

FUF rapport 2 - Frit fald (med timer)

Jogvan og Stine

24. september 2001

Frit fald (med timer)

Formål

Formålet med dette forsøg er at måle hastigheden og accelerationen for et frit fald, og derudfra undersøge energisætningen, som er givet ved: Den mekaniske energi er summen af den potentielle- og den kinetiske energi.

$$E_{mek} = E_{kin} + E_{pot} \quad (1)$$

Eksperimentet

Ved at lade et lod falde frit, måles såvel loddets hastighed som dets tilbage-lagte vejlængde. Dette gøres ved at der til loddet er knyttet en papirstrimmel som føres gennem en timer. Timeren fungerer på den måde, at den afsætter en 'farvet prik' på papirstrimlen for hver hundrededel sekund. Efter faldet aflæses afstanden mellem punkterne, hvor hastigheden i et punkt følger af afstanden mellem punktet før og punktet efter divideret med to hundrededele sekund.

Eksperimentet opstilles ved hjælp af tvinger, stænger og andet Storm P udstyr således, at timeren kommer et stykke op i højden, gerne op mod to meter. Timeren tilsluttes en vekselspænding (i dette tilfælde 6 volt, men det er angivet på timeren). Når man er klar til at slippe loddet, aktiveres timeren og loddet falder og trækker papirstrimlen efter sig. Det er en god ide at lave papirstrimlen lidt kortere end højden mellem gulv og timer, da det er nemmere at aflæse prikkerne i slutningen af strimlen, når strimlen er løbet helt igennem. Massen af loddet har ikke nogen betydning så længe det er meget tungere end papirstrimlen. Dog skal man kende massen, for at kunne beregne hhv. den potentielle- og den kinetiske energi.

Måleresultater

Da vi får mange prikker på strimlen, har vi valgt at nøjes med at angive værdierne for hver 5. prik. Måleresultaterne og de umiddelbare udregninger

er angivet i nedenstående skema.

De beregnede størrelser der indgår i skemaet er udregnet på følgende måde:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{\Delta s}{0,02s} \\
 E_{kin} &= \frac{1}{2}mv^2 \\
 E_{pot} &= mg(s_{slut} - s) \\
 E_{mek} &= E_{kin} + E_{pot}
 \end{aligned}$$

Det er naturligt at fastsætte nulpunktet for den potentielle energi på det sted hvor den sidste måling er foretaget. Derfor er $s_{slut} = 1,972m$, således at $E_{pot} = mg(s_{slut} - s_{slut}) = 0$ til sluttidspunktet. Tyngdeaccelerationen g der indgår i udregningen af den potentielle energi, er sat til den teoretiske værdi på $9,82m/s^2$. Man kunne også have valgt at benytte den værdi vi senere beregner udfra vores eksperimentelle data.

t / s	s / m	$\Delta s / m$	$v \text{ m/s}$	E_{kin}/J	E_{pot}/J	E_{mek}/J
0,00	0,000	0,010	0,5	0,13	19,37	19,49
0,05	0,039	0,020	1,0	2,00	18,98	19,48
0,10	0,102	0,030	1,6	4,81	18,36	19,58
0,15	0,190	0,040	2,0	8,00	17,50	19,50
0,20	0,326	0,051	2,6	13,01	16,16	19,41
0,25	0,496	0,061	3,1	18,61	14,79	19,44
0,30	0,630	0,070	3,5	24,50	13,18	19,30
0,35	0,859	0,082	4,1	33,62	10,93	19,33
0,40	1,071	0,092	4,8	42,32	8,85	19,43
0,45	1,416	0,105	5,3	55,13	5,46	19,24
0,50	1,682	0,112	5,6	62,72	2,85	18,53
0,55	1,972	0,121	6,1	73,21	0,00	18,30

Teori

Før vi analyserer resultaterne introduceres teorien bag.

