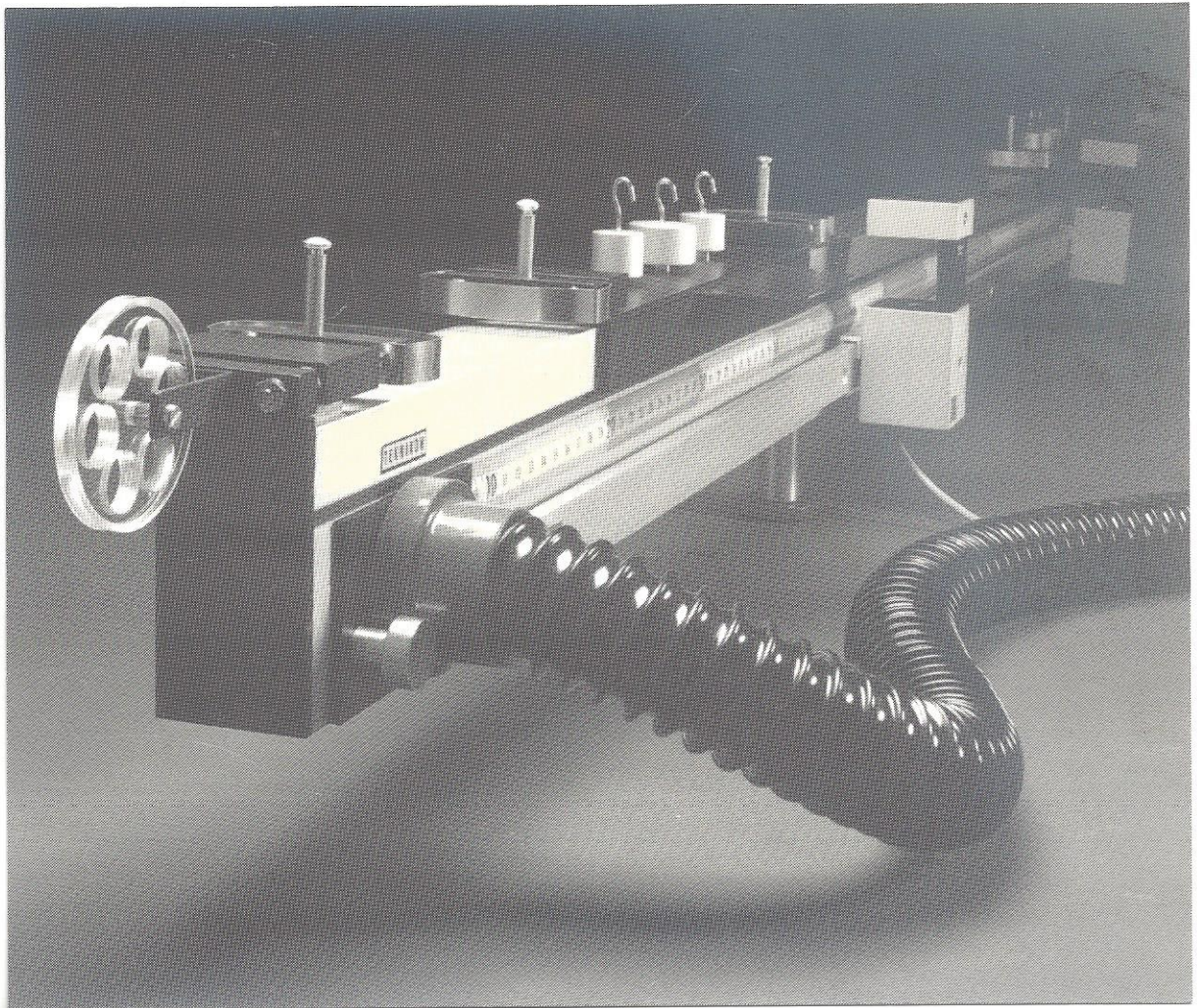


Forsøgsvejledning
for

Luftpudebænk

TEKNIKON TM3



INDHOLDSFORTEGNELSE

INDLEDNING

Opstilling og justering af Luftpudebænk Teknikon TM 3	3
Indledende bemærkninger	4
Tælleren	4
Fanebredde	5
Hvor er slæden, når hastigheden måles?	5
Skråplanets hældning	6
Kontrolforsøg, hvilke egenskaber har bænken?	7

SKRÅPLANSFORSØG

Bevægelse med konstant acceleration	9
Bevægelse med konstant acceleration og begyndelseshastighed 0	11
Lodret kast	14

STØDFORSØG

Elastisk stød	18
Impulsbevarelse	21
Uelastiske stød	22

ANDRE FORSØG

Newtons 2. lov	26
Energibevarelse	31
Legemers inertimoment x)	33

BESTILLINGSLISTE	35
------------------------	----

x) Dette forsøg er udarbejdet af:

Lektor Jens Chr. Overgaard, Silkeborg Amtsgymnasium

Opstilling og justering af

Luftpudebænk Model TM 3

Luftpudebænken består af et chassisrør med påskruet luftkanal og er finjusteret fra fabrikken. Ved opstilling er det derfor normalt kun nødvendigt at grovjustere den med de 2 fingerskruer i fodstykket. En eventuel finjustering, der består i ændring af afstanden mellem chassisrør og luftkanal, sker ved at skrue på en eller flere af de 9 unbrakoskruer, der kan ses på undersiden af chassisrøret.

Opstilling og grovjustering

Anbring luftpudebænken på et stabilt bord med hård overflade og juster den til vandret stilling med de 2 fingerskruer i fodstykket og ved hjælp af libelle eller vaterpas.

Tilslut lufttilførslen, anbring en vogn med tilbehør forskellige steder på bænken og juster igen med fingerskruerne, til vognen kan stå næsten stille overalt på bænken. En lille egenhastighed kan accepteres, da den har ringe eller slet ingen indflydelse på måleresultaterne ved tidsenheden 1/100 s.

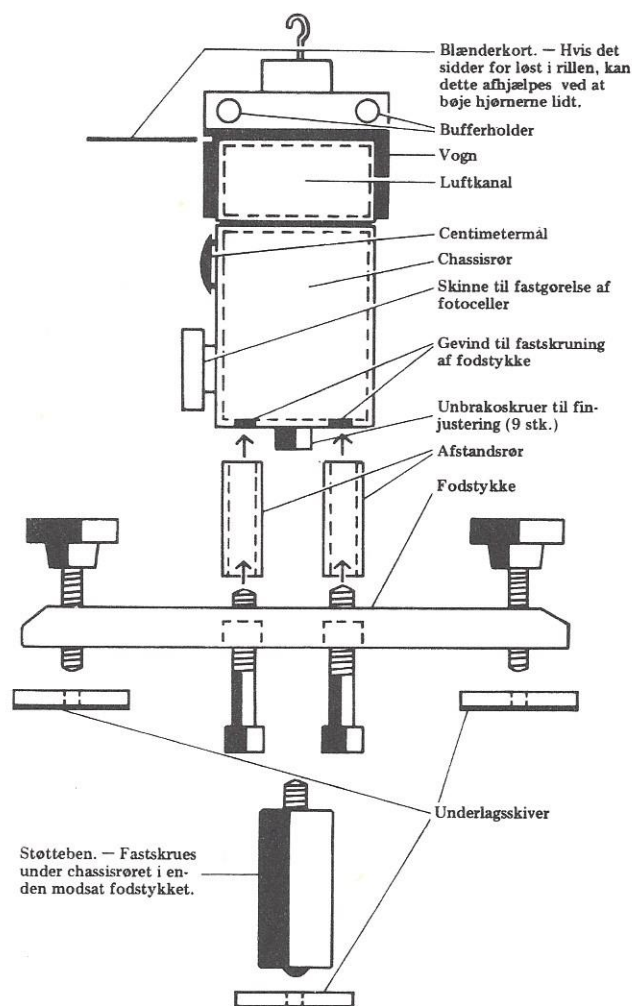
Hvis vognen har tendens til at standse op eller accelerere, kan det være nødvendigt at foretage en finjustering det pågældende sted.

Finjustering

Undersøg, om uregelmæssigheden skyldes urenheder på banen eller vognens inderside. Er dette ikke tilfældet, skal bænken vandrette stilling efterkontrolleres med libelle eller vaterpas. Derefter tilsluttes lufttilførslen, og en vogn med tilbehør anbringes på det sted, der kræver finjustering.

Juster den nærmeste unbrakoskrue på chassisrørets underside *forsigtigt* (1/4 omgang er normalt tilstrækkelig til at ændre vognens køreretning eller hastighed). En løsning af skruen vil hæve luftkanalen det pågældende sted, en stramning vil sænke den.

Pas på ikke at dreje unbrakoskruen over. Hvis der mødes særlig stor modstand ved tilspænding, som følge af at skruehovedet ligger an mod chassisrøret, bør alle 9 skrue løsnes og derefter justeres fra midten og ud mod enderne.



INDLEDENDE BEMÆRKNINGER.

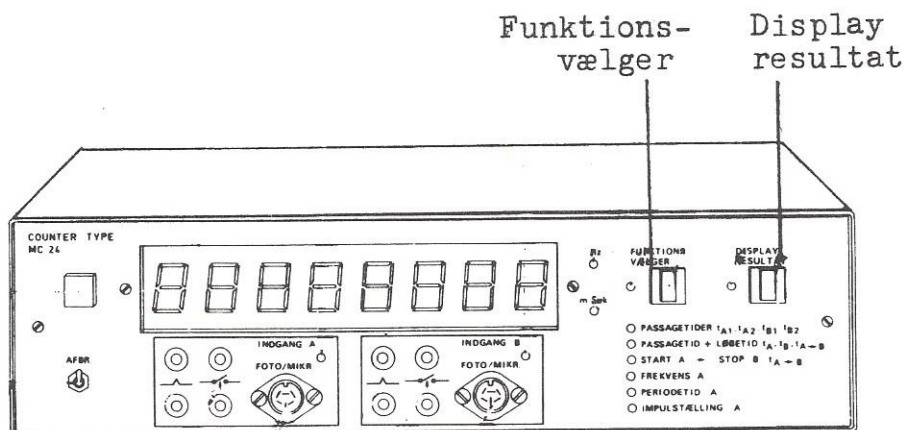
Luftpudebænk benyttes i folkeskolen og i gymnasiet til forsøg, der har det til fælles, at de kræver en meget lav gnidningsmodstand for at lykkes. Luftpudebænke har efterhånden helt erstattet f. eks. "Leybolds Kørebane", og et stort antal luftpudebænke af varierende kvalitet har set dagens lys i de senere år. Teknikon model TM 3 er afgjort en af de bedre, idet den muliggør meget nøjagtige målinger. Hvor det tidligere ofte var nødvendigt med flere målinger og gennemsnit, kan man her opnå fuldt troværdige resultater med en enkelt måling.

