

7a. Balistinės svyruoklės tyrimas

Užduotis

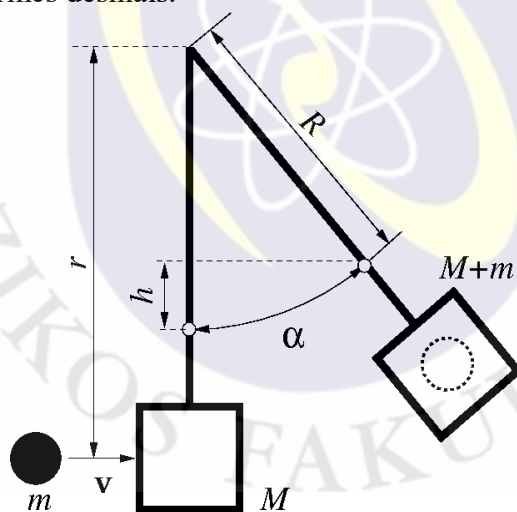
1. Nustatyti iššauto rutuliuko greitį ir palyginti jo dydį su verte, tiesiogiai matuojama optoelektroniniu prietaisu.
2. Patikrinti impulso momento tvermės dėsnį.

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Kodėl sistemą rutuliukas - svyruoklė galima laikyti uždara?
2. Impulso ir energijos tvermės dėsniai tampriojo ir plastiškojo smūgių atvejais.
3. Darbas ir energija.

Tyrimo metodika

Balistiniame eksperimente rutuliukais šaudoma į pakabintą ir galintį laisvai svyruoti taikinį, o įstrigęs rutuliukas suteikia taikiniiui impulsą bei energiją, ir šis pradeda kartu svyruoti. Rutuliuko greitis nustatomas pamatavus taikinio svyravimų amplitudę ir remiantis impulso momento bei mechaninės energijos tvermės dėsniais.



1 pav. Balistinio eksperimento schema.

Kaip parodyta 1 pav., iššautas masės m rutuliukas greičiu v skrieja atstumu r nuo balistinės svyruoklės sukimosi ašies. Jo impulso momentas tos ašies atžvilgiu:

$$L_R = mvr. \quad (1)$$

Pagal impulso momento tvermės dėsnį jis lygus sistemos, pradėjusios sukintis kampiniu greičiu ω , impulso momentui:

$$L_S = I\omega, \quad (2)$$

kur I yra svyruoklės su įstrigusiu joje rutuliuku inercijos momentas sukimosi ašies atžvilgiu.

Sukimosi kampinis greitis ω nustatomas pamatavus svyruoklės su įstrigusiu rutuliuku

atsilenkimo kampą α ir remiantis mechaninės energijos tvermės dėsnium. Tuoj po smūgio svyruoklės su rutuliuku įgyta sukimosi kinetinė energija

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2} \quad (3)$$

virsta potencine energija, kurią ta sistema įgyja pakilus i aukštį $h = R(1 - \cos \alpha)$:

$$E_p = (M + m)gR(1 - \cos \alpha). \quad (4)$$

Čia M - svyruoklės masė, g - laisvojo kritimo pagreitis, R - sistemos masės centro nuotolis nuo sukimosi ašies.

Sulyginę (3) ir (4) dešiniąsias puses randame kampinį greitį:

$$\omega = 2\sqrt{\frac{(M + m)gR}{I}} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (5)$$

Paskutinis nežinomasis - inercijos momentas I - nustatomas išmatavus svyruoklės su įstrigusiu rutuliuku svyravimų periodą:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{(M + m)gR}}. \quad (6)$$

I (2) įrašę (5) ir inercijos momentą iš (6), sulyginame impulsų momentus, aprašytus (1) ir (2):

$$mvr = \frac{T}{\pi} (M + m)gR \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (7)$$

ir randame kulkos greitį:

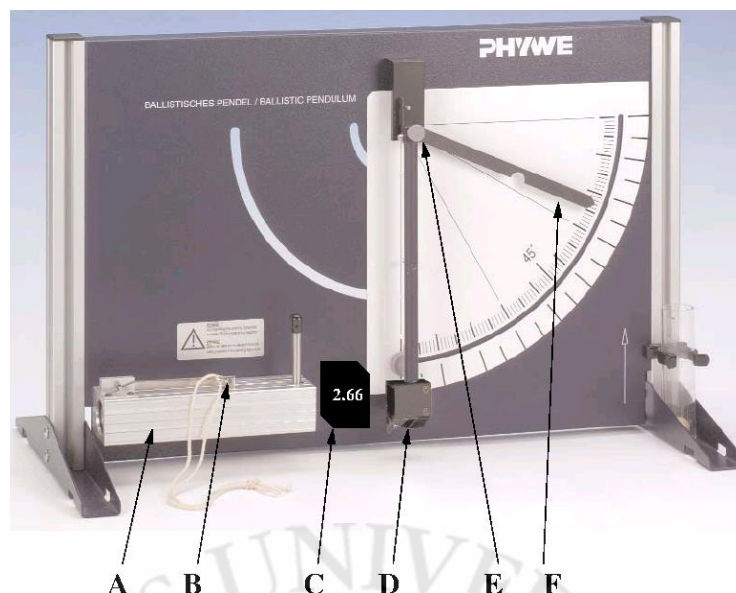
$$v = \frac{T(M + m)gR}{\pi mr} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (8)$$

Eksperimentiniame įrenginyje rutuliuko greitį galima išmatuoti tiesiogiai optoelektroniniu prietaisu, todėl studentams siūloma pamatuotų dydžių analizę atlikti dviem būdais:

- 1) Naudojantis impulso momento ir energijos tvermės dėsniais, nustatyti rutuliuko greitį pagal (8) iš balistinio eksperimento duomenų ir palyginti jo vertę su pamatuotąja optoelektroniniu prietaisu.
- 2) Patikrinti impulso momento tvermės dėsnį, kuris užrašytas (7) lygybe. Šiuo atveju, pamatavus i (7) įeinančius dydžius, apskaičiuojamos ir palyginamos kairė ir dešinė tos lygybės pusės. Po to įvertinamos jų paklaidos. Rutuliuko greitis nustatomas optoelektroniniu prietaisu su $\pm 0,01$ m/s paklaida.

