JÄÄVUSESEADUSED PÕRKEPROTSESSIDES

1. Tööülesanne

Impulsi jäävuse seaduse kontrollimine absoluutselt mitteelastse ja poolelastse põrke korral, keha impulsi muudu ja kehale üle antud jõuimpulsi võrdsuse kontrollimine, deformatsioonitöö mõõtmine.

2. Töövahendid

Kahe meetri pikkune õhksiin, kaks liugurit helipeegeldusekraanide ja liugurite asendi fikseerimiseks ning põrke sujuvaks muutmiseks vajalike lisaseadmetega, ultraheliasendiandur, jõuandur, jadaliides ULI andurite sidestamiseks arvutiga, IBM PC-ga ühilduv arvuti, suruõhu allikas, alalispinge allikas.

3. Teoreetiline sissejuhatus

Isoleeritud mehhaanilises süsteemis kehtib süsteemi koguimpulsi $\vec{p}_\Sigma$ jäävuse seadus:

$$\vec{p}_\Sigma = \sum_{i=1}^{N} m_i \vec{v}_i = const \neq f(t), \tag{1}$$

kus m_i ja $\vec{v}_i$ on i-nda keha mass ja impulss mingil suvalisel ajahetkel, N – kehade arv süsteemis, t on aeg. Impulsi kui vektori jäävus kehtib ka kõigi ruumikoordinaatide sihiliste projektsioonide jaoks eraldi. Seega ei pea süsteem olema isoleeritud absoluutses mõttes, näiteks $p_{\Sigma,x}$ säilimiseks on piisav, kui süsteemi kehadele mõjuvate välisjõudude x-projektsioonide summa on null. Kahe keha tsentraalsel otsepõrkel on koguimpulsi põrkesirge sihiline komponent jääv suurus, kummagi põrkuva keha impulsi muut on aga võrdne põrkeprotsessis mõjuvate sisejõudude vahendusel kehade poolt teineteisele üleantava jõuimpulsiga. Näiteks keha nr. 1 impulsi põrkesirge-sihilise projektsiooni (x-projektsiooni) muut avaldub

$$\Delta p_{1,x} = \int_{t_1}^{t_2} f_{21,x} dt . \tag{2}$$

Arvestades, et $p_{1,x} = m_1 v_{1x}$ ja $f_{21,x} = m_1 a_{1,x}$, saame

$$\Delta v_{1,x} = \int_{t_1}^{t_2} a_{1,x} dt . \tag{3}$$

Siin $\vec{f}_{21}$ on kehale nr. 1 mõjuv sisejõud, $\vec{a}_1$ on selle keha kiirendus.

Valem (2) kehtib ka siis, kui vaadeldavale kehale mõjub mingi välisjõud.

Impulsi jäävuse seadus kehtib ülalmärgitud mõttes isoleeritud süsteemis täpselt nii absoluutselt mitteelastse, absoluutselt elastse kui ka osaliselt elastse põrke korral. Mehhaanilise energia jäävuse seadus kehtib aga ainult konservatiivsetes mehhaanilistes süsteemides, kus puuduvad igasugused dissipatiivsed jõud. Seepärast saab see seadus kehtida

põrkeprotsessidest vaid absoluutselt elastse põrke korral. Kehade vahetu kontaktiga toimuv põrge on alati poolelastne, ainult elektriliselt laetud või magnetiseeritud kehade põrge võib olla absoluutselt elastne.

Kahe keha absoluutselt elastse tsentraalse otsepõrke korral kehtib mehhaanilise energia jäävuse seadus kehade kulgliikumise summaarse kineetilise energia jäävusena enne ja pärast põrget:

$$W_{k,\Sigma}^{\text{enne}} = W_{k,\Sigma}^{\text{pärast}} . \tag{4}$$

Kõigi teiste põrgete korral muundub osa algsest kineetilisest energiast deformatsioonitööks

$$A_{\text{def}} = W_{k,\Sigma}^{\text{enne}} - W_{k,\Sigma}^{\text{pärast}} . \tag{5}$$

Paljudes rakendustes pakub huvi suhteline deformatsioonitöö

$$\eta = \frac{A_{\text{def}}}{\mathrm{W}_{k,\,\Sigma}^{\text{enne}}} = 1 - \frac{\mathrm{W}_{k,\,\Sigma}^{\text{pärast}}}{\mathrm{W}_{k,\,\Sigma}^{\text{enne}}} . \tag{6}$$

Käesoleva töö ülesandeks on impulsi jäävuse seaduse (valem (1)), samuti valemite (2) ja (3) katseline kontrollimine, aga ka mehhaanilise energia jäävuse seaduse (valem (4)) mittepaikapidavuse näitamine reaalsete poolelastsete põrgete korral.

