly alsó síkjától a fotóérzékelő optikai tengelyéig!

A h , r , m , t értékek felírása után nyomja meg a „CLEAR” gombot! A mérési pontosság javítása érdekében ismétlje meg a kísérletet legfeljebb 56 alkalommal!

3. Ismétlje meg a 2. pont feladatát azonos h és r értékekkel, növelve a tömeget további súlyok segítségével! Összesen 45 m értéknél végezzen mérést!

4. Végezze el a 2. és 3. pontban leírt feladatokat a 2. terhelések egyéb helyzeteivel $r = 11$ cm és $r = 8$ cm esetén!

5. A kiválasztott r értékhez használja a (3.7) és (3.8) képleteket az M és ε értékeinek kiszámításához különböző m -eknél! Ábrázolja az $M(\varepsilon)$ függvényt, közelítve a kísérleti eredményeket lineáris függéssel a legkisebb négyzetek módszerével!

6. Határozza meg az Oberbeck-inga tehetetlenségi nyomatékát a súlyok adott helyzetéhez!

7. A (3.2) összefüggés érvényességének ellenőrzéséhez ábrázolja a tömegrendszer I tehetetlenségi nyomatékának r_2 értékétől való függését! Ha a súlyok méretei elhanyagolhatók, akkor a mérési hiba határain belül az $I(r_2)$ grafikonon a kísérleti pontok ugyanazon az egyenesen legyenek.

8. A terhelések közbenső elhelyezkedése esetén értékelje ki a terhelési rendszer tehetetlenségi nyomatékának meghatározásánál a hibát a Függelékben megadott képletekkel!

9. A terhelések azonos elrendezéséhez számítsa ki a terhelési rendszer tehetetlenségi nyomatékának elméleti értékét a következő képlet segítségével:

$$I_{elm} = I_0 + 4mr^2 + \frac{4ml^2}{12} + \frac{4mR_r^2}{4}, \quad (3.9)$$

ahol m a rakomány súlya; r az m terhelések tömegközéppontja és a forgástengely közötti távolság; $R_r = 0,015$ m – terhelési sugár; $l = 0,02$ m a terhelés generatrixának hossza.

Határozza meg a relatív hibát a tömegrendszer tehetetlenségi nyomatékának elméleti és kísérleti értékeinek összehasonlításával a következő képlet segítségével:

$$\eta = ((I_{exp} - I_{elm}) / I_{elm}) * 100\% \quad (3.10)$$

és hasonlítsa össze a mérési hibával.

Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk tehetetlenségi nyomatéknak?
2. Milyen képlet írja le a forgó mozgás dinamikájának alapképletét?
3. Az Oberbeck-inga működési elve.
4. Az Oberbeck-inga mozgásegyenlete.
5. Hogyan határozhatjuk meg a feszítőerő nyomatékát?
6. Miben rejlik a legkisebb négyzetek módszere?
7. Mire figyeljünk az állvány felszerelésénél?
8. Hogyan határozzuk meg a relatív hibát?

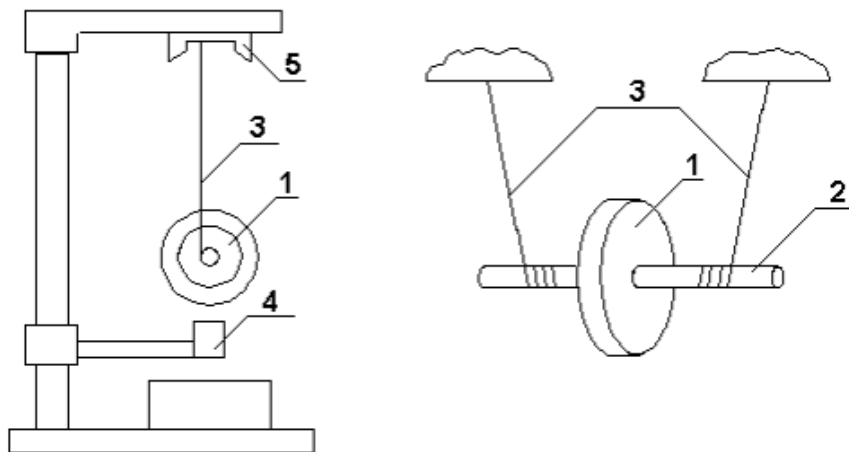
4. számú laboratóriumi munka

Téma: Az energiamegmaradás törvényének tanulmányozása Maxwell-inga segítségével

A munka célja: egy merev test összetett mozgásának megismerése és az energiamegmaradás törvényének tanulmányozása a Maxwell-inga mozgásának példáján.

Elméleti összefoglaló

Az ebben a munkában használt berendezés általános felépítése a 4.1. ábrán látható. A Maxwell-inga egy fémkorong 1, melynek közepébe egy fémrúd 2 van rögzítve. Ennek a rúdnak a végeihez két erős (kapron) menet 3 csatlakozik, amelyek a rúdra vannak feltekerve (végeitől a korongig). Az inga korongja közvetlenül maga a tárcsa és a lemezre rögzített cserélhető gyűrűk. Amikor az ingát elengedjük, mozogni kezd lefelé és a szimmetriatengelye körül forog.



4.1. ábra. Maxwell-inga

A mozgás legalacsonyabb pontján tehetetlenséggel folytatódó forgás (amikor a szálak már letekeredtek) ismét a szálak feltekercseléséhez vezet a rúdon és ennek következtében az inga felemelkedéséhez. Az inga mozgása ekkor lelassul, az inga megáll és újra elkezd lefelé irányuló mozgását, és így tovább. Az inga löketét (az inga által megtett távolságot) egy állványra szerelt, osztásokkal függőleges rúdon lehet mérni. Az inga mozgásegyenletei a súrlódási erők figyelembevétele nélkül a következőképpen írhatóak le:

$$\begin{cases} ma = mg - 2T, \\ I\varepsilon = 2Tr, \\ a = \varepsilon \cdot r, \end{cases} \quad (4.1.-4.3.)$$

ahol m az inga tömege, I az inga tehetetlenségi nyomatéka, g a gravitációs gyorsulás, r a rúd sugara, T a menet feszítőereje (egy), a a gyorsulás az inga

tömegközéppontjának transzlációs mozgásából, ε az inga szöggyorsulása. Az a gyorsulás a mért t menetidőből és az inga által megtett h távolságból a következő egyenletből adódik:

$$\bar{a} = 2h/t^2. \quad (4.4)$$

Az m inga tömege a részei (m_0 tengely, m_k korong és m_g gyűrű) tömegeinek összege: $m = m_0 + m_k + m_g$. Az I inga tehetetlenségi nyomatéka is additív mennyiség, és a következő képlet határozza meg:

$$I = I_0 + I_k + I_g, \quad (4.5)$$

ahol I_0 , I_k , I_g az inga tengelyének, korongjának és gyűrűjének tehetetlenségi nyomatékai. Az inga I_0 tengelyének tehetetlenségi nyomatéka:

$$I_0 = m_0 \cdot r^2 / 2, \quad (4.6)$$

ahol r a tengely sugara, $m_0 = 0,019$ kg a tengely tömege. Az I_k ingakorong tehetetlenségi nyomatéka:

$$I_k = m_k \cdot R_k^2 / 2 \quad (4.7)$$

ahol R_k a korong sugara, $m_k = 0,1$ kg a korong tömege. Az I_g gyűrű tehetetlenségi nyomatékát a következő képlet határozza meg:

$$I_g = m_g \cdot (R_g^2 + b^2 / 4), \quad (4.8)$$

ahol R_g a gyűrű átlagos sugara, m_g a gyűrű tömege, b a gyűrű szélessége.

Az (4.1.-4.3.) egyenletekből könnyen kaphatunk egy kifejezést az inga tömegközéppontja mozgási gyorsulásának elméleti értékének kiszámításához:

$$a_{elm} = g / (1 + I / m \cdot r^2). \quad (4.9)$$

A lineáris és szöggyorsulás ismeretében könnyen megállapítható az inga tengelyének sebessége és forgásának szögsebessége:

$$v = at; \quad \omega = \varepsilon t. \quad (4.10)$$

Az inga teljes kinetikus energiája a tömegközéppont transzlációs mozgási energiájának (amely egybeesik a tengely középpontjával) és az inga tengely körüli forgási energiájának összege:

$$W_{kin} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}. \quad (4.11)$$

A munka menete

Figyelem! Minden mérést nagy körültekintéssel kell végezni, mivel az inga akkor is könnyen megsérül, ha enyhén meghajlik a tengelye. A mozgása során meghajlított rúddal rendelkező inga „dobni” kezd, erősen ingadozva egyik oldalról a másikra. Veszélyes ilyen ingával méréseket végezni, ezért óvni kell az ingát a padlóhoz, az asztal széléhez stb való ütdéstől.

1. Szerelje össze a "Maxwell Pendulum" szerelvényt (lásd 4.1. ábra)! Állítsa a 4. fotóérzékelővel ellátott alsó konzolt a skála legalacsonyabb helyzetébe úgy, hogy a konzol felső síkja egybeessen a skála egyik jelével!

Állítsa be a beállító alap helyzetét az állítótámaszok segítségével úgy, hogy a bifiláris felfüggesztésen lévő tárcsa a fotocella ablakának közepén legyen!

Az 5-ös eszközzel állítsa be a bifiláris felfüggesztés szükséges hosszát úgy, hogy az ingakorong alsó éle 4...5 mm-rel a fotoszenzor optikai tengelye alatt legyen! Ebben az esetben az inga tengelyének vízszintes helyzetbe kell kerülnie.

Csatlakoztassa a fotoszenzort és az elektromágnezt a blokkhoz!

Nyomja meg a "NETWORK" gombot! Ugyanekkor a jelzőtáblának be kell kapcsolnia.

Óvatosan forgassa az ingát, rögzítse a felső pozícióban elektromágnessel, miközben ügyeljen arra, hogy a menet a tengelyre tekerve legyen! Rögzített helyzetben a felfüggesztés meneteit meg kell lazítani.

Nyomja meg a "RESET" gombot, hogy megbizonyosodjon arról, hogy a jelzőfények nullára vannak állítva!

2. Nyomja meg a blokk "START" gombját! Az elektromágnes elenged, az inga ereszkedni kezd, és a blokkidőzítő elkezd visszaszámolni. Amikor az inga keresztezi a fotoszenzor optikai tengelyét, a visszaszámlálás leáll. Jegyezze fel az időzítő leolvasásait, pl. rakomány mozgási ideje t.

Határozza meg az inga h löketét a fogasléc skáláján!

A h és t értékeinek lejegyzése után nyomja meg a „RESET” gombot! A mérési pontosság javítása érdekében ismételje meg a kísérletet legfeljebb 56 alkalommal!

3. Határozza meg az a gyorsulás kísérleti értékét a (4.4) képlet segítségével! Határozza meg az inga szöggyorsulását, lineáris és szögsebességét abban a pillanatban, amikor az inga áthalad a fotoszenzor tengelyén!

Határozza meg a relatív hibát a gyorsulás elméleti és kísérleti értékének összehasonlításával a következő képlet segítségével:

$$\eta = ((a_{exp} - a_{elm}) / a_{elm}) * 100\% \quad (4.12)$$

4. Mérje meg nóniuszos tolómérővel az inga, a korong és a gyűrű tengelyének r, R_k, R_g sugarait és a b gyűrű szélességét! Mérjük le a gyűrűt, írjuk le a tömegét! A (4.5) - (4.8) képletekkel számítsa ki az inga tehetlenségi nyomatékát!

5. A (4.11) képlet segítségével keresse meg a Maxwell-inga kinetikus energiáját, és hasonlítsa össze a $W_{\text{pot}} = mgh$ kezdeti potenciális energiával. Ezen energiák különbségéből keresse meg a súrlódási erők munkáját!

Ellenőrző kérdések

1. A Maxwell-inga felépítése és működési elve.
2. Hogyan írhatóak le a Maxwell-inga mozgásegyenletei?
3. Mivel egyenlő az inga teljes kinetikus energiája?
4. Mire figyeljünk a munka megkezdésekor?
5. Hogyan számítjuk ki az inga tehetetlenségi nyomatékát?
6. Hogyan találjuk meg a súrlódási erők munkáját?

