

De himmelske buer

Lys og fysik

I samspil med vanddråber og iskrystaller giver Solens lys anledning til smukke lysfænomener. En smule indsigt i deres oprindelse kan fortælle os en del om lys og fysik.



Regnbuens ABC: De vigtigste regnbuefænomener.

Alle ved, at man efter et regnvejr kan være heldig at se en regnbue. Men det er de færreste der ved, at på en ganske almindelig, kedelig hverdag, kan himlen være prydet af lysende cirkler, streger og pletter. Det sker, når der er haløer i luften. Så husk at kigge op en gang imellem, når du er udenfor.

Halofænomenerne og regnbuen hører til blandt de himmelske buer, og den videnskabelige forklaring på disse evigt

aktuelle lysfænomener kan være med til at åbne øjnene hos beskueren for nye naturoplevelser.

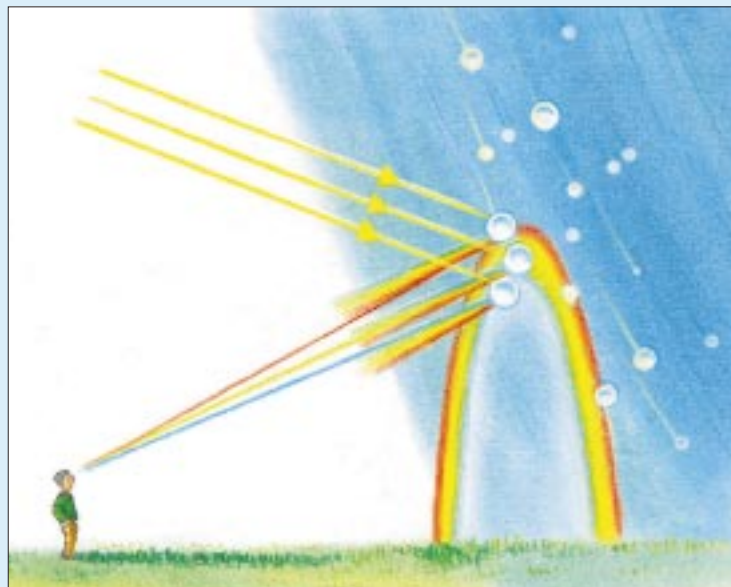
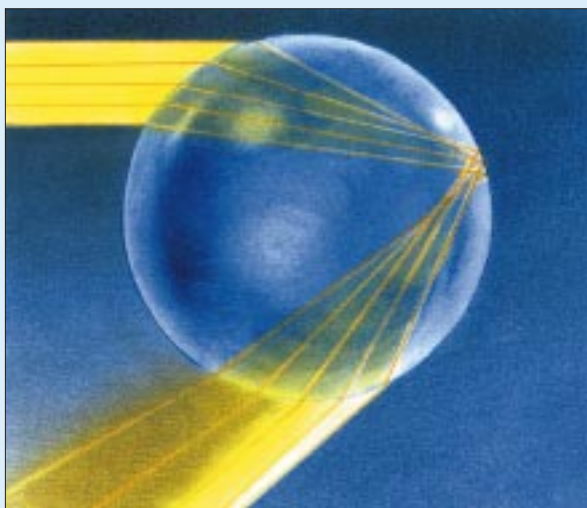
Regnbuen

Siden tidernes morgen har regnbuen på himlen fremkaldt menneskets beundring, ærefrygt og nysgerrighed. Når Solen efter regnvejret atter kommer frem fra skyerne, står regnbuen pludselig på himlen med alle sine farver. Den klareste regnbue, primærbuen, har den røde farve yderst og indefter

følger orange, gul, grøn, blå og violet. Til tider prydes himlen af en svagere bue uden på primærbuen. Det er sekundærbuen, hvis farver ligger i modsat rækkefølge af primærbuens. Imellem de to buer er himlen lidt mørkere end udenfor. Det kan især ses omkring primærbuen, at himlen er lysere indenfor end udenfor. Det mørke bånd mellem de to buer er første gang beskrevet af Alexander af Afrodisias i år 300, og i dag kaldes det af den grund for

Af Anne Værnholt Olesen,
Mike van der Poel og
Lars Lindberg Christensen

Sådan opstår regnbuen



Tegninger: Claus Rye Nielsen

Regnbuen ser man altid som en del af en cirkel med centrum i antisolpunktet (det punkt der ligger lige modsat Solen). Radius i regnbuens cirkel er 42 grader, og denne vinkel kaldes for regnbuevinklen. Regnbuen er koncentreret sollys, som kastes tilbage fra regndråber i luften. For at kunne se en regnbue på himlen kræves det derfor, at der er regndråber til stede samtidig med, at Solen ikke er dækket af skyer. Det er en situation, som normalt opstår, når et regnvejr driver væk, og Solen bryder frem bag et skydække.

