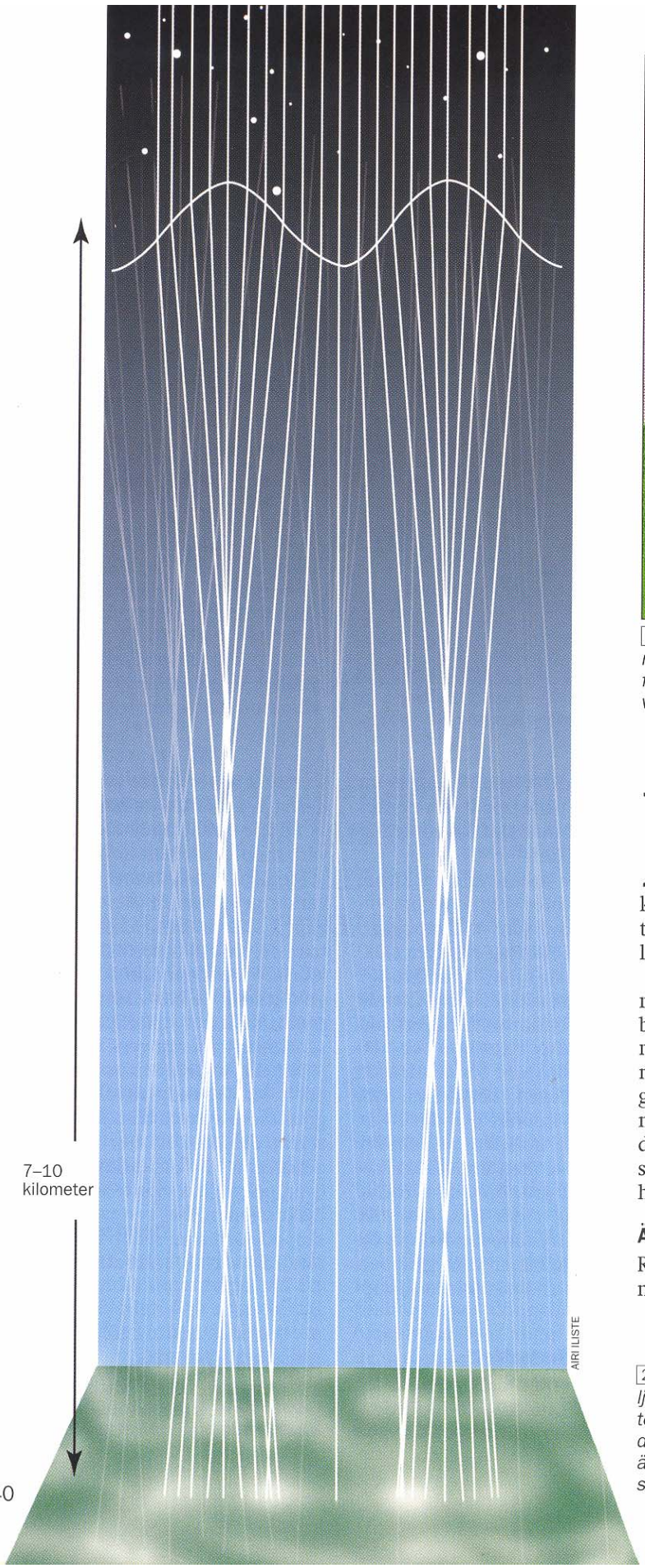
Varför stjärnorna tindrar

Sedan urminnes tider har människan undrat varför natthimlens stjärnor blinkar och tindrar. Att upphovet är värmerörelser i jordens atmosfär blev accepterat först på 1700-talet. Men förvånande nog tindrar stjärnor på fler sätt än ett.