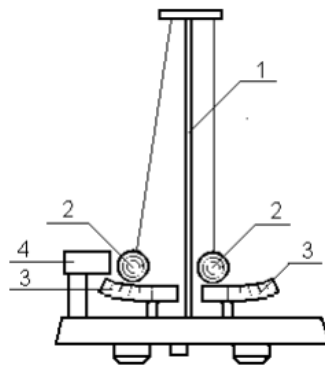
5. számú laboratóriumi munka

Téma: A testek ütközési törvényeinek tanulmányozása

A munka célja, hogy meghatározzuk a visszanyerési együtthatókat, a sebességet és az energiát két golyó központi ütközése során, az időt és az átlagos ütközőerőt.

Elméleti összefoglaló

A laboratóriumi berendezés felépítésén (5.1. ábra) látható, hogy két golyó van az 1-es állványhoz rögzítve. A felfüggesztések függőlegestől való eltérési szögeit a 3 skála határozza meg. A 4 elektromágnes arra szolgál, hogy az egyik golyót elhajlott helyzetben tartsa.

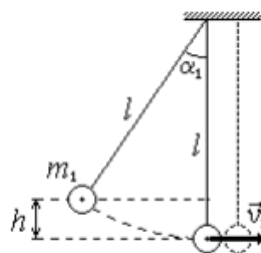


5.1. ábra. Kísérleti berendezés

Vegyük az egyik golyót (például a bal oldali) valamilyen α_1 szögbe, és engedjük el kezdősebesség nélkül. Az eltérített labda gyorsulva mozog lefelé, miközben potenciális energiája kinetikussá válik. Hagyja, hogy a második golyóval való ütközés abban a pillanatban történjen, amikor az első golyó iránya függőlegessé válik. A mechanikai energia megmaradásának törvénye szerint (lásd 5.2. ábra):

$$m_1 gh = \frac{m_1 v_1^2}{2}, \quad (5.1)$$

ahol m_1 a labda tömege, g a szabadesési gyorsulás, h a labda magassága visszahúzott helyzetben a pálya alsó pontjához képest, v_1 az első golyó sebessége az alsó pontban ütközés előtt a másodikkal.



5.2. ábra.

Az ábrán látható, hogy

$$h = l - l \cos \alpha_1, \quad (5.2)$$

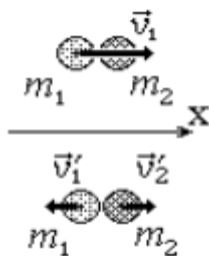
ahol l a felfüggesztési pont és a golyó súlypontja közötti távolság, α_1 a menet kezdeti eltérése szöge.

Az (5.1)-t behelyettesítve az (5.2)-be, és az egyenletet átalakítva megkapjuk a sebesség kifejezését a kezdeti eltérés szögében:

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha_1)} = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2}. \quad (5.3)$$

A golyók tömegét úgy választjuk meg, hogy az ütközés után különböző irányokba szóródjanak. Az ütközés után a golyók v'_1 és v'_2 sebességet kapnak (lásd 5.3. ábra), és szétrepülve a szálakat a maximális α'_1 és α'_2 szögig eltérítik. Az (5.3) összefüggéshez hasonlóan megkapjuk

$$v'_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha'_1}{2}, \quad v'_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha'_2}{2}. \quad (5.4)$$



5.3. ábra

Ha az ütközés elég gyorsan megy végbe ahhoz, hogy az ütközés során a meneteknek ne legyen idejük észrevehető szöggel eltérni, akkor az x vízszintes tengely irányában nem lép fel külső erő, és az erre a tengelyre vetítésben a lendület megmaradásának törvénye teljesül:

$$m_1 v_1 = m_2 v'_2 - m_1 v'_1. \quad (5.5)$$

Az ε_v sebesség-visszanyerési tényező a golyók ütközés utáni relatív sebességének és a golyók ütközés előtti relatív sebességének aránya:

$$\varepsilon_v = \frac{v'_{\text{OTH}}}{v_{\text{OTH}}} = \frac{|\vec{v}'_2 - \vec{v}'_1|}{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1|}. \quad (5.6)$$

Ebben az esetben az (5.6) képlet, figyelembe véve (5.3), (5.4) képleteket, a következő alakra alakul át

$$\varepsilon_v = \frac{v_2' + v_1'}{v_1} = \frac{\sin \frac{\alpha_2'}{2} + \sin \frac{\alpha_1'}{2}}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} \quad (5.7)$$

Abszolút rugalmas ütközés esetén $\varepsilon_v=1$. Valódi golyók ütközése esetén az ütközés nem abszolút rugalmas és $\varepsilon_v < 1$.

A testek ütközését a sebesség-visszanyerési együttható mellett az ε_w energia-visszanyerési együttható jellemzi, amely megegyezik a testek ütközés utáni mozgási energiájának az ütközés előtti mozgási energiájuk arányával:

$$\varepsilon_w = \frac{\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2}{\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2} \quad (5.8)$$

Figyelembe véve, hogy a második labda ütközés előtti sebessége $v_2 = 0$, és a sebességeket a (5.3), (5.4) kifejezésekkel helyettesítjük, megkapjuk az energia-visszanyerési együttható munkaképletét:

$$\varepsilon_w = \frac{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1'}{2} + m_2 \sin^2 \frac{\alpha_2'}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}} \quad (5.9)$$

Ha ismert a τ becsapódási időtartam, akkor Newton második törvényéből az egyik golyó (például a bal oldali) lendületének megváltoztatásával meghatározható a golyók közötti átlagos kölcsönhatási erő:

$$F_{cp} = \frac{m_2 v_2}{\tau} \quad (5.10)$$

A munka menete

1. Csatlakoztassa az elektromágnezt 4 és a felső konzol kivezetéseit az elektronikus egységhez!
2. Helyezze be a golyókat 2 a felfüggesztés tartójába! Az állítólábak segítségével állítsa be az egység alját úgy, hogy a felfüggesztési konzolok alsó irányzékai a mérleg nullapontjaira mutassanak!
3. Állítsa be a golyók helyzetét a függőleges és vízszintes síkban, amíg a felfüggesztőkonzolok felső irányzékai egy vonalba nem kerülnek! A beállítás a golyók felfüggesztésének hosszának változtatásával, valamint a felső konzolon lévő menetek rögzítési pontjainak helyzetének megváltoztatásával történik.