Lyset skifter retning

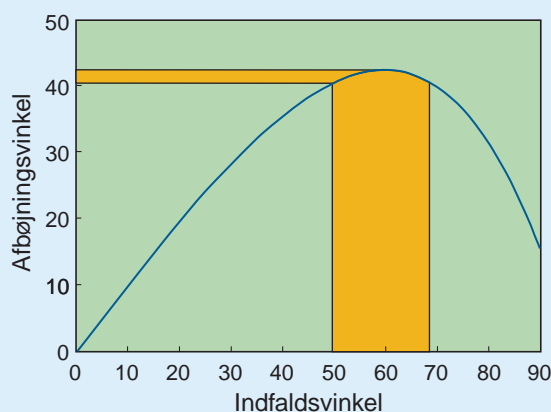
Den måde, sollyset bevæger sig på i en regndråbe, er vist på figuren, hvor nogle solstrålers bane er indtegnet. Man kan se, at en solstråle brydes, dvs. skifter retning, når den går fra luften ind i vandet. Det skyldes, at lysets hastighed ændrer sig i overgangen. Når strålen rammer dråbens bagvæg, kastes en del af den tilbage, og der hvor den

kommer ud af dråben, brydes den atter engang. Den vinkel, afbøjningsvinklen, som den udadgående stråle danner med den indkommende stråle, afhænger af stedet, hvor strålen ramte dråben, dvs. indfaldsvinklen. Sammenhængen er vist ved grafen til højre.

Man kan se, at afbøjningsvinklen har et maksimum på 42 grader, og at lyset i et lille interval omkring maksimumvinklen svarer til et stort interval af indfaldsvinkler mellem ca. 50 grader og 70 grader. På den måde koncentrerer sollyset, og dråben kommer til at lyse op, når vi ser på den, hvis dens højde på himlen netop er sådan, at det koncentrerede sollys rammervores øje. Da regndråber er kuglerunde, får vi faktisk koncentreret lys fra alle dråber på en cirkelbue med regnbuevinklen som radius.

Det er på den måde, regnbuen opstår. Samtidig viser grafen, at en del lys trods alt kommer ud med en afbøjningsvinkel mindre end de 42 grader, mens intet lys kommer ud med en større

Afbøjningsvinklen afhænger af indfaldsvinklen



afbøjningsvinkel. Derfor er himlen lysere inden for regnbuen end udenfor.

Sekundær bue

opstår på en lignende måde. Her er strålegangen blot lidt anderledes: Først brydes strålen, når den rammer dråben, derefter spejles den to gange fra inder siden af dråbens væg, før den brydes og kommer ud igen.

Den strålegang giver anledning til den noget større sekundær bue med en vinkel på 52 grader. Imellem de to buer tilbagekastes ikke noget sollys, og derfor er himmelbaggrunden mørkere dér end udenfor. På denne måde opstår Alexanders mørke bånd.

Farverne

Det mest iøjnefaldende særtegn ved regnbuen – dens farver – opstår, fordi sollysets farver ikke alle brydes på samme måde i dråben. Hvidt sollys indeholder lys med mange forskellige bølgelængder. De lange bølgelængder, som giver rødt lys, brydes i en lidt mindre vinkel end de korte bølgelængder, som giver det blå lys. Derfor adskilles sollysets farver i forskellige buer, som ligger uden på hinanden. Inderst haves blå/violette farver og udad følger grøn, gul, orange og rød. I sekundær bue optræder farverne i modsat rækkefølge, fordi lysstrålerne løber den modsatte vej rundt i regndråberne.

Alexanders mørke bånd. Men regnbuen har mere at byde på end det. Til tider ses et antal ekstra, såkaldte overtallige buer under den primære bue.

Med sit flygtige væsen appellerer regnbuen til fantasien, og hvis man ellers kan løsrive sig fra dagdrømmerier, har regnbuen en masse at fortælle om

lysets natur.

