

Eksperiment nummer	134710	Emne	Mekanik		
Version	2017-08-30 / HS	Type	Elevøvelse	Foreslås til	gymAB p. 1/4



Formål

At eftervise Newtons anden lov eksperimentelt.

Princip

På en vandret luftpudeskinne accelereres en vogn op ved hjælp af tråd, trisse og et lod, som påvirkes af tyngdekraften. Loddets og vognens masser bestemmes ved vejning.

Vognens hastighed måles to steder med fotoceller sammen med tidsintervallet mellem passagen af de to fotoceller. Ud fra disse målinger beregnes vognens reelle acceleration.

Newton's anden lov giver en teoretisk værdi for accelerationen, som kan sammenlignes med den eksperimentelle.

Apparatur

(Detaljeret apparaturliste på side 4)

Luftpudeskinne med standardtilbehør

Blæser til luftpudeskinnen

To SpeedGates inkl. forbindelseskabel

To monteringsbeslag til SpeedGate (eller andet stativmateriel)

Vægt

Sytråd

SpeedGate

Knappen **I** indstiller den primære funktion (her: *Speed*).

Knappen **II** indstiller den sekundære funktion (her: *Interval Before*).

Knappen **X** bruges til tænd / sluk og nulstilling.

(Se evt. manualen til SpeedGate for yderligere detaljer.)



Klargøring

Opstilling af luftpudeskinnen

Skinnen placeres på et bord, så den ene ende når ud over kanten (den ende, som *ikke* har hul til slangen).

Bordet skal være stabilt og så højt som muligt (så loddet kan trække over et langt stykke).

Montér trissen fra standardtilbehøret i den ende, der rager ud over kanten.

I den modsatte ende sættes slangen i til blæseren.

En vogn monteres med en holder med krog i den ene ende og en holder med plade i den anden. Der skal altid være en tilbehørsdel i begge ender af hensyn til balancen. I vognens top monteres en 25 mm "fane".

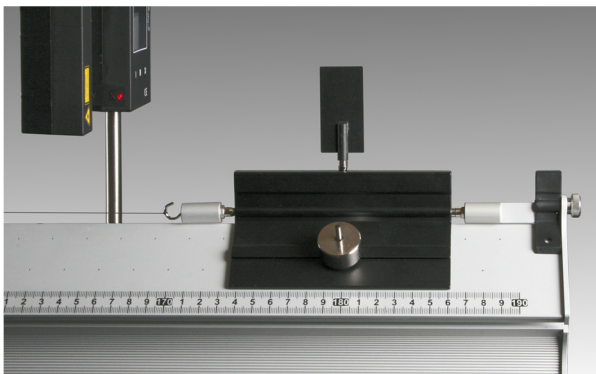
Nu skal luftpudeskinnen justeres vandret. Tænd blæseren og skru op, så vognen glider friktionsløst, men ikke mere end nødvendigt. Skinnet justeres vandret ved hjælp af de tre justeringsskruer på benene: Vognen vil stå stille, når skinnet er vandret. Placer vognen forskellige steder på den halvdel af skinnet, som er nærmest slangen, og find et passende kompromis.

Justeringen af skinnet er *meget* følsom overfor mikroskopiske skævheder, som ikke vil have betydning for målingerne. Det er primært systematiske tendenser til, at vognen driver i en bestemt retning, som skal justeres væk.

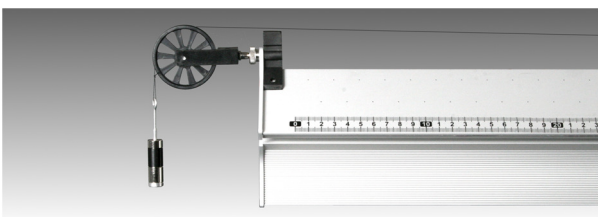
Tilpasning af sytråden

(Dette foretages nemmest med blæseren slukket.)