IBL



1 ***Planeter är närbelägna*** *och vår syn når ut till dem med sin fulla kraft: de tindrar inte. Fixstjärnor är alltför avlägsna och deras stora avstånd får vår syn att vackla. Så trodde Aristoteles (ca 340 f Kr)*

AV DAINIS DRAVINS

Kanske är det just stjärnornas tindrande som utgör den tydligaste skillnaden mellan dem och andra ljuskällor. I vissa moderna planetarier försöker man till och med efterlikna stjärnornas tindrande för att öka upplevelsen av en verklig stjärnhimmel.

I poesin har stjärnors blinkande och tindrande haft en framträdande plats. På våra breddgrader förknippar man det kanske mest med klara, kalla vinternätter (”... midvinternattens köld är hård, stjärnorna gnistra och glimma ...”), medan man i sydliga ökenklimat mer förbinder stjärnors tindrande med den angenäma, snabba nedkylning av luften som inträder när solen har gått ner efter en het dag.

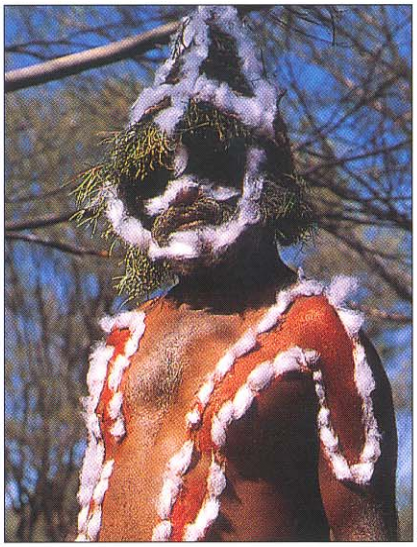
Äldsta problemet?

Redan långt före de ”gamla grekerna” sökte man efter förklaringar till stjärnornas tind-

2 ***Ett skuggmönster skapas på marken*** *när stjärnljuset går igenom övre luftlager där luft av olika temperaturer bildar oregelbundna linser. Skuggspelet, där avståndet mellan ljusare och mörkare fläckar bara är 5–10 cm, flyger förbi ögat med vindhastigheten – stjärnornas ljusstyrka förändras snabbt: de tindrar.*

rande. Australiens urinvånare, aboriginerna, vilkas kultur går minst 40 000 år tillbaka i tiden, tolkade tindrandet som det fladdrande skenet från fjärran lägereldar hos människor som bodde i skyn. Kanske var det deras förfäder.

I nyare tid utvecklades många andra teorier för stjärnornas tindrande, vilket med ett modernt ord kallas scintillation (uttalas med ett inledande s-ljud). Speciellt förbryllande var att medan stjärnor tindrar så lyser planeterna med stadigt sken. Den grekiske filosofen Aristoteles förklarade detta med att planeterna är tillräckligt närbelägna för att ögonens syn kan nå ut till dem med full styrka. På den tiden föreställde man sig nämligen att synen utgår från ögonen som ett slags radar, och att denna synkraft inte kan nå ut hur långt som helst. Detta var innan man hade förstått att seendet bygger på ljus som utifrån kommer in i ögat.



IBL

3 ***Det vi ser som stjärnors tindrande*** *är det fladdrande skenet från fjärran lägereldar hos de människor som bor uppe i himlen. Australiska aboriginer (kanske 10 000 f Kr)*

IBL

4 ***Den enorma rymden ut till stjärnorna*** *deltar i himlens dagliga rörelse. Detta gäller inte för planeterna och därför tindrar de inte heller. Tycho Brahe (ca 1580)*

Många astronomer efter Aristoteles grubblade över scintillationens ursprung. Den skånske astronomen Tycho Brahe utvecklade en egen världsmodell, där han placerade jorden i fixstjärnesfärens centrum. Runt jorden kretsar månen och solen, och sedan planeterna kring solen. Tycho menade att eftersom fixstjärnesfären, tillsammans med den enorma rymden ut till den, är stadd i snabb rotation kring jorden, bör detta leda till oregelbundenheter i stjärnljuset, dvs scintillation. Planeterna rör sig inte på samma sätt och tindrar därför inte heller.