4. Katseseadme (riistvara) kirjeldus

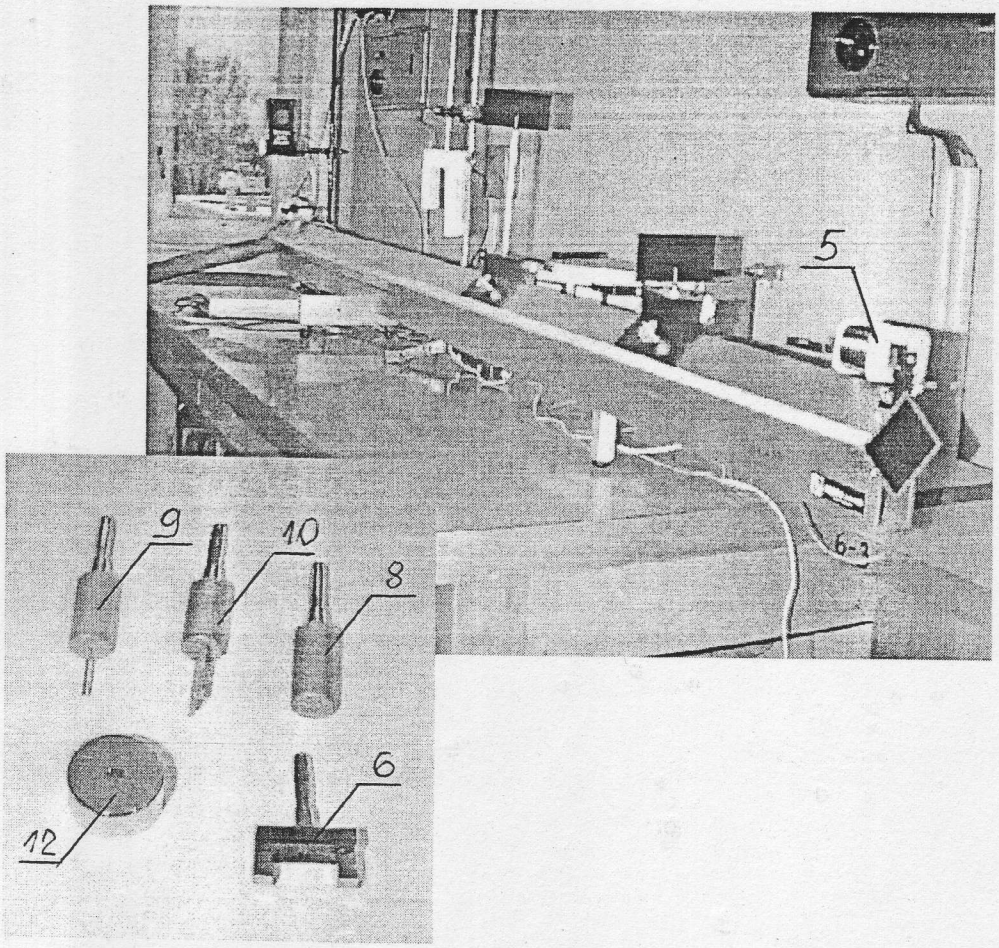
Katseseade on kujutatud joonisel.

