

# Eksperimentelle fysikprojekter i gymnasiet

Af Ole Bakander, Allerød Gymnasium

En række eksempler på fysikprojekter fra Allerød Gymnasium; flere af dem lidt anderledes end traditionelle projekter.

I forbindelse med min tildeling af Ørstedmedaljen 2018 er jeg blevet opfordret til at skrive lidt om de fysikprojekter, jeg i årenes løb har givet mine elever.

I 1980'erne havde vi på Allerød Gymnasium forsøgsundervisning i fysik: "Større eksperimentelle projekter". Senere blev de til "Større skriftlig opgave (SSO)" og sidenhen til "Studieretningsprojekt (SRP)", og fra disse har jeg valgt nogle eksempler.

I årenes løb har jeg forsøgt at finde på lidt skæve og anderledes projekter. Et gennemgående træk i mange af mine opgaver er:

Opstil hypoteser, planlæg og udfør forsøg som kan teste hypoteserne,

eller:

Opstil differentialligning til beskrivelse af fænomenet, løs ligningen (ofte numerisk) og sammenlign med forsøg.

I flere af mine eksempler er teksten taget direkte fra opgaveformuleringen, som eleverne har fået, andre er beskrevet ved mine overordnede bemærkninger.

Et par eksempler fra dagligdagens fysik:

## Frysning af vand

Historien fra de nordlige lande går således: "Stiller du en spand vand med varmt vand og en med koldt ud i frostvejret, fryser den varme først".

Er dette blot en ammestuehistorie, eller kan den bekræftes eksperimentelt?

Udfør en række eksperimenter for om muligt at bekræfte påstanden. Opstil en simpel model for afkøling og frysning af vand for derved at kunne udpege årsager til effekten. Planlæg og udfør en række eksperimenter, som enten kan udelukke eller sandsynliggøre de mulige årsager til effekten.

## Brusebadsforhæng

Det er et kendt problem, at badeforhænget i et brusebad har en irriterende tendens til at suge sig indad og klæbe til den badende.

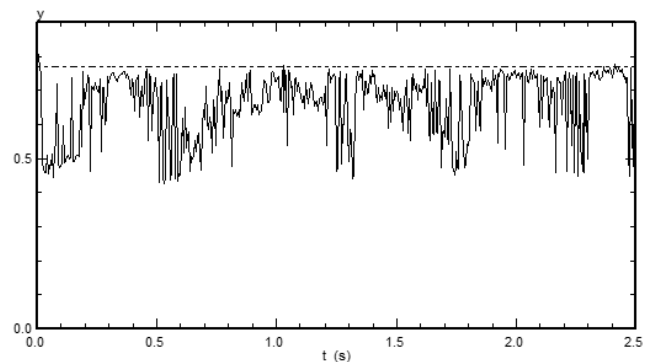
Opstil forskellige hypoteser til at forklare denne uønskede effekt. Planlæg og udfør en række eksperimenter, som enten kan udelukke eller sandsynliggøre de mulige årsager til effekten.

## Undersøgelse af turbulens i luft vha. ultralydsafstandsmåler

En CBR-ultralydsafstandsmåler opstilles i en fast afstand fra en væg. Mellem måleren og væggen stilles en tændt el-kogeplade. Da lydets hastighed er større i varm luft, ser det ud som om, at afstanden til væggen bliver mindre, og på grund af turbulensen får (tid,

afstand)-grafene et karakteristisk "istap"-udseende (se figur 1).

Måles der med forskellige hastigheder (fx med 1 s og 10 s mellem målingerne), ser graferne ens ud (sammenlign med fraktale grafer), med store spring mellem de enkelte målinger. Men når tiden mellem målingerne bliver mindre end typiske tidskonstanter for turbulensen, ses det, at nabomålinger er korrelerede, dvs. ligger tæt på hinanden. Her ses det, at typiske tider for turbulenserne er 0.05–0.1 s (figur 1).



Figur 1. Tilsyneladende afstand til væg anbragt 0,77 m fra måleren.

## Kaosfænomen: Dryppende vandhane

Tiden mellem to dryp måles som funktion af dryphastigheden (målt fx i mL/min). Ved lave hastigheder fås dryp - - - - dryp - - - - dryp, og (vandhastighed, deltid)-grafene er en vandret linie.

Ved større hastighed fås dryp - dryp - - - - dryp - dryp, og grafene "bifurkerer".