Johannes Kepler var lärjunge till Tycho och tolkade inte bara dennes observationer utan gjorde också egna. Venus lyser klarast bland planeterna, och man kan ibland se den kasta en skugga. Kepler såg det flimrande ljuset från Venus som lyste in i ett mörkt rum, men noterade också att månljus inte flimrar på samma sätt, varur han drog slutsatsen att han hade upptäckt verkliga variationer i strålningen från Venus.

Men planeterna lyser med fast sken

Det var först Isaac Newton som omkring år 1700 kunde fastställa att stjärnors tindrande uppstår uppe i jordens atmosfär. Han noterade att scintillationen inte syns i teleskop och drog den korrekta slutsatsen att man, för att undvika jordatmosfärens störningar, bör göra astronomiska observationer från högt belägna bergstoppar.

Mäta själv

Under modern tid har många andra sökt formulera en hållbar teori för scintillation, t ex gjorde Nobelpristagaren Subrahmanyan Chandrasekhar en del försök på 1950-talet, dock utan att lyckas. Det var först efter 1960 som en tillfredsställande teori kunde formuleras. Då hade man åstadkommit en korrektare beskrivning av luftens turbulens, dvs lagar för hur stora andelar av luftoron som fördelas på olika stora luftvirvlar.

Temperaturen i luften är inte alltigenom konstant, utan olika virvlar och luftbubblor kan ha temperaturer som skiljer sig med några hundradels grader från omgivningen. Ljuset bryts något olika i luft av olika temperatur. En observatör på marken, som betraktar stjärnor genom en turbulent luftmassa som blåser förbi, kommer därför att se hur de tindrar.

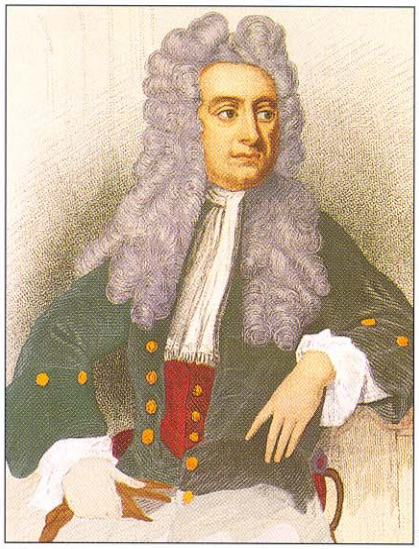
Även med kunskap om att effekten uppstår i jordens atmosfär, behövs mer exakta studier av hur stjärnors ljusstyrkor ändras med tiden, för att särskilja olika alternativa förklaringar.

Vissa typer av observationer kan man göra själv. Med blotta ögat kan man se att stjärnor högt uppe på himlen (nära zenit) tindrar betydligt mindre än stjärnor nere vid horisonten. Planeter tindrar nästan inte alls, och det mänskliga ögats ljuskänslighet räcker inte för att förnimma blinkningarna hos ljussvaga stjärnor.

Med en vanlig fältkikare kan man göra flera experiment. Hur stjärnljuset varierar med tiden kan studeras genom att man observerar en ljus

IBL

5 ***Stjärnors tindrande är en äkta förändring*** *i deras ljusstyrka och färg. Venus tindrar, men inte månen, vilket bevisar att Venus strålning varierar. Johannes Kepler (ca 1610)*



IBL

6 ***Stjärnors tindrande måste uppstå*** *antingen inuti ögat eller i luften. Eftersom effekten försvinner i teleskop, måste den uppkomma i atmosfären. Teleskop bör därför placeras på de högsta bergstopparna. Isaac Newton (ca 1700)*

stjärna (helst nära horisonten), samtidigt som man med händerna snabbt vippar eller snurrar kikaren litet fram och tillbaka, så att bilden av stjärnan blir utdragen till en båge eller en ring. Man kan då se att ljusspåret av stjärnan inte är lika ljust överallt utan ändras påtagligt på bara någon bråkdels sekund.