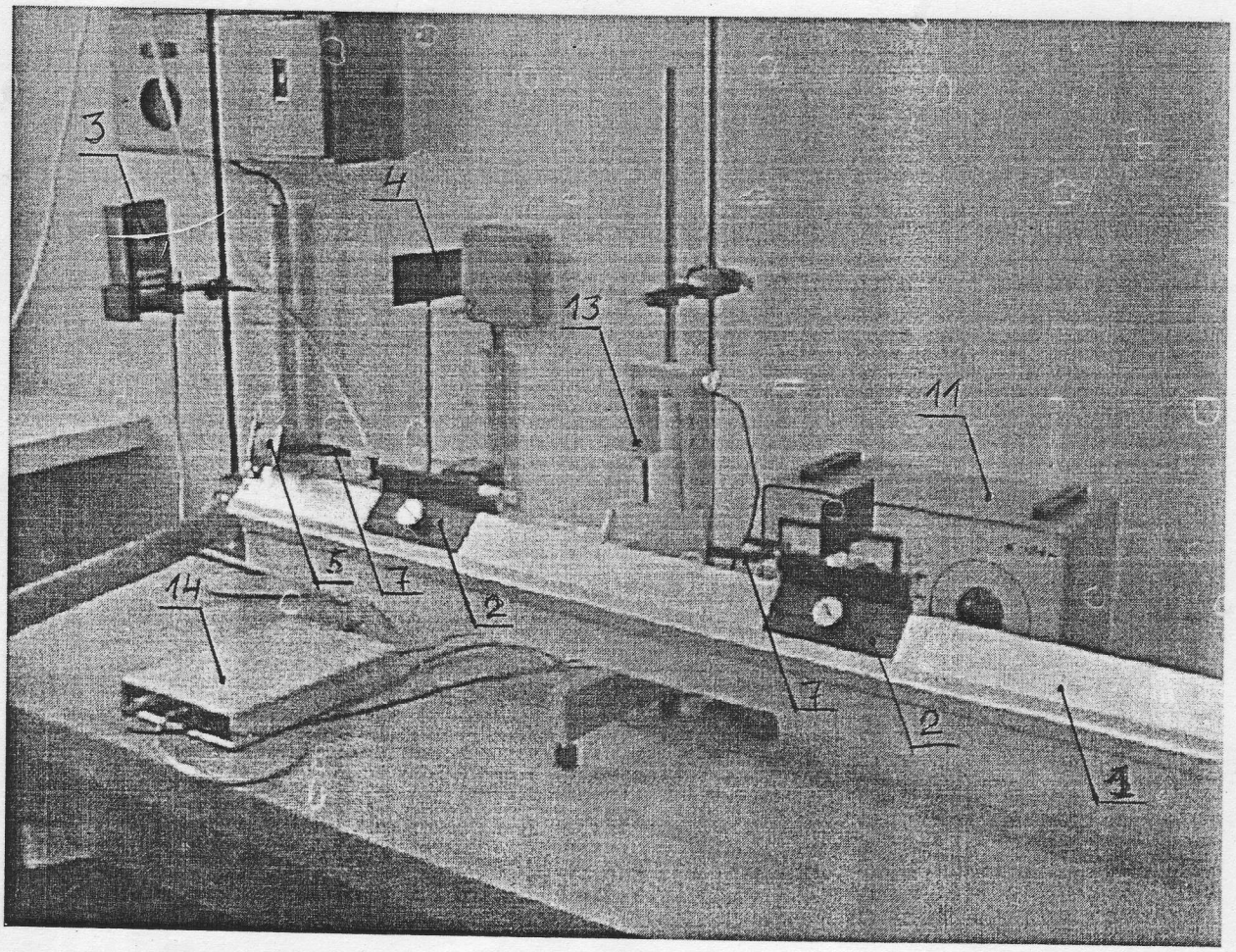
Seadme põhiosaks on USA firma Pasco Scientific kahe meetri pikkune õhksiin 1, mille avadest surve all väljavoolav õhk tekitab liugurite 2 alla õhkpadja, võimaldades viimastel liikuda piki siini praktiliselt hõõrdumisvabalt. Kajaloodi põhimõttel töötav ultraheli-asendiandur 3 võimaldab määrata liugurite siinisihilist koordinaati. Asendiandur saadab rangelt perioodiliselt välja lühiajalisi ultrahelipulsse (helisagedusega 50 kHz) koonusesse tipunurgaga *ca* 30° ja registreerib liugurile kinnitatud ekraanilt 4 peegeldunud helipulsid. Pulsi emiteerimise ja peegeldunud pulsi registreerimise hetkede vahe ja heli levimise kiirus määravadki ekraani kauguse andurist. Liikuva ekraani hetkasendite ja pulsside kordumissageduse kaudu saab arvutada liikumise kiirust ja kiirendust. Anduri mõõtepiirkond on 0,45-6 m.

Helipulsside küllalt suure hajumisnurga tõttu on asendiandur võrdlemisi häiretundlik. Seepärast on peegelekraan tõstetud siinist *ca* 30 cm kõrgusele, siini pikkuse ulatuses ei tohi olla kõrvalisi esemeid, mis jääksid 30° tipunurgaga koonusesse tipuga anduri kiirgus-vastuvõtumembraanil. Siinilt endalt ja laualt tulevate peegelduste vältimiseks tuleb anduri kiirgusekimbu telg suunata horisontaalsihist veidi ülespoole. Kui andur katse käigus annab väga hajuvaid tulemusi, tuleb 1) kontrollida, kas pole kiirtekimbu koonuses segavaid objekte; 2) korrigeerida kiirtekimbu sihti. Vahel on süüdi ka liiga suur mõõtepulsside kordumissagedus.

