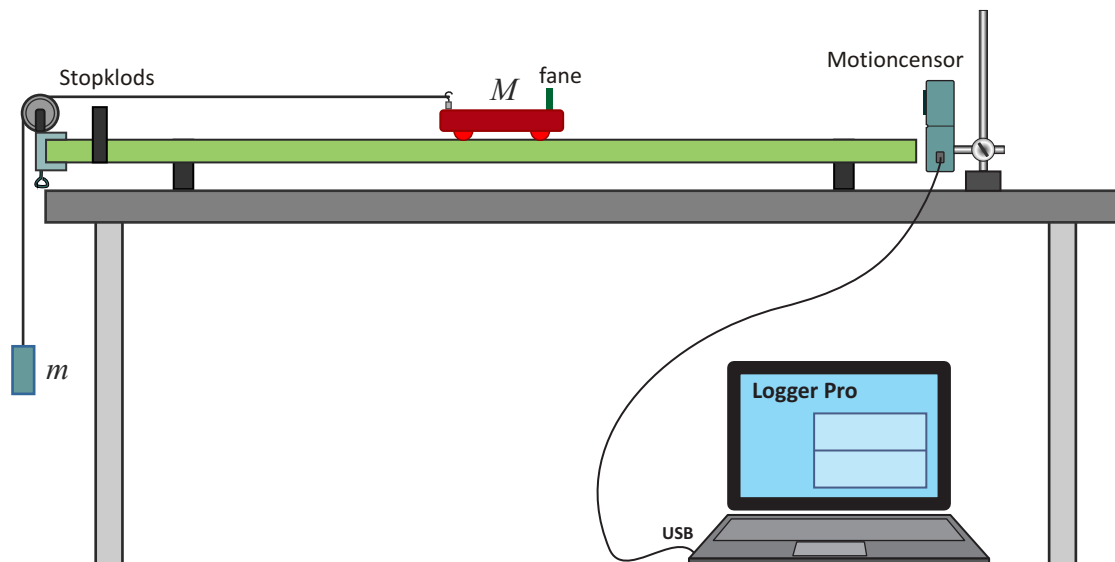


# Acceleration på vandret skinne

## Formål

Formålet med denne øvelse er at studere en vogns acceleration på en vandret skinne. Dernæst vil vi undersøge, om den mekaniske energi er bevaret, og hvis den ikke er, bruge tabet til at bestemme en værdi for *rullemodstandskoefficienten* for vognen. Endelig vil vi beregne en teoretisk værdi for snorkraften under bevægelsen.



## Teori

En vogn med hjul trækkes hen af en skinne ved hjælp af et frit hængende lod. Loddet er forbundet med vognen via en snor, som løber hen over en trisse. Ifølge teorien skal accelerationen blive følgende, hvis der ingen gnidning eller modstand er:

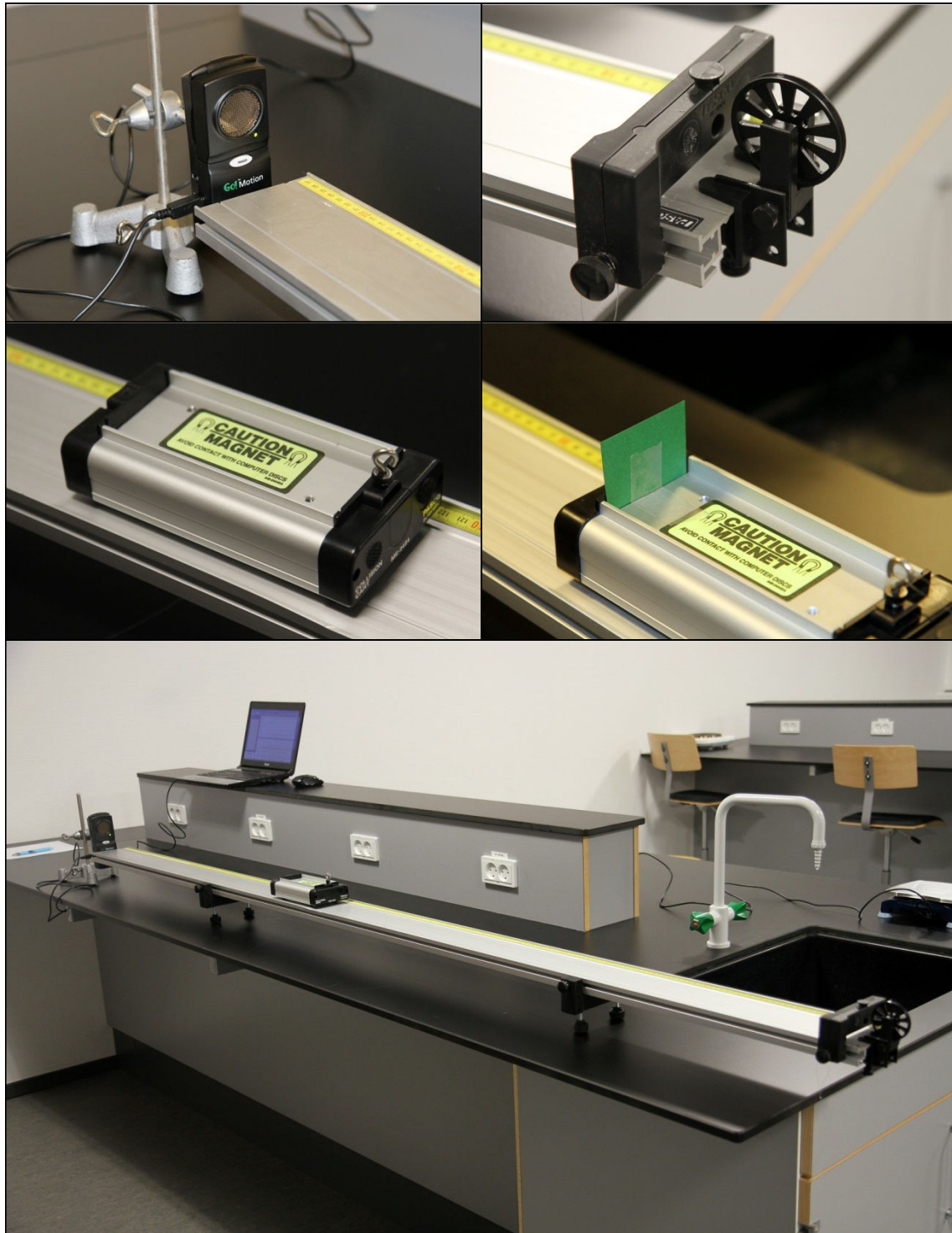
$$(1) \quad a_0 = \left( \frac{m}{m+M} \right) \cdot g$$

