

FUF rapport 3 - Cirkelbevægelse

Jogvan og Stine

1. oktober 2001

Jævn cirkelbevægelse

Formål

Formålet med dette eksperiment er at eftervise centripetalkraften F_c for en jævn cirkelbevægelse givet ved formlen:

$$F_c = 4\pi^2 \cdot m \cdot r \cdot f^2 \quad (1)$$

hvor m angiver massen, r radius og f frekvensen. Grunden til at vi anvender denne formel er, at de indgående størrelser er umiddelbart målelige i den benyttede forsøgsopstilling.

Metode og udstyr

Vi laver tre måleserier, hvor der for hver serie holdes to at de indgåede størrelser konstante, mens vi varierer den tredje. Derefter kan vi ud fra en analyse afgøre om hvorvidt det er lykkedes os at eftervise det ønskede.

Eksperimentet forløber efter bogen, dvs. vi benytter os af standardudstyr i fysiklokalet til eftervisning af den jævne cirkelbevægelse. Udstyret består af en device, der kan rotere om den lodrette akse, hvorpå der er påmonteret en 'vogn', som bliver mere eller mindre slynget ud afhængigt af centripetalkraften. Vognen er fastgjort til et dynamometer hvorpå centripetalkraften kan aflæses. Derudover er det muligt at pålæsse vognen med lodder så massen kan varieres. Endvidere kan omløbstiden varieres og måles ved hjælp af en fotocelle der registrerer frekvensen.

Teori og måleresultater

I en jævn cirkelbevægelse kan accelerationen skrives som $a = 4\pi^2 r f^2$. Den er rettet mod centrum og kaldes derfor centripetalaccelerationen. Newtons anden lov kan altså skrives som: $F_c = m \cdot a = 4\pi^2 \cdot m \cdot r \cdot f^2$

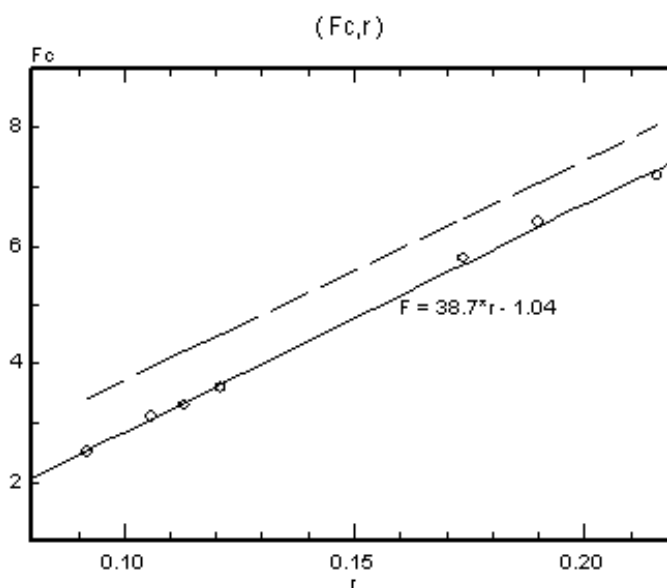
Radius varierer

Den første måleserie måler centripetalkraften mens radius varieres og frekvensen og massen holdes konstante. Her er frekvensen $f = 1,53s^{-1}$ og massen $m = 0,40$ kg. Med andre ord, så vil vi her vise, at centripetalkraften er proportional med radius, hvor proportionalfaktoren er givet ved k i formlen

$$F_c = k \cdot r \quad \text{hvor } k = 4\pi^2 \cdot m \cdot f^2 \quad (2)$$

Måling	enhed	1	2	3	4	5	6	7
F_c	N	2,5	3,1	3,3	3,6	5,8	6,4	7,2
r	m	0,092	0,106	0,113	0,121	0,174	0,190	0,216

Vi kan tydeligt se på figur (1), at der er tale om proportionalitet. Der forekommer dog en systematisk afvigelse på enten $0,9$ N eller $2,2$ cm , eller måske snarere en blanding af disse. Vi mener dog ikke at der er grund til at tvivle på proportionalitetsfaktoren, da hældningen er den samme på den teoretiske og den målte kurve.



Figur 1 Afbilder $F_c = k \cdot r$. Den stiplede linie er den teoretiske værdi og den fuldt optrukne er en tendenslinie for de eksperimentielle målinger.

