

Det grønne glimt – en god historie

Af Frank Bason, Silkeborg Amtsgymnasium.

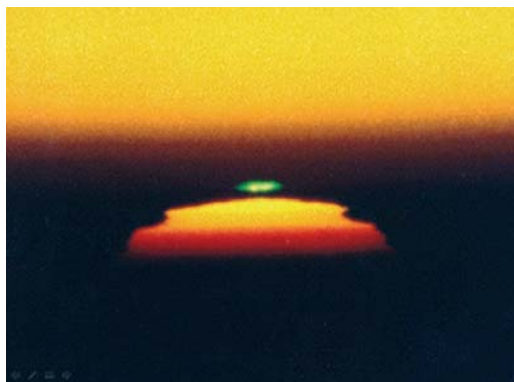
Følgende legende fra det skotske højland citeres blandt andet i Jules Vernes roman *Le Rayon-Vert* [1]:

Those who have seen the green ray are impossible to deceive in matters of love: at its appearance all deceit and falsehood are done away, and he who has been fortunate enough once to behold it is able to see closely into his own heart and the read the thoughts of others...

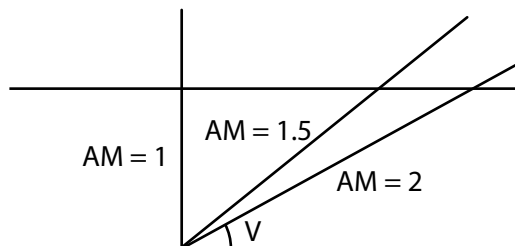
Dette indlæg beskriver kortfattet det fysiske grundlag for det atmosfæriske fænomen, der på dansk betegnes det grønne glimt. Den interesse-rede læser opfordres til selv at gå på opdagelse på nettet og i den omfattende litteratur om fænomenet [2].

Indledning

Efter gymnasireformen skal vi være endnu mere opmærksomme på, at eleverne skal motiveres med udgangspunkt i dagligdagen, helst ledsaget af engageret historiefortælling. Med held vil eleverne blive så interesserede og nysgerrige, at vi derpå kan lære dem fysik på et fagligt niveau, som vi kan være bekendt. Her er så en underholdende historie, der måske kan være til glæde for fysik- og naturgeografikolleger og deres elever. Historien har gode tværfaglige (transfaglige) aspekter, der med fordel vil kunne udnyttes i det naturvidenskabelige grundforløb.



Figur 1.



Figur 2.

Lad det blive afsløret med det samme, at der faktisk findes billeder af det mystiske grønne glimt (figur 1). Dette sjældent observerede fænomen kan opleves lige ved solnedgang (eller solopgang), når solskivens overkant er ved at passere horisonten. I følgende beskrivelse af den videnskabelige baggrund for det grønne glimt nævnes konsekvent solnedgang. Oplevelsen kan også få tidligt om morgenen, når solen står op, men blot med ombyttet tidsforløb. I Arktis eller Antarktis befinder solskiven sig ved horisonten i lange perioder på visse årstider, og her er der gode muligheder for at iagttage det grønne “glimt” i ro og mag.

Solskivens farveskift

Når solen går ned på en klar dag med god sigtbarhed helt ude i horisonten, har de fleste bemærket, at solskivens farve ændres fra hvid til gul til orange for så til sidst at blive rødlig, inden synet af solskiven helt forsvinder. Farveskiftet skyldes jo, at solens direkte stråler skal passere tykkere og tykkere lag af atmosfæren, desto mindre solens elevationsvinkel er.

Det er nyttigt i denne forbindelse at anvende begrebet luftmasse M , idet $M = 1$ svarer til, at den direkte indstråling passerer netop ét atmosfærelag: solens elevationsvinkel v er 90 grader, altså solen er lige oven over iagttageren [3]. Er solens elevationsvinkel 45° , bliver luftmassen $M = 1,414$. For elevationsvinkler større end ca. 25° gælder med god tilnærmelse, at $M = 1/\sin(v)$. Begrebet illustreres i figur 2.