Nogle af fysikkens største skikkelser har i løbet af en periode på over 2000 år forsøgt at finde en passende forklaring på det samspil mellem lys, skyer og regnvejr, som danner regnbuen. Navne som Aristoteles, Descartes, Newton og Young hører alle til blandt dem, som

med stor ildhu har studeret fænomenet, og som har leveret vigtige brikker til et kompliceret puslespil.

Haloer

Det kan godt være, at regnbuen er den mest kendte af de himmelske buer, men haloen er den hyppigst forekommende. Om

berømmelsen bør fortjenes på grund af hyppighed eller skønhed, kan man så diskutere.

Den almindelige halo ses som en stor cirkel omkring Solen. Haloen er mindre end regnbuen, men da man ser hele haloen og kun et udsnit af regnbuen, forekommer en halo at have ca. samme udstrækning

på himlen som regnbuen. Skal man ud og se efter haloer for første gang, skal man kigge efter et stort fænomen. Af og til kan man endda se en halo omkring fuldmånen. Men man skal huske at haloen er betragteligt større end den forrevne cirkel, man kan se tæt omkring en fuldmåne, når den ses gennem et tyndt lag af skyer. Denne kaldes for en korona.

Skal man se en halo om dagen, er det nødvendigt, at man skærmer for Solens lys. Man kan enten stille sig, så Solens lys afskærmes af et hushjørne eller lignende (men så afskærer man sig også fra at nyde halvdelen af haloen), eller man kan holde en hånd op for Solen (med risiko for at komme til at se fjollet ud for de omkringstående). Under ingen omstændigheder må man stirre direkte på Solen!

Ligesom regnbuen har haloer også farver, selv om de er



Den almindelige halo med en radius på 22°.

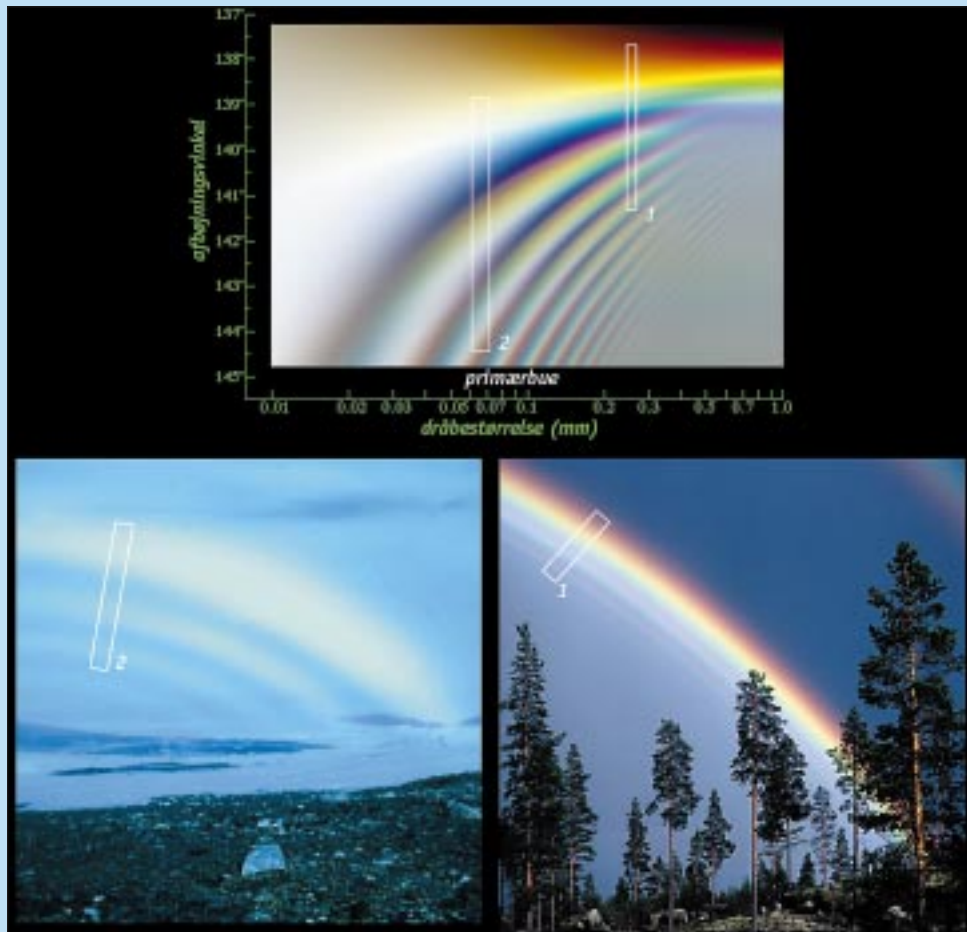
noget svagere. Den røde farve ligger inderst og den blå yderst. Ofte er der kun en antydning af farver, og det, man egentligt skal se efter, er en lysende, hvidlig ring på himlen. Haloer ses, når der er tynde cirrusskyer, også kaldet fjerskyer, på himlen, og det er da også disse skyer, som står bag haloernes dannelse.