En af bænkenes største fordele i praktisk brug er iøvrigt at monteringsskinnen til fotocellerne og den fastgjorte afstandsskala gør det meget let og hurtigt at ændre på afstande og at aflæse dem præcist.

For at vise luftpudebænkens mange anvendelsesmuligheder, gennemgås i det følgende en række forsøg med tilknytning til gymnasiets fysikundervisning. Nogle af forsøgene er gennemarbejdet ret grundigt, mens andre er mere skitseprægede og lægger op til, at brugeren evt. selv arbejder videre med dem.

TÆLLEREN.

Alle forsøgene er gennemført med IMPO's tæller MC-24, som derfor kort skal omtales. Tællerens mange funktioner kan styres med kun to knapper: En funktionsvælger og en der hedder "display resultat".



Tæller type MC 24

Vi har kun interesse i de tre første af funktionsvælgerens positioner, nemlig:

1. PASSAGETIDER $t_{A1}, t_{A2}, t_{B1}, t_{B2}$
2. PASSAGETID + LØBETID $t_A, t_B, t_{A \rightarrow B}$
3. START $A \rightarrow$ STOP $B, t_{A \rightarrow B}$

Når et eksperiment er gennemført, vises den første af tiderne i displayet. De andre kan så fås frem ved succesive tryk på "display resultat!"

Bemærk, at hvis tælleren ikke får alle de impulser, den er programmeret til at reagere på, "går den i stå", d.v.s. den står og tæller i det uendelige, mens den venter på de sidste impulser. I denne situation kan det være nemmest at begynde forfra ved at slukke for tællerens netafbryder og tænde igen.

FANE BREDE.

Fælles for næsten alle de forsøg, luftpudebænken benyttes til, er, at der måles hastigheder ved mørketidstælling, d.v.s. der sættes en fane med en vis bredde Δs på slæden, og hastigheden v bestemmes ved at dividere Δs med mørketiden Δt .

Ved jævne eller næsten jævne bevægelser som ved stødforsøg fås de nøjagtigste hastighedsbestemmelser ved at bruge ret store værdier af Δs . Luftpudebænken leveres med plasticfaner med en bredde på 10 cm. De er udmærkede til dette formål.

Ved accelererede bevægelser skal Δs være så lille som muligt for at give en veldefineret hastighed. I praksis bliver måleusikkerheden imidlertid for stor ved meget små fanebredder, så der må indgås et kompromis. Gentagne forsøg har vist, at en fanebredde på 3-5 cm er et godt valg. (Drejer man fabrikkens faner 90° og klipper dem over, har man faner på knapt 4 cm).

HVOR ER SLÆDEN, NÅR HASTIGHEDEN MÅLES?

Når der laves forsøg med funktionsvælgeren i position 2, d.v.s. der måles passagetider t_A, t_B sammen med tiden $t_{A \rightarrow B}$ fra Foto A til Foto B, optræder der en fejl i forsøget, som kan få betydning, hvis man benytter store fanebredder.

Tiden $t_{A \rightarrow B}$ måles af apparaturet fra forkanten af fanen passerer Foto A til den passerer Foto B.

Hastigheden (f. eks. $v_B = \Delta s / t_B$) er bestemt som middelhastig-

heden i et tidsinterval, der ligger efter at $t_{A \rightarrow B}$ er målt. Man kan korrigere for denne fejl ved at korrigere $t = t_{A \rightarrow B}$ således:

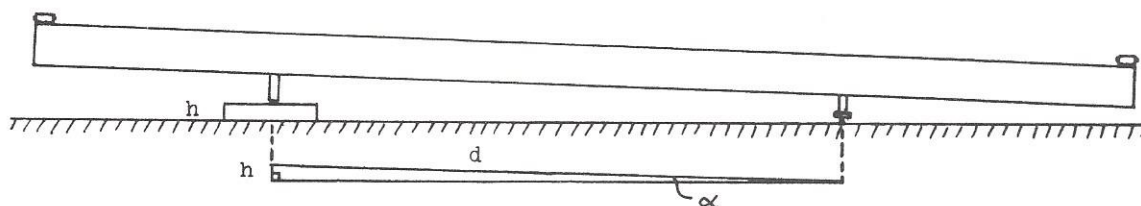
$$t = t_{\text{målt}} - \frac{t_A}{2} + \frac{t_B}{2}$$

Iøvrigt er det letteste - og oftest også det pædagogisk set mest hensigtsmæssige - at bruge så små fanebredder, at fejlen ingen praktisk betydning får. Det er stort set tilfældet i de følgende skråplansforsøg, hvor der anvendes en fanebredde på 3,84 cm.

SKRÅPLANETS HÆLDNING.

I en del forsøg benyttes luftpudebænken som glat skråplan. Hældningen på skråplanet opnås ved, at understøtte den ene ende f. eks. med en bog.

Hvis man vil benytte skråplanets hældningsvinkel α i kvantitative forsøg, må man kende den nøjagtigt:



Indstil først bænken, så den er vandret, d.v.s. så en slæde vil stå stille overalt, understøt så den ene ende med et stykke spånplade (f. eks. 19 mm), hvis tykkelse h er målt med en skydelære. Mål afstanden d mellem bænkens understøtninger. (Se fig.). α bestemmes nu af

$$\sin \alpha = \frac{h}{d} = \frac{0,0187 \text{ m}}{0,995 \text{ m}} = 0,0188$$

Nu kan slædens acceleration a på skråplanet findes:

$$a = g \cdot \sin \alpha = 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot 0,0188 = 0,185 \text{ m/s}^2$$

Senere forsøg med accelerationsmåling på skråplanet giver $a = 0,180 \text{ m/s}^2$. Forskellen på 3% skyldes gnidningsmodstanden.

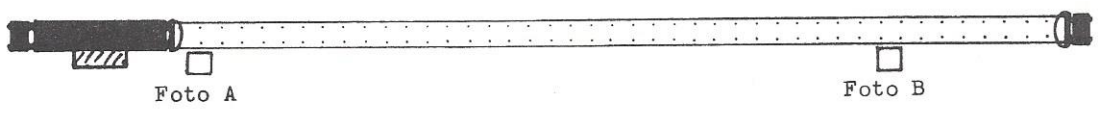
KONTROLFORSØG.

HVILKE EGENSKABER HAR BÆNKEN?

Dette forsøg, der ikke er tænkt som et egentligt elevforsøg giver på en nem og overskuelig måde en mængde oplysninger om bænkenes egenskaber og tilstand.

Opstilling:

Figuren viser startsituationen. Slæden er udstyret med fjederbuffere og en fane på 10cm. Fotocellerne bør placeres så tæt på bænkenes ender, som det er praktisk muligt, for at sikre, at den uundgåelige hastighedsnedsættelse på grund af gnidning finder sted mellem fotocellerne.



Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 1 (t_{A1} , t_{A2} , t_{B1} , t_{B2}). Slæden gives et puf mod højre, så den gennemløber hele bænkenes længde, støder elastisk mod den anden ende og kommer tilbage igen. Forsøget udføres med forskellige starthastigheder. Tælleren registrerer passagetiderne. Den første tid t_{A1} kommer straks frem i displayet, de andre hentes frem med successive tryk på "display resultat".

Resultater:

Den anvendte fane havde en bredde på $s = 0,100m$.

t_{A1}	t_{A2}	t_{B1}	t_{B2}
s	s	s	s
0,171	0,193	0,176	0,188
0,228	0,251	0,237	0,242
0,314	0,350	0,330	0,339

De målte tider omregnes til hastigheder ved hjælp af formlen:

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

Der byttes om på rækkefølgen, så hastighederne anføres i den rækkefølge, de er målt i.

v_{A1}	v_{B1}	$\Delta v_{A \rightarrow B}$	v_{B2}	$\Delta v_{\text{stød}}$	v_{A2}	$\Delta v_{B \rightarrow A}$
$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$	%	$\frac{m}{s}$	%	$\frac{m}{s}$	%
0,585	0,568	-2,8	0,532	-6,4	0,518	-2,6
0,439	0,422	-3,8	0,413	-2,1	0,398	-3,6
0,318	0,303	-4,9	0,295	-2,6	0,286	-3,1

Tallene i skemaet fremkommer iøvrigt således:

$\Delta v_{A \rightarrow B}$ er $v_{B1} - v_{A1}$ udregnet i procent af v_{A1} .

$\Delta v_{B \rightarrow A}$ er $v_{A2} - v_{B2}$ udregnet i procent af v_{B2} .

$\Delta v_{\text{stød}}$ er $v_{B2} - v_{B1}$ udregnet i procent af v_{B1} .

Hvis bænken ikke er vandret, vil det vise sig ved at $\Delta v_{A \rightarrow B}$ er forskellig fra $\Delta v_{B \rightarrow A}$. Af tallene i skemaet ses, at bænken har været nogenlunde vandret i dette forsøg.

Skemaet viser, at gnidningstabet har en tendens til at vokse (relativt) med aftagende hastighed, og at stødet mod bænkens ende (fjederbuffer) er mest elastisk ved lave hastigheder.

Iøvrigt giver skemaet et godt indtryk af hvor store gnidningstab, man skal forvente, når der laves forsøg med bænken.

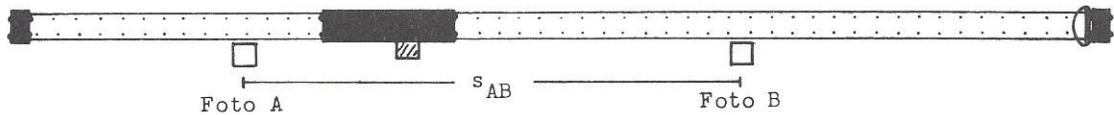
BEVÆGELSE MED KONSTANT ACCELERATION.

(t,s)- OG (t,v)-GRAFER.

Opstilling:

Luftpudebænken opstilles som glat skråplan, d.v.s. den ene ende hæves ca. 2 cm. En slæde holdes an mod den øverste ende af bænken og forsynes med en fane på 3-5 cm, så forkanten af fanen er ud for 20 cm mærket på bænken.

Foto A placeres et stykke nede ad skråplanet f. eks. ved 60cm mærket. Foto B placeres i en på forhånd valgt afstand $s = s_{AB}$ fra foto A. Det er nu muligt i samme arbejdsgang at måle tiden $t = t_{A \rightarrow B}$ for gennemløbet af strækningen fra A til B og at bestemme hastighederne v_A og v_B .

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos.2 ($t_A, t_B, t_{A \rightarrow B}$).

Slæden slippes, og tælleren viser tiderne. Den første tid kommer frem i displayet, de to sidste hentes frem med "display result". Afstanden mellem fotocellerne ændres, og forsøget gentages.

