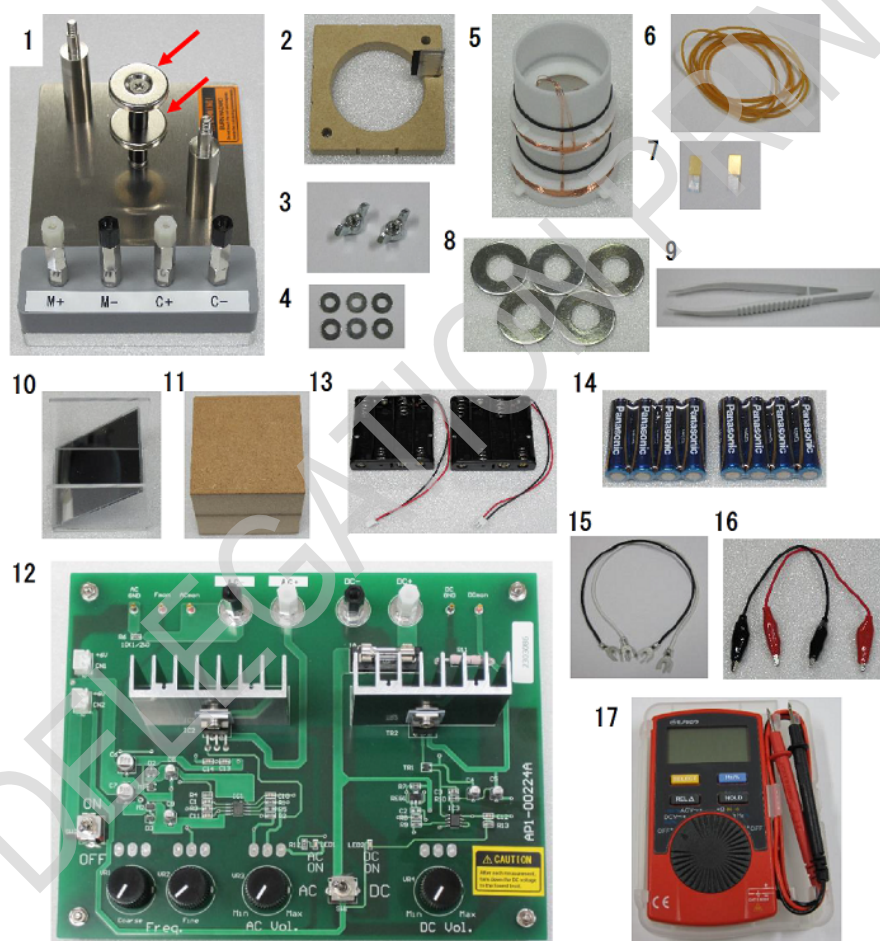


Massemåling (10 point)

I dette forsøg vil vi måle en masse. Massen måles ved at udnytte den karakteristiske resonans af den harmoniske oscillator.

Forsøgsopstilling

Nedenfor er en liste af de dele, der indgår eksperimentet (Figur 1). Hvis der er mere end ét eksemplar af en del, angives antallet i kantede parenteser: [].



Figur 1: Forsøgsudstyret

1. Monteringsplatform:

Bemærk: De to magneter over hinanden på monteringsplatformen danner et radiale, højdeuafhængigt homogent magnetfelt imellem sig nær centrum af magnetparret. Dette område kan antages homogent inden for ± 3 mm i højden.

2. Oscillatorpladen

3. Fingerskruer [2]:

Bemærk: Fjern 2 og 3 fra 1, når pakken med udstyret åbnes.

4. Skive [6]
5. Cylinderformet oscillator
6. Elastikker [6]
7. Positionsmarkør [2]
8. Ringformet lod [5]
9. Pincet
10. Spejl
11. Klods til spejlet
12. Strømforsyning:

Man kan skiftet mellem DC- og AC-tilstand med en knap.

I DC-tilstanden leverer strømforsyningen en konstant strøm. Drej på knappen mærket "DC Vol" for at indstille strømmen. Størrelsen af strømmen fås ved at aflæse spænding mellem "DCmon" og "DC GND" og benytte omsætningsfaktoren 1.00 A/V.

I AC-tilstanden virker strømforsyningen som en spændingskilde med en fast amplitude. Drej på knappen mærket "AC Vol" for at indstille spændingen. Størrelsen af AC-strømmen fås ved at aflæse AC-spænding mellem "ACmon" og "AC GND" og benytte omsætningsfaktoren 0.106 A/V.