Iskrystaller i luften

Cirrusskyer er højtliggende skyer - de ligger i ca. 8-10 km's højde. I denne højde er det altid koldt, og selv på den varmeste sommerdag består disse skyer ikke af vanddråber men af små iskrystaller. Iskrystaller er altid opbygget af sekskanter, og i cirrusskyerne har iskrystallerne den simpleste form: en enkelt, regulær sekskant. Iskrystallerne optræder i to former: de pladeformede og de blyantsformede, men egentligt er de begge variationer over samme form. Disse iskrystaller virker

Foto: Bob Fosbury

Regnbuen og regndråbernes størrelse



Når man ser en regnbue, fortæller den straks noget om, hvor store dråberne på himlen er. Lysstrålerne, som blev brugt i den første boks, beskriver regnbuen godt, når regndråberne er store (0,3 mm eller større). For mindre dråber er det nødvendigt at tage højde for lysets bølgenatur. Det er de store dråber, som giver den "klassiske" regnbue med de klare farver (se foto nederst th).

Vi kan fra figuren se, at størrelsen af de regndråber, som laver denne bue, ligger mellem 0,2 og 0,3 mm. Når dråbestørrelsen bliver mindre, begynder lysets bølgenatur at spille en stadig større rolle for regnbuens udseende. Det betyder, at regnbuens farver udtværes gradvist, og dermed fås en mere hvidlig regnbue. Samtidig bliver afstanden mellem selve regnbuen og de overtallige buer større. Meget små dråber, som dem der findes i tåge, giver en helt hvid og udtværet regnbue. En sådan bue, som er vist på fotoet nederst til venstre, kaldes også for en tågebue. I praksis haves normalt en blanding af større og mindre dråber i en sky, og regnbuens udseende bliver en tilsvarende blanding.

Det er en kompliceret sag at beregne, hvorledes lysbølger bevæger sig i en regndråbe, og kunsten består i at forenkle beregningerne på en fornuftig måde. Figuren øverst viser, hvordan regnbuen kommer til at se ud ifølge den såkaldte Airy-teori, som er en forenklet udgave af den mere korrekte, men også mere komplicerede Mie-teori.

Airy-beregning: Professor Raymond L. Lee, Jr. (*Mie theory, Airy theory, and the natural rainbow*, Applied Optics, v. 37 (1998), pp. 1506-1519), The United States Naval Academy, Annapolis, Maryland.

Fotos: Tv.: Tågebue: Lars Lindberg Christensen, th.: regnbue: Mark Nankman.