Et lod udfører et frit fald i et homogent kraftfelt, genereret af jordens tyngdeacceleration g . I følge Newtons 2. lov på loddet får vi

$$F_g = m \cdot g = m \cdot \frac{d^2s}{dt^2}$$

Ved at integrere med hensyn til tiden på begge sider, finder vi hastigheden

$$\begin{aligned} v : \quad \cancel{m} \int g dt &= \cancel{m} \int \frac{d^2 s}{dt^2} \\ gt + v_0 &= \frac{ds}{dt} = v \end{aligned} \quad (2)$$

Ved endnu en integration finder vi et udtryk for strækningen

$$\begin{aligned} s : \quad \int gt + v_0 &= \int \frac{ds}{dt} \\ \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + s_0 &= s \end{aligned} \quad (3)$$

Dette er netop stedfunktionen som vi forventer at loddet skal følge. I vores forsøg valgte vi den første prik på timerstrimmlen således at $v_0 = 0,5$ og $s_0 = 0$. Grunden til at $v_0 \neq 0$ er, at vi først begynder at aflæse strimlen efter at loddet er faldet lidt. Årsagen til dette er at prikkerne ligger så tæt i begyndelsen at de er svære af aflæse.

Den samlede mekaniske energi er summen af den kinetiske og den potentielle energi jf. ligning (1). Derudover kommer mekanisk friktion mellem timeren og strimlen samt luftmodstand. Sidstnævnte skulle gerne være så lille, at vi tillader os at se bort fra dem.

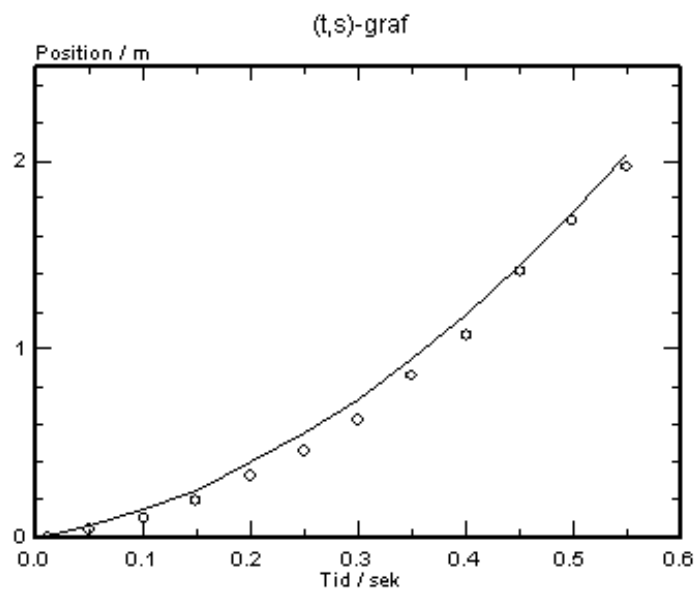
Grafer med kommentarer

Stedfunktionen

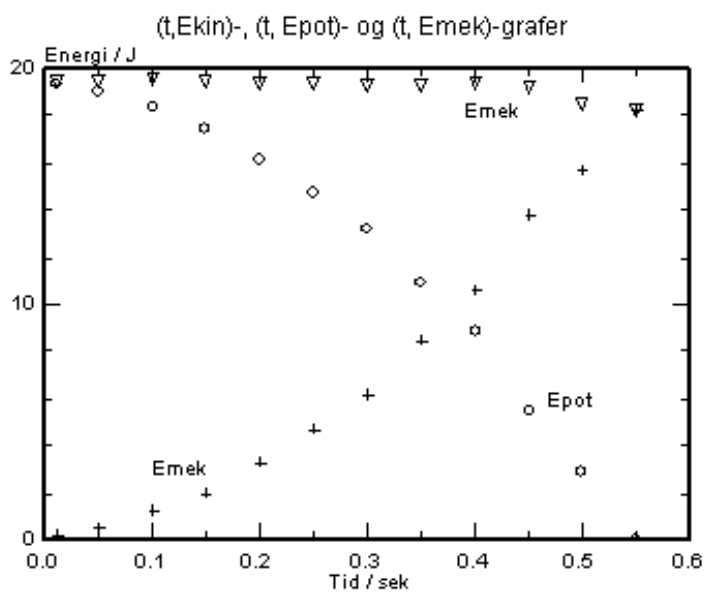
Her er strækningen afbilledet som funktion af tiden. Det ses at de eksperimentelle data ligger pænt langs den teoretiske graf. Vores forsøg følger altså teorien for et frit fald i et homogent kraftfelt. Den teoretiske graf er stedfunktionen i ligning (3) $s = \frac{1}{2}9,82t^2 + 0,5t + 0$.