4. Nyomja meg a „RESET” gombot az egység távirányítóján! Ugyanekkor a kijelzőpanelen nullák jelennek meg, az elektromágnesre feszültség kerül.
5. Húzza vissza a bal oldali golyót, és rögzítse elektromágnessel! Határozza meg az első gömb α_1 kezdeti elhajlási szögét.
6. Nyomja meg a „START” gombot, és a golyók ütköznek. A blokkidőző segítségével határozza meg a labda ütközési idejét τ .
7. Határozza meg a különböző golyópárok ütközési idejét a 4-6. pontokban leírt módszer szerint!
8. Helyezzen be egy acélbetétes alumínium golyót a jobb oldali felfüggesztési tartóba, egy sárgaréz vagy acélgolyót a bal oldali tartóba!
9. Kövesse a 4-6. pontokban leírtakat! A skálák segítségével vizuálisan határozza meg az α'_1 és α'_2 golyók visszapattanási szögét! Ismétlje meg a visszapattanási szög mérését legalább háromszor! Határozza meg az $\alpha'_{1\text{átl}}$ és $\alpha'_{2\text{átl}}$ szögek átlagos értékét!
10. Az (5.3) képlet segítségével határozza meg az első golyó v_1 sebességét az ütközés előtt. A visszapattanási szögek átlagos értékeinek felhasználásával, az (5.4) képlet segítségével határozza meg mindkét golyó sebességét közvetlenül a v'_1 és v'_2 ütközések után! Ellenőrizze az impulzusmegmaradási törvény (5.5) teljesülését!
11. Az (5.7), (5.9) képletek szerinti visszapattanási szögek átlagértékeinek felhasználásával határozza meg a sebesség és az energia visszanyerésének együtthatóit!
12. A fentebb meghatározott v'_2 érték felhasználásával, az (5.10) képlet segítségével határozza meg azt az átlagos erőt, amellyel a golyók hatnak egymásra ütközés közben.

Ellenőrző kérdések

9. A mechanikai energia megmaradásának törvénye.
10. Ütközések és típusaik.
11. A sebesség-visszanyerési tényező fogalma.
12. Ütközések felhasználása.

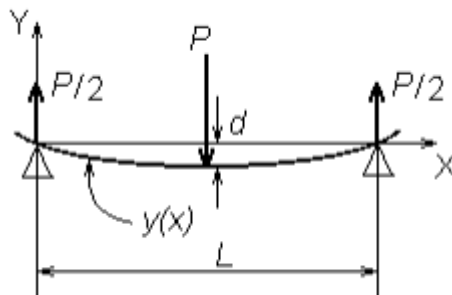
6. számú laboratóriumi munka

Téma: A Young-modulus meghatározása hajlítási módszerrel

A munka célja különböző anyagok rugalmas alakváltozásainak vizsgálata.

Elméleti összefoglaló

Ha egy egyenes rugalmas rudat mindkét végével szabadon helyezünk szilárd támasztékokra és a közepét P súlyú teherrel terheljük, akkor a rúd közepe leesik, azaz a rúd meggörbül (6.1. ábra). Könnyen megérthető, hogy egy ilyen hajlítással a rúd felső rétegei összenyomódnak, az alsók megnyúlnak, és néhány középső réteg, amelyet semleges rétegnek neveznek, megtartja hosszát, és csak görbületen megy keresztül. Azt a d elmozdulást, amelyet a rúd közepe fogad, eltérítési nyílnak nevezük. Minél nagyobb az elhajlás, annál nagyobb a terhelés, és emellett függnie kell a rúd alakjától és méretétől, valamint a rugalmassági modulusától. A húzó és nyomó alakváltozások esetében a rugalmassági modulus *Young-modulusnak* nevezük, és számszerűen egyenlő azzal a feszültséggel (azaz a test keresztmetszetének egységnyi területére eső rugalmas erővel), amely a mintában keletkezik, ha a minta hossza megduplázódott (csökkent).



6.1. ábra. Rúdhajlítás terhelés alatt

Keressük az összefüggést az elhajló nyíl és a rugalmas rúd jellemzői között. Ebben a munkában egy téglalap alakú lemezt használnak, amelynek méretei L (hossz), h (magasság), b (szélesség). Külső erő hatására a lemez meghajlik, alakja az $y(x)$ függvénnyel írható le (lásd 6.1. ábra). A lemezben fellépő rugalmas erők arányosak a lemez görbületével, azaz a második $y''(x)$ deriválttal. Az egyensúlyi feltételnek megvan a formája:

$$EI y''(x) = M(x), \quad (6.1)$$

ahol E – Young-modulus; $I = \frac{bh^3}{12}$ – a lapka geometriája által meghatározott

együttható; $M(x) = \frac{P}{2}x$ – hajlító nyomaték.

Így kapunk egy differenciális egyenletet a lemez alakjára:

$y''(x) = \frac{P}{2EI} x$, amelynek az integrálásával a következő egyenletet kapjuk:

$$y'(x) = \frac{P}{4EI} x^2 + C.$$

A C integrálási állandót abból a feltételből határozzuk meg, hogy a

lemez lejtése a középpontjában nullával egyenlő: $y'(L/2) = 0$, amiből $C = -\frac{PL^2}{16EI}$. A második integrálás után a következő egyenletet kapjuk:

$$y(x) = \frac{Px^3}{12EI} - \frac{PL^2x}{16EI}. \quad (6.2)$$

A d elhajlási modulus egyenlő a lemez közepének elmozdulásával:

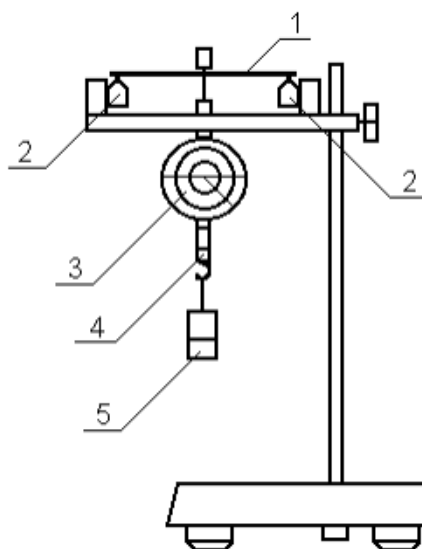
$$d = -y(L/2) = \frac{PL^3}{4Ebh^3},$$

ahonnan végül megkapjuk:

$$E = \frac{PL^3}{4dbh^3}. \quad (6.3)$$

A munka menete

1. Szerelje fel az egyik tesztlemezt 1 a prizmatikus tartókra 2 (lásd a 6.2 ábrát)! Szerelje fel az órajelzőt 3 úgy, hogy a hegye hozzáérjen a lemezhez.