Den ene ende af tråden bindes til kroen, som er monteret på vognen. Den anden ende skal gå hen over trissen og skal have et øje, som loddet kan hænges i.



Trådens længde tilpasses, så loddet trækker vognen så langt et stykke som muligt. Det vil sige, at når vognen er trukket helt op mod endestoppet ved slangen, så er løkken til loddet lige akkurat fri af trissen.



Opstilling af SpeedGates

De to SpeedGates skal måle vognens hastighed, mens den accelereres af loddet:

Den første SpeedGate (A) placeres, så vognen når at bevæge sig 15 – 20 cm, *inden* fanen bryder den første lysstråle.

Den anden SpeedGate (B) placeres, så fanen *har* passeret begge lysstråler, inden loddet når gulvet. Loddet bør være 1,5 – 2 cm over gulvet, når sidste lysstråle slipper fanen.

Et krydset forbindelseskabel (leveres sammen med SpeedGate) sættes i *Chain OUT* på SpeedGate A. Den anden ende af kablet sættes i *Chain IN* på SpeedGate B.

SpeedGate A indstilles til at vise *Speed* og *Previous Value*, mens SpeedGate B sættes til *Speed* og *Interval Before*. I denne opsætning vil et tryk på *X*-knappen på den første SpeedGate nulstille dem begge.

Betegnelser

Hastigheden ved SpeedGate A og B: v_A og v_B

Tid for passage mellem de to lysstråler i en SpeedGate betegnes tilsvarende: t_A og t_B

Tidsintervallet mellem SpeedGate A og B: t_{AB}

Massen af træklodet: m_L

Massen af vogn inkl. tilbehør samt sytråden: m_V

Udførelse

Der skal gennemføres tre måleserier, hver med en fast masse af vognen og med varierende trækraft.

Måleserie 1

Vognen benyttes *først uden* ekstra lodder. (Når disse senere tilføjes, betragtes de som en del af vognen.)

Vognen vejes inkl. det monterede tilbehør og den tilpassede sytråd.

Træklodet bruges *først* med holderen samt en lille og en stort sort masse (ca. 5 g) – vej loddet præcist.

Tænd blæseren, træk vognen helt op til endestoppet, nulstil de to SpeedGates.

Slip vognen uden at skubbe. Fang den igen, når den har fuldstændigt passeret den sidste SpeedGate.

Aflæs de to SpeedGates: Hastighed i begge positioner samt tidsintervallet imellem dem.

Notér resultaterne i et skema som vist nedenfor. (Brug evt. et regneark. Tabellen bliver senere udvidet med flere kolonner.)

$m_V =$		kg	
m_L	v_A	v_B	t_{AB}
kg	m/s	m/s	s

Gentag målingen med forskellige masser af træklodet – f.eks. disse kombinationer på holderen:

lille blank / lille blank + alle sorte / begge blanke / alle

Hver gang vejes massen (inkl. holderen) præcist.

Måleserie 2

Vej to cylindriske lodder præcist og sæt dem på vognen. Skru en smule op for blæseren, så vognen stadig svæver sikkert.

Gentag målingerne som før. Brug en ny kopi af tabellen.

Måleserie 3

Vej og monter yderligere 2 af de cylindriske lodder på vognen. Og gentag måleserien igen.

Teori

Målt værdi for accelerationen – korrektion for endelige tidsintervaller

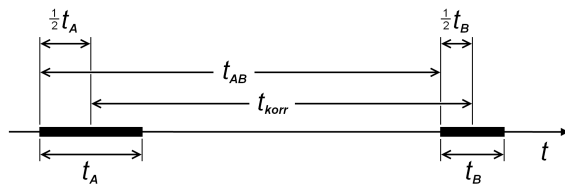
Som bekendt er acceleration defineret som

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

I tælleren indsættes blot $v_B - v_A$.