Ved stigende vandhastighed fås flere bifurkationer, som til sidst ender i kaos. Ud fra bifurkationerne lykkes det at bestemme Feigenbaums konstant (dog kun med ét betydende ciffer).

## Bevægelse i et rutsjebane-loop

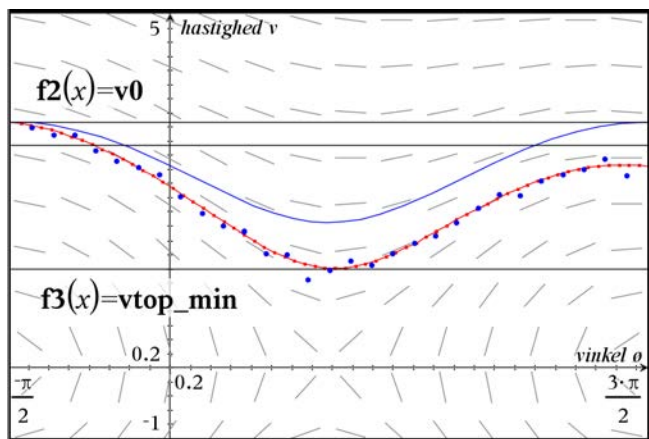
Beskriv energiforholdene i en rutsjebane-tur rundt i et cirkulært loop uden gnidning og luftmodstand, og bestem herfra minimumsværdien for forholdet mellem starthøjden på banen og loopets højde. Bestem dette forhold eksperimentelt.

Beskriv kræfterne på vognen i et cirkulært loop, og opstil en differentialligning til bestemmelse af farten  $v$  som funktion af vinkelpositionen  $\theta$  i loopet.

Udfør eksperimenter med bevægelse i et cirkulært loop, og sammenlign den målte hastighed  $v(\theta)$  med en løsning til ovenstående differentialligning.

Fortæl om "klotoiden", og gør rede for fordelene ved et klotoid-formet loop frem for et cirkulært.

Et resultat fra SRP-besvarelsen:

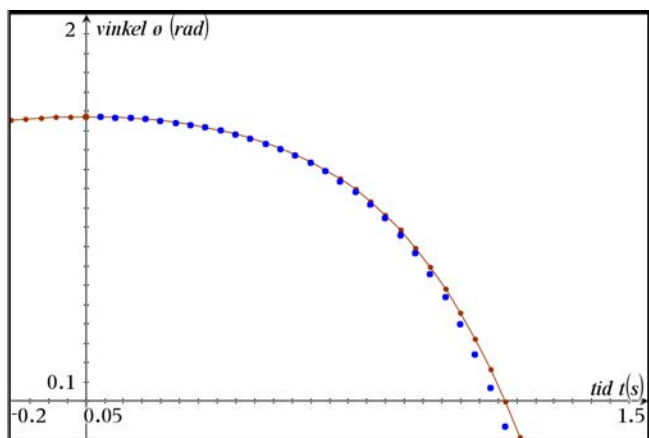


**Figur 2.** Hastighed som funktion af positionsvinklen i loopet.

Den blå graf er den teoretiske hastighed  $v(\theta)$  uden luft- og gnidningsmodstand, den røde er den numeriske løsning af differentialligningen med luftmodstand og gnidning. Blå punkter er målinger fra analyse af videooptagelse af en vogns bevægelse gennem loopet.

### Væltende stang

Opstil en differentialligning til beskrivelse af en stang, der vælter, og bestem vha. numerisk løsning en (tid, vinkel)-graf, der beskriver stangens bevægelse. Undersøg eksperimentelt stangens bevægelse, og sammenlign med teorien.



**Figur 3.** Positions vinklen for stangen som funktion af tiden. De blå punkter er målinger fra analyse af videooptagelse.

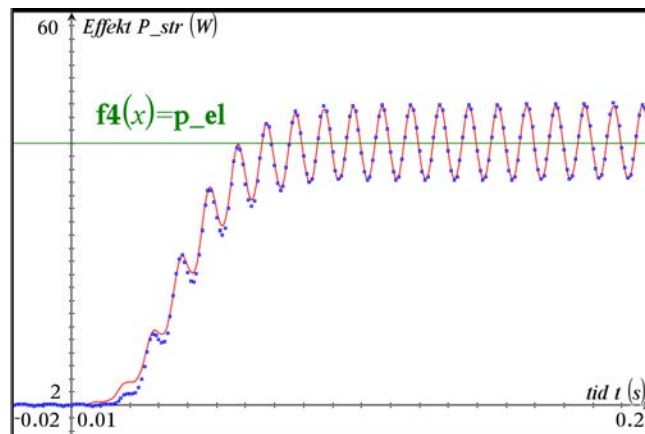
### Simulering af lysudsendelse fra glødepære

Udfør en teoretisk beregning af dimensionerne for glødetråden i en almindelig 230 V glødepære, samt en 12 V halogenpære. Udfør eksperimenter til målinger af lysudsendelsen som funktion af tiden for begge pærer for 50 Hz vekselstrøm.

