

3 i en Galileoscope

NIELS ELBRØND HANSEN, Frederiksberg Gymnasium

Når man er på studietur i fysik med en klasse, som jeg netop har været, er det et problem, hvis udstyret fylder for meget. Her viste det sig, at Galileoskoptet var fortrinligt at medbringe, idet det kan anvendes på forskellig vis.

Denne lille, billige og fleksible kikkert blev udviklet og fremstillet i forbindelse med det internationale astronomiår i 2009. Herhjemme har det i perioder været muligt at købe kikkerten gennem Carsten Andersen ved Bellahøj Skole i forbindelse med projektet *Børn af Galileo*, se bornafgalileo.dk.

Kikkerten kan selvfølgelig anvendes som et almindeligt teleskop, og da planeternes placering i slutningen af marts var gunstig for os på turen, fik vi set Jupiters fire måner, Venus og Månen, der alle var tæt placeret på hinanden først på aftenen.

Vores studietur gik til Malta og havde overskriften *Sol over Malta* med afsæt i fagene biologi C og Fysik A. Da arbejdet tillige skulle munde ud i en studieretningsopgave, valgte vi at følge energikæden fra Solens midte med fusionsprocesser, transport til overfladen, udstråling fra Solens overflade, indstråling på Jorden gennem atmosfæren, absorption i stoffer (atmosfæren, papir, vand), planters farver i forskellige vanddybder, plantetilpasninger, zonerings mv.

Camera obscura

I forbindelse med fysikdelen var Galileoskoptet et fund. Det kan skilles ad, og ved at pille begge linser ud og anbringe et stykke stanniol med et lille hul forrest og et stykke kvadreret papir bagerst, har man hurtigt et camera obscura. Kikkerten rettes mod Solen, billedets diameter samt rørets længde måles, og vha. den astronomiske enhed bestemmer man derpå let Solens diameter med rimelig nøjagtighed.

Passagetiden for Solens skygge hen over en af de lodrette streger og kendskab til Solens vinkeldiameter (ca. 30') giver ved en simpel beregning døgnets længde. Eleverne observerede dog, at tiderne blev væsentlig kortere, når de blev målt ved middagstid, så der skal foretages en korrektion, når Solen bevæger sig skråt hen over papiret.



Foto: Erik Frausing



Figur 1

Galileoscope med monteret messinglod og termoføler på tagterrassen under en måling af solintensiteten.

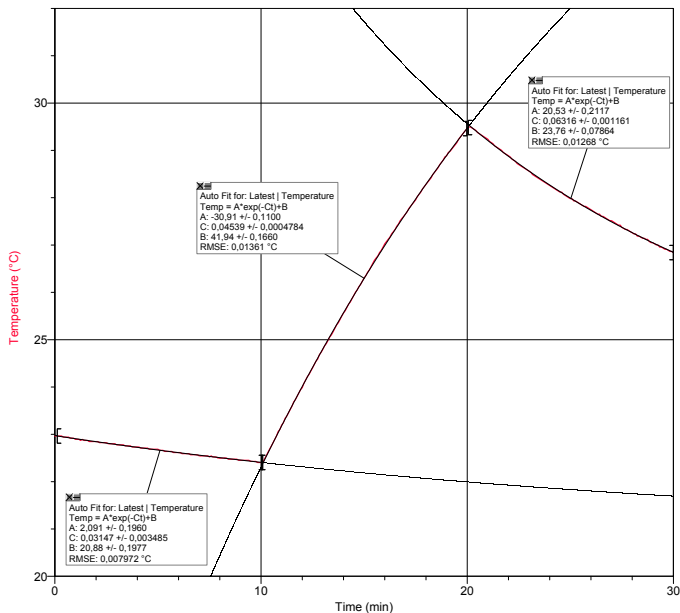
Måling af solarkonstanten S_0

Det var endvidere et mål med studieturen at gennemføre et projekt til bestemmelse af solarkonstanten S_0 med størst mulig nøjagtighed. Hertil anvendte vi også Galileoskoptet med monteret linse foran, men uden okular. I et 200 g messinglod blev der boret et 4 mm hul næsten helt gennem loddet. Det passer til en termoføler, der via LabPro fra Vernier kan kobles til en computer, hvor temperaturen opsamles med LoggerPro. Loddet med et stykke isolerende bølgepap rundt om passer præcist til at ligge inde i kikkerten, og termoføleren med ledning kan føres ud gennem røret til okularet. Et stort papstykke placeres foran på kikkerten med et lille hul ved det forreste sigtekorn og et lille papstykke anbragt ved det bagerste sigtekort, gør det let at centrere kikkerten mod Solen.