Massen varierer

Her vil vi undersøge om centripetalkraften er proportional med massen. Vi varierer altså massen mens frekvensen holdes konstant. Radius skulle egentlig

også holdes konstant, men det er ikke praktisk muligt i denne forsøgsopstilling. Da vi lige har vist at kraft og radius er proportionale, tillader vi os at indføre en ny radius-uafhængig størrelse kaldet $z = F_c/r$, som vi vil analysere i stedet for.

$$F_c = 4\pi^2 r m f^2 \Rightarrow \frac{F_c}{r} = 4\pi^2 m f^2$$

$$z = \frac{F_c}{r} = k \cdot m \quad \text{hvor } k = 4\pi^2 \cdot f^2 \quad (3)$$

Frekvensen er her sat til $f = 1,53s^{-1}$

Måling	enhed	1	2	3	4	5	6
F_c	N	0,8	1,2	2,1	3,0	3,9	5,3
m	Kg	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450
r	m	0,092	0,096	0,105	0,114	0,123	0,127
z	N/m	8,70	12,50	20,00	26,32	31,71	41,73

På den anden måling som er afbilledet på figur (2), er der et lille problem. Her er der ikke overensstemmelse mellem den teoretiske og den målte proportionalkoefficient. Grunden hertil skal nok findes i den første måling, hvor vi fandt en systematisk afvigelse af kraften og radius. Her bidrager begge størrelser, og de kan da give en systematisk afvigelse af hældningen på kurven. Der hersker dog ingen tvivl om at der er proportionalitet, da vi får en ret linie.

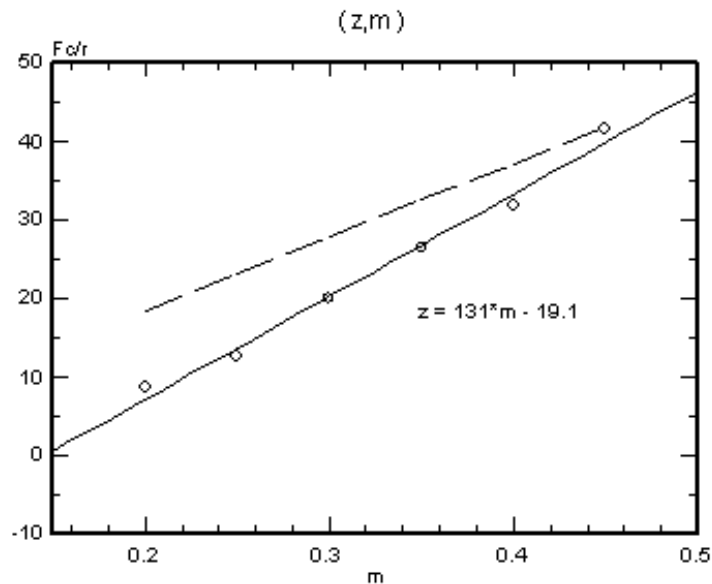
Frekvensen varierer

Her skal vi vise at centripetalkraften er proportional med kvadratet på frekvensen. Vi skal således variere frekvensen mens massen holdes konstant. Vi vil anvende samme trick med $z = F_c/r$ som i den foregående måling. Det vil sige, at vi skal vise at følgende gælder

$$z = \frac{F_c}{r} = k \cdot f^2 \quad \text{hvor } k = 4\pi^2 \cdot m \quad (4)$$

Den fastholdte masse er her $m = 0,30 \text{ kg}$

Måling	enhed	1	2	3	4	5	6	7
F_c	N	0,38	0,70	1,25	4,50	4,6	10,8	16,5
r	m	0,106	0,148	0,109	0,175	0,092	0,126	0,156
f	s^{-1}	0,54	0,63	1,16	1,64	1,94	2,60	2,95
z	N/m	3,59	4,73	11,5	25,7	50,0	85,7	105



Figur 2 Afbilder $z = k \cdot m$. Den stiplede linie er den teoretiske værdi og den fuldt optrukne er en tendenslinie for de eksperimentielle målinger.