Opstil en differentialligning til modellering af lysudsendelsen fra en glødepære som funktion af tiden, og benyt denne til at foretage simuleringer, som kan sammenlignes med de målte. Sammenlign ligeledes den målte lysudsendelse ved tænding og slukning af pærerne med en simulering.

Min bemærkning:

Her er el-lære, varmelære og strålingsteori i sving. Lidt overraskende er det muligt at fastlægge både glødetrådens længde og diameter alene ud fra den nominelle spænding og effekt, idet temperaturen er givet ud fra lysets farve (2700–3000 K).



**Figur 4.** Lysintensitet for en 230 V, 40 W glødepære, rød graf er en numerisk løsning til differentialligningen, blå punkter er målte værdier.

Projekter med astronomi:

Simulering af kometbane ud fra filmen “Deep Impact”.

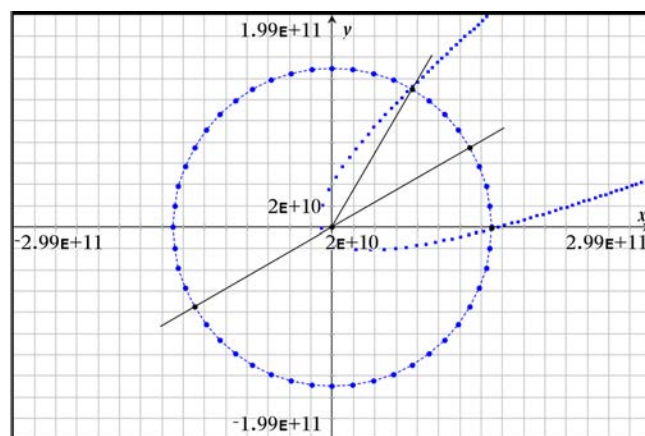
### Komet Wolf-Biederman

Bestem ud fra oplysninger i filmen “Deep Impact”, samt passende antagelser, banen for den fiktive komet “Wolf-Biederman”.

Gør rede for, at kometens indflyvningsretning ved nedslaget og klokkeslættet passer med din simulering af banen.

Min bemærkning:

Løsning af bevægelsesligningen (2. ordens differentialligning i to dimensioner) med forskellige indfaldsvinkler giver den eneste mulighed for kollision med Jorden ved anden krydsning af Jordens bane (den øverste på grafen, hvor kometen er på vej væk fra Solen).



**Figur 5.** Jordens og kometens bane (retrograd).

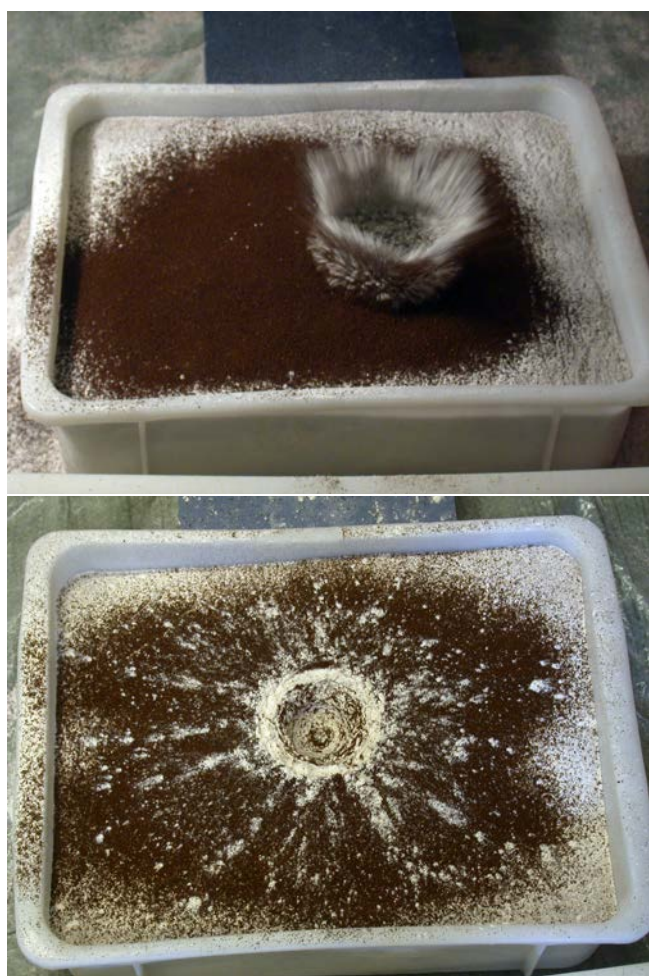
Afstanden mellem prikkerne i Jordens bane er ca. en uge og i kometens det halve. Det antages, at kometen kommer fra Oorts sky og derfor praktisk taget har undvigelseshastigheden fra Solen på 41,3 km/s.