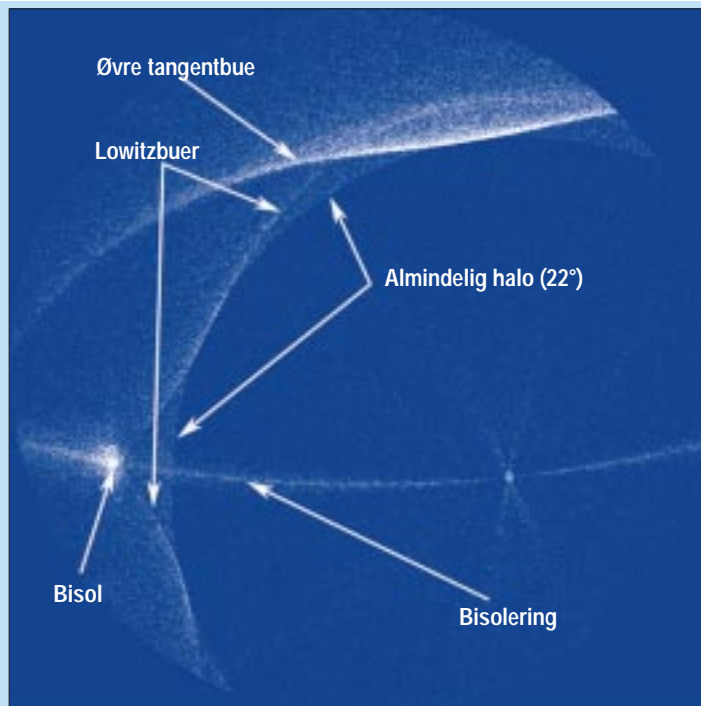


Foto og simulering: Bob Fosbury

Lav dine egne haloer på computeren

På det venstre billede taget i Landshut nær München af Bob Fosbury, ses et haloskue, dvs. en samling af mange halofænomener på himlen. Solen er skjult lige bag hustaget, og man ser den almindelige halo relativt svagt. Derimod kan man se en kraftig solhund (bisol). Over den almindelige halo ses en kraftig øvre tangentbue. Der går en vandret bue gennem bisolen, det er en

bisolering. Bisoleringen skyldes som sol-søjlerne en ydre spejling i iskrystallerne, men her fungerer iskrystallerne som lodrette spejle. Det sidste halofænomener, man kan se i dette billede er en Lowitzbue. Lowitzbuer skyldes pladeformede iskrystaller, der roterer om en akse, som går gennem to modsatte spidser i sekskanten. Lowitzbuer er sjældne, og dette fotografi er måske det første,

der nogensinde er taget af dette halofænomener!

Hele haloskuet er til højre simuleret på computer. Ved at beregne tusindvis af lysstrålers gang gennem en sky af iskrystaller kan computeren genskabe et naturligt haloskue. På den måde kan man lære, hvordan de mange halofænomener opstår. Nu skulle man tro, at kun eksperter kan foretage den slags

simuleringer. Men det er faktisk ikke så avanceret. Prøv selv at udforske haloernes eksotiske verden. Frit tilgængelige programmer, man kan bruge til at simulere halofænomener med, kan findes på disse netadresser:

<http://members.tripod.com/~regenbogen/indexe.htm>
<http://dSPACE.dial.pipex.com/lc/halo/halosim.htm>

som prisme, når sollyset rammer dem, og det er årsagen til, at haloen dannes.

Normalt ligger iskrystallerne hulter til bulter i luften, så sollyset rammer dem på alle forskellige leder og kanter. Den afbøjningsvinkel, en solstråle oplever ved passage af en krystal, varierer naturligt nok afhængigt af, hvordan krystallen er orienteret. Haloen opstår, fordi afbøjningsvinklen har et interessant minimum på 22 grader. Omkring denne minimumsvinkel koncentreres sollyset. På den måde er dannelsen af haloen helt analog til regnbuens dannelse.

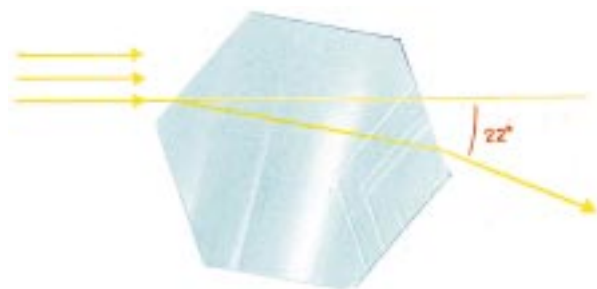
Alle bølglængder afbøjes ikke ens i iskrystallerne: de lange bølglængder, som giver det røde lys, afbøjes lidt mindre end de korte bølglængder, som giver det blå lys. Derfor bliver

halo-ringen rød på indersiden og blå på ydersiden. Da forskellen i afbøjningsvinkel for de forskellige farver er en del mindre end f.eks. for regnbuen, blandes farverne sammen, og haloen kommer til at se hvid ud i midten af båndet. Da solstrålerne altid kommer ud med en

vinkel, der er mindst 22grader, er himlen lidt mørkere inden for haloen end uden for. Det svarer til Alexanders mørke bånd for regnbuen.