Atmosfären påverkar ljuset

Jordens atmosfär påverkar stjärnljus på flera olika sätt. Lufthavet fungerar som en lins eller ett prisma som böjer av ljuset så att det når oss från en något annan riktning än den där himlakroppen verkligen finns. Effekten kallas refraktion eller avböjning. Mest påtaglig för blotta ögat är den tillplattade bilden av sol- eller månskivan nära horisonten, men refraktion är mätbar över hela himlen. För att kringgå den placeras astrometriska teleskop, dvs de som mäter stjärnors positioner, företrädesvis ute i rymden.

Den mest störande effekten på astronomiska observationer från marken är s k dålig seeing (bildskärpa). I teleskop med hög förstoring ser man stjärnorna inte som enbart punkter, utan som små diffusa fläckar som genom luftoron är stadda i snabb rörelse. Hos stjärnor syns detta inte med blotta ögat, men effekten är synlig när man betraktar avlägsna objekt över t ex en solvärmd asfaltväg sommartid.

Graden av bildens utsmetning beror på turbulensen i jordatmosfären, speciellt den i teleskopets närhet. För att uppnå bästa möjliga bildskärpa placeras teleskopen därför på särskilt utvalda observationsplatser med gynnsamma väderförhållanden. Seeingens uppkomst och effekter är numera så pass väl utredda att man med s k adaptiv optik i stor utsträckning kan eliminera denna typ av atmosfäriska störningar.

Men oberoende av att den exakta positionen för en stjärna på himlen förskjuts genom refraktion, och oberoende av att stjärnan i ett teleskop ser ut som en suddig fläck, så fluktuerar dessutom dess ljusstyrka. Orsaken är också här luftoron, dock av en något annan typ än den som orsakar suddiga bilder.

Scintillationen beror i stället på variationer i lufthavets övre lager, kanske 5–10 kilometer ovan marken. Fenomenet liknar ljusspelet på bottnen av en solbelyst simbassäng. Om vattenytan är helt slät, blir belysningen på bottnen också helt jämn. Med en vind som krusar vattenytan uppstår dock ett karakteristiskt ljusspel på bottnen. Vattenytan buktar ömsom uppåt, ömsom neråt och bryter solljuset likt en mängd små linser. Där vattenytan guppar uppåt uppstår positiva linser som fungerar som brännglas som bryter ihop solljuset på små fläckar, medan negativa linser uppstår där vattenytan buktar neråt. Från dessa sprids ljuset i stället ut som genom en närsynt persons glasögon och leder till en svagare belysning under just dessa områden.

Att stjärnorna tindrar beror på liknande effekter. Linser i luften bildas på hög höjd när luftlager med något olika temperatur blandas. Luftens brytningsförmåga för ljus skiljer sig något vid skilda temperaturer, och blandningar av olika varm luft fungerar som linser som fokuserar himlakropparnas ljus på marken. Dylika luftlinser är dock tämligen svaga (kanske på 0,0001 dioptrier, tiotusentals gånger svagare än vanliga glasögon).

Vi kan nu också börja förstå varför planeter nästan inte tindrar alls, medan stjärnor gör det. Stjärnor är så långt bort från oss att de praktiskt taget syns som punkter. Vinkelutsträckningen för en stjärna är så pass liten att ljus från den passerar endast en enda grupp luftlinser. Den större vinkelutsträckningen hos planeter, som ju är närmare oss, innebär att ljus från olika delar av planetskivan passerar var sin grupp av luftlinser. Det samlade ljuset blir då ett medelvärde över en mängd olika stora fluktuationer, och detta medelvärde varierar obetydligt: planeterna lyser med ett fast sken.