6.2. ábra. A berendezés sémája

2. Akassza fel a 4-es konzolra az 5-ös súlyt m tömeggel! Határozza meg az elhajlás mértékét az indikátor skálán! A pontosság növelése érdekében ismétlje meg a mérést 4-5 alkalommal!

3. Ismétlje meg a 2. pont feladatát, növelve a kettlebell tömegét további súlyok segítségével. Összesen 3-4 m értéknél végezzen mérést!

4. Mérje meg a lemez méreteit tolómérővel!

5. Számítsa ki a vizsgált anyag Young-modulusát a (6.3) képlet segítségével minden egyes tömegre, majd keresse meg az átlagos értéket!

Hibaszámitás

A (6.3) képletből megkapjuk a Young-modulus meghatározásának relatív hibáját a tömeg bizonyos értékeihez:

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 + 3\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + 3\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2}. \quad (6.4)$$

Az átlagos Young-modulus esetében:

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)_{cp} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta E}{E}\right)_i^2},$$

ahol N a mérések száma.

Ellenőrző kérdések

13. Mit nevezünk Young-modulusnak?

14. Hogyan viselkedik a rúd terhelés alatt?

15. A lemez alakját leíró differenciális egyenlet.

16. Mivel egyenlő az elhajlási modulus?

17. Mivel egyenlő a Young-modulus relatív hibája?

7. számú laboratóriumi munka

Téma: A nyírási modulus meghatározása rugós inga segítségével

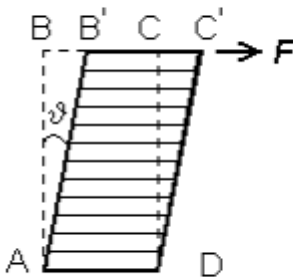
A munka célja a rugóanyag nyírási modulusának meghatározása.

Elméleti összefoglaló

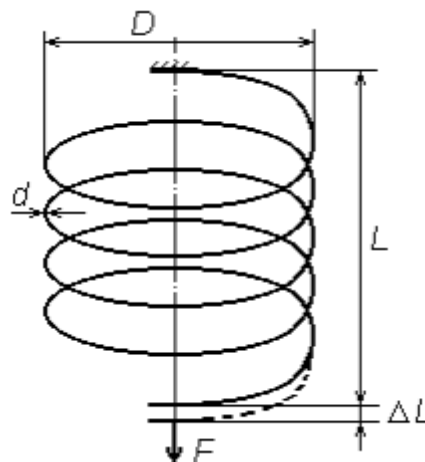
A nyírás olyan alakváltozás, amelyben a szilárd test összes sík rétege, amely egy bizonyos síkkal (nyírási síkkal) párhuzamos, egymással párhuzamosan eltolódik (7.1. ábra). A nyírás a BC nyírási síkkal párhuzamosan kifejtett F erő hatására következik be. Az alakváltozás mértéke ebben az esetben a nyírási szög ϑ (relatív nyírás). A Hooke-törvény szerint a relatív eltolódás arányos a nyírófeszültséggel:

$$\sigma_{\tau} = \frac{\vec{F}}{S} = G\vartheta, \quad (7.1)$$

ahol S a BC felület területe, G a nyírási modulus, amely számszerűen egyenlő az egységgel egyenlő relatív nyírást okozó nyírófeszültséggel.



7.1. ábra. Nyírási deformáció



7.2. ábra. Rugó geometriája

Ebben a munkában annak az anyagnak a nyírási modulusát határozzuk meg, amelyből a csavarrugó készül (7.2. ábra). A rugó fő geometriai paraméterei a d huzalátmérő, a D rugótekerccs átmérője és az N tekerccsek száma. Az F húzóerő hatására az L rugó hossza a Hooke-törvény szerint nő.

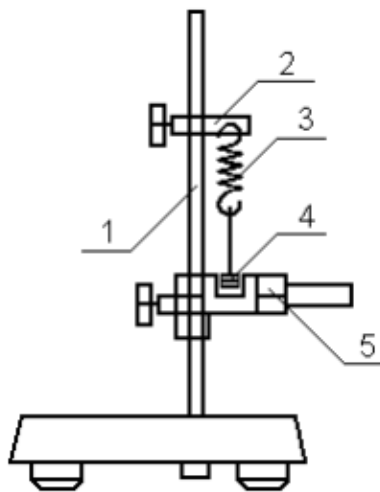
$$\Delta L = F/k, \quad (7.2)$$

ahol k a rugó merevsége. Az erő iránya ebben az esetben merőleges a tekerccsekre, így a rugó nyúlását a nyíró modulus határozza meg és a következő arány adja meg:

$$\Delta L = \frac{8FD^3N}{Gd^4}. \quad (7.3)$$

A nyírási modulus meghatározásához egy rugós ingát használunk működés közben, amely a 7.3. ábrán látható. Egy 2 konzol van felszerelve egy háromlábú állványra 1 függőlegesen felfüggesztett cserélhető rugók tartójával 3. Egy halmozott teher 4 van felfüggesztve a rugóra. A terhelés ingadozási periódusainak mérése 5 fotoérzékelővel történik. A gravitáció és a rugórugalmasság hatására egy m tömegű, egyensúlyi helyzetből kivont terhelés harmonikus rezgéseket hajt végre $\omega = \sqrt{k/m}$ frekvenciával és $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, periódussal, ahonnan a rugó merevségét kapjuk:

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2} . \quad (7.4)$$



7.3. ábra. A berendezés sémája

Így az oszcillációs periódus méréseivel és a (7.2), (7.3), (7.4) képletek használatával, illetve felhasználva, hogy $F = mg$, megkereshető a nyírási modulus:

$$G = \frac{32\pi^2 D^3 Nm}{T^2 d^4} . \quad (7.5)$$

A munka menete

1. Rögzítse a tartót 2 a függőlegesen felfüggesztett rugóval 3 a függőleges állványon 1 oly módon, hogy a rugóra felfüggesztett halmozott súly 4 egybeessen az 5 fényérzékelő optikai tengelyének annak alsó síkjával (az optikai tengely egybeesik a jelekkel a fotóérzékelőn)!
2. Húzza le a terhet és engedje el! Ebben az esetben a terhelés oszcillálni kezd a rugón. Mérjük meg a t időt $n = 10 \dots 15$ teljes inga lendületre! A stopper indítását és leállítását egy fotoelektromos érzékelő végzi. Amikor megnyomjuk a „START” gombot, a visszaszámlálás attól a pillanattól kezdődik, amikor az inga áthalad az egyensúlyi helyzeten. A „STOP” gomb megnyomásakor a stopper egy egész számú rezgés t időtartamát rögzíti abban a pillanatban, amikor az inga áthalad az időben

legközelebbi egyensúlyi helyzeten. Az oszcillációk számát egy speciális indikátor rögzíti.