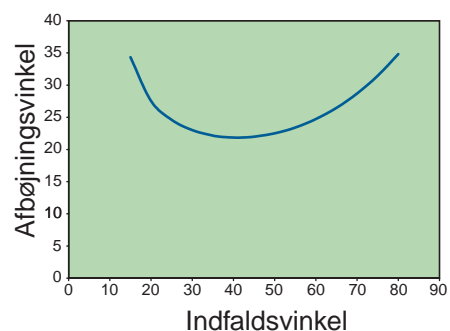
At iskrystallerne altid ligger hulter til bulter er en sandhed med modifikation. Ofte vil luften være så rolig, at iskry-

stallerne falder stille mod jorden. Når pladeformede iskrystaller daler stille ned, falder de med den flade side vandret, på samme måde som et blad svæver ned. Når dette sker, får man ikke en lysende ring om Solen men derimod en koncentration af sollyset i to pletter i afstan-



Tegning: Claus Rye Nielsen

En blyantsformet iskrystal bryder en solstråle ligesom et prisme. 22 grader er den mindste mulige afbøjningsvinkel, når lysstrålen går ind og ud gennem facetterne på den lange side som vist. Hvis iskrystallen er roteret anderledes, bliver afbøjningsvinklen større.



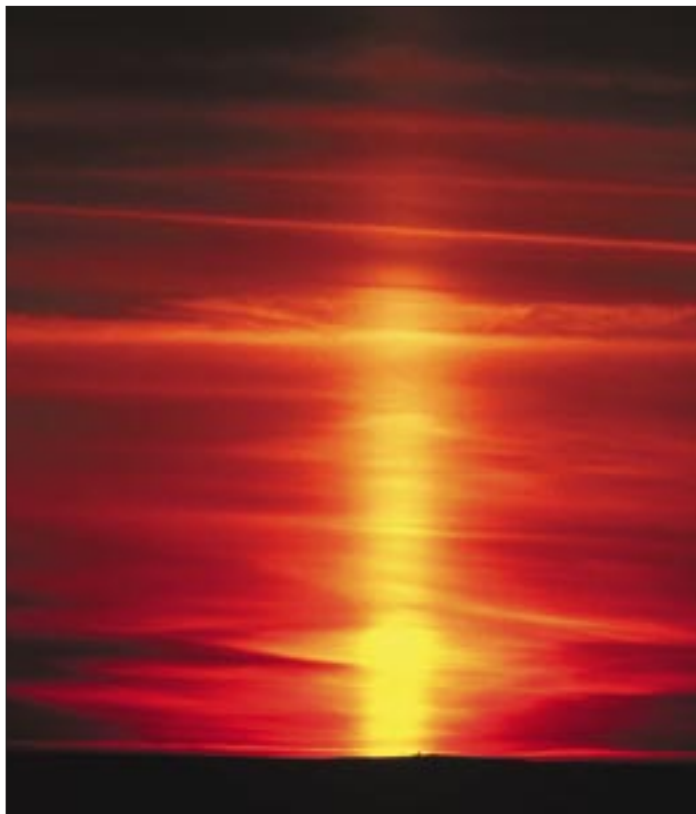
den 22 grader fra Solen til højre og venstre for Solen. Disse to pletter kaldes solhundene, eller bisole. I gunstige tilfælde kan solhundene blive så kraftige, at det kommer til at se ud som om, der står tre sole på himlen! Hvis Solen står højt over horisonten, ses solhundene ikke i præcist 22 graders afstand fra Solen men lidt længere væk, da solstrålerne kommer lidt skråt ind i sekskantens plan.

Eksotiske halofænomener

Den almindelige halo og solhundene er de mest almindelige halofænomener, og de kan ses op til flere gange om ugen i Danmark hele året rundt, men der findes et utal af andre halofænomener. Dels kan sollyset passere gennem endefladerne på både de pladeformede og de blyantsformede iskrystaller, og det giver anledning til andre afbøjningsvinkler, og dels kan fænomenerne kompliceres af en eller flere refleksioner fra krystallernes facetter.

Ud over den almindelige halo og solhundene er de to halofænomener, som ses hyppigst i Danmark, *den øvre tangentbue* og *solsøjlen*. Den øvre tangentbue skyldes afbøjning af sollyset i de blyantsformede iskrystaller, som ligger vandret, mens solsøjlen opstår, når lyset bliver spejlet fra undersiden af vandret liggende, pladeformede krystaller.

Den øvre tangentbue ses som en opadbøjet bueform eller



Solsøje set ved solnedgangstid. Solsøjlen skyldes refleksion af sollyset i iskrystaller og er et meget almindeligt syn, hvis man har øjenene sig.