Resultater:

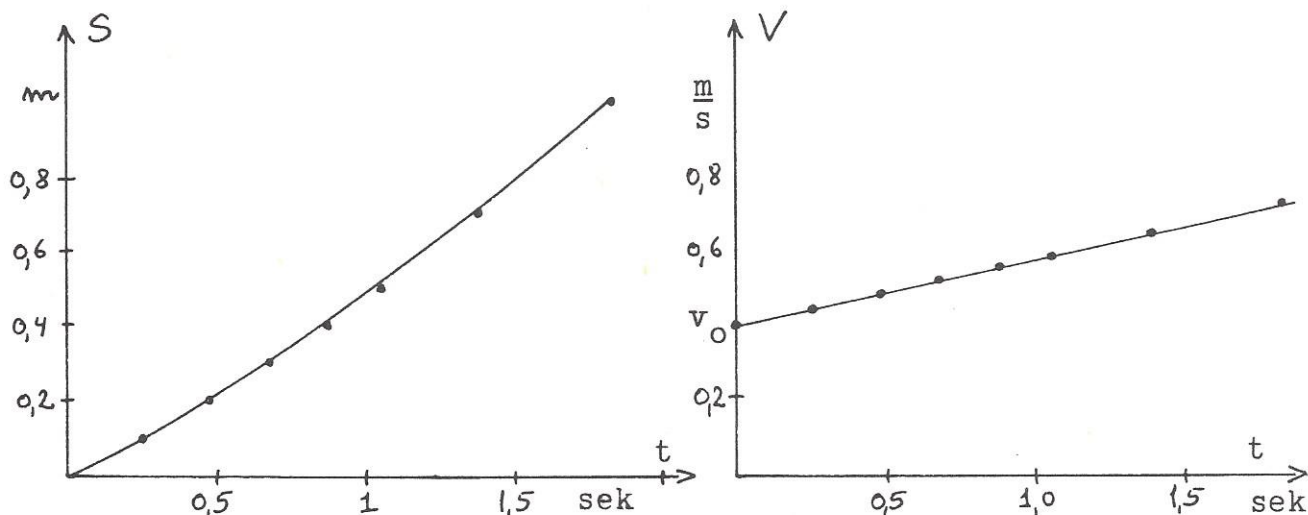
Den anvendte fane havde en bredde på $\Delta s = 0,0384\text{m}$.

Tabellen viser et sæt måleresultater. De to nederste kolonner er beregnede tal.

$s = s_{AB}$	m	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,700	1,000
t_A	s	0,0965	0,0966	0,0966	0,0965	0,0964	0,0965	0,0966
t_B	s	0,0871	0,0797	0,0740	0,0693	0,0654	0,0594	0,0528
$t = t_{A \rightarrow B}$	s	0,247	0,473	0,676	0,868	1,047	1,380	1,829
$v_B = \frac{\Delta s}{t_B}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	0,440	0,482	0,519	0,554	0,587	0,646	0,727
a	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	0,170	0,178	0,179	0,180	0,181	0,180	0,180

Rækken med t_A værdier er egentlig overflødig. En værdi af t_A er nok til at bestemme $v_A = \Delta s / t_A$. Den er medtaget her, fordi den giver et godt indtryk af målingernes reproducerbarhed. Det ses, at t_A holder sig pænt konstant.

Resultaterne er afbildet grafisk nedenfor:



(t,v) -grafens viser tydeligt at accelerationen er konstant.

Af grafens ligning $v = v_0 + at$ kan a så beregnes:

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v_B - v_A}{t}$$

Evt. kan accelerationen bestemmes ved aflæsning af hældningskoefficienten. Den nederste kolonne i skemaet på forrige side giver de beregnede a -værdier.

Denne metode til accelerationsmåling bliver senere benyttet i øvelsen "Newtons 2. lov".

Ligningen for (t,s) -grafens udledes ofte ud fra arealet under (t,v) -grafens. Resultatet bliver:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

Indsættes tal fra forsøget heri ($t=1,75s$), fås:

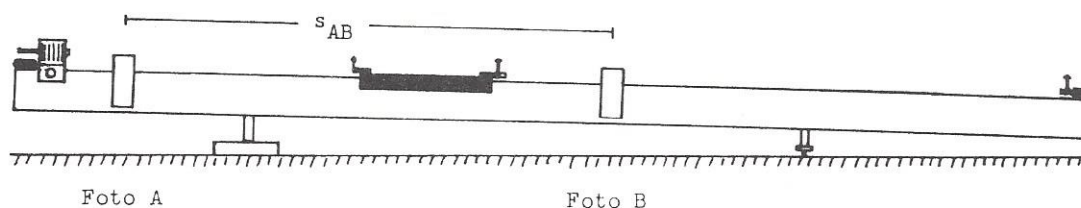
$$s = 0,40m/s \cdot 1,75s + \frac{1}{2} \cdot 0,180m/s^2 \cdot (1,75s)^2 = 0,98m.$$

På (t,s) -grafens aflæses $s = 0,96m$.

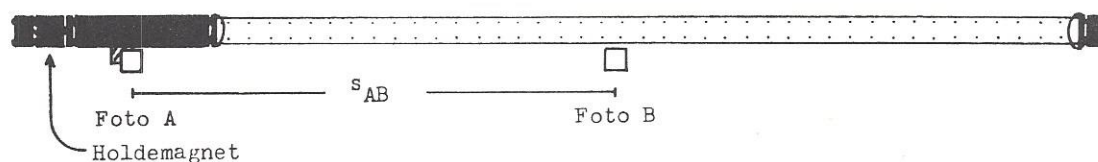
BEVÆGELSE MED KONSTANT ACC. OG BEGYNDELSESHASTIGHED O.
(t,s)- OG (t,v)-GRAFER.

Opstilling:

Luftpudebænken opstilles som glat skråplan, d.v.s. understøtningsspunktet i den ene ende hæves ca. 2cm (19mm spånplade). Som ekstraudstyr leverer STRUERS en kombineret holdemagnet og elektromagnetisk "kanon", der kan monteres overalt på bænken med en fingerskrue. Denne anbringes øverst på bænken og vendes, så den kan fungere som holdemagnet.



En slæde forsynes med en fane på 3-5cm og en fjederbuffer i den ene ende. Fjederbufferen skal sikre, at slæden ikke slår alt for hårdt mod bænken nederste nede, hvis eksperimentator ikke når at fange den i farten.



I den ende af slæden, der vender opad imod holdemagneten monteres en vognadapter, som består af en opstander, hvori der er fastgjort en skrue, som kan fastholdes af holdemagneten. Holdemagneten forbindes gennem en kontakt (mikroswitch, telegrafnøgle) med en jævnspændingsforsyning, der indstilles, så holdemagneten netop kan fastholde slæden. Denne opstilling sikrer, at slæden kan startes præcist og uden rystelser ved et tryk på kontakten.

Foto A placeres så fanen bryder lysstrålen i samme øjeblik slæden slippes. Det er vigtigt, at tidsrummet fra slæden slippes til fotoenheden aktiveres, bliver meget kort. (Ser man på fanen lodret oppe fra, skal den dække ca. halvdelen af linsen

i fotoenheden). Foto B placeres i en på forhånd valgt afstand s_{AB} fra foto A (f. eks. 0,10m).

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 2 (t_A , t_B , $t_{A \rightarrow B}$). Slæden slippes ved et tryk på kontakten, og tælleren viser tiderne. Den første tid kommer frem i displayet, de to sidste hentes frem med "display resultat". Afstanden mellem fotocellerne ændres, og forsøget gentages.

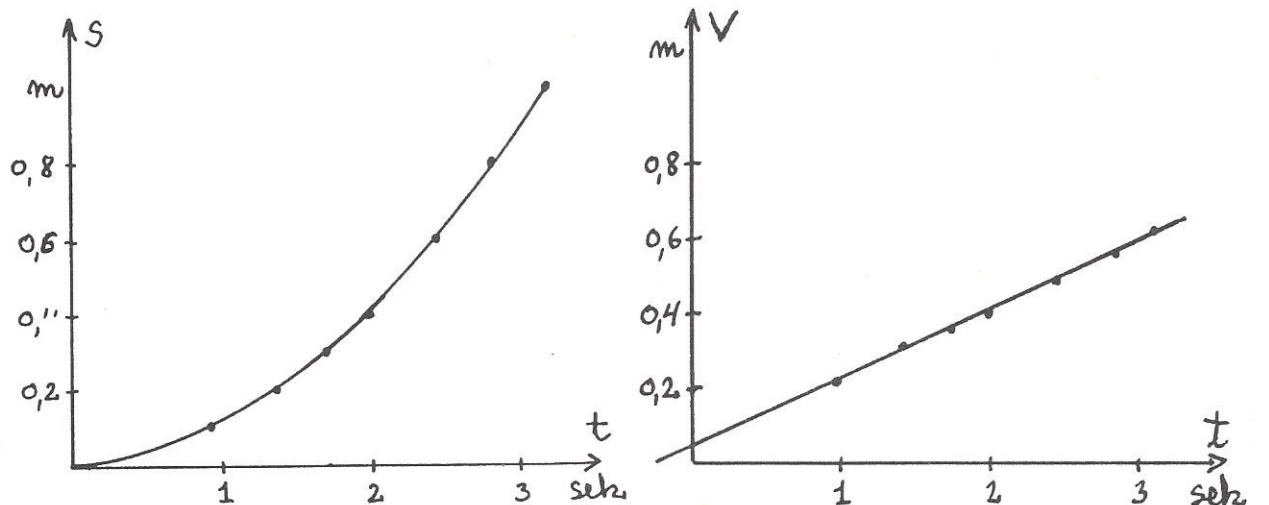
Resultater:

Den anvendte fane havde en bredde på $\Delta s = 0,0384\text{m}$.

Tabellen viser et sæt måleresultater. De to nederste kolonner er beregnede tal. t_A benyttes ikke.