Határozza meg a $T=t/n$ rezgési periódust! Ismétlje meg a kísérletet 4-5 alkalommal!

3. Ismétlje meg a 2. pontban leírt feladatot a teher tömegének növelésével! Összesen 3-4 m értéknél végezzen mérést!

4. Mérje meg a D, d, N rugóparamétereket!

5. Számítsa ki m minden egyes értékére a G(m) nyírási modulust a (7.5) képlet segítségével! Keresse meg G átlagos értékét!

Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk nyírásnak és nyírási modulusnak?
2. A rugós inga működési elve.
3. Hogyan határozható meg a rezgési periódus?
4. Hogyan határozzuk meg a G átlagos értékét?

8. számú laboratóriumi munka

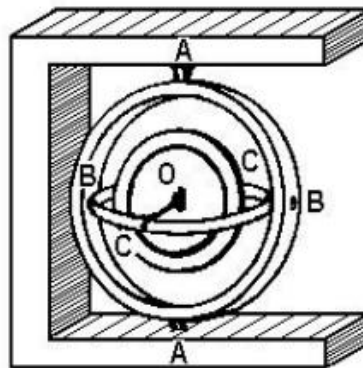
Téma: A giroszkóp tulajdonságainak tanulmányozása

A munka célja a giroszkópos hatás megismerése és a giroszkóp tehetetlenségi nyomatékának meghatározása.

Elméleti összefoglaló

Giroszkópnak szokás nevezni a gyorsan forgó szimmetrikus merev testet, amelynek forgástengelye (szimmetriatengelye) változtathatja irányát a térben. A giroszkóp tulajdonságait a forgó égitestek, a tüzérségi lövedékek, a hajókra szerelt turbina rotorok, a légcsavarok stb. mutatják. A modern technológiában a giroszkóp a fő eleme a különböző giroszkópos eszközöknek, illetve széles körben használják a repülőgépek, hajók, torpedók, rakéták mozgásának automatikus vezérlésére, illetve navigációs célokra (iránymutatók, horizont, a világ országai stb.)

A legegyszerűbb giroszkópos eszköz, amely fő alkatrésznek számít, egy masszív tárcsa (giroszkóp rotor), amely az úgynevezett kardán felfüggesztés gyűrűibe van rögzítve. (8.1 ábra).



8.1. ábra. Giroszkóp a kardánban.

Ennek az eszköznek három forgástengelye van, amelyek egymásra merőlegesek és egy pontban metszik egymást: a felfüggesztés külső gyűrűjének AA_1 tengelye, a belső gyűrű BB_1 tengelye és a giroszkóp forgórészének CC_1 tengelye (giroszkóp tengelye). Ha a készülék mozgó alkatrészeinek - a rotor és a két gyűrű - közös súlypontja egybeesik a készülék három forgástengelyének metszéspontjával, akkor a giroszkóp a forgórészének bármely pozíciójában egyensúlyt tart - az egyensúly közömbös. Az ilyen giroszkópot *kiegyensúlyozottnak* vagy *asztatikusnak* nevezik.

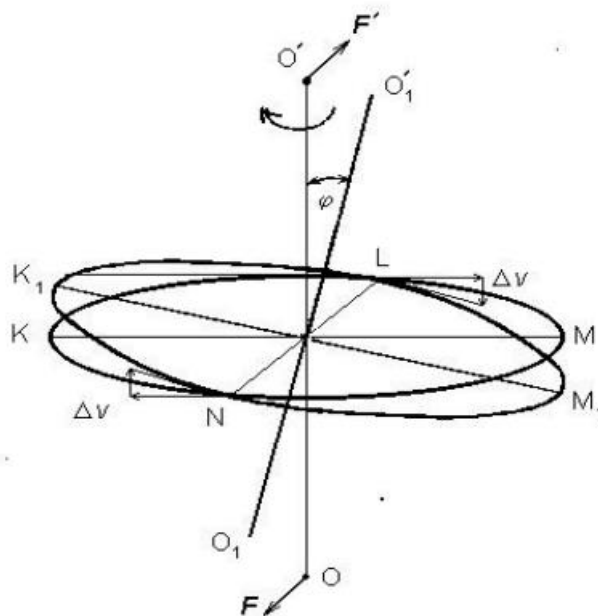
A giroszkóp fő tulajdonságai

Ha egy kiegyensúlyozott giroszkóp forgórésze nem forog, akkor elég enyhén megütni a készüléket, hogy a tengelye elhagyja eredeti helyzetét és az ütközőerő irányának megfelelően forogni kezd. Ez a mozgás addig folytatódik, amíg a súrlódási erők meg nem állítják a készüléket valamilyen új egyensúlyi helyzetben. Ha azonban

a giroszkóp forgórészét gyors forgásba hozzuk, akkor a külső erők hatására teljesen más lesz a reakciója.

Ha megütjük a giroszkópot, akkor a tengelye alig változtatja a helyzetét, és az erő megszűnése után azonnal leáll - a giroszkóp tengelye stabilitásra tesz szert, és ez a stabilitás annál nagyobb, minél nagyobb a forgási szögsebesség és a forgórész tehetetlenségi nyomatéka. A tengely mozgási iránya is megváltozik: ha a forgó giroszkópra néhány erő hat, amely a forgási tengelyére merőleges tengely körül forgatja, akkor a harmadik tengely körül merőlegesen kezd forogni. az első kettőhöz. Ez az úgynevezett *giroszkópos hatás*.