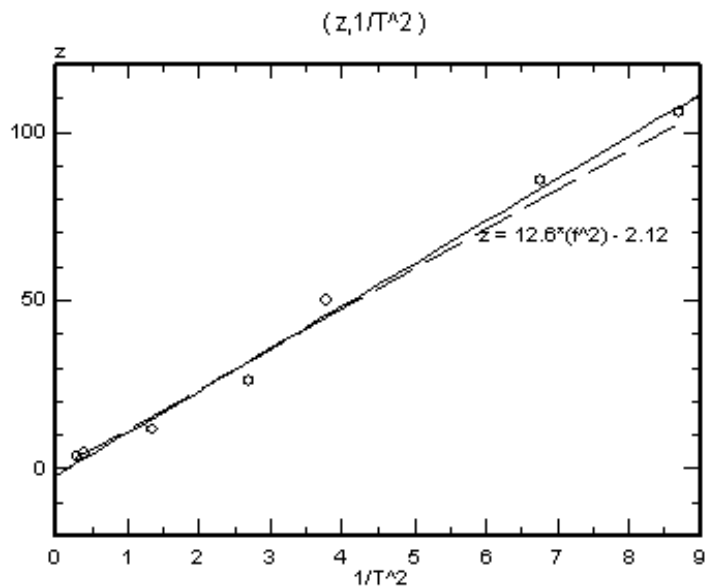
Den sidste måling på figur (3) viser et pænt resultat idet vi igen har proportionalitet og samtidig er proportionalkoefficienten for målingerne tilnærmelsesvis den samme som den teoretiske. Grunden til at vi har afbildet z som funktion af kvadratet på frekvensen og ikke bare selve frekvensen er, at det er meget nemmere at afgøre om vi får en ret linie end om en given graf er en parabel.

Konklusion

Alt i alt kan vi konkludere, at vi har eftervist den jævne cirkelbevægelse. Dette mener vi fordi at de afvigelser vi trods alt har haft har været systematiske, hvilket ikke har betydning for de proportionaliteter vi har fundet, og fordi der findes en forklaring på de afvigende data.

Usikkerheder

Selv om dette eksperiment ville være velegnet til at inddrage usikkerhedsberegninger, har vi ikke gjort noget ud af det. Dog kan vi nævne hvilke usikkerheder der er i spil. Og det er alle de aflæsninger der gøres og yderligere de instrumenter der indgår i indsamlingen af måldata.



Figur 3 Afbilder $z = k \cdot f^2$. Den stiplede linie er den teoretiske værdi og den fuldt optrukne er en tendenslinie for de eksperimentielle målinger.

Fejlkilder

Da vi har systematiske afvigelser er det nærliggende at tro at der har været fejlkilder i vores system. Udover kalibrering af måleinstrumenterne såsom frekvensmåler, dynamometer, radius og lignende, kan det også være at rotationen ikke foregik helt jævnt. Vi observerede faktisk noget uro om den lodrette akse som der blev roteret omkring. Det kan betyde, at det som vi troede var centrum for rotationen ikke har været helt korrekt, og derfor har fået indflydelse på blandt andet radiusmålingen, og kraftmålingen. Hvis dynamometeret ikke sidder helt inde i centrum, så er det ikke hele centripetalkraften vi kan aflæse.

Afsluttende bemærkninger

Det er meget morsomt at lave eksperimenter hvor du umiddelbart kan observere og forstå de indgående størrelser. Især når det volder besvær. Opstillingen forekom noget klodset, men alt i alt har det været sjovt. Det er også det der gør forsøget velegnet til usikkerhedsberegninger.

Elevvejledning

Formålet med denne øvelse er at eftervise formelen for en jævn cirkelbevægelse eksperimentelt.

Start med at opskrive Newtons anden lov $F = ma$ for en jævn cirkelbevægelse, så F kun afhænger af radius r , masse m , og frekvens f . Det er nemlig de størrelser vi kan måle i dette forsøg.

Forsøget går nu ud på at måle kraften, når kun en af de tre variable (r , m , f) varierer og de to andre fastholdes. Til eksperimentet benyttes forsøgsopstillingen der er opstillet bagest i fysiklokalet.

I de to tilfælde hvor det er masse og frekvens der varieres, er det meningen at radius skal fastholdes. Dette er imidlertid ikke muligt med denne forsøgsopstilling, og ved rapportskrivningen betragtes istedet den ikke-radiusafhængige størrelse F/r .

Skriv en rapport om eksperimentet.