Der måles i 10 minutter med et stykke stanniol foran linsen, 10 min hvor det er fjernet og igen 10 min med stanniol. For at lave en god bestemmelse af solarkonstanten er det vigtigt med mange målinger spredt over hele dagen, og da succesra-

Figur 2

Observation af Venus, Jupiter og Jupiters måner.



Figur 3
Temperaturforløbet i messingloddet under måling den 26. marts 2012 kl. 12:43 – måling startet kl. 12:28, slut kl. 12:58.

For at finde solstrålingens intensitet $S(h)$ ved den aktuelle solhøjde h , mangler vi blot at finde det areal A , som er blevet bestrålet. Hertil anvendes lensens diameter på 45 mm. Da linsen fokuserer strålingen, så det belyste areal på messingloddet bliver noget mindre, minimeres – i forhold til et tilsvarende forsøg uden linse – også problemet med en evt. dårlig centrering af kikkerten.

Bestemmelse af solhøjden

Solhøjden h skal samtidig bestemmes. Det blev også gjort på tagterrassen, der udgør et stort koordinatsystem. En kosterkaft med længden $l = 1,20$ m blev opsat på den østlige mur og koordinaterne til placeringen udmålt. På gulvet anbringes en mønt som rører den runde top af kosterkaftens skygge. Koordinaterne til røringspunktet udmåles nu til forskellige tidspunkter dagen igennem. I et regneark udregnes for hvert punkt afstanden til kosterkaften samt solhøjden. Solhøjden som funktion af tiden

ten er lille, er det en møjsommelig proces at skulle gennem de mange målinger. Men når der nu findes en tagterrasse på hvert hus i Mellieha Holiday Center, kan det gøres ved at mange hold foretager målingerne på skift.

Efter at have kasseret omkring halvdelen af målingerne på stedet stod vi tilbage med 12 sæt målinger (2 til hvert hold), der skulle analyseres. Ved hjælp af LoggerPro fittes de tre dele af temperaturforløbet med eksponentialfunktioner, idet vi går ud fra at Newtons afkølingslov er gældende. De tre parametre A , B og C , som LoggerPro giver for hver af de tre kurver kan så bruges til at definere de samme tre funktioner på TI-Nspire – $f_1(t)$, $f_2(t)$ og $f_3(t)$ hhv. før, under og efter belysning.

Ved at løse ligningerne $f_1(t) = f_2(t)$ og $f_2(t) = f_3(t)$ bestemmes tidspunkterne t_1 og t_2 for hhv. start og stop for måling uden stanniol og dermed den faktiske tid for indstråling, $\Delta t = t_2 - t_1$. For på bedste vis at korrigerer for omgivelsernes indflydelse på vores resultat indlægges vi nu en lodret linje, så arealet mellem graferne for $f_2(t)$ og $f_1(t)$ er lige så stort som arealet mellem graferne for $f_3(t)$ og $f_2(t)$. Det søgte tidspunkt t_3 beregnes med TI-Nspire ved at løse ligningen

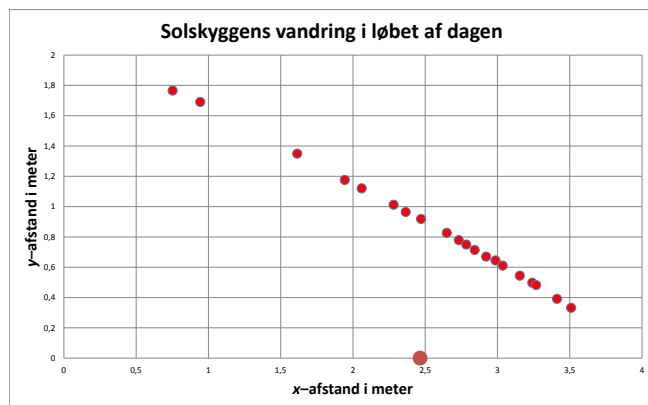
$$\int_{t_1}^{t_3} (f_2(t) - f_1(t)) dt = \int_{t_3}^{t_2} (f_3(t) - f_2(t)) dt$$