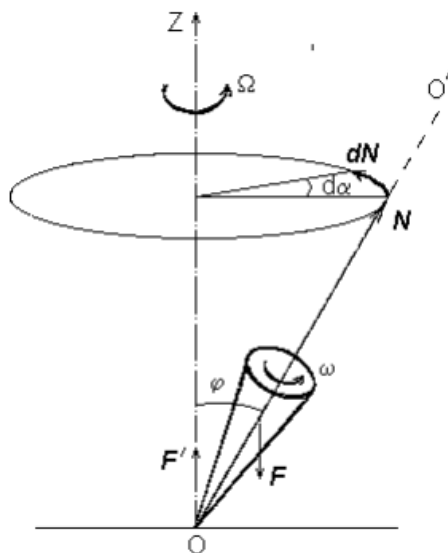
A giroszkóp ezen, első ránézésre paradox tulajdonságait a következő megfontolás alapján érthetjük meg. Képzeljünk el az egyszerűség kedvéért egy KLMN gyűrű alakú giroszkópot, amely változatlanul az OO' tengellyel van összekötve (8.2 ábra), és e tengely körül forog a nyíl által jelzett irányba.



8.2. ábra. Néhány erő hatása a giroszkópra

Ha az OO' tengelyt az ábra síkjában kis ϕ szöggel elforgatjuk, akkor az O_1O_1' pozícióba kerül, míg a $KLMN$ gyűrű a K_1LM_1N pozícióba. Ebben az esetben a gyűrű minden pontjának lineáris forgási sebessége, a K és M pontok kivételével, megváltoztatja irányát. A K és M pontokban a sebességvektorok csak egymással párhuzamosan tolnak el: a változások nullával egyenlők. Az L és N pontok esetén a Δv sebességváltozás lesz a legnagyobb, és L pontban a $\Delta \vec{v}$ vektor lefelé, az N pontban pedig felfelé irányul. A gyűrű közbülső pontjainál a numerikus sebességváltozások 0 és Δv közötti tartományban lesznek, és a KLM gyűrű teljes felében ezek a változások lefelé, az MNK gyűrű teljes felében pedig felfelé irányulnak. A sebesség ilyen változásainak előidézéséhez F és F' erőpárt kell a tengelyre

alkalmazni, amely a rajz síkjára merőleges síkban fekszik. Tehát ahhoz, hogy az OO' giroszkóp forgástengelyét az LN irány körül elforgathassuk, olyan erőpárt kell alkalmazni, amely a KM merőleges irány körül forgatja azt; a giroszkóp igyekszik a forgástengelyét úgy elhelyezni, hogy a lehető legkisebb szöget zárja be a kényszerforgás tengellyel, és mindkét forgás ugyanabban az irányban történjen. A tengelyt tartó láncszemekre kifejtett erők egyenlőek az F és F' erőkkel, de ellentétes irányúak. Ezeket *giroszkópos erőknek* nevezik.



8.3. ábra. A giroszkóp precesszió.

Ahhoz, hogy kvantitatív összefüggést kapjunk a giroszkóra ható erők és tengelyének változása között, vegyük figyelembe az O pontban egy vízszintes állványon nyugvó csúcsmozgását, amely OO' tengelye körül ω szögsebességgel forog (8.3 ábra). Hagyja, hogy a teteje bizonyos pillanatokban ferde helyzetbe kerüljön, ahogy az ábrán látható, és a tengelye ϕ szöget zárjon be a függőlegessel. Egy FF' erőpár hat a tetejére M nyomatékkal (gravitáció és támaszreakció, a súrlódást figyelmen kívül hagyjuk), hajlamos még jobban megbillenteni a tengelyét. A giroszkópos hatás miatt a tengely merőleges irányban eltér, aminek következtében a csúcsmozgás nem esik le, hanem forogni kezd a OZ függőleges tengely körül úgy, hogy tengelye kúpos felületet ír le. Ezt a mozgást *precesszió*nak nevezik. Keressük meg az összefüggést a precesszió Ω szögsebessége és az M erőnyomaték között. A csúcsmozgás lendületi nyomatéka egyenlő

$$\vec{N} = I \vec{\omega} , \quad (8.1)$$

ahol I a tehetetlenségi nyomaték a OO' tengely körül. Az \vec{N} vektor a csúcsmozgás mentén irányul.

A (8.1) egyenlőség nem teljesen pontos, mivel a csúcsmozgás egyidejűleg két forgási mozgásban vesz részt – a saját tengelye körüli forgásban és a OZ tengely körüli precesszióban. De mivel a precessziós sebesség kicsi, befolyása a vektor nagyságára

és irányára \vec{N} elhanyagolható. A nyomatékok szabálya szerint a szögimpulzus változási sebessége megegyezik a tetején ható külső erők nyomatékával:

$$d\vec{N}/dt = \vec{M}$$

Egy végtelenül kis dt időintervallumra az \vec{N} vektor magára merőleges növekményt kap

$$dN = N \sin \varphi d\alpha,$$

vízszintes síkban. Ennélfogva,

$$M = N \sin \phi d\alpha/dt.$$

De $d\alpha/dt$ nyilvánvalóan az Ω precesszió szögsebessége. (Megjegyezzük, hogy mivel esetünkben az erőnyomaték állandó érték, a precesszió szögsebessége is állandó lesz). Az utolsó kifejezésbe behelyettesítve $N = I\omega$, $d\alpha/dt = \Omega$, megkapjuk:

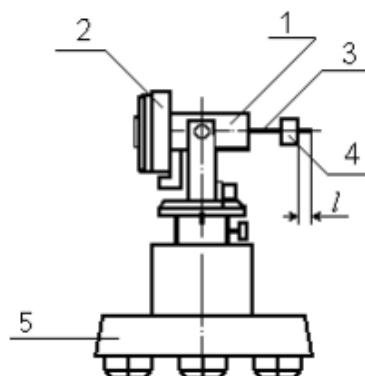
$$M = I\omega \Omega \sin \varphi,$$

és a mennyiségek vektoros jellegét figyelembe véve felírhatjuk a következő képletet:

$$\vec{M} = [\vec{\Omega}, I\vec{\omega}]. \quad (8.2)$$

Ezzel a képlettel meg lehet határozni a precesszió szögsebességének nagyságát és irányát, ha ismert a giroszkópra ható erők nyomatéka. A (8.2) képletből is látszik, hogy az erők nyomatéka nem a szöggyorsulást határozza meg (mint egy nem forgó giroszkópnál), hanem a szögprecessziós sebességet. Ez azt jelenti, hogy amint a külső hatás megszűnik ($M = 0$), a giroszkóp tengelye megáll. Ha az ütközés rövid távú volt, akkor a tengelynek csak nagyon kis szögben lesz ideje elfordulni. Így látható, hogy a giroszkóp stabilitásra tett szert.