$s=s_{AB}$	m	0,100	0,200	0,300	0,400	0,600	0,800	1,000
t_B	s	0,176	0,120	0,108	0,0947	0,0782	0,0681	0,0615
$t=t_{A \rightarrow B}$	s	0,983	1,419	1,730	1,999	2,459	2,856	3,193
$v = \frac{\Delta s}{t_B}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	0,218	0,319	0,356	0,405	0,491	0,564	0,624
$a = \frac{2s}{t^2}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	0,207	0,197	0,200	0,200	0,198	0,196	0,196

Ud fra tallene i skemaet kan (t,s)- og (t,v)-graferne tegnes:



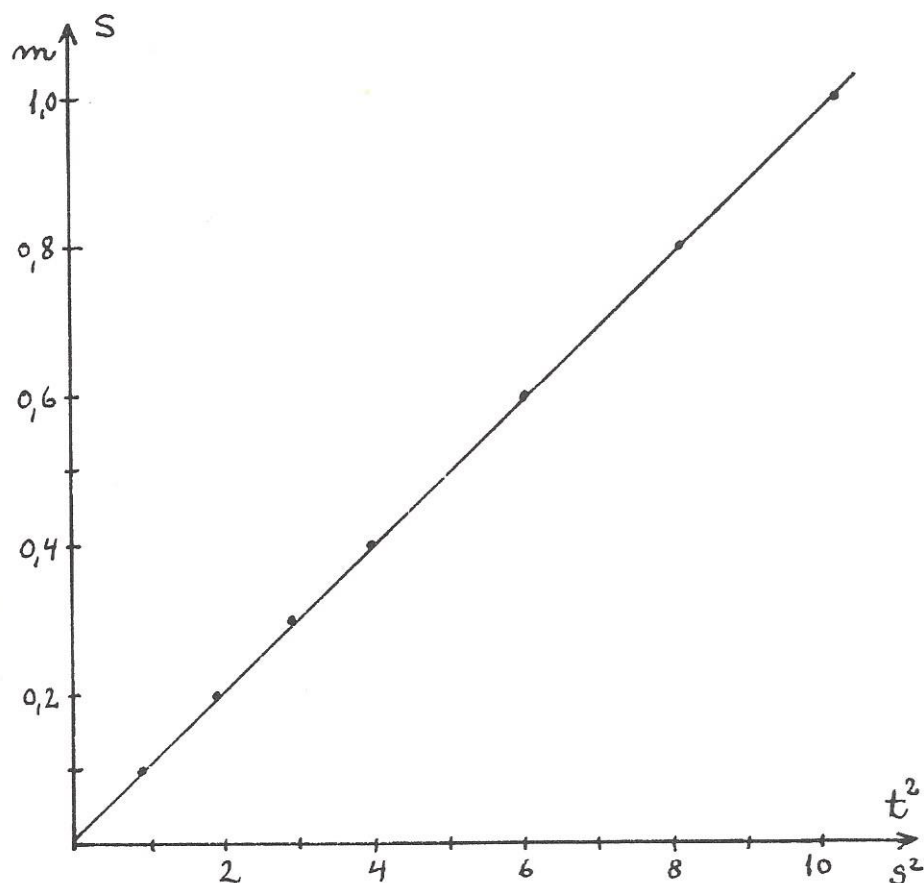
(t,s)-grafen viser den ventede parabel i overensstemmelse med formlen

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

(t,v)-grafen er tydeligvis en ret linie, så accelerationen er konstant og kan bestemmes som grafens hældningskoefficient. Grafen vil somme tider (som i det viste tilfælde) ikke gå gennem (0,0) som forventet ifølge den teoretiske formel $v = a \cdot t$. Det skyldes den systematiske afvigelse på tidsmålingen, som opstår hvis foto A aktiveres efter at slæden er startet. For s-værdierne har denne afvigelse ringe betydning, fordi s ændres så langsomt i starten, men afvigelsen på t kan vi ikke altid se bort fra.

Ofte benyttes dette forsøg til eftervisning af formlen $s = \frac{1}{2}at^2$ ved grafisk afbildning af s som funktion af t^2 , der så skal give en ret linie gennem (0,0) med hældningskoefficienten $\frac{1}{2}a = s/t^2$.

Den nederste række i skemaet på forrige side viser accelerationen beregnet efter denne formel.

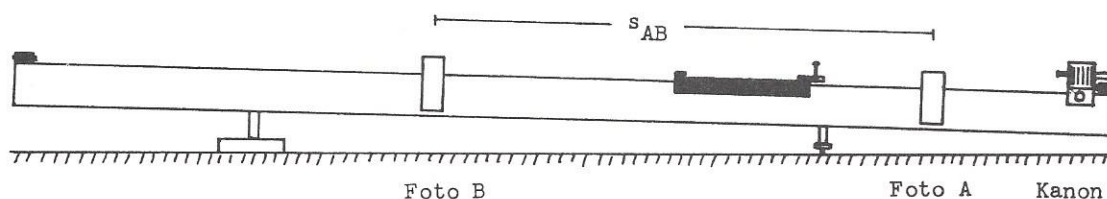


LODRET KAST.

(t,s)- OG (t,v)-GRAFER.

Overskriften betyder ikke, at luftpudebænken skal anvendes i lodret position. Det, der tænkes på, er, at man med luftpudebænken som glat skråplan kan frembringe en bevægelse med de samme bevægelsesligninger, som det lodrette kast, blot foregår bevægelsen langsommere og med lavere acceleration. Øvelsen udføres ved, at en slæde afskydes fra den nederste ende af skråplanet med en sådan hastighed, at den løber ca. en meter op ad dette, vender, og kommer tilbage igen.

Som ekstraudstyr leverer STRUERS en elektromagnetisk "kanon" (TEKNIKON nr. 802300), som kan fastgøres overalt på luftpudebænken med en håndskrue. Fig. viser kanonen monteret på den nederste ende af luftpudebænken.



Kanonen anvendes i dette forsøg til at give slæden dens hastighed op ad skråplanet. Resultaterne viser, at kanonen virker så præcist, at man ved hver affyring får den samme begyndelseshastighed.

Opstilling:

Bænkens ene ende hæves ca. 2cm (19mm spånplade). Kanonen monteres som vist på figuren og tilsluttes en jævnspændingsforsyning (f. eks. 24V, 5A), der indstilles på ca. 12V. Mellem kanonen og spændingsforsyningen indsættes en kontakt (telegrafnøgle, mikroswitch), som benyttes til affyring af kanonen.

Slæden monteres med en vognadapter i den nederste ende, så boltten i kanonen rammer opstanderen på vognadapteren, når kanonen fyres af.

Der sættes en fane med en bredde på $\Delta s =$ ca. 4cm på slæden, og foto A placeres, så forkanten af fanen bryder lysstrålen netop i det øjeblik, boltten i kanonen har nået sin yderste stilling

under affyringen. Ved at flytte med fanen på slæden, kan man opnå at få foto A placeret ved et pænt rundt tal på afstandsskalaen, f. eks. 170cm. Det letter senere afstands aflæsninger.

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 2 (t_A , t_B , $t_{A \rightarrow B}$).

Inden affyringen skal slædens fjederbuffer berøre kanonen og bolten i kanonen skal være trukket frem, så den netop rører ved vognadapteren.

Affyringen foretages med et kort fast tryk på kontakten. (Hvis kontakten holdes nede for længe, opvarmes spolen i kanonen, og det bevirker at "skudstyrken" falder).

Foto B placeres i den ønskede afstand fra startstedet, og kanonen affyres. Tælleren vil så vise de tre tider. t_A vil straks komme frem i displayet, de to andre hentes frem med "display resultat". Nu løftes foto B væk fra bænken, og kanonen affyres igen. Når slæden har passeret stedet, hvor foto B var anbragt, lempes foto B på plads igen, så den registrerer tiderne på slædens tilbagetur. (Kolonnen "ned" i skemaet nedenfor).

Forsøget gentages med et antal værdier af afstanden $s=s_{AB}$ mellem fotoenhederne. Evt. aflæses "stighøjden" s_{max} ved direkte at aflæse slædens position i den øverste stilling.

Resultater:

Den anvendte fane havde en bredde på $\Delta s=0,0384m$.

		op	ned	op	ned	op	ned	op	ned	op	ned
$s=s_{AB}$	m	0,100	0,100	0,200	0,200	0,300	0,300	0,400	0,400	0,500	0,500
t_A	s	0,0592	0,0584	0,0585	0,0586	0,0594	0,0593	0,0587	0,0588	0,0583	0,0582
t_B	s	0,0621	0,0626	0,0648	0,0665	0,0707	0,0716	0,0746	0,0760	0,0811	0,0817
$t=t_{A \rightarrow B}$	s	0,148	6,620	0,332	6,406	0,497	6,147	0,689	6,018	0,893	5,847
$v_B = \frac{\Delta s}{t_B}$	$\frac{m}{s}$	0,618	-0,613	0,593	-0,577	0,543	-0,536	0,515	-0,505	0,473	-0,470
$s=s_{AB}$	m	0,600	0,600	0,700	0,700	0,800	0,800	0,900	0,900	1,000	1,000
t_A	s	0,0582	0,0580	0,0581	0,0579	0,0582	0,0584	0,0581	0,0583	0,0587	0,0585
t_B	s	0,0881	0,0889	0,0974	0,0984	0,1150	0,1171	0,1426	0,1435	0,2432	0,2279
$t=t_{A \rightarrow B}$	s	1,101	5,682	1,332	5,441	1,615	5,072	1,938	4,731	2,436	4,157
$v_B = \frac{\Delta s}{t_B}$	$\frac{m}{s}$	0,436	-0,432	0,394	-0,390	0,334	-0,328	0,269	-0,268	0,158	-0,168

s_{\max} blev aflæst i farten til $s_{\max}=1,095\text{m}$.

Ud fra værdierne af t_A kan starthastigheden v_0 beregnes:

$$v_0 = v_A = \frac{\Delta s}{t_A}$$

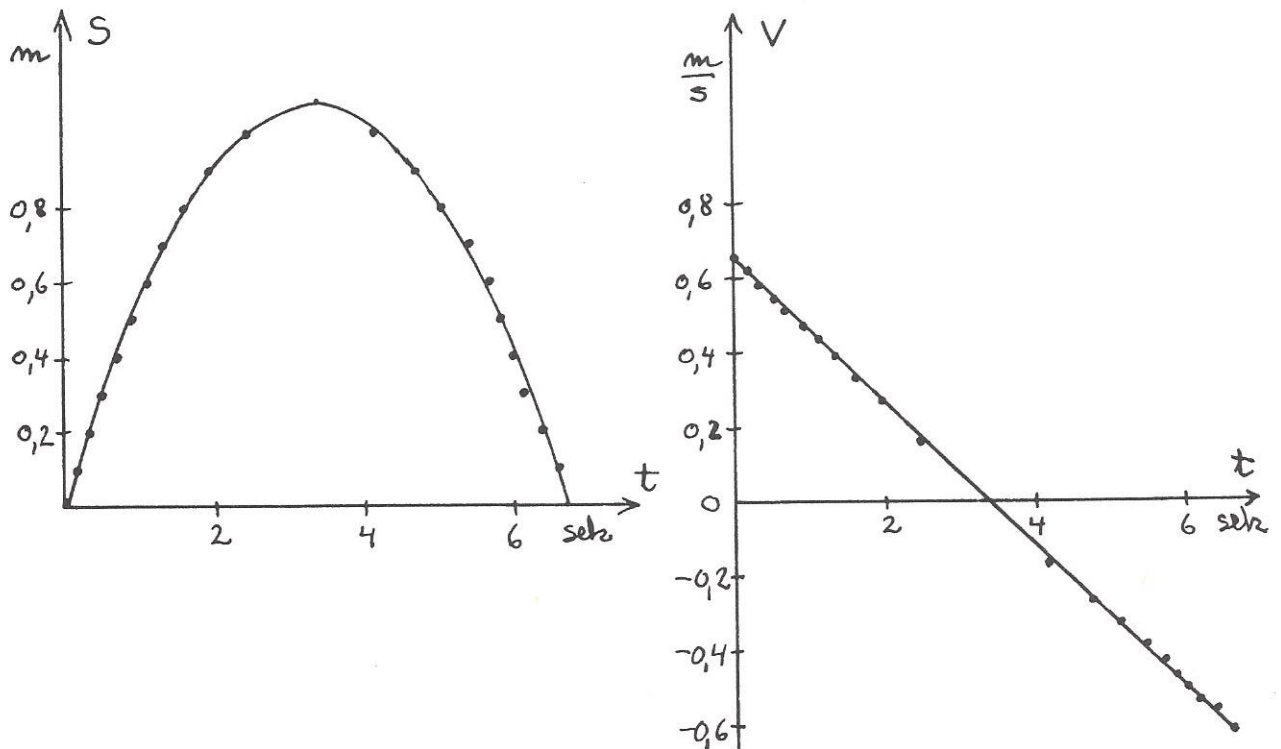
Det at alle t_A - værdierne er næsten ens viser, at starthastigheden er den samme i hvert skud.