Frekvensen (Freq.) kan indstilles ved at benytte knapperne "Coarse" (Grovindstilling) og "Fine" (Finindstilling).

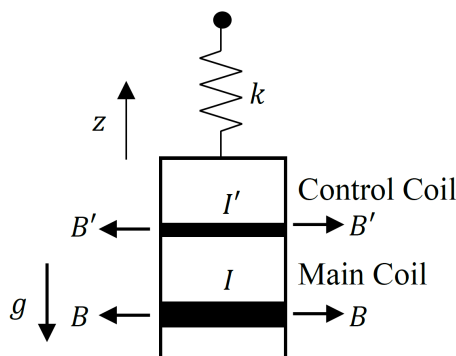
13. Batteriholder [2]
14. Batteri [8]
15. Ledning med u-formede kabelsko [2]
16. Ledning med krokodillenæb [2]
17. Digitalt multimeter (DMM):

Vælg ved hjælp af drejeknappen den ønskede måletilstand "DCV", "ACV" og "Hz".

Bemærk, at der på multimeteret vises en AC-spænding som, er root mean square (RMS) værdien, dvs. den effektive værdi.

Model af systemet

Figur 2 er en forenklet model af forsøgsopstillingen. Grundlæggende er der tale om en masse på en fjeder, der drives af en ydre påtrykt kraft.



Figur 2: Model af harmonisk oscillator

De relevante størrelser er:

- M : massen af den (cylinderformed) oscillator
- m : massen af et lod
- N : antallet af lodder
- g : tyngdeacceleration
- k : den effektive fjederkonstant hørende til den lodrette bevægelse
- z : oscillatorens lodrette position
- z_e : ligevægtspositionen af oscillatoren ved kraftligevægt uden gravitationelle og elektromagnetiske kræfter
- B : magnetfeltet fra hovedspolen, B' : magnetfeltet fra kontrolspolen
- L : længden af lederen i hovedspolen, L' : længden af lederen i kontrolspolen
- I : strømmen gennem hovedspolen, I' : strømmen gennem kontrolspolen
- α : positiv friktionskoefficient

Bevægelsesligningen er givet ved

$$(M + Nm) \frac{d^2 z}{dt^2} = -(M + Nm)g - k(z - z_e) + BLI + B'L'I' - \alpha \frac{dz}{dt}. \quad (1)$$

Samling af oscillatoren

1. Fjern oscillatorpladen fra monteringsplatformen. Montér de fire elastikker omkring oscillatorpladen i det viste mønster (Se figur 3(a)).
2. Indsæt den cylinderformede oscillator fra linealsiden i den kvadratiske åbning i midten af elastikkerne. Placer enderne af de lange kobbertråde i den modsatte side af den med linealen (Figur 3(b)).
3. Oscillatoren skal være ophængt ved hjælp af de 4 elastikker og 8 små tapper (markeret med røde cirkler på figur 3(c)). Set fra siden skal elastikkerne forme en trunkeret rombe med 2 tapper over og 2 tapper under.