Liugurite algasendi fikseerimiseks kasutatakse elektromagneteid 5 ja liuguritele kinnitatavaid pehmeterasest pulkadega harke 6, algimpulsi andmiseks ja poolelastse põrke realiseerimiseks aga kumminööriga puhvreid-tõukureid 7. Liugurite absoluutselt mitteelastse põrke realiseerimiseks kasutatakse vahaga täidetud silindrit 8 ja nõelaga varustatud silindrit 9, elastse põrke korral on ühel liuguril labaga silinder 10.

Elektromagnetite toiteks kasutatakse alalispinge allikat 11. Liugurite fikseerimiseks vajalik vool läbi elektromagnetite mähiste sõltub tõukurite kumminööride pingest (see on määratud


5
9
10
8
6
12


3
4
13
11
5
7
14
2
7
2
1

nööri asendiga tõukuri hargil), kuid ei tohi ületada 3 A. Liugurite massi saab muuta silindrikujuliste lisakoormistega 12 (mass 50 g).

Õhksiin on väga täpselt valmistatud seade: see on sirge kogu kahe meetri ulatuses, kaldpinnad, milles on õhu väljavoolu avad, on hästi siledaks lihvitud tasapinnad. Siini läbipaindumise vältimiseks peab see olema võimalikult kerge, seepärast on kasutatud alumiiniumsulamit, mis aga mehhaaniliselt ei ole eriti tugev ja pind on küllalt pehme. **Seepärast on õhksiiniga töötades vajalik eriline ettevaatlikkus. Liugureid tohib libistada ainult õhkpadja olemasolul, tõugates neid horisontaalsihis. Igasuguste operatsioonide tegemisel liguritega (peegelekraanide, puhvrite jne. vahetamine) tuleb need enne siinilt maha tõsta.**

Põrkuvate kehade vastasmõju jõu ajalist sõltuvust mõõdetakse tensomeetrilise jõuanduriga 13. Tensomeeter mõõdab jõu poolt seadmes tekitatud deformatsioonil tekkivat pinget, mis muundatakse elektriliseks signaaliks kas piesoelemendi, venitusel takistust muutva traadi või mõne muu seadme abil. (Siin kasutatava tensomeetri tööprintsiip on tootva firma saladus.) Jõuandur tuleb kohapeal kaliibrida tuntud massiga koormiste otsariputamise teel, kaliibrimise andmed võib salvestada. Meie juhul on andur juba kaliibritud ja tulemused salvestatud faili CAL2O2.CLB, need tuleb tööd alustades operatiivmällu laadida.

Mõlema eelkirjeldatud anduri tööd juhitakse IBM personaalarvutiga ühilduva arvuti abil liidese ULI 14 (Universal Lab. Interface, firma Vernier Software) kaudu. Asendiandur ühendatakse ULI telefonipistikupessa, mis on tähistatud "Port 2", jõuandur aga pistikupessa DIN1. Mõlemad andurid võivad töötada samaaegselt. ULI-le ühendatakse veel külge 9V/1A alalispingega toiteplokk, arvutiga ühendatakse ULI jadavärati (meie juhul COM1) kaudu.

Õhksiini suruõhuga toitmiseks kasutatakse tolmuimejat puhuri režiimis. Siini avade tolmuosakestega ja tolmuimeja kollektormootori söeosakestega ummistumise vältimiseks on tolmuimeja suletud kinnisesse anumasse, mille väljundavasse puhutakse õhk läbi peenpuhastusfiltri.

5. Tarkvara

Kehade asendi, kiiruse, kiirenduse ja jõu mõõtmiseks eelkirjeldatud riistvara abil on Tufti Ülikoolis (Massachussetts, USA) välja töötatud tarkvarapakett "Motion". See on küll kirjutatud DOS programmina, kuid on kasutatud WINDOWSi ideoloogiat ja pakett töötab edukalt WINDOWSi keskkonnas. Pakett võimaldab juhtida mõõtmist mõlema eelkirjeldatud anduriga, töödelda saadud andmeid, salvestada neid kõvakettale ja trükkida välja graafikuid.