A kísérleti berendezés sémája a 8.4 ábrán látható.



8.4 ábra. A kísérleti berendezés sémája

Munkánk során a giroszkóp teste egy villanymotor 1 lendkerékkel 2, amely egy masszív 3 rúd egyik végére van felszerelve. A rúd másik végén egy ellensúly 4

található, amely egy szabad kiegyensúlyozott rendszer létrehozására szolgál. a vízszintes tengelyre, és megkapja a giroszkóp precesszióját okozó külső erők nyomatókát. A giroszkóp precesszióját az ellensúlynak a rúd mentén történő elmozdulása okozza. Így a precessziót okozó erők nyomatóka, M egyenlő az ellensúly által kiegyensúlyozatlan és kiegyensúlyozott állapotban létrehozott nyomatókok különbségével, $M=mg(l-l_0)$, ahol m – az ellensúly tömege a biztosítóanyával együtt, l_0 – a kiegyensúlyozott, l – pedig a kiegyensúlyozatlan giroszkóp karja. A giroszkóp forgási sebességét és a precesszió sebességét a vezérlőegység határozza meg.

A munka menete

1. Állítsa be az alaphelyzetet az alap beállító lábaival 5 a giroszkóp szintjének megfelelően!
2. Az ellensúly 4 mozgásával győződjön meg arról, hogy a rendszer egyensúlyi helyzetben van! Mérje meg tolómérővel az l_0 távolságot a 3 rúd vége és az ellensúly legközelebbi síkja között! Ügyeljen arra, hogy a nem forgó giroszkóp tengelye a ható erők irányába mozduljon el! A vezérlőegység gombjaival kapcsolja be a giroszkóp motorját, állítsa a fordulatszámot 6000 ford./percre! Győződjön meg arról, hogy nincs precesszió!
3. Mozgassa az ellensúlyt néhány bevágással mindkét oldalra! Tolómérővel mérje meg a távolságot a rúd vége és az ellensúly legközelebbi síkja között l_1 ! Határozzuk meg a Δl_1 -et a következő képlettel:

$$\Delta l_1 = l_0 - l_1 \tag{8.3}$$

4. Kapcsolja be az elektromos motort, és a blokkidőzítő segítségével határozza meg a precesszáló giroszkóp 180 fokos szögben történő elforgatásához szükséges t_1 időt! Határozza meg a precessziós sebességet a következő képlettel:

$$\Omega = \frac{\pi}{t_1} \tag{8.4}$$

5. Ismétlje meg a precessziós periódus mérését a giroszkóp forgórészének ω több (5-6) forgási sebességével! A rotorban fellépő súrlódási erők lehetetlenné teszik az alacsony forgási sebesség elérését. Ezenkívül minél nagyobb a forgási sebesség, annál stabilabb a giroszkóp. Ezért ajánlatos a méréseket legalább 1500 ford./perc sebességgel végezni.
6. Kövesse a 3-5. pontokban leírt lépéseket az 1 ellensúly egyéb eltolásaihoz (3-4 érték)!
7. Méréssel határozzuk meg az ellensúly tömegét!
8. Mutassa be grafikusán a megfigyelés eredményeit, ábrázolva az abszcissza mentén az ω frekvenciát, az ordinátán pedig az $\omega \Omega$ szorzatot! A megfigyelési hibákon belüli pontoknak az x tengellyel párhuzamos egyenesen kell elhelyezkedniük (minden M értékhez lesz egy egyenes). Ezekből a

megfigyelésekből határozza meg az I giroszkóp tehetetlenségi nyomatékának értékét!

Ellenőrző kérdések

1. A giroszkóp fogalma és típusai.
2. A giroszkóp tulajdonságai.
3. Mi a giroszkópos hatás?
4. Mit nevezünk giroszkópos erőknek?
5. Mi a precesszió?

Irodalomjegyzék

1. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Вища школа, 1993. – 431с.
2. Методичні інструкції щодо виконання експериментальних лабораторних робіт з механіки в умовах кредитно-модульної системи навчання. / Укладачі: В.П. Пойда, В.М. Юнаш, Е.В. Гапон, В.В. Скляр, В.П. Лебедев, В.П. Хижковий. За загальною редакцією В.П. Пойди. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007. – 106 с.
3. Пойда В.П. Загальна фізика: механіка: конспекти лекцій: навчальний посібник. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. – 280 с.
4. Воловик П.М. Фізика для університетів. К.: Ірпінь. Перун, 2005. – 864 с.
5. Бушок Г., Венгер Э.Ф. Курс фізики. У 3 кн. Кн.1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка: Навч. посіб. – К.: Вища школа, 2002. – 375 с.
6. Пастушенко С.М. Загальна фізика. Механіка. – К.: НАУ, 20002. – 284 с.
7. Курс фізики. Підручник. / І.Є. Лопатинський., І.Р. Зачек. І.М. Кравчук та інші. – Львів: Афіша, 2003.– 376 с.
8. Фізика для інженерних спеціальностей. Кредитно-модульна система: Навч. посібник. У 2 ч. Ч. 1. /В.В. Куліш, А.М. Соловійов, О.Я. Кузнецова, В.М. Кулішенко. – К.: НАУ, 2004. – 456 с.
9. Фізика. Модуль 1. Механіка: Навч. посіб. / А.Г. Бовтрук, Ю.Т. Герасименко, Б.Ф. Лахтін та ін.; За заг. ред. проф. А.П. Поліщука. – К.: НАУ, 2004. – 176 с.
10. Самостійна робота студентів з вивчення механіки. Методичні рекомендації / Укладачі В. П. Пойда, О. В. Шеховцов, В. П. Хижковий, В. М. Сухов. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2010. – 80 с.
11. Пойда В.П., Хижковий В.П. Методичні інструкції щодо виконання віртуальних лабораторних робіт з механіки. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007. – 82 с.

Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний.

Формат видання 60x84/16.

Умовн. друк. арк. 3,72 Наклад:100. Зам. №00.

Видавництво ПП «АУТДОР – ШАРК»

88000, м. Ужгород, Україна

пл. Жупанатська, 15/1.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи

до державного реєстру видавців, виготовників

і розповсюджувачів видавничої продукції.

Серія 3т № 40 від 29 жовтня 2012 року.