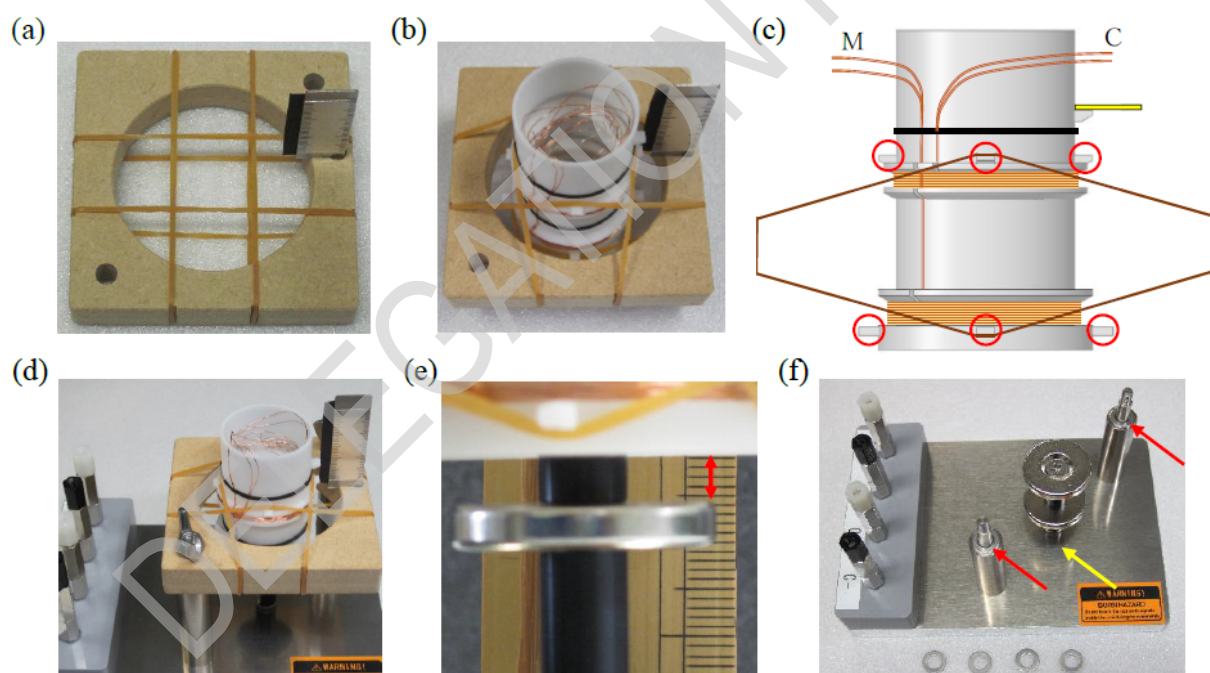
Bemærk: I dette forsøg kan vi antage at den effektive kraft fra elastikkerne opfylder Hookes lov.

4. Skru oscillatorpladen fast igen diagonalt med to fingerskruer. Linealen skal vende opad og modsat den grå terminalkasse (Figur 3(d)).

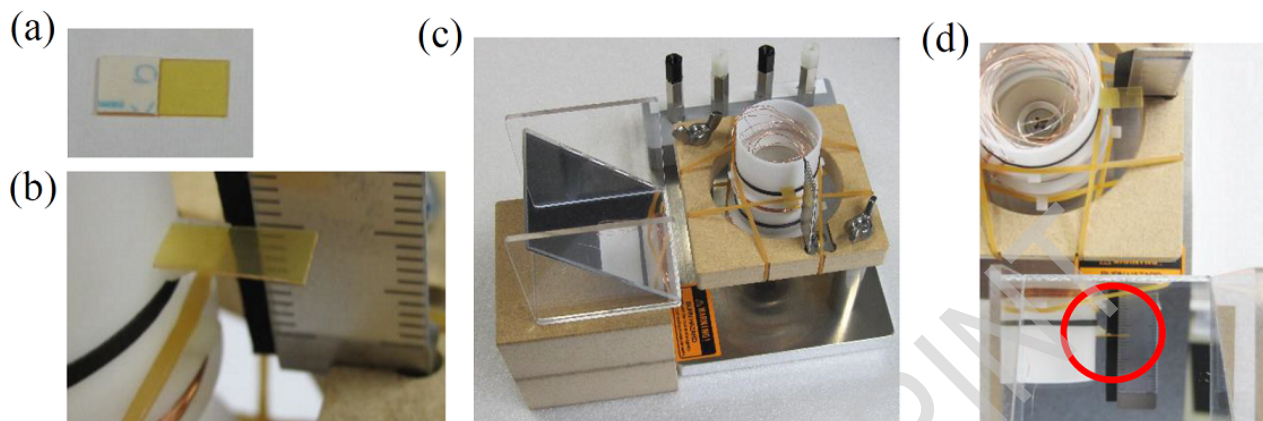
5. Sørg for at oscillatoren står oprejst. Den skal være parallel med den akse, som magneterne sidder på.
6. Hovedspolen skal være placeret nær midten af de to magneter, når den er i hvile. Dette kan kontrolleres ved at afstanden fra den øverste overflade af nederste magnet til bunden af oscillatorenhylsteret er 3 til 5 mm (Figur 3(e), markeret med en rød pil).

Hvis afstanden er for lav, kan du indsætte skiver under cylindrene, der holder oscillatorpladen (Figur 3(f), markeret med en rød pil). Hvis afstanden er for høj, kan du skrue magnetholderen af og indsætte skiver under den (Figur 3(f), markeret med en gul pil).