Hvis man forestiller sig, at afkølingen af messingloddet fortsatte langs grafen for $f_1(t)$ indtil dette tidspunkt t_3 , og loddet momentant blev tilført den samlede indstrålede energi fra hele tidsrummet Δt , så vil der ske et spring til grafen for $f_3(t)$ og afkølingen vil derefter følge dette forløb. Der er således kompenseret for omgivelsernes indflydelse, og som den reelle temperaturstigning ΔT anvendes nu værdien

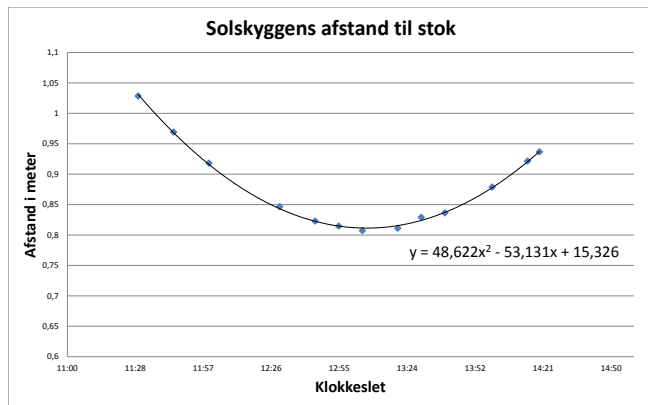
$$\Delta T = f_3(t_3) - f_1(t_3)$$

Den tilføede energi ΔE samt effekten P beregnes derpå ved

$$\Delta E = m \cdot c \cdot \Delta T \text{ og } P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$



Figur 4
Et koordinatsystem er indlagt på tagterrassens gulv. En stang er placeret lodret ved den store røde plet. De øvrige punkter er toppen af skyggen fra stangen til forskellige tidspunkter i løbet af dagen – 26. marts 2012.



Figur 5
Skyggenes længde 26. marts 2012 omkring middagstid fittet til et andengradspolynomium.

fittes omkring middag til en parabel. Ved at differentiere udtrykket mht. tiden bestemmes det tidspunkt, hvor Solen kulminerer, dvs. det tidspunkt, hvor der er *sand middag*.

Med kendskab til sand middagstid kan de enkelte observationers timevinkel findes som tidsforskellen i timer ganget med 15 grader. Timevinklen t regnes negativ før middag og positiv efter middag. Tidspunktet for de enkelte målinger er valgt midt i tidsrummet under belysning. Dato for observationen giver Solens deklination δ ved udtrykket

$$\delta(n) = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{284 + n}{365} \cdot 360\right)$$

hvor n er antal dage siden nytår. Stedets breddegrad φ bestemte vi med gps, hvorefter solhøjden h kan beregnes af udtrykket

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(t)$$

Solhøjden beregnet på denne måde sammenholdes med skygjelængdemålingerne ovenfor. På nær en enkelt måling er overensstemmelsen bedre end 1%.

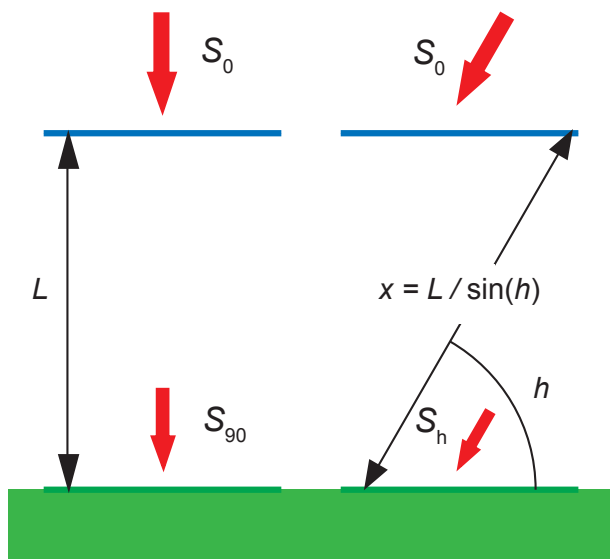
Korrektion for absorption og spredning i atmosfæren

Der er nu 12 sammenhørende beregninger af solintensitet S og solhøjde h , der skal analyseres. Forsøg viser, at ved absorption og spredning af lys aftager strålingsintensiteten eksponentielt. Dette gælder også i vores tilfælde når lyset passerer gennem atmosfæren.