På samme måde beregnes hastigheden v i andre punkter af banen:

$$v = v_B = \frac{\Delta s}{t_B}$$

Resultaterne er anført i skemaet på forrige side.

(t,s)- og (t,v)-graferne kan nu tegnes:



(t,v)-grafnen viser, at accelerationen er konstant og negativ. Hældningskoefficienten aflæses til $a = -0,192\text{m/s}^2$.

Beregnet ud fra skråplanets hældning bliver $a = -0,185\text{m/s}^2$.

Graferne er i pæn overensstemmelse med de teoretiske formler:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{og} \quad v = v_0 + a t$$

Af disse formler kan skudhøjden s_{\max} bestemmes. Ved at sætte $v = 0$ og eliminere t fås:

$$s_{\max} = -\frac{v_0^2}{2a}$$

Med $v_0 = 0,0384\text{m}/0,0587\text{s} = 0,654\text{m/s}$ og $a = -0,192\text{m/s}^2$ bliver det til $s_{\max} = 1,11\text{m}$, som kan sammenlignes med den direkte aflæste værdi på $1,095\text{m}$.

Graferne viser, at der er en meget fin symmetri mellem den opadgående og den nedadgående del af bevægelsen. Man kan evt. undersøge denne symmetri direkte ved indstille funktionsvælgeren på tælleren i pos. 1 (t_{A1} , t_{A2} , t_{B1} , t_{B2}) og affyre kanonen igen. Tiderne t_{A1} og t_{A2} vil så vise sig at være (næsten) lige store som udtryk for, at startfarten er den samme som landingsfarten.

Tilsvarende vil t_{B1} og t_{B2} vise symmetrien i hastighed i et vilkårligt andet punkt af banen.

Bemærkning om fejlkilder:

At resultaterne i denne øvelse bliver så gode skyldes til dels, at to fejlkilder modvirker hinanden. Den ene fejlkilde er den lille, men uundgåelige gnidningsmodstand på bænken. Den anden er den på side 3 nævnte, at tiden ikke registreres samtidig med hastigheden. Når slæden bevæger sig opad, er det den ene forkant på fanen, der bryder lysstrålen, når slæden bevæger sig nedad, er det den anden.

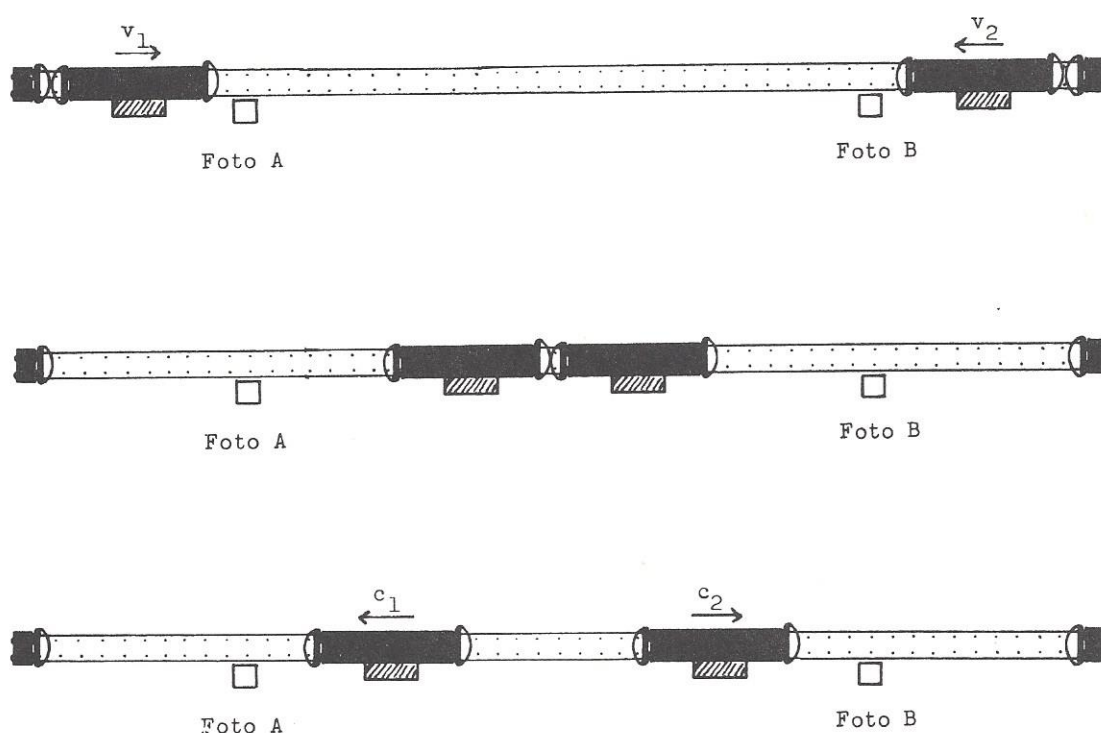
STØDFORSØG.
ELASTISK STØD.

Opstilling:

Bænken justeres, så den er vandret, d.v.s. så slæden kan stå stille eller bevæge sig jævnt overalt på bænken.

Foto A og foto B placeres som vist på figuren, f. eks. ved 60cm mærket og 140cm mærket.

Begge slæder forsynes med stålfjederbuffere i begge ender og med plasticfaner med en bredde på $\Delta s = 0,100\text{m}$.



Positiv retning \longrightarrow

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 1 (t_{A1} , t_{A2} , t_{B1} , t_{B2}). Slæderne (incl. fjederbuffer) og det flade belastningslod vejes. Slæderne holdes an mod hver sin ende af bænken og gives hver et puf, så de mødes mellem fotocellerne.

Tælleren registrerer så tiderne. Den første tid t_{A1} kommer straks frem i displayet, de andre hentes frem ved successive tryk på "display resultat".

Resultater:

De anvendte faner havde en bredde på $\Delta s = 0,100\text{m}$.

nr.	m_1	m_2	t_{A1}	t_{A2}	t_{B1}	t_{B2}	v_1	c_1
	kg	kg	s	s	s	s	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
1	0,360	0,360	0,323	0,271	0,266	0,336	0,310	-0,369
2	0,360	0,360	0,236	0,254	0,248	0,244	0,424	-0,394
3	0,360	0,360	0,515	0,181	0,179	0,561	0,194	-0,552
4	0,762	0,360	0,401	0,323	0,158	0,184	0,249	-0,310

nr.	v_2	c_2	$P_{\text{før}}$	P_{efter}	$E_{\text{før}}$	E_{efter}	$\Delta p\%$	$\Delta E\%$
	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$	J	J		
1	-0,376	0,298	-0,0239	-0,0257	0,0427	0,0405	-0,7	-5,2
2	-0,403	0,410	0,0074	0,0058	0,0616	0,0581	-0,5	-5,6
3	-0,559	0,178	-0,1312	-0,1347	0,0630	0,0607	1,3	-3,7
4	-0,633	0,544	-0,0378	-0,0403	0,0958	0,0897	-0,6	-6,4

Ifølge teorien skal impulsen (bevægelsesmængden) være bevaret, d.v.s.:

$$\begin{array}{c}
 P_{\text{før}} = P_{\text{efter}} \\
 \updownarrow \\
 m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 c_1 + m_2 c_2
 \end{array}$$

hvor:

$$v_1 = \frac{\Delta s}{t_{A1}}, \quad v_2 = -\frac{\Delta s}{t_{B1}}, \quad c_1 = -\frac{\Delta s}{t_{A2}} \quad \text{og} \quad c_2 = \frac{\Delta s}{t_{B2}}$$

Resultaterne i skemaet er svære at vurdere umiddelbart, fordi totalimpulsen er numerisk lille. (Den relative afvigelse kan selv for gode resultater blive meget stor).

Et indtryk af resultaternes kvalitet kan man få, ved at sammenligne $P_{\text{efter}} - P_{\text{før}}$ med $|p_{1,\text{før}}| + |p_{2,\text{før}}|$. Dette er gjort i

næstsidste søjle i resultatskemaet, hvor $p_{\text{efter}} - p_{\text{før}}$ er angivet i procent af $|p_{1,\text{før}}| + |p_{2,\text{før}}|$. Skemaet viser tydeligt, at impulsen er bevaret.

Hvis stødet er fuldstændig elastisk, er den kinetiske energi bevaret:

$$\begin{array}{l} \updownarrow E_{\text{før}} = E_{\text{efter}} \\ \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1c_1^2 + \frac{1}{2}m_2c_2^2 \end{array}$$

Den sidste søjle i skemaet viser energitilvæksten ΔE i procent af $E_{\text{før}}$.

Resultaterne viser, at der er et lille energitab. Stødet er næsten fuldstændig elastisk.

Hvis m_1 og m_2 er lige store, kan man af impuls- og energibevarelsesligningerne udlede, at slæderne vil "bytte hastighed" i et fuldstændig elastisk stød. Altså:

$$v_1 = c_2 \quad \text{og} \quad v_2 = c_1$$

Resultaterne i skemaet viser, at dette med god tilnærmelse er opfyldt.

Stødforsøg af denne type kan iøvrigt udføres i adskillige varianter. Man kan f. eks. lade den ene slæde stå stille mellem fotocellerne inden stødet. Ved passende valg af m_1 og m_2 kan man så enten opnå at slæderne bevæger sig i samme retning efter stødet, eller at de bevæger sig i modsatte retninger.