Man kunne tro, at vi kan indsætte t_{AB} i nævneren – men det er ikke helt rigtigt. De to hastigheder måles i tidsintervaller t_A og t_B , som ikke ligger symmetrisk omkring start- og sluttidspunktet for t_{AB} . Dette vil give en systematisk fejl. I stedet skal Δt findes som forskellen mellem *midten* af de to tidsrum t_A og t_B – se figur.

Derfor indfører vi den korrigerede tidsforskel t_{korr} .



Det fremgår af figuren, at denne findes som

$$t_{\text{korr}} = t_{AB} + \frac{1}{2} t_B - \frac{1}{2} t_A$$

– eller angivet ved målte størrelser:

$$t_{\text{korr}} = t_{AB} + \frac{\Delta s}{2 \cdot v_B} - \frac{\Delta s}{2 \cdot v_A}$$

hvor $\Delta s = 2,00$ cm er afstanden mellem lysstrålerne.

Hermed kan vi bestemme accelerationen:

$$a_{\text{målt}} = \frac{v_B - v_A}{t_{\text{korr}}}$$

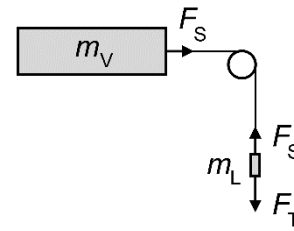
Kræfter og masser – Newtons anden lov

Vognen og loddet vil accelerere lige hurtigt, da snorens længde er konstant.

Den resulterende kraft på vognen er snorkraften. Den resulterende kraft på loddet er tyngdekraften minus snorkraften – se figur.

Hvis vi antager, at Newtons anden lov er gyldig, har vi dermed disse sammenhænge:

$$\begin{aligned} F_S &= m_V \cdot a \\ F_T - F_S &= m_L \cdot a \end{aligned}$$



Indsættes den første ligning i den anden, ser vi, at

$$F_T = (m_V + m_L) \cdot a \quad (1)$$

hvilket kan betragtes som Newtons anden lov for et system med samlet masse $m_V + m_L$, som accelereres af den resulterende kraft F_T , tyngdekraften på loddet.

Betragter man systemet lidt nærmere, opdager man endnu en del, som bevæger sig – nemlig *trissen*. Trissens masse accelereres også – men ikke helt som loddet og vognen: Kanten af trissen bevæger sig med samme fart som vognen og loddet; resten af trissen bevæger sig langsommere, jo tættere vi kommer på centrum.

Det kan det lade sig gøre at omregne trissens massefordeling, som om den kun befandt sig langs randen. (Detaljerne falder udenfor denne vejlednings rammer.) Resultatet vil vi kalde *trissens ækvivalente masse* og betegne m_T^* .

Trissen fra tilbehørssættet har $m_T^* = 2,43$ g.

Ligning (1) må derfor udvides til følgende:

$$F_T = (m_V + m_L + m_T^*) \cdot a \quad (2)$$

Tyngdekraften på loddet kan også findes ud fra loddets masse og tyngdeaccelerationen:

$$F_T = m_L \cdot g \quad (3)$$

Sættes udtrykkene (2) og (3) for F_T lig med hinanden, kan vi finde den teoretiske værdi af accelerationen, forudsagt af Newtons anden lov:

$$a_{\text{teo}} = \frac{m_L}{m_V + m_L + m_T^*} \cdot g$$

Beregninger

Udvid tabellerne med disse kolonner:

t_{korr}	$a_{\text{målt}}$	a_{teo}	afv.
s	m/s ²	m/s ²	%

Sidste kolonne er procentvis afvigelsen mellem målt og teoretiske acceleration.

Diskussion og evaluering

Newtons anden lov betragtes som eftervist, hvis dens forudsigelser svarer til det målte – inden for måleusikkerheden.

Usikkerheden på én hastighedsmåling er 1 % – usikkerheden på $a_{\text{målt}}$ bliver noget større.