Den mekaniske energi

Grafen viser fint hvordan den mekaniske energi er tilnærmelsesvis bevaret, og hvordan den kinetiske energi stiger i takt med at den potentielle energi falder. Vi ser også, at tabet af den mekaniske energi er størst når hastigheden er størst, og det er i overensstemmelse med hvad man kan forvente, da friktionen er proportional med hastigheden.



Figur 1 Grafen afbilder stedet som som funktion af tiden. Prikkerne angiver de aflæste punkter på strimlen og grafen er fremkommet ved stedfunktionen $s = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + s_0$

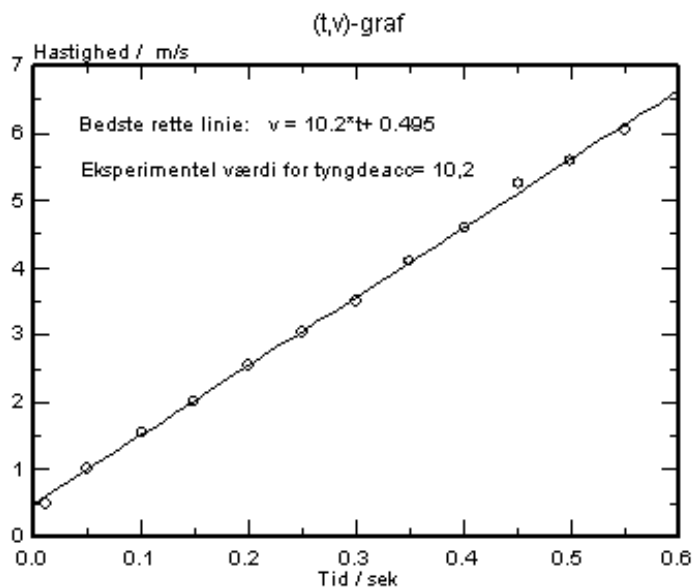


Figur 2 Graferne afbilder hhv. E_{kin} , E_{pot} og E_{mek} som funktion af tiden

Accelerationen

Her er hastigheden afbilledet som funktion af tiden. Den bedste rette linie gennem måleresultaterne er plottet, og alle data ligger pænt tæt på linien.

Hældningen på grafen er vores eksperimentelle værdi for tyngdeaccelerationen, og den fås altså til 10 m/s^2 . Afvigelsen mellem denne og den teoretiske værdi på $9,82\text{ m/s}^2$, er ikke målbar, da den ligger indenfor usikkerheden, regnet med to betydende cifre.



Figur 3 Grafen afbilder hastigheden som funktion af tiden

Konklusion

Konklusionen må være, at vi har eftervist, at den mekaniske energi er bevaret som summen af den kinetiske og den potentielle energi, samt at tyngdeaccelerationen er på omkring 10 m/s^2 .

Usikkerhed og fejlkilder

Af fejlkilder kan nævnes luftmodstand, gnidning mellem strimmel og timer, samt at der ikke er taget højde for massen af strimlen der modvirker bevægelsen (den del af strimlen der trækkes op til timeren). Disse er dog så små, at vi med rimelig tilnærmelse har valgt at se bort fra dem. Grunden til at vi valgte et lod på 1 kg og ikke et på eksempelvis 50 gram, var netop for at eliminere strimlens usikkerhed på systemet.

Usikkerhederne som indgår er for det første måleusikkerhederne som strækning og tid. Selv om timeren afsætter hundrede prikker for hvert sekund, er

der en tolerance på hvor præcis den er. Også når vi aflæser strimlen gør vi det kun indenfor en millimeters nøjagtighed fra punkt til punkt. Det betyder, at der kan komme større usikkerheder end en millimeter på den samlede afstand, men igen har vi valgt at se bort fra disse. Også fordi forsøget ikke primært skal handle om usikkerhedsberegninger, men vise nogle kvalitative træk. Dog har vi valgt at begynde aflæsningen af strimlen efter at afstandene mellem punkterne var over en halv centimeter. Vi sørgede også for at strimlen ikke var længere end at den fulgte lodret gennem timeren, og ikke stod stille i timeren i slutningen af målingen. Dette for at gøre punkterne mere læselige.