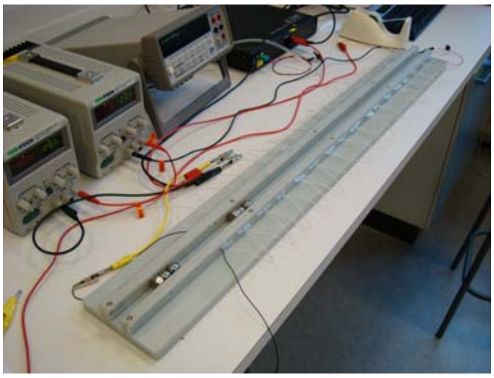
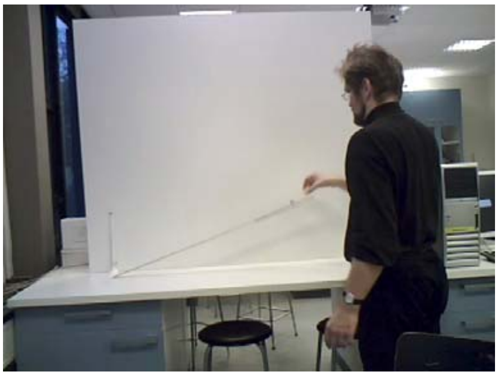
10033 MEKANIK OG FYSISK MODELLERING
EFTERÅR 2008
LABORATORIEØVELSE

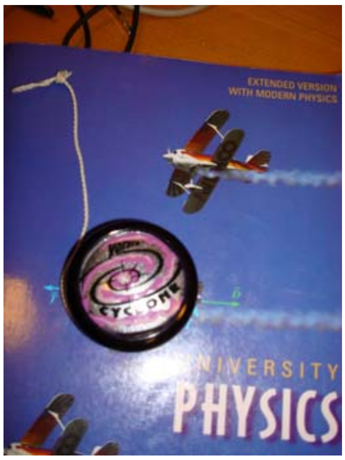
Mekanik legestue: Inertimoment og rotation

Gaussriffel, yo-yo og fald hurtigere end g

Placering: Bygning 307 stuen V, Nanoteket
Relevant tekst i University Physics: Kapitel 8, 9, 10.







Formål

Formålet er at opnå fortrolighed med bevægelse, hvori der indgår rotation.

Udstyr: Gaussriffel med magneter, kugler og fotoporte koblet til LabVIEW. Maple.
Yo-yo, bagskærm. Webcam Companion 2, Tracker.
Meterstok med kugler og elastik, bagskærm. Webcam Companion 2, Tracker.

Gaussriflen (2 timer)

Riflen består af to plasticskinner hvorimellem en magnet kan placeres. På højre side af magneten lægges f.eks. to stålkugler. Når en tredje kugle triller ind fra venstre med lille fart, bliver resultatet, at kuglen længst til højre skydes ud med væsentlig større fart. Hvorfor? Placeres en ny magnet længere til højre i riflen og lades denne også med f.eks. to kugler til højre, vil resultatet blive, at den nye kugle længst til højre skydes ud med endnu større fart.

Opgave 1: Vis, at hvis magneterne er ens og hver lades med lige mange kugler, kan farten v_n efter n stød udtrykkes ved farten v_1 efter første stød

$$v_n = \sqrt{n} \cdot v_1 \qquad (1)$$

Vink: Overvej kuglernes ændring i *potentiel energi* og gør rede for, at tilvæksten i *kinetisk energi* er den samme i hvert trin.

Opgave 2: Friktionen med underlaget sætter kuglen i rotation under skridningen indtil *periferihastigheden* v_{periferi} er nået op på den *translatoriske hastighed* v_t. Brug denne betingelse til at udlede, at det tidspunkt $t_{0,\text{rul}}$, hvor rulningen starter, opfylder

$$t_{0,rul} = \frac{2}{7} \cdot \frac{v_{start}}{\mu_k g} \qquad (2)$$

Udførelse

1) Først undersøges kuglens bevægelse efter sidste stød. Triggertiderne overføres til et regneark eller lignende, hvor de kan sammenlignes med en simulering af bevægelsen. Simuleringen skal indeholde *friktion* og *luftmodstand*, og der tages hensyn til *skridning* på det første stykke indtil *rulning* indtræffer.

2) Hvis der er tid, undersøges teorien (1) om hastighedsudviklingen.

Yo-Yo (ca. 1 time)

Opgave 3: Opstil en model for en yo-yo, der ruller fra hvile lodret ned ad snoren. Bestem et analytisk udtryk for den translatoriske acceleration i det tilfælde, hvor snoren er opviklet på en masseløs stang med radius *r* inde i yo-yo'en, hvis ydre radius sættes til *R*. Prøv efter!

Hurtigere end g (ca. 1 time)

Opstillingen består i al sin enkelhed af en skråtstillet meterstok, der holdes løst mod bordet, så den drejer om røringspunktet, når den løftede ende slippes. På meterstokken sættes en "vugge" af elastikker, hvor en kugle kan ligge. For passende indstillinger af systemet viser det sig, at en del af meterstokken vil accelerere hurtigere end *g*, accelerationen i frit fald, således at kuglen ikke kan "følge med" nedad. Dette observeres med videooptagelse i Tracker og forskellen i rejsetid analyseres forskellige steder på meterstokken og for forskellige startvinkler og sammenlignes med teorien nedenfor. Meterstokken startes med en hældning θ_0 og tiderne kaldes T_0 for kuglens frie fald og T_1 for et punkt en brøkdel γ ude ad meterstokken. Man får så

$$T_0 = \sqrt{\frac{2\gamma L \sin\theta_0}{g}} \quad og \quad T_1 = \sqrt{\frac{L}{3g}} \cdot \int_0^{\theta_0} \frac{d\theta}{\sqrt{\sin\theta_0 - \sin\theta}} . \qquad (3,4)$$

Vinklen ikke må være meget over 30°, hvis meterstokken skal være foran kuglen hele vejen.

Hurtigere end g. Teori

Fra *parallelakseteoremet, Steiners sætning* (9.19), får vi meterstokkens impulsmoment om røringspunktet med bordet:

$$I_P = I_{cm} + M\left(\frac{L}{2}\right)^2 . \qquad (5)$$

Opgave 4: Vis at dette give $I_P = 1/3\, M\, L^2$, hvor M er meterstokkens masse og L er dens længde.

Bevarelse af mekanisk energi giver

$$Mg \cdot \tfrac{1}{2} L \sin\theta_0 = Mg \cdot \tfrac{1}{2} L \sin\theta + \tfrac{1}{2} I_P \omega^2 , \qquad (6)$$

hvoraf fås

$$\omega = \sqrt{\frac{3g}{L}(\sin\theta_0 - \sin\theta)} . \qquad (7)$$

Opgave 5: Idet $\omega = \dot{\theta}$ skal du ud fra (7) gøre rede for, at faldtiden T_1 er givet ved (4).