„vinger“ lige over den almindelige halo, og den rører haloen i dens øverste punkt. Solsøjler ses hyppigst ved solop- eller -nedgang som en lysende søjle over Solen, når iskrystallerne optræder som vandrette spejle.

De himmelske buer i dag

Det er Solens lys, som opvarmer vores Jord. Derfor er det vigtigt for forskere, som beskæftiger sig med Jordens

klima, at forstå hvad der sker, når sollyset rammer Jordens atmosfære. I det samspil, der opstår mellem lyset og atmosfæren, indgår i dag de himmelske buer naturligt i billedet. Men buerne kan også give detaljer om is og vands opførsel i luften, som ikke kan fås på anden vis. For eksempel har omhyggelige iagttagelser af regnbuer givet forskere større indsigt i regndråbernes dynamik, og en halo på himlen fortæller meget detaljeret, hvordan iskrystallerne ser ud højt i atmosfæren.

Blandt andet mener forskere, at visse specielle haloer stammer fra firkantede snarere end sekskantede iskrystaller, og det giver interessant information om, hvordan vand fryser i atmosfæren. Tilmed er himlens buer ikke bare et jordisk fænomen: Ved at holde øje med mulige haloer på andre planeter kan forskere lære meget om forholdene i den fremmede atmosfære. Observationer fra både Venus og Mars synes at tyde på, at haloer også eksisterer på disse fjerne himmelstrøg. ☺

Om forfatterne:

Anne Værnholt Olesen er koordinator for skoleservice og webmaster på Tycho Brahe Planetarium Tlf. 3318 1999 <http://www.tycho.dk> e-mail: anne_o@tycho.dk

Hun er også adjunkt på Frederiksberg Studenterkursus <http://www.frberg-kursus.dk>

Mike van der Poel er ph.d.-studerende ved Ørsted Laboratoriet Niels Bohr Institutet Universitetsparken 5 2100 København Ø Tlf.:35 32 04 76 <http://www.fys.ku.dk> e-mail: mike@fys.ku.dk

Lars Lindberg Christensen er Europæisk pressechef for Rumteleskopet Hubble, ved ST-ECF (Space Telescope - European Coordinating Facility), European Southern Observatory Karl Schwarzschild Strasse 2 D-85748 Garching bei München Tyskland Tlf. +49-89-32006 - 306 <http://www.stecf.org> e-mail: lars@eso.org

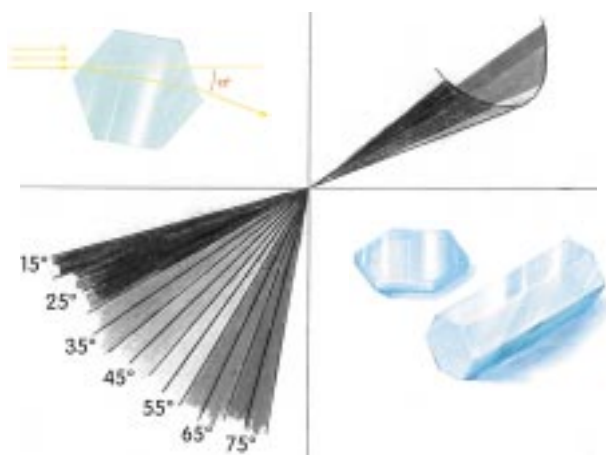
Flere oplysninger:

Forfatterne udgør redaktionsgruppen for bogen:

"Lysfænomener i Naturen - om lys og farver nat og dag" som blev udgivet i 1998 på forlaget Høst & Søn.

Se også: <http://www.astro.ku.dk/lys/> <http://members.tripod.com/~regenbogen/indexe.htm> <http://dSPACE.dial.pipex.com/lc/halo/halosim.htm>

En privat mand: Carl Hemmingsens hjemmeside <http://hjem.get2net.dk/Hemmingsen/buen/regnbuen.htm>



Man ser, at for relativt mange forskellige indfaldsvinkler (ca. 25-70 grader) fås en udfaldsvinkel på omkring 22 grader. Man kan dog også se, at naturen alligevel kræver en vis ensretning af krystallerne – imellem de førnævnte 25-70 grader – før en halo lader sig vise. Jo mere ensartede vinklerne er, desto flottere haloskuer kan man få at se.

Tegning: Claus Rye Nielsen og Anne V. Olesen (figur)