Tyrimo eiga

Laboratorijoje esantis balistinio tyrimo įrenginys parodytas 2 pav. Įjungus įrenginio elektros tiekimą, aktyvuojasi spyruoklinės šaudyklės magnetas ir rutuliuko greitį matuojantis optoelektroninis prietaisas. Šaunamas rutuliukas priglaudžiamasprie šaudyklės šerdies. Elektromagnetas jį pritraukia. Šaudyklė įtempinama ir fiksuojama. Svyruklė nuraminama pusiausvyros padėtyje ir prie jos priglaudžiama sekimo rodyklė. Optoelektroninis prietaisas paruošiamas greičio matavimui paspaudus jo mygtuką "Reset". Šūvis atliekamas pakeliant šaudyklės paleidimo svirtį.



2 pav. Balistinio tyrimo įrenginys. A - spyruoklinė šaudyklė; B - šaudyklės paleidimo svirtis; C - optoelektroninis rutuliuko greičio matuoklis; D - balistinė svyruoklė; E - svyruoklės pakabos ašis su fiksuojančiu sraigtu; F - slanki sekimo rodyklė kampui matuoti.

Atsukus fiksuojantį varžtą nuo pakabos nuimama svyruoklė, į ją įstatomi skirtingų rūšių (medinis ir metalinis) rutuliukai ir matuojami šie dydžiai: masės m ir $M+m$, masės centro atstumas nuo pakabos sukimosi ašies R , atstumas nuo svyravimo ašies iki smūgio į svyruoklę vietos r ir svyravimų periodas T . Pastarasis randamas pakabinus svyruoklę ant ašies, kur ji galėtų netrukdomai svyruoti. Svyravimų periodą reikia matuoti itin kruopščiai, parenkant ne didesnę kaip 1 - 3 laipsnių atlenkimo kampą, skaičiuojant 50 - 100 svyravimų trukmę, ir tokį matavimą kartojant 3 - 5 kartus.

Pastaba: siekiant sumažinti įrangos dėvėjimąsi, šie dydžiai jau yra pamatuoti ir surašyti 1. lentelėje. Joje pateikti periodai yra pamatuoti pakabinus svyruoklę ant ~ 3 mm storio ašies. Svyravimų periodą reikia matuoti itin kruopščiai, parenkant ne didesnę kaip 1 - 3 laipsnių atlenkimo kampą, skaičiuojant 50 - 100 svyravimų trukmę, ir tokį matavimą kartojant 3 - 5 kartus.

1. lentelė. Eksperimente naudojamų rutuliukų ir balistinės svyruoklės parametrai

Matuojamas dydis		Tuščia svyruoklė	Svyruoklė su mediniu rutuliuku	Svyruoklė su metaliniu rutuliuku
Rutuliuko masė	$m \pm 0,01$ (g)	-	11,55	27,89
Bendra masė	$M+m \pm 0,01$ (g)	94,43	105,98	122,33
Atstumas nuo pakabos iki masės centro	$R \pm 0,1$ (cm)	12,8	13,9	15,4
Svyravimų periodas	$T \pm 0,001$ (s)	0,964	0,968	0,972
Atstumas nuo pakabos iki rutuliukų smūgio vietos	$r \pm 0,2$ (cm)	23,8		

Pasirinktas rutuliukas šaunamas 10 – 15 kartų, nustatomas svyruoklės atsilenkimo kampas ir optoelektroniniu rutuliuko greičio matuokliu išmatuojamas jo greitis. Svyravimų periodą matuojant rutuliuko greičio matuokliu išmatuojamas jo greitis. Svyravimų atsilenkimo kampą parodanti rodyklė dėl trinties gali iškraipyti rezultatus, todėl atlikus keletą šūvių ji paliekama atlenkta ties šiek tiek mažesniu kampu nei tas, kuris išaiškėja po pirmųjų šūvių. Tik tuomet, kai sekimo rodyklė po eilinio šūvio nebepajuda į priekį, galima manyti, kad rodantom atsilenkimui trintis įtakos nebeturėjo.

Paklaidų įvertinimas

Nustatant rutuliuko greitį v balistiniame eksperimente pagal (8), paklaida yra:

$$\Delta v = v \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(M+m)}{M+m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \frac{1}{4} \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} (\Delta \alpha)^2}, \quad (9)$$

o impulsų momentų paklaidos analizuojant rezultatus antruoju būdu:

$$\Delta L_R = L_R \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2}; \quad (10)$$

$$\Delta L_S = L_S \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(M+m)}{M+m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \frac{1}{4} \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} (\Delta \alpha)^2}. \quad (11)$$

Galimas klausimas: kurie iš matavimų duoda didžiausią įnašą į v , L_R ir L_S verčių paklaidas?

Literatūra:

1. A. Medeišis „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas.“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. www.scribd.com/doc/97907515/Arlausko_kospektai.
3. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.