Paketi programmide tööd on otstarbekas juhtida hiirega rippmenüüde, kerkivate menüüde ja ekraanile ilmuvate nuppude abil, mõnel juhul ka <Ctrl> ja <Alt> klahve kasutades. **Hiire parema klahviga** kutsutakse välja rippmenüüd; hoides klahvi all viiakse kursor vajaliku allmenüü või vajaliku operatsiooni nimetusele ja vabastatakse nupp. **Hiire vasakut klahvi** kasutatakse dialoogiakendes tegevuste valimisel, nuppudele vajutamisel ja kerkivate menüüde väljakutsumiseks ning seal valiku tegemiseks.

WINDOWSi keskkonnas töötades käivitatakse pakett topeltklõpsuga ekraanile toodud ikoonil. Vastates ekraanile ilmuvatele küsimustele tuleb kinnitada, et ULI on ühendatud värati COM1 kaudu (ULI peab olema sisse lülitatud) ja et ei soovita laadida jõuanduri standardse (*default*) kalibratsiooni tulemusi. Siis ilmub ekraanile põhiaken: mõõtmistulemuste koordinaadistik, milles vaikimisi on horisontaalteljel aeg ja vertikaalteljel koordinaat (*distance*). Telgede nimetusi ja skaalade ulatust saab vahetada mitmel viisil, neist lihtsaim on kasutada neid nimetusi kui kerkivaid menüüsid (hiire vasaku klahvi klõps nimetusel); skaala ulatuse muutmiseks võib teljel olev maksimaalväärtust tähistav arv lihtsalt üle kirjutada.

Vasaku klahvi topeltklõpsuga koordinaattasandil väljakutsutavas dialoogiaknas võib valida automaatse skaleerimise (*Auto Scale*), siis mahuvad kõik katsepunktid parajasti joonisele ja kogu pind on kasutatud. Graafiku mõne osa detailseks vaatlemiseks saab kasutada suurendust (*Zoom*). Selleks tuleb klahvi <Ctrl> all hoides hiirekursoriga joonestada graafiku vajalikku piirkonda ümbritsev nelinurk. Suurendust võib kasutada korduvalt. Viimase suurenduse kustutab korraldus "Undo" rippmenüüst "Edit", algolukorra taastab "Reset Axes" rippmenüüst "Display".

Programmipaketi rippmenüüde kirjeldusega saab tutvuda inglisekeelse kasutajajuhendi abil. Siinkohal tuuakse vaid üldpõhimõtted ja mõned sagedamini kasutatavad operatsioonid. Praktikumitöö käigu kirjeldamisel on ka antud üks võimalik menüükorralduste valik, mis võimaldab teha minimaalselt vajaliku töö.

Katse käivitatakse klõpsuga põhiakna nupul "Start", nullistanud eelnevalt jõuanduri nupuga "Zero". Vaikimisi registreeritakse samaaegselt koordinaadi ja jõu väärtusi, reaalajas arvutatakse kiiruse ja kiirenduse väärtused ning kuvatakse põhiaknas vertikaalteljel valitud suuruse ajalise sõltuvuse graafik. Andmete kogumise sagedust on võimalik valida rippmenüüst "Collect" valikuga "Date Rate". Väga kiiresti muutuvate põrkejõudude ajalise käigu täpsemaks registreerimiseks võib samast menüüst valida "Force only data", siis saab mõõta kuni 4000 punkti sekundis, kuid ainult jõu väärtusi.

Viimases katses mõõdetud ja arvutatud suuruste kõiki väärtusi on võimalik vaadelda tabelis, mis kutsutakse ekraanile rippmenüüst "Windows" valikuga "Data A Table". Uus käivitus kustutab mälust eelneva katse tulemused. Katsete korduvuse uurimiseks on vahel kasulik tulemused suunata puhvermällu korraldusega "Data A → Data B" rippmenüüst "Data". Siis säilivad eelmise katse andmed nii graafikuna kui tabelina. Kui on tarvis säilitada suurema arvu katsete tulemusi, peab need salvestama failidena kettale, valides rippmenüüst "File" kas "Save As" (salvestab tulemused koos kõigi graafikute parameetritega) või "Export Data A (B) As ..." (salvestab vaid andmetabeli kas vaid paketile "Motion" arusaadavas "Normal" formaadis või tekstifailina). Salvestatud andmed laadib mällu tagasi korraldus "Open" rippmenüüst "File".

Vahel on kasulik vaadelda samaaegselt mitut graafikut. Rippmenüüst "Display" on võimalik valida korraga kuni neli graafikut, valikuga "Graph Layout" saab neid ekraanil erinevalt paigutada. Üks graafikutest on välja valitud, sellel on tume raam.