## Forsøg

En skinne anbringes vandret på et bord. Hvordan sikrer du dig, at skinnen virkelig er vandret? Der skal bruges en vogn med hjul, hvor hjulene kan anses for masseløse. En trisse spændes på skinnen og via en krog på vognen sørger man for at en let snor løber hen over trissen ned til et frit hængende lod. En *Motionsensor* fra firmaet Vernier anbringes, så den peger langs med skinnen, midt for. Den sættes i en af computerens USB stik. Når målingerne starter vil sensoren udsende ultralydbølger, der rammer vognen og reflekteres. Derved vil sensoren og computeren være i stand til automatisk at levere en  $(t,s)$ -graf og en  $(t,v)$ -graf for vognens bevægelse.

Foretag en række målinger, for eksempel 5-6 stykker, hvor du varierer loddets masse  $m$  og vognens masse  $M$ . Sørg for at vognen ikke kører for stærkt på skinnen – det vil kun-

ne beskadige apparaturet! Det kan være, at det er nødvendigt at flytte sensoren lidt tættere på vognen for at give ordentlige målinger. Bemærk at Motionsensoren kan klappes op, og at der under ”låget” er mulighed for to forskellige indstillinger: Vælg den med vognen!! Det kan også være, at du er nødt til at klæbe en lille fane på vognen for at sensoren giver ordentlige målinger.



Husk at notere vognens masse samt loddets masse ned i hvert delforsøg! Du kan sandsynligvis benytte standardindstillingerne for motionsensoren. Hvis du dog ønsker at ændre i dem, kan det ske i menuen *Forsøg > Dataopsamling...* (**Ctrl+D**) i Logger Pro.

$M$ (kg)	$m$ (kg)	$a_{\text{forsøg}}$	$a_0$	Afvigelse (%)

## Databehandling

Vi skal til databehandlingen:

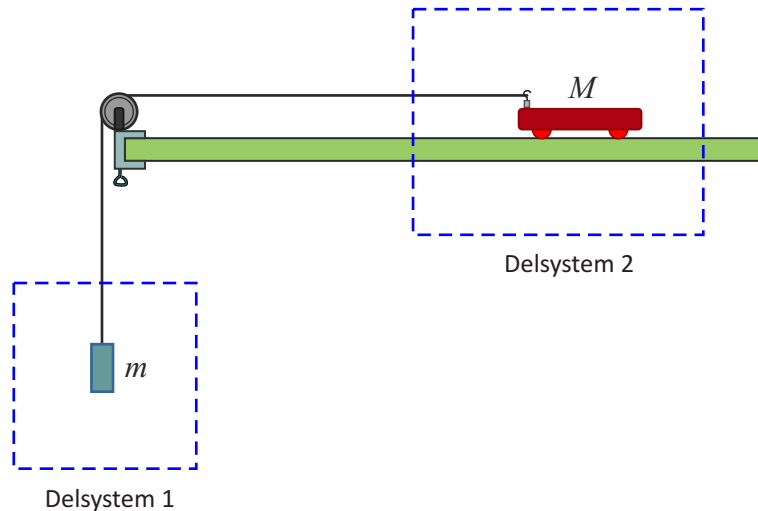
1. Betragt for hvert delforsøg  $(t, s)$ -grafene og  $(t, v)$ -grafene for vognens bevægelse. Identificer de dele af grafene du kan bruge til noget – nogle dele skal man måske se bort fra, fordi vognen var stødt mod stopklodsen eller lignende. Kan du bekræfte, at der er tale om en bevægelse med konstant acceleration? I så fald bestem værdien for den konstante acceleration ved at foretage et lineært fit i  $(t, v)$ -grafene. Sæt værdierne ind i søjlen  $a_{\text{forsøg}}$  i tabellen.
2. Indsæt for hvert enkelt delforsøg værdierne for masserne i formel (1) og skriv resultatet i tabellen. Disse værdier angiver de teoretiske accelerationer, man vil opnå, hvis alt var ideelt, og der ikke var nogen rullemodstand. Det er naturligvis ikke opfyldt. Udregn de procentvise afvigelser og skriv dem i tabellen.
3. For at tage hensyn til rullemodstanden kunne man i den teoretiske udledning af accelerationen indføre en bagudrettet rullemodstand på vognen:  $F_{\text{rul}} = \mu \cdot F_n$ , hvor  $\mu$  er rullemodstandskoefficienten og  $F_n$  er normalkraften på vognen. Dette giver anledning til følgende reviderede formel for den teoretiske acceleration:

$$(2) \quad a_{\mu} = \left( \frac{m - \mu \cdot M}{m + M} \right) \cdot g$$

Benyt formel (2) til i et enkelt af dine forsøg at bestemme en værdi for rullemodstanden, idet du som  $a_{\mu}$  i formlen benytter din aktuelle værdi for  $a_{\text{forsøg}}$ . Du må gerne anvende *solve*-funktionen her!

4. Vi har i dette forsøg benyttet en vogn på hjul. Hvorfor tror du, at hjulet har været så stor en succes i menneskets historie? Prøv at finde en fysisk begrundelse.
5. Vi går nu tilbage til det modstandsløse tilfælde. Udled formlen (1). *Hjælp*: Betragt figuren på næste side: Indtegn alle kræfterne på loddet i delsystem 1 og vognen i delsystem 2. Husk, at formel (1) gælder, hvis der *ikke* er gnidning eller rullemodstand af nogen art! Det kan oplyses, at snorkraften i delsystem 1 er lig med snor-

kraften i delsystem 2, såfremt man kan antage at trissen er *masseløs*. Dette gælder med rimelighed i forsøget, da trissen er meget let i forhold til de andre involverede masser. Brug nu Newtons 2. lov i hvert enkelt delsystem. Det giver anledning til ligninger med to ubekendte. De ubekendte er accelerationen  $a$  samt snorkraften  $F_{\text{snor}}$ . Løs dem og kom frem til formel (1).



6. I udregningerne under punkt 5 fik du samtidigt med formelen (1) udledt et udtryk for snorkraften  $F_{\text{snor}}$  i det modstandsløse tilfælde:

$$(3) \quad F_{\text{snor}} = \left( \frac{m \cdot M}{m + M} \right) \cdot g$$

Brug formelen til at udregne en teoretisk værdi for snorkraften i et enkelt af dine forsøg - ved at indsætte masser. Dette er altså den teoretiske værdi for snorkraften, hvis der ingen rullemodstand er!

### Bemærkning

I stedet for at vurdere den aktuelle rullemodstand i et forsøg ved brug af formel (2), kunne man have anvendt energibetragtninger til at give et bud på den. Der gælder nemlig, at rullemodstandens *arbejde* er lig med tilvæksten i mekanisk energi:

$$(4) \quad A_{\text{rul}} = \Delta E_{\text{mek}}$$

hvor der naturligvis ses bort fra luftmodstand, lejekræfter og lignende. Den eneste modstand antages at være rullemodstanden! Bemærk, at systemet her består af både vogn og lod! Så det er ændringen i mekanisk energi for både vogn og lod. Ændringen er negativ, da der er tale om et tab i mekanisk energi på grund af rullemodstanden. Rullemodstandens arbejde er givet ved  $A_{\text{rul}} = F_{\text{rul}} \cdot s \cdot \cos(180^\circ) = -F_{\text{rul}} \cdot s = -\mu \cdot M \cdot g \cdot s$ . Arbejdet er altså ligeledes negativt. Overvej eventuelt, hvordan man i forsøget kunne bestemme tabet i mekanisk energi?