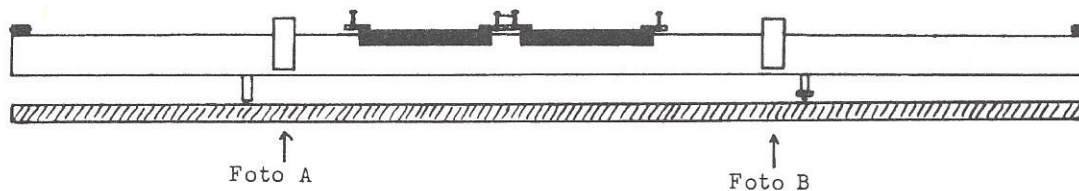
STØDFORSØG.

IMPULSBEVARELSE.

Opstilling:

Luftpudebænken justeres, så den er vandret, d.v.s. så en slæde vil stå stille eller bevæge sig jævnt overalt på bænken.

Foto A og foto B placeres, som vist på figuren.



De to slæder forsynes med fjederbuffer i begge ender og med ca. 10cm brede plasticfaner. Slæderne bindes sammen med sytråd, så bufferne mellem slæderne presses noget sammen.

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 2 (t_A , t_B , $t_{A \rightarrow B}$).

Sytråden brændes eller klippes over, hvorefter slæderne farer fra hinanden. Tælleren vil registrere passagetiderne t_A og t_B ved fotocellerne. Slæderne vejes.

Resultater:

Begge de anvendte plasticfaner havde en bredde på $\Delta s = 0,100\text{m}$.

m_1	m_2	t_A	t_B	$ m_1 c_1 $	$ m_2 c_2 $	$\Delta p\%$
kg	kg	s	s	$\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$	
0,762	0,360	1,172	0,601	0,0650	0,0599	7,8
0,762	0,360	0,806	0,356	0,0945	0,1011	7,0
0,360	0,360	0,300	0,297	0,1200	0,1212	0,5

Totalimpulsen er 0, fordi slæderne er i hvile før snoren klippes over. Altså kan impulsbevarelsen udtrykkes ved:

$$m_1 c_1 + m_2 c_2 = 0 \quad \text{eller} \quad |m_1 c_1| = |m_2 c_2|$$

Den sidste søjle i skemaet er $|m_1 c_1| - |m_2 c_2|$ i % af $|m_1 c_1|$.

STØDFORSØG.

UELASTISKE STØD.

Det fuldstændigt uelastiske stød er karakteriseret ved, at de stødende legemer hænger sammen efter stødet, og at der omsættes den størst mulige mængde kinetisk energi til indre energi.

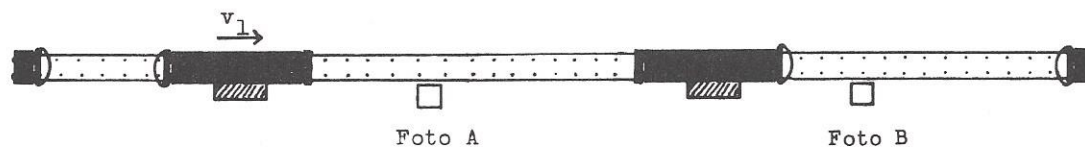
På luftpudebænken realiseres det fuldstændigt uelastiske stød ved at slæderne udstyres med såkaldte burrebuffere, som får dem til at hænge sammen, når de rammer hinanden.

Her skal gennemgås to typer af uelastiske stød:

- A. Den ene slæde er i hvile før stødet.
- B. Slæderne bevæger sig i hver sin retning inden de støder sammen.

Det er også muligt at lade de to slæder bevæge sig i samme retning før stødet, således at den ene indhenter den anden, men det er ret svært at udføre i praksis, så dette forsøg medtages ikke her.

A. Den ene slæde er i hvile før stødet.

Opstilling:

Figuren viser startsituationen. De to slæder er udstyret med burrebuffere, så stødet bliver fuldstændigt uelastisk.

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos.2 (t_A , t_B , $t_{A \rightarrow B}$).

Slæden til venstre gives en positiv begyndelseshastighed v_1 . Det kan gøres med hånden eller med den elastikkanon, der følger med luftpudebænken.

Hvis ikke slæden mellem de to fotoceller vil stå helt stille på bænken, må man holde den med hånden, og først give slip lige før stødet finder sted.

Tælleren viser så tiderne. t_A kommer straks frem i displayet, t_B skal hentes frem med "display resultat".

Resultater:

Begge slæder var udstyret med plasticfaner med en bredde på
 $s = 0,100\text{m}$.

m_1	m_2	t_A	t_B	$P_{\text{før}}$	P_{efter}	$\Delta p\%$	$ \Delta E \%$
kg	kg	s	s	$\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$		
0,360	0,360	0,206	0,409	0,175	0,176	0,6	17,7
0,762	0,360	0,281	0,403	0,271	0,278	2,6	28,4

Impulsbevarelsen i stødet kan udtrykkes ved:

$$\begin{array}{l}
 \updownarrow \\
 p_{\text{før}} = p_{\text{efter}} \\
 m_1 v_1 = (m_1 + m_2) c
 \end{array}$$

hvor begyndeshastigheden v_1 og den fælles hastighed c efter stødet er bestemt af:

$$v_1 = \frac{\Delta s}{t_A} \quad \text{og} \quad c = \frac{\Delta s}{t_B}$$

Søjlen $\Delta p\%$ angiver $p_{\text{efter}} - p_{\text{før}}$ i procent af $p_{\text{før}}$.

Man kan evt. også undersøge energiforholdene i stødet. Energitilvæksten ΔE er givet ved:

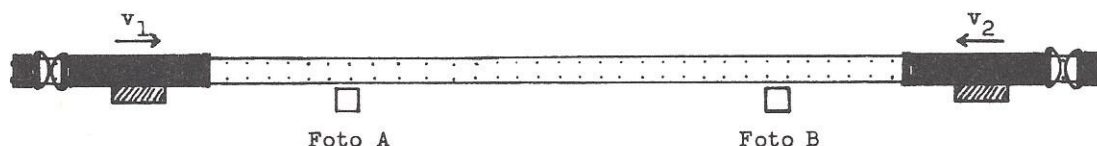
$$\Delta E = E_{\text{efter}} - E_{\text{før}} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)c^2 - \frac{1}{2}m_1 v_1^2$$

Den sidste søjle i skemaet angiver $|\Delta E|$ i procent af $E_{\text{før}}$.

B. Begge slæder bevæger sig før stødet.

Forsøget har samme formål som det foregående, nemlig at eftervise impulsbevarelsen i det fuldstændigt uelastiske stød, og at bestemme størrelsen af energitabet.

Opstilling:



Figuren viser startsituationen. De to slæder er begge udstyret med plasticfaner med en bredde på $\Delta s = 10\text{cm}$ og med burrebuffere, som gør stødet fuldstændigt uelastisk.

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 1 (t_{A1} , t_{A2} , t_{B1} , t_{B2}). Slæderne gives hver et puf, så de mødes mellem fotocellerne. De to puf skal helst have en sådan styrke, at de to slæder ikke får numerisk lige store eller næsten lige store impulser. Hvis det er tilfældet, vil slæderne stå stille mellem fotocellerne efter stødet, eller bevæge sig så langsomt, at målingen af hastigheden efter stødet bliver meget usikker. Tælleren forventer at skulle måle 4 tider, men der er kun 3 i forsøget (to før stødet, og en efter stødet). Den letteste måde at omgå dette problem på, er at "snyde" tælleren ved at stikke en finger ind i lysstrålen på den fotocelle, der kun har registreret en tid. Tælleren vil så vise et eller andet tal, som man så ikke kan bruge til noget. Den første tid t_{A1} kommer straks frem i displayet, de andre hentes frem ved successive tryk på "display resultat".

Resultater:

Begge slæder var udstyret med faner på $\Delta s = 0,100\text{m}$. De målte og beregnede resultater følger i en tabel på næste side. Der regnes med fortegn, således at retningen fra venstre mod højre regnes positiv.

m_1	m_2	t_{A1}	t_{A2}	t_{B1}	t_{B2}	v_1	v_2
kg	kg	s	s	s	s	$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$
0,360	0,360	0,356	0,379	0,121	—	0,281	-0,826
0,762	0,360	0,244	—	0,278	0,659	0,410	-0,360

c	$p_{\text{før}}$	p_{efter}	$E_{\text{før}}$	E_{efter}	$ \Delta p /\%$	$ \Delta E /\%$
$\frac{m}{s}$	$kg \frac{m}{s}$	$kg \frac{m}{s}$	J	J		
-0,264	-0,196	-0,190	0,137	0,025	1,5	81,7
0,152	0,183	0,170	0,087	0,026	4,2	70,4

Impulsbevarelsen i stødet kan udtrykkes ved:

$$\begin{aligned} & \updownarrow p_{\text{før}} = p_{\text{efter}} \\ & m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) c \end{aligned}$$

hvor begyndeshastighederne v_1 og v_2 er bestemt ved:

$$v_1 = \frac{\Delta s}{t_{A1}} \quad \text{og} \quad v_2 = -\frac{\Delta s}{t_{B1}}$$

c er den fælles hastighed efter stødet.

Da totalimpulsen ikke er ret stor (numerisk set), er det svært umiddelbart at vurdere resultaternes kvalitet ved at udregne den relative ændring i impulsen. I skemaet er derfor anført

$|p_{\text{efter}} - p_{\text{før}}|$ i procent af $m_1 v_1 + m_2 v_2$.

Energertilvæksten ΔE ved stødprocessen er givet ved:

$$\Delta E = E_{\text{før}} - E_{\text{efter}} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)c^2 - \frac{1}{2}m_1 v_1^2 - \frac{1}{2}m_2 v_2^2$$

Den sidste søjle angiver $|\Delta E|$ i procent af $E_{\text{før}}$.

NEWTONS 2. LOV.

Newtons 2. lov er en klassisk øvelse, der tidligere ofte blev udført på "Leybolds kørebane". Øvelsen tilrettelægges oftest, så den kan eftervise Newtons 2. lov på formen:

$$F = k \cdot m \cdot a$$

$k \neq 1$ hvis man regner F i pond og $k = 1$ hvis der regnes i SI-enheder. I det sidste tilfælde "snyder" man ved at benytte Newtons 2. lov til beregning af trækraften.