7. Fjern beskyttelseslaget på det dobbeltklæbende tape på positionsmarkøren (Figur 4(a)). Fastgør positionsmarkøren til den lille udstikkende tap på oscillatoren, så du kan måle dens position (Figur 4(b)).
8. Placer spejlet på den tilhørende klods (Figur 4(c)). Sørg for at du tydeligt kan se positionsmarkøren oppe fra gennem spejlet (Figur 4(d), rød cirkel).



Figur 3: Opsætning af oscillatoren.



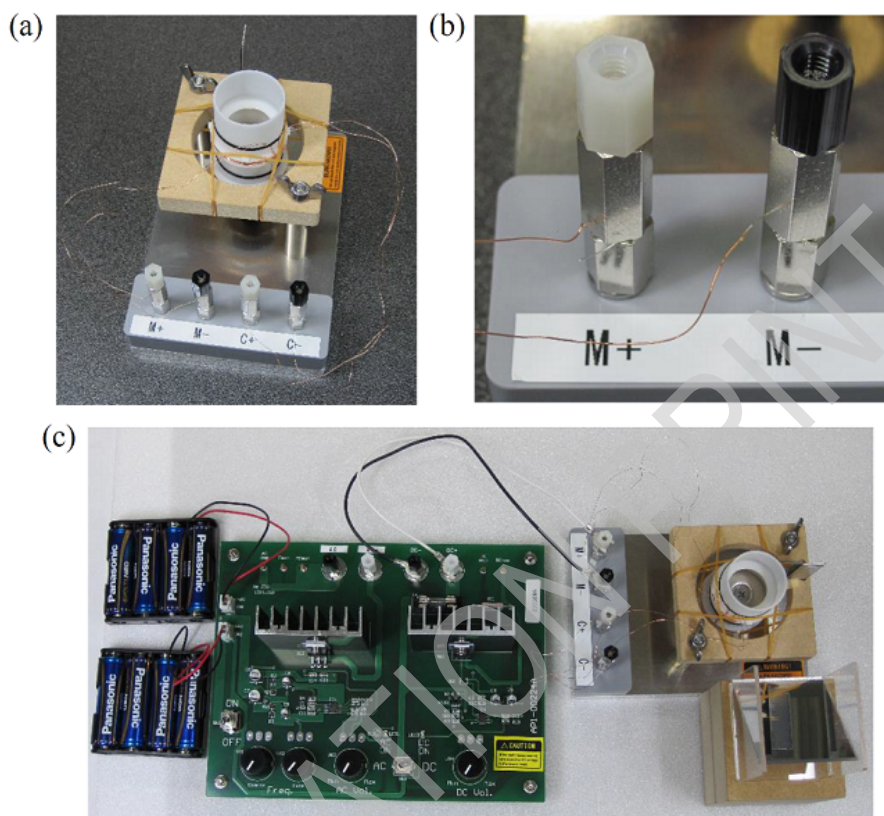
Figur 4: Opsætning af positionsmarkør og spejl.

Ledningsføring

1. Find og forbind forsigtigt det korrekte par af ledninger til hovedspolen (M) og kontrolspolen (C) (Figur 3(c)) inde fra oscillatoren, se Figur 3(b). Tjek at enderne af ledningerne er afisolerede.
2. Løsn skruerne ved M+ og M-, så der er plads til ledningerne.
Benyt det nederste mellemrum til ledningerne (Figur 5(a) og 5(b)).
Polaritet tjekkes om lidt.
3. Forbind på samme måde C+ og C-. (Polariteten betyder ikke noget.)
4. Sæt batterierne i batteriholderen og forbind til strømforsyningen (CN1 og CN2) (Figur 5(c)).
5. Benyt ledningerne med kabelsko til at forbinde M+ og M- til DC+ og DC- på strømforsyningen.
6. Indstil knap til DC og tænd for strømforsyningen.
7. Skru på "DC Vol" drejeknappen for at indstille strømstyrken. Tjek at oscillatoren bevæger sig 2 mm eller mere opad.

Hvis den bevæger sig ned ad, skal du ombytte ledningerne og herved polariteten og prøve igen.

Advarsel: Delene kan være varme. Pas på spoler og magneter. Skru ned for DC-strømstyrken mellem hver måling.



Figur 5: (a), (b) Tilslutning af ledninger til terminaler, (c) Hele opstillingen med forbindelsesledninger, strømforsyningen og batterier.