Flygande skuggor

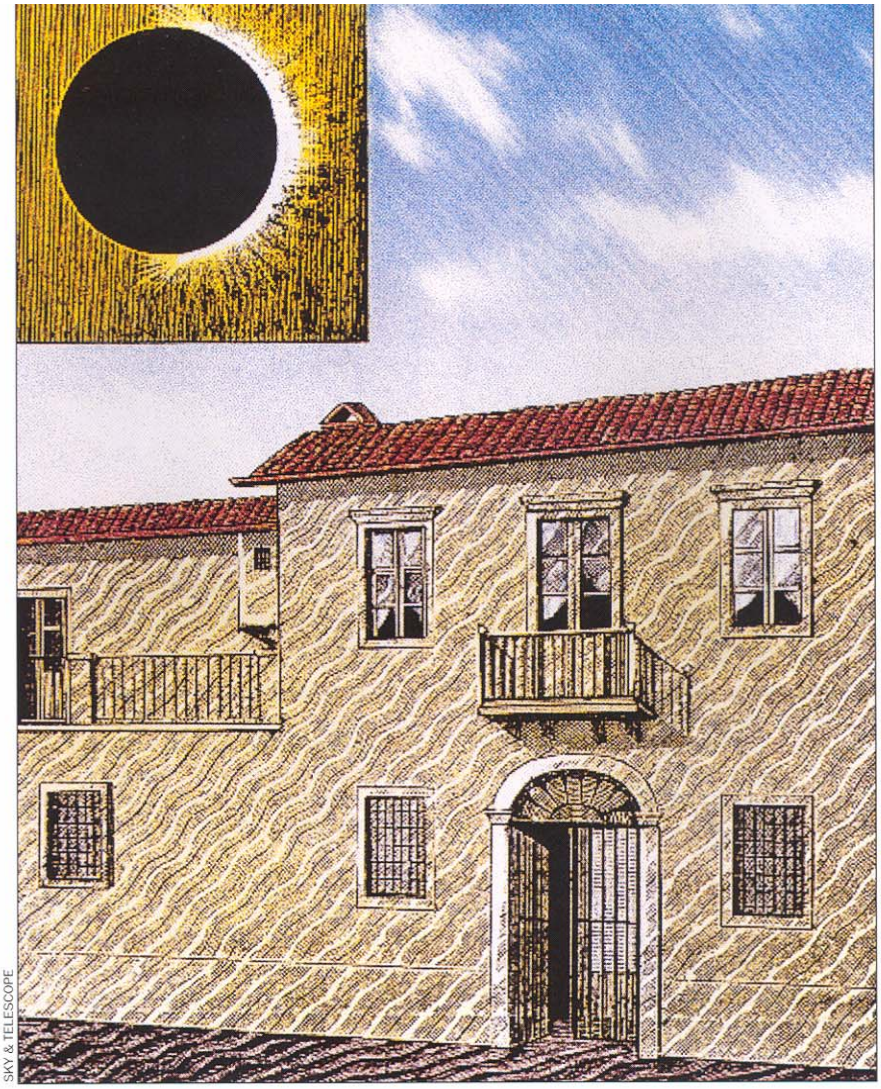
Vid sällsynta tillfällen kan man med blotta ögat observera ljusmönster på marken, s k flygande skuggor. Det

kan inträffa sekunderna innan (eller efter) en total solförmörkelse, då månen täcker nästan hela solskivan, så att det som återstår nästan bara är en stjärnliknande ljus punkt. Dessa flygande skuggor kan ibland ses projicerade på väggar när solen går ner bakom en skarp bergskam, i ljuset av planeten Venus som lyser in i mörkt rum eller med hjälp av konstgjorda ljuskällor som lyser över långa sträckor på marken. Skuggorna flyger över den belysta ytan med samma hastighet och i samma riktning som vindarna har i de övre luftlagren. Detta trolska ljusspel på bottnen av jordatmosfären motsvarar alltså ljusspelet på bottnen av en solbelyst vattenbassäng.