## **Eksperimentel undersøgelse af nedslagskraterdannelse**

Gør rede for de væsentligste parametre, der kan være bestemmende for størrelsen af et nedslagskrater, og opstil en simpel teori for størrelsen af nedslagskratere. Udfør en række modelforsøg for at teste din teori for størrelsen af nedslagskratere. Sammenlign dine resultater med oplysninger om kendte nedslagskratere.

Min bemærkning:

Traditionelt har man i dette forsøg ladet forskellige kugler falde ned i en kasse med fugtigt sand, men det giver ofte et "krater", der blot er et aftryk af kuglen. Vi har fundet ud af, at et bedre materiale er en blanding af hvedemel og vaskepulver, her fås kraterer med diametre, der vokser med den kinetiske energi af kuglerne. Helt flot bliver det, når der strøs malet kaffe ud over overfladen, det giver tydelige "stråler" (såkaldte ejecta) ud fra krateret (figur 6).



**Figur 6.** Meteornedslag, modelforsøg.

## **Eksperimentel bestemmelse af krumningsradius for rumtiden på Jordens overflade**

Bestem, ud fra et tankeeksperiment med en lysstråles bevægelse i en accelereret elevator ("Einsteins elevator"), et udtryk for krumningsradius for rummet i et tyngdefelt med feltstyrken  $g$ .

Udfør forsøg til eksperimentelt at bestemme lysets hastighed og tyngdeaccelerationen, og benyt resultaterne herfra til at bestemme rummets krumningsradius

på Jordens overflade. Beregn den fejl, der ville opstå i positionsbestemmelsen vha. GPS-systemet, hvis der ikke var taget højde for relativistiske effekter.

Et par teoretiske opgaver:

## **Mørkt stof ud fra rotationskurver for Mælkevejen og Andromedagalaksen**

Udled udtryk for rotationskurven (dvs. rotationshastigheden som funktion af afstanden fra centrum) for forskellige relevante massefordelinger i en galakse (homogen kugle, homogen skive, punktmasse). Sammenlign den observerede rotationskurve for Mælkevejen med dine teoretiske udtryk.

Bestem, ud fra rådata, en rotationskurve for Andromedagalaksen, og sammenlign med dine teoretiske udtryk. Argumentér ud fra dette for eksistensen af såkaldt "mørkt stof".

## **Gravitationsstråling fra dobbeltstjernen PSR1913 +16**

Fortæl kort om dobbeltstjernen PSR1913 +16 og baggrunden for tildelingen af Nobelprisen i fysik 1993 til Taylor og Hulse.

Find i litteraturen et udtryk for den udstrålede effekt for gravitationsstrålingen for to punktmasser i kredsløb om hinanden, og omskriv om nødvendigt dette til brug på et dobbeltstjernesystem.

Udled et passende udtryk for den tidlige ændring af den mekaniske energi i et dobbeltstjernesystem. Gør i detaljer rede for, hvorledes man, ud fra kendte størrelser for dobbeltstjernen PSR1913 +16, indirekte kan påvise eksistensen af gravitationsstråling.

Gør i et eller flere tilfælde rede for, hvorledes man ud fra direkte observerede størrelser kan udlede værdier for væsentlige parametre for dobbeltstjerne-systemet PSR1913 +16.

SRP-Formidlingsopgave i fysik og dansk: Artikel til "Illustreret Videnskab" om kvarker og farvekraft.

## **Om kvarker og farver, en populærvidenskabelig artikel**

Gør rede for "Standardmodellens" billede af elementarpartikler og kræfter. Forklar, hvorfor det ikke er muligt at isolere enkelte kvarker. Gør rede for nukleonernes masse. Skriv en populærvidenskabelig artikel om indholdet i "Standardmodellen", og foretag en refleksion, hvor du bl.a. kommer ind på målgruppen samt brug af billedsproglige virkemidler.