Den relative usikkerhed på a_{teo} svarer til rel. us. på m_L .

Har målingerne eftervist Newtons anden lov, eller er der afvigelser, som ikke er forklaret?

Overvej, om der er evt. fejlkilder i opstillingen.

Noter til læreren

Benyttede begreber

Øjeblikshastighed
 Middelhastighed
 Acceleration
 Resulterende kraft
 Tyngdekraft

Matematiske forudsætninger

Procentregning
 Indsættelse i udtryk
 (Regneark)

Om apparaturet

Vognen vejer lidt over 200 g med tilbehør, men uden de ekstra cylindriske lodder. Ved at veje de ekstra lodder separat og blot addere masserne til vognens, kan man anvende en billig, men forholdsvis nøjagtig vægt som den 102900, der nævnes i apparaturlisten.

SpeedGates måler passagetid mellem de to lysstråler ud fra fronten af det objekt, der skygger for lyset. Længden af fanen på luftpudevognen er derfor ikke vigtig.

Luftpudebænken skal justeres vandret, inden målingerne foretages. Eleverne kan selv udføre denne justering – eller den kan være sket inden lektionen.

Blæseren skal skrues op, så vognen helt sikkert har sluppet skinnen.

Omvendt er det ingen fordel med alt for stærk luftstrøm, da en enkelt luftstråle så kan vippe vognen en smule med en horisontal kraftpåvirkning til følge.

Teoriafsnittet

I afsnittet *Teori* sker indførelsen af t_{kor} med handwaving-argumenter. For en bevægelse med konstant acceleration kan resultatet udledes eksakt, men det kræver lidt mere spaltepads.

Indførelse af "trissens ækvivalente masse" bygger på en beregning af trissens inertimoment. Derefter kan man let finde den masse, som giver samme inertimoment, hvis den var anbragt langs randen. De forskellige faktorer r , som indgår i kraftmoment, inertimoment og vinkelacceleration, kan derefter elimineres i bevægelsesligningen for trissen, så den ækvivalente masse kan opfattes som accelereret translatorisk.

Detaljeret apparaturliste

Specifikt for eksperimentet

195050 Luftpudeskinne (inkl. tilbehørssæt)
 197070 Blæser til luftpudeskinne
 197570 SpeedGate (2 stk.)
 195055 Monteringsbeslag til 197570 (2 stk.)

Standard laboratorieudstyr

102900 Vægt, 300 g / 0,01 g – eller tilsvarende

Hvis ældre luftpudeskinne benyttes, erstattes de to styk 195055 af følgende:

000100 Stativfod A-fod 2,0 kg (2 stk.)
 000830 Stativstang 50 cm (2 stk.)
 002310 Stativmuffe, firkantet (2 stk.)

Forbrugsstoffer og reservedele

116500 Bjørnetråd
 197571 Kabel modularstik krydset 2m (Kablet medfølger ved køb af SpeedGate)

Reklamationsret

Der er to års reklamationsret, regnet fra fakturadato. Reklamationsretten dækker materiale- og produktionsfejl.

Reklamationsretten dækker ikke udstyr, der er blevet mishandlet, dårligt vedligeholdt eller fejlmonteret, ligesom udstyr, der ikke er repareret på vort værksted, ikke dækkes af garantien.

Returnering af defekt udstyr som garantireparation sker for kundens regning og risiko og kan kun foretages efter aftale med Frederiksen. Med mindre andet er aftalt med Frederiksen, skal fragtbetøbet forudbetales. Udstyret skal emballeres forsvarligt. Enhver skade på udstyret, der skyldes forsendelsen, dækkes ikke af garantien. Frederiksen betaler for returnering af udstyret efter garantireparationer.

© Frederiksen Scientific A/S

Denne brugsvejledning må kopieres til intern brug på den adresse

hvortil det tilhørende apparat er købt. Vejledningen kan også hentes på vores hjemmeside.