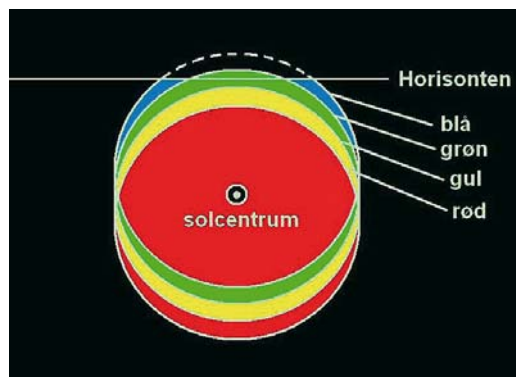
For mindre elevationsvinkler spiller jordens krumning, densitetsfordeling og temperaturfordeling en større rolle, således at en grundigere analyse er påkrævet [4].

Parallele lysstråler fra solen, der passerer igennem atmosfærisk luft, udsættes for ekstinktion: lysstyrken mindskes. Dette skyldes dels absorption, idet lysets fotoner exciterer molekyler tilstande blandt andet i vanddamp, ozon og CO_2 , og dels ved spredning, idet fotoners retning ændres efter vekselvirkning med luftens molekyler. Spredningsprocessen kan beskrives i en klassisk analyse ved hjælp af Maxwells ligninger, der blev gennemført af englænderen John William Strutt, siden kendt som Lord Rayleigh. Processen betegnes i dag derfor Rayleigh spredning. Det viser sig, at lysets spredning øges som $1/L^4$, hvor L er lysets bølgelængde. På grund af Rayleigh spredning spredes ultraviolet lys ved 380 nm 16 gange mere end rødt lys ved den dobbelte bølgelængde på 760 nm, idet $2^4 = 16$.

Himlens blå farve skyldes, at de korte (blålige) bølgelængder i solens direkte indstråling spredes gentagne gange på grund af Rayleigh spredning i atmosfæren. Ifølge Rayleighs teori bør det spredte blå lys være polariseret, hvis det iagttages i en vinkel på 90° fra solen. Dette faktum kan efterprøves på en klar dag ved hjælp af et polariseringsfilter [5]. Drej filtret, og se hvordan himlen bliver mørkere 90° fra solen.

Ud over lysets attenuation ved dets passage gennem atmosfæren, sker der også brydning, især ved de mindre elevationsvinkler og større luftmasser. For hvidt lys er luftens brydningsindeks, forholdet mellem lysets hastighed i vacuum og i mediet, $n = 1,00023$ under standardbetingelser, altså meget tæt på brydningsindekset i vakuum, hvor $n = 1,0$. En ensartet atmosfære ville derfor virke som et svagt prisme og afbøje solens direkte stråler.

Brydningsindekset er ikke ens for alle farver. Rødt lys brydes mindst, blått lys mest, når lys pas-



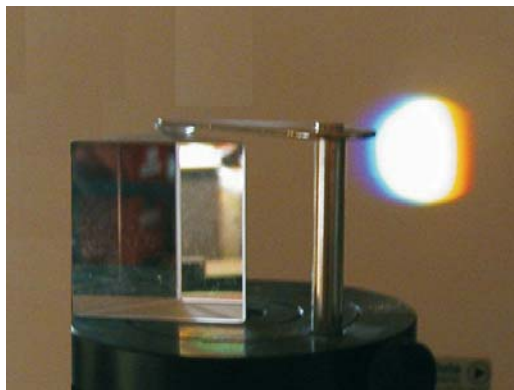
Figur 3.

serer fra det tomme rum gennem jordens atmosfære. Dette fænomen betegnes dispersion, og variationen i brydningsindeks er blevet målt for en række materialer, herunder forskellige glasarter og for atmosfærisk luft. Tabel I viser brydningsindekser for udvalgte faste stoffer ved forskellige bølgelængder og for atmosfærisk luft.

Solens direkte indstråling brydes, når strålingen passerer ind i atmosfæren. Afvigelsen fra retliniet stråling er størst, når solskiven er nærmest horisonten, og strålerne skal passere omkring 38 luftmasser. Da brydningsindekset for blått lys er større end for grønt, der igen er større end for orange og rødt, vil man forvente, at man vil opleve en rød solskive øverst og blå nederst. Men atmosfærens brydningsindeks er ikke ens i forskellige lag af atmosfæren. Atmosfærens deling i lag med forskellige temperaturer og densiteter gør, at den blå skive vil kunne ses øverst, så en grøn, gul og rød. Det er samme fænomen, der forårsager dannelsen af fata morgana, hvor billedet af en fjerntliggende genstand ses på hovedet på grund af kraftig opvarmning af luftlaget nærmest jordens eller vandets overflade.

	blåt, 415 nm	grønt, 500 nm	rødt, 660 nm
Glas, Schott type BK7	1,529	1,521	1,515
Atmosfærisk luft, $T = 15^\circ \text{C}$	1,000298	1,000295	1,000292

Tabel I: Brydningsindekser for glas og luft ved forskellige bølgelængder. Læg mærke til, at de korteste bølgelængder har de største værdier for brydningsindekset. Luftens brydningsindeks er også ret afhængig af temperatur og densitet.