Pakett võimaldab teha kogutud andmetega mitmesuguseid teisendusi etteantud valemi järgi (näiteks arvutada mõõdetud kiiruse väärtustele vastavad kineetilise energia väärtused) või etteantud eeskirja järgi (tuletise arvutamine, funktsiooni silumine). Selleks tuleb valida rippmenüüst "Data" operatsioon "New Column" ja täita vajalikud kastid dialoogiaknas. Uus suurus ilmub andmetabelis uue veeruna, selle suuruse nimetus lisandub telgede nimetuse kerkivasse menüüsse, kust saab valida ka selle suuruse graafiku.

Andmete töötlemiseks pakub hulga võimalusi rippmenüü "Analyze": diferentseerimine (puutuja graafikule), integreerimine, lähendamine valitud funktsiooniga, elementaarstatistika (keskmise ja standardhälbe arvutamine) jne. Analüüsida võib ka ainult teatud osa andmetabelist, mis tuleb eelnevalt valida. Selleks valitakse algul rippmenüüst "Analyze" operatsioon "Analyze Data A (B)". Hiirekursor muutub graafikul vertikaaljooneks, tabelis horisontaalribaks. Hoides all <Ctrl> klahvi, saab kas gaarfikul või tabelis märgistada vajaliku lõigu. Vertikaaljoonekujulise kursori korral trükitakse graafiku alla selle joone ja graafiku lõikepunktile vastavad kõigi mõõdetud ja arvutatud suuruste väärtused.

Graafiku või andmetabeli väljatrükkimiseks kasutatakse standardseid korraldusi "Page Setup", "Print" ja "Set Graph Title" rippmenüüst "File". Tabelist trükitakse ainult märgistatud osa (kui see on olemas).

6. Töö käik

Järgnevalt kirjeldatakse tööülesande täitmiseks vajalikke eksperimente; andmete töötlemist käsitletakse ainult programmipaketi "Motion" vahenditega, kusjuures andmete salvestamine failidesse ei ole tingimata vajalik. Soovi korral võib andmeid töödelda mõne muu programmi(paketi)ga (näit. Mathcad), sel juhul tuleb kõik vajalikud andmed salvestada failidesse tekstiformaadis. Failid salvestatakse paketi "Motion" kataloogi; faili nimi peab sisaldama kuupäeva (näit. vel31302 – kolmas kiiruse väärtuste fail 13. veebruaril), et kataloogi oleks võimalik puhastada aegunud andmetest.

Kogu töös on asendianduri korral soovitatav kasutada mõõtmissagedust 20 punkti sekundis (rippmenüü "Collect", valik "Data Rate"). Suurema sageduse korral võib tekkida raskusi kiiruse ja kiirenduse arvutamisel. Edaspidi kasutame viitamisel lühendeid: RM – rippmenüü, V – valik menüüst.

Seame asendianduri statiivil üles nii, et selle kiirguri-tajuri ringikujulise membraani tsenter oleks võimalikult täpselt õhksiini ülaserva läbivas vertikaaltasandis mitte vähem kui 45 cm kaugusel liugurile kinnitatud peegelekraani andurile lähimast võimalikust asendist. Membraani tsenter peab olema peegelekraani tsentriga samal kõrgusel.

Seame siini võimalikult täpselt horisontaalseks. Selleks lülitame sisse suruõhuallika ja pöörame siini kaht reguleeritavat tugijalga, kuni liugur seisab paigal siinil suvalises asendis.

6.1. Mõõtmistäpsuse uurimine

Riistvara ja tarkvara tarnijate poolt kaasa antud dokumentatsioonis puuduvad andmed asendianduri ja jõuanduri mõõtmistäpsuse kohta. Samuti on tundmatud kiiruse ja kiirenduse arvutamise algoritmid, mille järgi oleks võimalik hinnata arvutustulemuste teoreetilist viga. Seepärast tuleb mõõtemääramatust hinnata katseliselt.

6.1.1. Seame liuguri siinile õhkpadja puudumisel, registreerime konstantset koordinaati vähemalt 3 s jooksul. Vaatleme tulemusi tabelis (RM "Windows", V "Data A Table"); kui nende hajuvus on märgata, siis arvutame keskmise ja standardhälbe hinnangu (RM "Analyze", V "Statistics"). Kui hajuvust ei ole, suurendame andmete väljastamisel kümnendkohtade arvu pärast koma (RM "Edit", V "Set Precision"). Tõstame liugurit edasi näiteks 100 mm võrra, kasutades siinil olevat millimeeterskaalat, kordame katset. Liuguri nihke ja anduri mõõdetud koordinaatide keskmiste väärtuste vahe erinevus on anduri süstemaatilise vea (B-tüüpi määramatuse) hinnang; hajuvuse järgi hindame koordinaatide vahe juhuviga (A-tüüpi määramatust). Katset kordame kahel võimalikult erineval kaugusel, et selgitada mõõtemääramatuse sõltuvust peegelekraani kaugusest.