En SSO-opgave i matematik:

## **Fordelingen af første ciffer**

Bestem fordelingen af første ciffer for forskellige eksempler på empirisk talmateriale, og angiv et matematisk udtryk som kan beskrive fordelingen.

Gør rede for forskellige modeller, der kan forklare/antype en forklaring på den observerede fordeling af første ciffer.

Fortæl om mulige anvendelser af fænomenet.



Et hurtigt 1.g-forsøg som eksempel på ligefrem proportional sammenhæng:

### Vægten af vægte

#### 1. Formål

Formålet med dette eksperiment er at undersøge sammenhængen mellem den målte masse  $m$  og antallet  $n$  af vægte.

#### 2. Apparatur

Til forsøget benyttes: 6 stk. elektroniske køkkenvægte

#### 3. Udførelse

De seks køkkenvægte tændes, og det kontrolleres, at de alle er nulstillet. Nu stilles vægtene oven på hinanden, så de danner et tårn, og deres visninger  $m$  noteres. De sammenhørende værdier af  $n$  noteres således, at den øverste får nummeret 0 og den nederste nummeret 5.

#### 4. Databehandling

Tegn en  $(n, m)$ -graf. Hvad ligner grafen? Analysér

vha. en passende regression. Hvad viser det om sammenhængen mellem  $m$  og  $n$ ?

Ud fra denne graf kan du bestemme en relevant værdi, hvilken?

Dette var en lang liste af nogle af mine fysikprojekter, der er lidt anderledes end de traditionelle. Jeg håber, at de kan være til inspiration.



Ole Bakander er kandidat fra Københavns Universitet i 1976, med hovedfag i fysik og bifag i matematik samt speciale i eksperimentel kernefysik. Siden 1980 ansat på Allerød Gymnasium, hvor han underviser i fysik, matematik og astronomi. Fra 1986 til 2016 ansat som ekstern lektor på IMFUFA, Roskilde Universitet.

## Fysikhistorie – bogen “Historisk Fysik” og hjemmesiden [www.fysikhistorie.dk](http://www.fysikhistorie.dk)

Af Frank Nielsen og Else Høyrup

Omkring år 1900 udgav de to højskolelærere Poul La Cour og Jacob Appel værket *Historisk Fysik*. Værket var stort, to bind, hvert på 500 sider. La Cour og Appel arbejdede på Askov Højskole, ca. 10 km vest for Kolding. Højskolebevægelsen var dengang en meget vigtig del af den danske kultur, og den henvendte sig især til unge, der arbejdede i landbruget.



Figur 1. Poul La Cour (1846–1908).

Poul La Cour må have været hovedforfatter på værket, og ud over sit arbejde som højskolelærer arbejdede

han også som fysiker. Han var fx den første, der på samme tid kunne sende flere telegrafsignaler gennem samme ledning.

Det gjorde han ved at sende signalerne med forskellige frekvenser. Frekvenserne blev skabt ved stemmegaffer. La Cour byggede også i Askov den første danske vindmølle, der lavede strøm.

Jacob Appel var som helt ung elev af La Cour, og han blev senere ansat ved højskolen. Her underviste han, og han bidrog betydeligt til færdiggørelsen af bøgerne. Senere blev han minister for kirke og undervisning, nævnt i denne rækkefølge.

Da jeg (Frank) som ung blev ansat ved Matematisk Institut på Polyteknisk Lærestalt, gjorde professor Mogens Pihl mig opmærksom på bøgerne *Historisk Fysik* af Poul La Cour og Jacob Appel. Han anså disse bøger for klassiske værker i dansk litteratur; altså ikke blot i videnskabelig litteratur, men også betragtet som skønlitteratur. Jeg læste værket, og jeg blev enig med Mogens Pihl. *Historisk Fysik* beskriver fysikkens udvikling fra oldtiden til midten af 1800-tallet. Værket beskriver fysikerne som mennesker, og det indeholder beskrivelser af fysikernes faglige og menneskelige relationer til hinanden. I 1966 lykkedes det Mogens Pihl at få offentliggjort en ny udgave af bøgerne. Der var tale om et fotografisk genoptryk, så der blev ikke foretaget ændringer i forhold til den oprindelige udgave.

Mange år senere, omkring år 2000, var computeren og begrebet hjemmeside indført. Jeg fik så sammen med