Øvelsen deles i 3 afsnit:

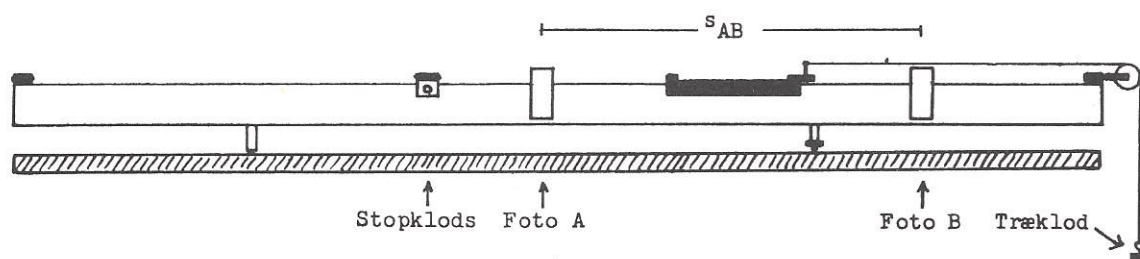
1. Det eftervises, at accelerationen er konstant, og hermed at accelerationen kan bestemmes af formlen $v = v_0 + at$.
2. For konstant M er F proportional med a .
3. For konstant F er a proportional med $1/M$.

F er trækraften, M er den samlede accelererede masse (incl. trækrod) og a er den resulterende acceleration.

1. del (Vise at acc. er konstant).

Opstilling:

Der monteres en trisse i den ene ende af bænken, og denne ende anbringes hængende ud over bordkanten.



Bænken justeres derefter, så den er absolut vandret, d.v.s. så slæden vil stå stille eller bevæge sig jævnt overalt på bænken. Slæden forbindes med en sytråd hen over trissen med et trækrod på f. eks. 20g. Sytråden skal have en længde på lidt over en meter (afhængig af bordhøjden).

Med luftpudebænken følger som standardudstyr en "stopklods",

der kan monteres overalt på bænken med en fingerskrue. Denne stopklods anbringes, så slæden kan bevæge sig noget over en meter fra stopklodsen hen til trissen (se fig.).

Slæden forsynes med en fane på ca. 4cm. (Placer fanen, så dens forkant er ud for et pænt rundt tal på afstandsskalaen, når slæden rører stopklodsen, det letter senere afstands aflæsninger).

Foto A placeres, så fanen bryder lysstrålen, når slæden har bevæget sig f. eks. 40cm.

Foto B anbringes i en på forhånd valgt afstand s_{AB} fra foto A.

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 2 (t_A , t_B , $t_{A \rightarrow B}$).

Slæden holdes an mod stopklodsen og slippes. Tælleren registrerer herefter tiderne. t_A kommer straks frem i displayet, de andre må hentes frem med "display result".

s_{AB} ændres og forsøget gentages.

Resultater:

Den anvendte fane havde en bredde på $\Delta s = 0,0384\text{m}$.

Slæden (incl. fjederbuffer) havde massen $m_{s1} = 0,336\text{kg}$.

Da trækloddets masse m var $0,020\text{kg}$ bliver den samlede masse M :

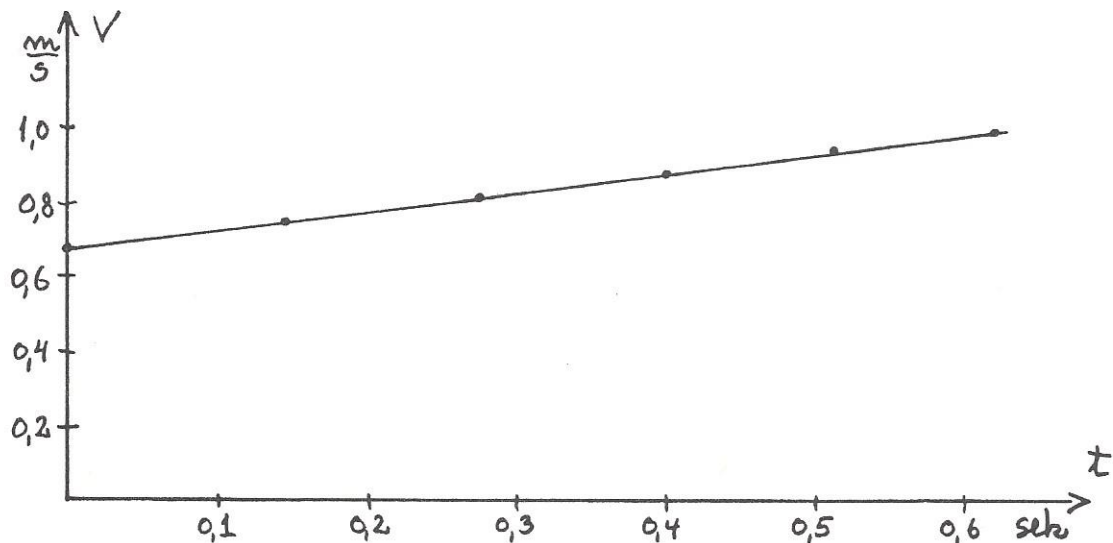
$$M = m_{s1} + m = 0,356 \text{ kg}$$

De øvrige resultater findes i nedenstående skema:

$s = s_{AB}$	m	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500
t_A	s	0,0568	0,0569	0,0570	0,0570	0,0571
t_B	s	0,0515	0,0471	0,0438	0,0411	0,0388
$t = t_{A \rightarrow B}$	s	0,144	0,277	0,399	0,513	0,621
$v = \frac{\Delta s}{t_B}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	0,746	0,815	0,877	0,943	0,990

En værdi af t_A havde været nok til bestemmelse af starthastigheden v_A . De øvrige er blot medtaget for at give et indtryk af målingernes reproducerbarhed.

Resultaterne er afbildet i nedenstående (t,v)-graf:



Grafen viser, at accelerationen er konstant, d.v.s. grafens ligning er:

$$v = v_0 + at \quad \text{hvoraf:} \quad a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v_B - v_A}{t}$$

Denne formel bruger vi så i resten af forsøget til beregning af accelerationen. F. eks. giver målingen med $s=0,500\text{m}$:

$$v_A = \frac{0,0384\text{m}}{0,0571\text{s}} = 0,673\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{0,990\frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,673\frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,621\text{s}} = 0,511\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Hvis accelerationen i stedet for beregnes af Newtons 2. lov:

$$mg = Ma \quad \text{eller} \quad a = \frac{mg}{M}$$

bliver resultatet $a = 0,551\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Forskellen må tilskrives gnidningsmodstand.

2. del (F er proportional med a).

Opstilling:

Opstillingen er som i 1. del. Den eneste ændring vedrører træklodderne. For at sikre, at systemets samlede masse M er konstant i denne del af forsøget, ændres trækloddsmassen ved at

flytte masse fra slæde til træklo. Slæden belastes derfor på forhånd med 20g + 20g + 10g og der startes med et træklo på 10g.

Udførelse:

Som 1. del. For hvert forsøg flyttes 10g fra slæde til træklo og forsøget gentages.

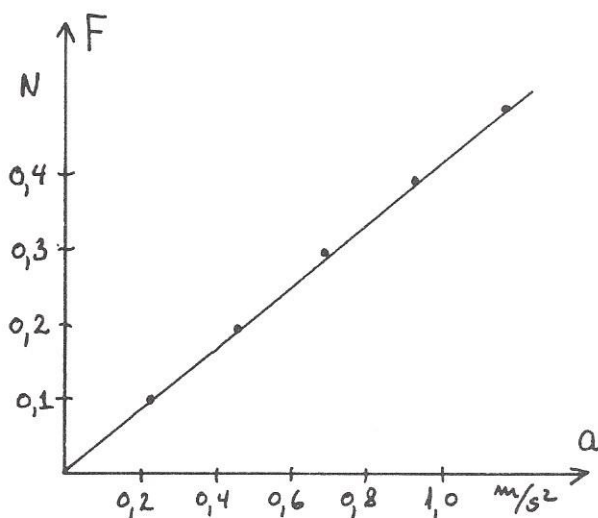
Resultater:

Fanebredde: $\Delta s = 0,0384\text{m}$

Samlet masse: $M = 0,396\text{kg}$

m	t_A	t_B	$t=t_{A \rightarrow B}$	$F=mg$	$a = \frac{v_B - v_A}{t}$
g	s	s	s	N	m/s^2
10	0,0858	0,0617	0,771	0,0982	0,227
20	0,0601	0,0434	0,541	0,1964	0,454
30	0,0488	0,0352	0,438	0,2946	0,694
40	0,0423	0,0304	0,380	0,3930	0,935
50	0,0379	0,0272	0,339	0,4910	1,176

Således ser det ud, når resultaterne afbildes grafisk:



Grafen viser tydeligt, at F er proportional med a , som det var ønsket. Hædningskoefficienten aflæses til 0,410kg. Det skal sammenlignes med den samlede masse på 0,396kg. Også her gælder, at den målte acceleration er for lille i forhold til den teoretiske værdi. Afvigelsen er systematisk: 10%, 8%, 7%, 6% og 5% i de fem forsøg. Den må skyldes gnidningsmodstanden i trissen og på bænken.

ningsmodstanden i trissen og på bænken.

3. del (a er proportional med $1/M$).

Opstilling og udførelse:

Som 1. del. Der arbejdes med et fast trækklod på f. eks. 20g. Massen på slæden skal så varieres.

Der følger et belastningslod på 400g med luftpudebænken som standardudstyr, mens 200g, 300g og 400g kan fås som ekstraudstyr hos STRUERS. Der udføres et antal målinger med masser i intervallet fra ca. 300g til ca. 800g.

Resultater:

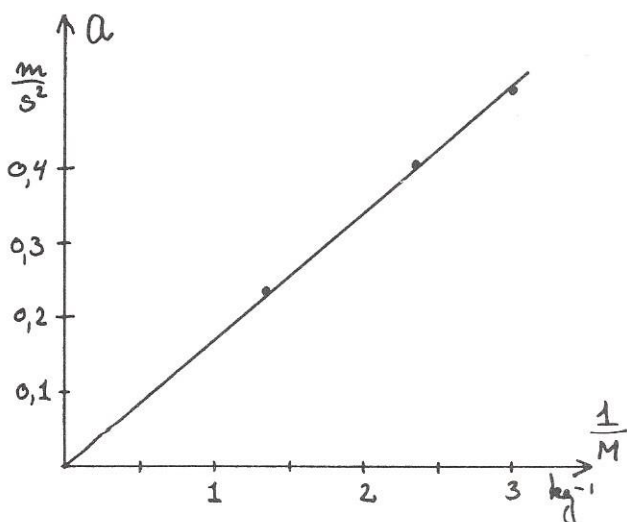
Masse af trækklod $m=0,020\text{kg}$. Fanebredde $s=0,0384\text{m}$.

t_A	t_B	$t_{A \rightarrow B}$	M	$1/M$	a	$\Delta a \%$
s	s	s	kg	kg^{-1}	m/s^2	
0,0571	0,0411	0,513	0,336	2,98	0,510	13
0,0638	0,0459	0,573	0,428	2,34	0,410	11
0,0830	0,0600	0,748	0,738	1,36	0,237	11

Accelerationen er som før beregnet af:

$$a = \frac{v_B - v_A}{t}$$

I den sidste kolonne er anført forskellen på den teoretiske acceleration og den målte acceleration i procent. Den teoretiske acceleration er beregnet af Newtons 2. lov på formen:



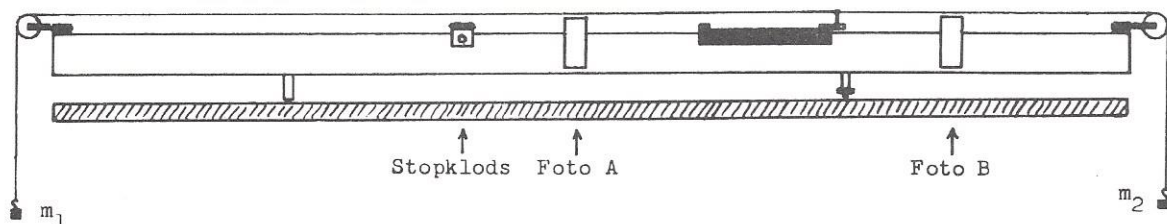
$mg = Ma$, hvor m er trækklodets masse og M er den samlede accelererede masse.