6.1.2. Lülitame sisse suruõhuallika, anname siini ühes otsas asuvale liugurile kerge tõuke, registreerime liuguri kiiruse vähemalt 5 s jooksul. Tulemused näitavad selgesti õhutakistuse väikest pidurdavat mõju. Andmetabelist valime mingi umbes ühesekundilise ajavahemiku; sellele vahemikule vastava koordinaatide vahe kaudu arvutame keskmise kiiruse, hinnates selle mõõtemääramatust p. 6.1.1 tulemuste abil (aja etteandmise täpsus on palju parem). Arvutame ka andmetabelis antud kiiruse väärtuste keskmise ja standardhälbe hinnangu (vt. p. 6.1.1). Kui kahe keskmise kiiruse kahe saadud väärtuse vahel olulist erinevust valitud usaldusnivool ei ole, loeme B-tüüpi määramatuse ligikaudu nulliks, A-tüüpi määramatust hindame aga igas katses kiiruse väärtuste juhuhälvete (standardhälbe hinnangu) järgi. Kiiruse mõõtemääramatust hindame väikese väärtuse (~ 0,1 m/s) ja suure väärtuse (~ 0,5 m/s) korral.

6.2. Absoluutselt mitteelastne põrge

Paneme kummalegi liugurile kaks lisakoormist, ühele (A) kinnitame pika varda otsas oleva peegelekraani ja pehmeterasest fiksaatorhargi. Ühele liugurile kinnitame vahaga täidetud silindri, teisele nõelaga silindri. Kaalume mõlemad liugurid. Lülitame sisse suruõhu allika ja elektromagnetfiksaatorid, fikseerime peegelekraaniga liuguri siini asendianduri poolses otsas, olles enne magnetile kinnitanud tõukuri. Teise liuguri paneme seisma siini keskel (vahel on tarvis siini horisontaalsuse järelreguleerimist). Valime monitori ekraanil olevas põhiaknas kiiruse kuvamise reziimi (*Velocity* vertikaaltelje nimetuse kerkivast menüüst). Alustame katset (klõps nupul "Start"). Süsteem hakkab mõõtma mõnesekundilise viiteaja möödumisel (asendiandurist kuulduvad krõpsatused, monitori ekraanil algab kiiruse graafiku kujutamine), siis lülitame välja magneti. Süsteem kuvab liuguri A kiiruse ajalise käigu (pärast põrget on mõlemad liugurid muidugi koos).

Andmete töötlemisel moodustame kaks lisaveergu impulsi väärtuste jaoks enne ja pärast põrget (RM "Data", V "New Column"). Valemi kasti täitmisel valime kiiruse veerunimetuste kerkivast menüüst ("Columns") ja korrutame selle massi arvväärtusega. Märgistame kordamööda kiiruse jääva väärtuse vahemikud enne ja pärast põrget, teeme nende ajalõikude jaoks elementaarstatistilised arvutused (RM "Analyze", V "Statistics"). Hindame impulsi keskmiste väärtuste määramatust, kontrollime valemit (1).

Märgistame kiirenduse graafikul (tabelis) põrkeajale vastava lõigu, mil liuguri A kiirendus on oluliselt nullist erinev, arvutame integraali aja järgi üle selle lõigu (RM "Analyze", V "Integral"). Integraali väärtus kuvatakse graafiku kohale põhiaknas. Arvutame kiiruse muudu, kontrollime valemit (3). Kontroll on vaid kvalitatiivne, sest kiirenduse, seda enam integraali määramatust ei oska hinnata.

Arvutame suhtelise deformatsioonitöö (valem (6)).

Trükime välja samas aknas kujutatud koordinaadi, kiiruse ja kiirenduse graafikud (RM "Display", V "Graph Layout"; seejärel RM "File", V "Set Graph Title", V "Print Graphs").