Figur 4.

Nu ses det blå solskivebillede som oftest ikke, fordi Rayleigh samt partikel spredning fjerner de direkte blå solstråler, inden de når frem til iagttageren. Er atmosfæren ualmindelig klar, kan den blå skive alligevel ses. Ofte opleves det sidste snit af solen, der ses, som blå-grønt, eller blot grønt, så man oplever “det grønne glimt”. Udtværingen af solskiven i forskellige farver illustreres i figur 3.

Solskiven tilbagelægger ca. 360° på 24 timer, altså 15° hver time. Desuden fylder solskiven set af en iagttagere på jorden ca. en halv grad. Det vil sige, at ved ækvator passerer solskivens halve grad horisonten på omkring to minutter. Ved højere breddegradstal, hvor solens bane er skrå i forhold til horisonten, går der lidt længere tid. Det grønne snit, der giver oplevelsen og som kun fylder en brøkdel af solskiven, er således normalt kun til stede i nogle få sekunder.

Man kan faktisk godt give et indtryk af det grønne glimt i et demonstrationsforsøg eller en laboratorieøvelse. Til formålet skal man anvende en Reuterlampe, en blænde, en linse, et prisme og en skærm. Et flintglasprisme virker bedst på grund af dets høje brydningsindeks og store dispersion: farverne skilles godt fra hinanden. Figur 4 viser prismet og resultatet på skærmen. Her ses et blåt snit såvel som et grønt, da Rayleigh-spredningens virkning på det blå lys på den korte luftvej i laboratoriet er minimal. Desuden er temperatur- og densitetslagdelingen ikke til stede i laboratoriet, så farvernes rækkefølge ombyttes ikke.

Nu er det meget sjældent, at man kan opleve det grønne glimt. Dels skal man have klart udsyn mod horisonten, f.eks. ved solnedgangen ved Vesterhavet, og dels skal sigtbarheden mod solskiven ved horisonten være uforstyrret af skyer [6]. Lykkes det, siger den gamle skotske legende, at

He who has witnessed the green flash will be able to see the truth in his own heart and to read the innermost truth in the heart of his true love.

Om der er noget om denne snak, overlader jeg til læseren at bedømme.

Der findes mange andre interessante henvisninger til lysfænomener i naturen i litteraturen og i billedkunsten, så hele emneområdet kan være et spændende tema til tværfagligt samarbejde mellem de naturvidenskabelige og de humanistiske fag.

Litteraturhenvisninger

[1] Jules Verne, *Le Rayon-Vert*, Paris 1882. På nettet kan man finde genoptrykte udgaver i billigbog format.

[2] Et godt udgangspunkt for videregående studier om det grønne glimt er Andrew T. Youngs udmærkede hjemmeside: mintaka.sdsu.edu/GT/index.html. Figur 1 stammer fra Youngs hjemmeside.

[3] Dette kan kun ske for iagttagere, der befinder sig mellem krebsens vendekreds, breddegradstal $23,5^\circ$ N, og stenbukkens vendekreds, breddegradstal $23,5^\circ$ S.

[4] For beregninger af luftmassen for små elevationsvinkler, se venligst ph.d. afhandling: *Aerosol optical depth measurements in the UV, visible and NIR at Thule Air Base, Greenland during 1999*, side 53-56. Disse sider er lagt på hjemmesiden: www.soldata.dk. Klik på “Downloads”.

[5] Nogle solbriller består netop af polariseringsfiltre, så et solbrilleglas kan sommetider anvendes til dette formål.

[6] Vil man observere en solnedgang for at se et grønt glimt, bør man vogte sig for at stirre på solskiven, før solens elevationsvinkel er meget lille. I så fald er solens radians kun ca. $1/1000$ eller mindre af radiansen midt på dagen. Stirrer man på solskiven ved større elevationsvinkler, kan man pådrage sig en alvorlig skade på nethinden. ♦