Grafen til venstre viser som ønsket, at a er proportional med $1/M$.

Det skal dog nævnes at der i denne del af forsøget ofte er en systematisk afvigelse, således at grafen ikke går gennem $(0,0)$.

ENERGIBEVARELSE.

Formålet med øvelsen er at eftervise sætningen om bevarelsen af den mekaniske energi. Energiomsætningen foregår ved at loddet med massen m_2 afgiver potentiel energi, som dels omsættes til potentiel energi i m_1 , dels til kinetisk energi af begge lodder samt slæden (se fig.).



Opstilling:

Figuren viser opstillingen.

Slæden forsynes med en fane med en bredde på ca. 4cm og med en fjederbuffer, der kan optage et eventuelt stød mod enden af bænken. Bufferen benyttes også til fastgørelse af snoretrækket. Bænken skal være vandret, d.v.s. den skal justeres, så en slæde vil stå stille eller bevæge sig jævnt overalt på bænken.

Udførelse:

Funktionsvælgeren på tælleren i pos. 2 (t_A , t_B , $t_{A \rightarrow B}$).

Slæden og lodderne vejes.

Slæden holdes an mod stopklodsen og afstandene s_A og s_B fra forkanten af fanen hen til henholdsvis foto A og foto B aflæses.

Slæden slippes, og tælleren viser passagetiderne t_A og t_B .

t_A kommer straks frem i displayet, mens t_B må hentes frem med "display resultat".

Masserne og evt. afstandene ændres, og forsøget gentages.

Resultater:

Den anvendte fane havde en bredde på $\Delta s = 0,0384\text{m}$.

$s_A = 0,300\text{m}$, $s_B = 0,800\text{m}$, Slædens masse $m_{s1} = 0,358\text{kg}$.

Den samlede accelererede masse M bliver:

$$M = m_{s1} + m_1 + m_2$$

Fra start til foto A:

m_1	m_2	t_A	$m_1 g s_A$	$\frac{1}{2} M v_A^2$	$E_{\text{modt.}}$	$E_{\text{afg.}}$	$\Delta E\%$
kg	kg	s	J	J	J	J	
0,010	0,030	0,0703	0,0295	0,0597	0,0891	0,0884	0,9
0,010	0,020	0,1010	0,0295	0,0281	0,0576	0,0589	-2,2

Fra start til foto B:

m_1	m_2	t_B	$m_1 g s_B$	$\frac{1}{2} M v_B^2$	$E_{\text{modt.}}$	$E_{\text{afg.}}$	$\Delta E\%$
kg	kg	s	J	J	J	J	
0,010	0,030	0,0438	0,0786	0,1530	0,232	0,236	-1,7
0,010	0,020	0,0625	0,0786	0,073	0,152	0,157	-3,2

Den af trækloppet m_2 afgivne energi er beregnet som:

$$E_{\text{afg.}} = m_2 g s$$

medens den modtagne energi er givet ved:

$$E_{\text{modt.}} = m_1 g s + \frac{1}{2} M v^2$$

Hastighederne v_A og v_B , som indgår i beregningen af den kinetiske energi er fundet ved:

$$v_A = \frac{\Delta s}{t_A} \quad \text{og} \quad v_B = \frac{\Delta s}{t_B}$$

I den sidste søjle i skemaet er $E_{\text{opst.}} - E_{\text{afg.}}$ udregnet i procent af $E_{\text{afg.}}$.

Som det fremgår af skemaet er resultaterne ret overbevisende.

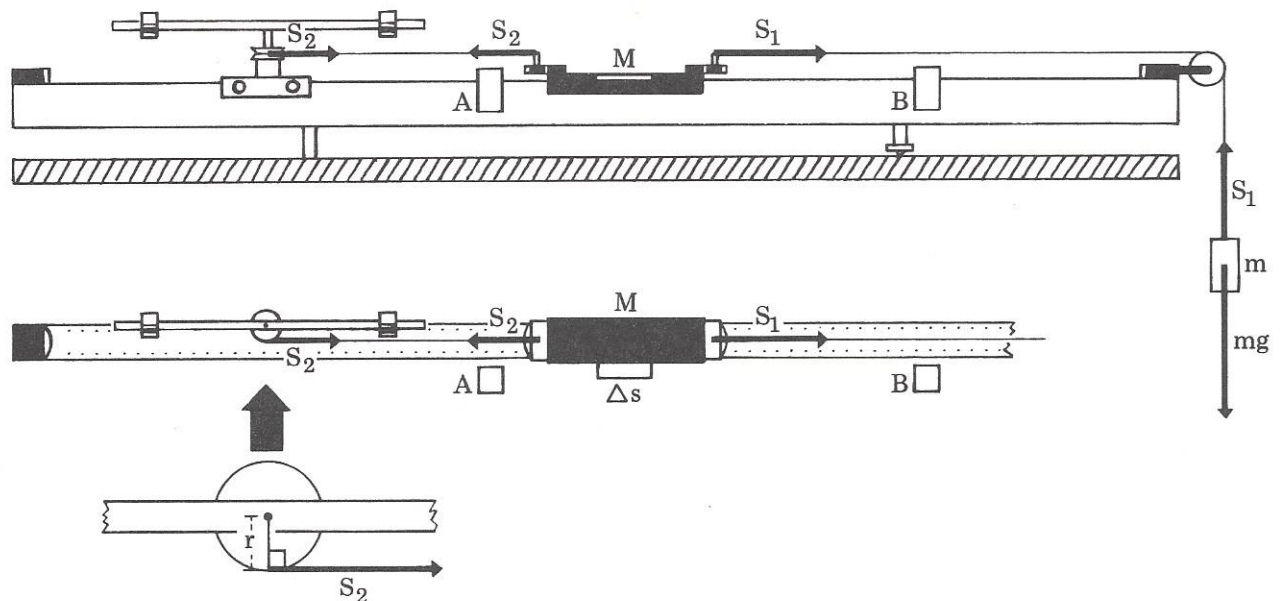
LEGEMERS INERTIMOMENT

Bevægelsesligningerne:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{rot.system}} \cdot d^2\varphi/dt^2 &= S_2 \cdot r \\ S_1 - S_2 &= M_{\text{slæde}} \cdot a \\ m_{\text{træk lod}} \cdot g - S_1 &= m_{\text{træk lod}} \cdot a \\ a &= r \cdot d^2\varphi/dt^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow a = mgr^2 / (mr^2 + Mr^2 + I) \Leftrightarrow I_{\text{rot.system}} = \frac{mgr^2}{a} - (M + m)r^2$$

Rotationsudstyr/opstilling:

Rotationsudstyret består af en bro med lodret akse, en svingbar stang med 2 forskydelige lodder, en cirkulær plade, hvorpå løse emner kan anbringes, en trækugle samt et cylindrisk lod 100 g. Broen fastspændes på bænken med 2 fingerskruer, og stangen monteres i akselen, således at dens underste møtrik hviler i akselens udskæring.



Eksperimenter:

Rotationsudstyret er velegnet til en lang række forsøg, hvor man ønsker:

- at etablere veldefinerede kraftmomentpåvirkninger via snorkræfter og faldlod.
- at udnytte den faste opstillings gode muligheder for præcis bestemmelse af passage- og løbetider.
- at skabe interessante sammenkoblede bevægelsessystemer, hvori der foregår både translatoriske og rotationelle bevægelser.

Måleeksempel:

Vi ønsker at bestemme inertimoment for stangen m.h.t. akse gennem midtpunktet vinkelret på stangen. Tælleren sættes i pos. 3 (start A, stop B). Δs -kartonets forkant starter tidtagningen via fotocelle A og standser tidtagningen via fotocelle B.

a_{eksp} bestemmes da ud fra $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$.

Resultater:

$$M_{\text{slæde}} = 0,400 \text{ kg}$$

$$m_{\text{træk lod}} = 0,040 \text{ kg}$$

$$s = 0,40 \text{ m}$$

$$r = 1,23 \text{ cm}$$

$$t = 7,211 \text{ sek, gennemsnit af 10 målinger,}$$

$$\text{d.v.s. } a = 0,0154 \text{ m/s}^2.$$

$$M_{\text{stang}} = 0,150 \text{ kg}$$

$$L = 0,54 \text{ m}$$

$$\text{d.v.s. } I_{\text{teo}} = 3,65 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2.$$

$$I_{\text{eksp}} = 3,79 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2.$$

BESTILLINGSLISTE FOR LUFTPUDEBÆNK TM 3 OG TILBEHØR

28046301 Luftpudebænk TM 3, incl. standardtilbehør

Standardtilbehør:

Ill.nr. Antal Best.nr. Betegn.

Ill.nr.	Antal	Best.nr.	Betegn.
1	2	28046302	vogn, tom
2	4	28046303	cylindrisk lod, 10 g
3	2	28046304	cylindrisk lod, 20 g
4	6	28046306	pvc-fane, lille, 36x100 mm
5	4	28046305	pvc-fane, stor, 60x100 mm
6	1	28046307	stikben, lille
7	6	28046309	fjederbuffer
8	1	28046311	elastikkanon til fastgørelse på bænk
9	1	28046312	vognbuffer til elastikaffyring
10	2	28046313	endehjul (trisse)
11	1	28046314	bufferholder, forskydelig
12	2	28046315	skruefjeder
13	1	28361901	rl. sytråd
14	1	28046319	pladelod, forniklet messing, 400 g
15	1	28046320	sæt burrebuffer
	1	28046321	cylindrisk støtteben til bænk
	1	28046322	fodstykke til bænk, komplet m. skruer
16	1	28046323	sæt m. 3 stk. pvc-underlagsskiver
17	1	28046324	unbraconøgle til justering
	1	28046325	luftslange m. pvc-flange og reduktion
	1	28046326	svampegummiindlæg til do.
	1	28046328	plastæske til tilbehør