Intensiteten S ved jordoverfladen kan vi altså skrive som:

$$S = S_0 \cdot e^{-k \cdot x}$$

hvor S_0 er solarkonstanten og k er den såkaldte absorptionskoefficient, som afhænger af luftens indhold af vanddamp, støv etc., og x er den vejlængde, som lyset har måttet passere gennem atmosfæren, jf. figur 6.



Figur 6
Sammenhængen mellem solhøjden h og sollysets vejlængde x gennem atmosfæren.

Hvis vi ser bort fra Jordens krumning, får vi et udtryk for sammenhængen mellem solhøjde h og lysets vejlængde x gennem atmosfæren.

$$x = \frac{L}{\sin(h)}$$

hvor L er tykkelsen af atmosfæren. Udtrykket for S kan dermed også skrives som:

$$S = S_0 \cdot e^{-k \cdot \frac{L}{\sin(h)}}$$

Vi tager nu den naturlige logaritme på begge sider i dette udtryk og får

$$\ln(S) = \ln(S_0) - k \cdot L \cdot \frac{1}{\sin(h)}$$

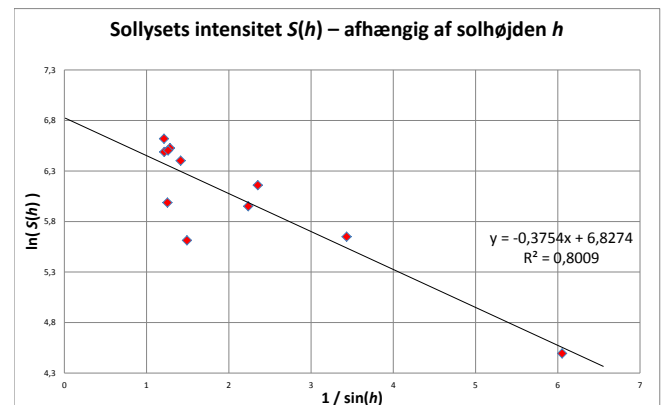
Når vi har målt samtlige værdier for S ved forskellige solhøjder h , foretager vi en afbildning af

$$\ln(S) \text{ som funktion af } \frac{1}{\sin(h)}$$

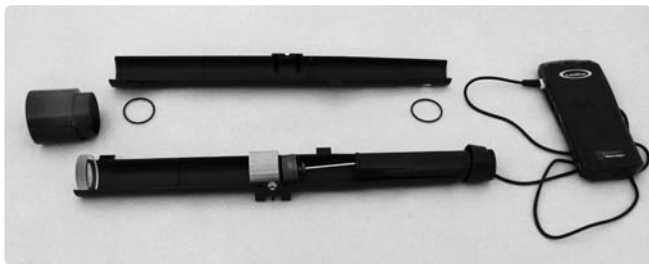
og forventer derfor en ret linje, hvor vi ved lineær regression kan bestemme S_0 ud fra grafens skæring med $\ln(S)$ -aksen. I figur 7 er samtlige målinger vist og skæringspunktet med $\ln(S)$ -aksen er bestemt til 6,83, hvilket er 5,4 % under det forventede. Dette giver en værdi for solarkonstanten på $S_0 = 923 \text{ W/m}^2$, hvilket ligger 32 % under den nyeste værdi på $S_0 = 1.362 \text{ W/m}^2$ målt med satellit uden for atmosfæren.

Den store spredning af data ved stort set samme solhøjde kan sammenholdes med elevernes notater om dis og små slørskyer under målingerne. De laveste værdier kan derfor tilskrives formindsket indstråling pga. disse fænomener, hvorfor vi efter valg af de øverste målinger i diagrammet, se figur 8, får en forbedret bestemmelse af skæringspunktet til 7,17, der nu blot afviger med 0,7 % og solarkonstanten får en værdi på $S_0 = 1.301 \text{ W/m}^2$ eller blot 4,4 % under den forventede værdi.

Ved aflæsning for $h = 90^\circ$ fås $\ln(S_{90}) = 6,73$, der giver $S_{90} = 837 \text{ W/m}^2$. Dvs. den mindste absorption og spredning gennem atmosfæren, der opnås når Solen står i zenit, udgør ca. 36 % af solarkonstanten.



Figur 7
Den målte sammenhæng mellem sollysets intensitet og solhøjden.



Figur 9
 Det adskilte Galileoscope med messinglod, isolering og målesonde til temperaturmåling.

Figur 8
 Den målte sammenhæng mellem sollysets intensitet og solhøjden for udvalgte målinger.