Test af oscillator

1. Benyt ledningerne med kabelsko til at forbinde M+ og M- til AC+ og AC- på strømforsyningen.
2. Indstil knap til AC og tænd for strømforsyningen.
3. Skru på "AC Vol" drejeknappen i retning med uret fra minimumsværdien og op til en fjerdedel omgang. Indstil frekvensen med "Coarse" drejeknappen for at starte oscillationen.
4. Indstil AC-spænding og frekvensen, så oscillationen får en amplitude på omkring $A = 3$ mm (Figur 6).

Justér på oscillatorens indstillinger, hvis oscillationen er ustabil.

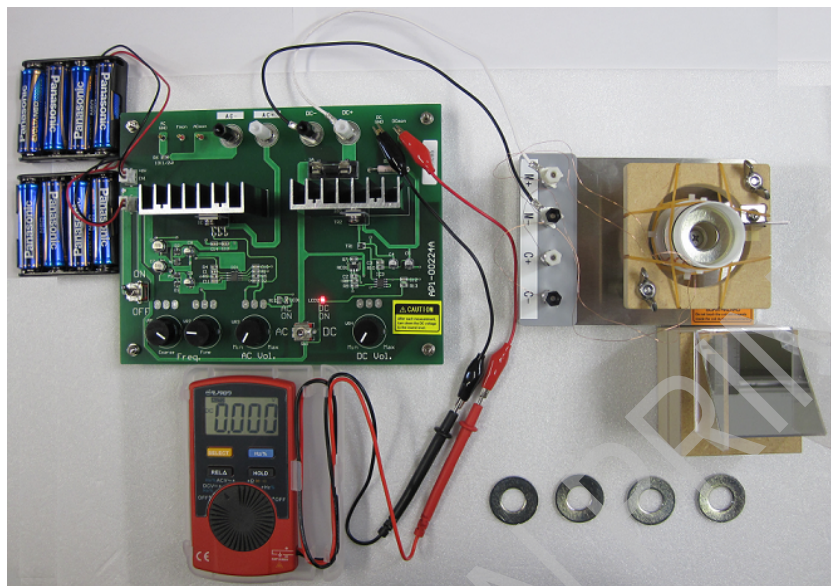
5. Fjern kablerne forsigtigt fra M+ og M-, og tilslut C+ og C- på til AC på strømforsyningen.
6. Tænd strømforsyningen og start oscillationen igen.



Figur 6: Oscillationen set gennem spejlet.

Del A. Hookes lov og elektromagnetiske kræfter (2.4 point)

- | | | |
|------------|--|-------|
| A.1 | Tegn på svararket de magnetiske feltlinjer fra de to identiske diskformede magneter med deres nordpoler rettet mod hinanden. | 0.4pt |
| A.2 | Forbind M+ og M- til DC-udgangen på strømforsyningen. Tilslut multimeterets terminaler for DC-strøm ved hjælp af ledningerne med krokodillenæbene (Figur 7).
Aflæs oscillatorhøjden z uden strøm og uden lodder. Det vil sige når $N = 0$.
Skriv dit svar i Tabel A.2 .
Placer et lod ($N = 1$) på den cirkulære kant ved den indre væg af cylinderen og mål oscillatorens højde z ved den nye ligevægtsposition.
Hvad skal DC strømmen I gennem hovedspolen være for at bringe oscillatoren tilbage til den oprindelige højde?
Gentag målingerne for N op til 5 og udfyld Tabel A.2 . | 0.6pt |



Figur 7: Ledningsføringen når multimeteret er tilsluttet. Oscillatoren med et lod ses til højre.

- A.3** Tegn en graf der viser sammenhængen mellem antallet af lodder N og højden z . Find hældningskoefficienten $a = \frac{\Delta z}{\Delta N}$ og usikkerheden på hældningskoefficienten ud fra grafen. 0.7pt

- A.4** Tegn en graf der viser sammenhængen mellem antallet af lodder N og strømstyrken I . Find værdien af b defineret ved $b = \frac{I}{N}$ og find usikkerheden på b ud fra grafen. 0.7pt

Del B. Induceret elektromotorisk kraft (3.0 point)

- B.1** Antag, at en AC-strøm med frekvensen f påtrykkes kontrolspolen uden et lod. Det er givet, at oscillatorhøjden varierer harmonisk med tiden: 0.2pt

$$z - z_0 = A \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

hvor z_0 er ligevægtshøjden ved kraftligevægt og A er amplituden af oscillationen. Opskriv et udtryk for amplituden V af den inducerede elektromotoriske kraft i hovedspolen.