Ljusstyrkan hos en tindrande stjärna varierar snabbt med tiden. Men exakt hur? Är variationen regelbunden eller slumpmässig? För att utreda detta har det gjorts ett stort antal (miljoner) mätningar av stjärnors ögonblickliga ljusstyrkor, och man har studerat den statistiska fördelningen av mätvärdena.

Om stjärnljuset skulle ha fokuserats på marken av ett stort antal oberoende linser i atmosfären, kunde man förvänta sig att den statistiska fördelningen kring medelvärdet skulle följa en s k normalfördelning eller Gausskurva. Detta är emellertid inte alls vad man finner, i stället förekommer det relativt ofta att stjärnan i ett visst ögonblick är oväntat mycket ljusare än genomsnittet. Det som följer en statistisk normalfördelning är inte stjärnljusets intensitet utan i stället värdet för dess matematiska logaritm. Detta kan tolkas så att ljuset inte har fokuserats av en mängd olika luftlinser bredvid varandra som slumpmässigt riktat ljuset mot marken utan att det i stället har passerat en rad slumpmässigt placerade linser efter varandra.

Andra effekter i scintillation gäller färgerna. Redan med blotta ögat kan man se att stjärnor nära horisonten tindrar inte bara i ljusstyrka utan även i färg. Uppkomsten av denna s k kromatiska scintillation ligger i att lufthavet även fungerar som ett prisma som delar upp stjärnljuset i regnbågens alla färger, från violett till rött. Även de flygande skuggorna på marken delas upp i regnbågens färger. Eftersom skuggmönstret rör sig med vindhastigheten i de luftlager som orsakar det, kommer en observatör på marken att visserligen se samma fluktuation i olika färger, men med en tidsfördröjning på kanske några hundradels sekunder mellan rött och violett.


SKY & TELESCOPE

Stjärnorna skimrar i alla färger

Det är just kombinationen av att stjärnljuset ofta glimmar till samtidigt som det skimrar i färg, som har lett till poetiska analogier som "lik en diamant i skyn" eller "kristallen den fina".

Ny teknik behövs

Storleken på mönstret i de flygande skuggorna har en skala på 5–10 centimeter. Den varierar något beroende på ljusets färg och väderförhållandena högt uppe i jordatmosfären. Luft med starkare turbulens, där mycket av scintillationen uppstår, ligger ofta nära den s k tropopausen på ca 10 kilometers höjd över havet. Med typiska vindhastigheter på 10 meter per sekund, sveper dessa 5 till 10 centimeter stora vågmönster förbi på 5–10 millisekunder.

Dessa längder och tider utgör en kravspecifikation för den adaptiva optik som kommer att krävas på framtidens teleskop för att korrige-

7 ***Flygande skuggor*** *vid solförmörkelse, här på en husvägg i Sicilien.*

8 ***Ljusspelet på bottnen*** *av en vattenfylld bassäng påminner om det ljusmönster i atmosfären som får oss att se stjärnorna tindra.*

DAINIS DRAVINS

ra för effekterna av dessa flygande skuggor. Sådana system kommer att bli mer krävande än de som hittills har byggts för den mer ordinära adaptiva optik som redan finns vid de flesta större observatorier (men som endast korrigerar bildskärpan). För ett stort teleskop med en spegel med 5–10 meters i diameter kommer det att krävas ca 10 000 korrektionselement, vilka alla måste hinna ställas in på ett fåtal millisekunder.

Astronomerna gäckas

Att stjärnor blinkar är måhända romantiskt, men en rad astronomiska observationer har hittills gäckats av atmosfärens scintillation. Till dem hör mätning av seismiska pulsationer hos stjärnor. Man har tidigare upptäckt att hela solen skälver som en geléklump. Genom att mäta de mycket små ljusvariationer som åtföljer dessa skälvningar kan skälvningens perioder bestämmas. Därmed kan man studera förhållandena djupt inne i solens inre, i likhet med studier av jordens inre genom mätning av seismiska vågor från jordbävningar. Försöken hittills att upptäcka motsvarande svängningar hos andra solliknande stjärnor har dock misslyckats på grund av jordatmosfärens brus.