6.3. Poolelastne põrge

Poolelastse põrke uurimise üldskeem on sama, mis absoluutselt mitteelastse põrke korral, ainult et siin liiguvad mõlemad liugurid ka pärast põrget lahus, seega on vaja mõõta mõlema liuguri kiirust nii enne kui pärast põrget. Et meil pole kaht asendiandurit (programmipakett "Motion" ei võimaldagi kasutada samaaegselt kahte asendiandurit), siis tuleb mõõta liugurite kiirusi korduskatsetes, kontrollides ka sama liuguri kiiruse väärtuste korduvust järjestikustes katsetes.

Nüüd fikseerime mõlemad liugurid elektromagnetite ja fiksaatorharkide abil siini otstes, mõlemale magnetile kinnitame ka tõukuri. Ühele liugurile (A) kinnitame pika varda otsas oleva peegelekraani, teisele liugurile (B) aga samasuguse madala ekraani (ilma vardata), millele on kinnitatud varda massiga võrdse massiga lisakoormis. Liugurite masside ja tõukurite kumminööride pinge valikuga seame liugurite algimpulsid võimalikult erinevateks. Teeme katse ja statistika-arvutused nagu p. 6.2. Siin tuleb katsetulemuste korduvuse uurimiseks korrata katset vähemalt 3 korda, arvutades kolmest lõpp- ja kolmest algimpulsist keskmise koos määramatuse hinnanguga. Vahetame peegelekraanid liuguritel, kordame katset veel 3 korda, registreerides nüüd teise liuguri impulssi. Kontrollime valemit (1). NB! Siin tuleb arvestada impulsivektorite projektsioonide märki!

Ühe liuguri jaoks kontrollime ka valemit (3) (vt. p. 6.2 lõpuosa). Veendume, et mehhaanilise energia jäävuse seadus (valem (4)) ei kehti, arvutame suhtelise deformatsioonitöö (valem (6)).

Trükime välja graafikud, nagu p. 6.2.

6.4. Impulsi muut välisjõu toimel

Laadime operatiivmällu jõuanduri kalibratsiooni andmed (RM "Collect", V "Calibrate Force", edasi V "Load Calibration", valida fail CAL202.CLB). Fikseerime ühe liuguri koos pika varda otsas oleva ekraaniga ja labaga silindriga asendianduri poolses otsas. Asetame statiivil oleva jõuanduri siini kohale nii, et liuguril oleva silindri laba tabab jõuanduri lehtvedru konksu täpselt keskele, et oleks täidetud tsentraalse otsepõrke tingimus liuguri jaoks. Teeme poolelastse põrke katse, nagu p. 6.2, arvutame impulsi muudu. Korduskatses mõõdame jõu ajalise sõltuvuse põrkeprotsessis. Selleks valime jõu kiire mõõtmise reziimi (RM "Collect", V "Force Only Data", V "Data Rate", sealt "1000"). Katse kestus (maksimaalne väärtus ajateljel) ei tohi nüüd ületada 2.4 s, muidu ei mahu katsetulemused mällu.

Nullistame jõuanduri (nupp "Zero" põhiaknas). Jõuanduri juhtimise ja mõõtmise skeemis on arusaamatu viivitus – mõõtetulemused jõuavad ekraanile ja salvestatakse mällu umbes ühesekundilise hilinemisega. Seepärast ei saa kasutada mõõtmise alustamise ootereziimi (RM "Collect", V "Triggering") ja tuleb tabada katse startimise ja liuguri magnetist vabastamise õiged hetked, nii et põrkejõud saaks registreeritud. Mõningase harjutamise järel see õnnestub kindlasti.

Suurendame jõu graafikul põrkeprotsessi kajastava lõigu, integreerime aja järgi. Kontrollime valemit (2).

7. Lisaülesanded

7.1. Enne praktikumi

A. Teha skeemjoonis p. 6.2 kirjeldatud põrke jaoks, kirjutada valemid (1) ja (5), samuti impulsi muut $\Delta p_{1,x}$ ja kiiruse muut $\Delta v_{1,x}$ valemites (2) ja (3) konkreetselt kahe keha jaoks. Sama teha p. 6.3 kirjeldatud põrke korral.

B. Miks on ? tarvis poolelastse põrke katses teisele liugurile asetada madalal asuv peegelekraan, kuigi seda ei kasutata asendi määramisel? Miks on sellele ekraanile kinnitatud lisamass?

Kirjandus

1. Saveljev, I. Füüsika üldkursus. 1. – Tln.: Valgus, 1978 – lk. 53-57, 66-73, 77-80.
2. Plank, T. Füüsikaliste mõõtmiste alused. Loengukonspekt. Tartu, 1997.