- B.2** Forbind C+ og C- til AC-udgangen på strømforsyningen. Tilslut multimeteret til "Fmon" og "AC GND" for at aflæse frekvensen. Indstil både AC-frekvensen og spændingen for at frembringe en jævn oscillation med passende amplitude. Mål frekvensen f_B og skriv den på svararket. Tilslut multimeteret til "M+" og "M-". Fasthold frekvensen og varier spændingen, idet du måler oscillationens amplitude A og AC-spændingen V' induceret i hovedspolen, hvor $V' = V/\sqrt{2}$. Udfyld **Tabel B.2** på passende vis. 0.5pt

B.3 Tegn en graf der viser sammenhængen mellem amplituden A og spændingen V' . Find værdien af c defineret ved $c = \frac{V'}{A}$, og find usikkerheden på c ud fra grafen. 0.7pt

B.4 Beregn BL og foretag en usikkerhedsberegning ved at benytte resultaterne fra **B.3**. 0.4pt

B.5 Beregn værdien af m og k og foretag usikkerhedsberegning på begge størrelser ved hjælp af resultaterne fra **A.3**, **A.4**, og **B.4**. Du kan benytte $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ hvor det er hensigtsmæssigt. 1.2pt

Del C. Den masseafhængige resonansfrekvens (2.3 point)

I de følgende forsøg skal man benytte hovedspolen til at drive oscillatoren. Tilslut ledningerne på passende vis.

C.1 Opstil et udtryk for resonansfrekvensen f for en oscillator med N lodder. Benyt fjederkonstanten k' under bevægelse. Bemærk, at k' er forskellig fra k . 0.2pt

C.2 Driv oscillatoren ved at koble AC-strøm til hovedspolen. Mål resonansfrekvensen f , med forskellige antal lodder fra $N = 0$ til 5. Skriv svarene ned i **Tabel C.2**. Undgå at lodderne hopper. 0.5pt

C.3 Benyt resultaterne fra **C.2** til at tegne en graf, ud fra hvilken du kan bestemme $\frac{M}{k'}$ og $\frac{m}{k'}$. Skriv dine værdier på svararket. Hvis du har brug for at beregne yderligere fysiske størrelser, så skriv dem i de tomme felter i **Tabel C.2**. 1.0pt

C.4 Hvad er værdien af $\frac{M}{m}$? Beregn M og k' ved at benytte resultaterne fra **B.5**. 0.6pt

Del D. Resonanskarakteristik (2.3 point)

Når oscillatoren uden lodder er påvirket af en harmonisk varierende kraft med amplitude F_{AC} og frekvens f , er amplituden af oscillationen A beskrevet ved følgende resonanskarakteristik:

$$A(f) = \frac{F_{AC}}{8\pi^2 M f_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{(f - f_0)^2 + (\Delta f)^2}}. \quad (3)$$

Her er $\Delta f = \frac{\alpha}{4\pi M}$. Denne ligning er kun gyldig i det relevante frekvensområde, der opfylder $|f - f_0| \ll f_0$.

I denne del benyttes resonanskarakteristikken til at bestemme massen M af oscillatoren. Antag at ligning (3) altid gælder.

- | | | |
|------------|--|-------|
| D.1 | Driv oscillatoren ved at koble AC-strøm til hovedspolen. Indstil frekvens og spænding for at frembringe en resonans med passende amplitude. Notér AC-spændingen V_{AC}' mellem "ACmon" og "AC GND" på svararket. Benyt resultaterne fra B.4 , og omsætningsfaktoren 0.106 A/V til at beregne amplituden F_{AC} af den periodisk virkende elektromagnetiske kraft, der virker på oscillatoren. | 0.4pt |
| D.2 | Angiv i Tabel D.2 amplituden A af oscillationen, når frekvensen f varieres. Op-rethold en konstant amplitude F_{AC} af den påtrykte kraft gennem hele forsøget. Tegn en graf der viser sammenhængen mellem frekvensen f og amplituden A . | 0.9pt |
| D.3 | Benyt resultaterne fra D.1 og D.2 til at finde M . | 1.0pt |