Det kanske mest utmanande problemet inom observationell astronomi, där korrektion för scintillation erfordras, är den direkta avbildningen av exoplaneter, dvs planeter kring andra stjärnor än solen. De senaste åren har man upptäckt exoplaneter genom mätningar av de små periodiska förändringar i stjärnors rörelse som uppstår när en planet kretsar runt stjärnan. Att direkt se exoplaneten är dock mycket svårt.

Problemet är inte alls att exoplaneter skulle vara speciellt ljussvaga (trots att de endast lyser med återspeglat ljus från sin stjärna). Vad ljusstyrkan beträffar, så skulle till och med jorden kunna observeras från en närbelägen stjärna med ett medelstort teleskop. Att det inte går i praktiken beror uteslutande på att man bländas av den mycket ljusare stjärnan som på himlen ligger helt nära sin planet. Den av atmosfären utsmetade bilden av stjärnan kan visserligen krympas med ordinär adaptiv optik, men fortfarande kommer bilden av stjärnan att omges av ett diffust och snabbt varierande töcken, skapat av atmosfärens flygande skuggor. Detta ljus är mångfaldigt kraftigare än det från exoplaneten och gör det i praktiken omöjligt att upptäcka den.

Svårt att undgå

Den numera goda kunskapen om atmosfärens fluktuationer gör att vi också kan förstå hur effekterna kan undvikas eller minimeras. Uppenbart bäst vore att placera teleskopen i rymden och helt undgå atmosfären. Detta är dock förenat med en rad andra problem, och hittillsvarande rymdteleskop är också alltför små för mer krävande observationer.

Vissa platser på jorden uppvisar mindre scintillation än andra. Redan vid observatorierna på bergstopparna på Hawaii eller Kanarieöarna märker man att stjärnorna tindrar påtagligt mindre än på mer alldagliga platser. Den plats på jorden ovanför vilken atmosfären är lugnast är troligen högplatån i östra Antarktis på drygt 4 000 meters höjd.

Flygande observatorier, där teleskopen monterats på flygplan som kommer upp över det mesta av störande luftlager, uppvisar också låg scintillation. Emellertid kan det vara nog så komplicerat att manövrera teleskop i det inre av Antarktis eller ombord på jetplan: inte heller kan dylika teleskop göras speciellt stora. Det mest lovande verkar därför vara att utnyttja de mycket stora teleskop som nu håller på att färdigställas vid mer ordinära observatorier och samtidigt försöka konstruera instrument för att kringgå scintillationens oönskade effekter.

Scintillation förekommer inte bara i synligt ljus. Vid radiovåglängder fungerar den uttunnade men heta gasen i solvinden som luften i synligt ljus: kosmiska radiokällor tindrar precis som stjärnor. Den nyligen bortgångne amerikanske astronomen Carl Sagan utredde i en av sina sista publikationer just hur radioscintillationens tidsberoende skulle kunna påverka våra möjligheter att söka efter intelligent liv annorstädes i universum. Trots vår avancerade teknik har problemen med de tindrande stjärnorna inte lämnat oss än. ■

DAINIS DRAVINS
ÄR PROFESSOR I ASTRONOMI
VID LUNDS UNIVERSITET.
HANS FORSKNING OM STJÄRNORS YTSTRUKTUR,
SNABBA PROCESSER I RYMDEN OCH METODER
FÖR OPTISK ASTRONOMI STÖDS BL A
AV NATURVETENSKAPLIGA FORSKNINGSRÅDET,
KUNGL FYSIOGRAFISKA SÄLLSKAPET I LUND
SAMT ANNA-GRETA OCH
HOLGER CRAFOORDS FOND.