

STELLA

Medlemstidning för Stockholms Amatörastronomer. Nr. 2-2012



STARRs öppna hus under Venuspassagen

INLEDAREN

Klockan 02.30 den 6 juni vaknade jag och drog genast upp rullgardinen. En härlig nästan molnfri himmel visade sig. Morgonbestyr och frukosten går fort, jag ska ju vara vid Magnethuset klockan fyra för att hjälpa till vid Venuspassagen. När jag låst dörren och kommer ner på gräsmattan är det tyst ute förutom en Koltrast som hörs i öster. Den sjunger så vackert så jag bara måste sätta mig en stund för att lyssna. Vädret är bättre än utlovat och jag får starta dagen med en tidig tyst morgon där jag satt och njöt av naturens ljud.

Venuspassagen kallade dock så det var bara att sätta sig i bilen och köra till Magnethuset. Det var endast jag och några Taxi på vägarna. Inne i stan var det fler människor än hemma hos mig. Inte bara människorna var fler, även molnen var betydligt fler. Men det inverkade inte på mitt goda humör för jag njöt fortfarande av den tidiga morgonen.

På kullen var det redan full fart så det vara bara att sätta sig in i jobbet och hjälpe till. När jag står på gården kommer en dam fram och frågar "Vad händer, ska vi bilda kö eller?". Mitt svar blev lite skämtsamt "Tycker du om att stå i kö så kan du göra det, annars kan du gå in i huset". Till min förvåning ställer hon sig utanför dörren och bildar en kö. Ungefär klockan 0445 var det massor av moln och massor av förväntansfulla människor på gården. Solen och Venus syntes inte mellan molnen så vi kunde inte visa någon passage. För att undvika missnöje så ställer jag mig på träräcket utanför Magnethuset och börjar berätta varför inget händer och även vad som kommer att hända. Där blir jag ståendes och berättar om passagen plus annat i samband med den. Jag får även frågor som jag besvara efter bästa förmåga. Människorna verkar gilla läget och jag känner glädje sprida sig i kroppen. Jag går till refraktorn utanför dörren och justerar den där jag tror Solen är. Plötsligt öppnar sig en lucka i molnen och jag skriker "Jag ser den!". På bråkdelen av en sekund är jag omringad av människor som nästan trampar ner mig där jag står och försöker skydda teleskopet. Nu stiger lyckan inom mig till euforisk nivå. Människorna är så entusiastiska och glada så det finns ingen hejd på det.

När molnen sluter sig återvänder jag till räcket. Tidvis använder jag hela kroppen och vinglar till. En kvinna kommer fram och tycker jag borde ha en stol som stöd. Jag tittar lite förvånad och undrar hur jag ska få plats med en stol på räcket.

Passagen är nu slut och människorna skingras. Jag ska till Radiohuset där Stockholmsnytt väntar för en intervju. Radiohuset byggs om så vi står ute bakom en vägg där det är vindstilla. Mitt lyckorus finns kvar i kroppen när reportern sätter på bandspelaren. Minns jag rätt så ställde hon bara en fråga och sedan pladdrar jag på av ren och skär lycka. Bandspelaren har bara 4 min och 7 sekunder kvar så det gällde att fatta sig kort. Efteråt sa reportern "Det där skötte vi ytterst professionellt och bra". Jag kände mig lugn av det svaret och åkte hem.

Väl hemma svarade jag på lite e-post, åt lunch och sov en stund. När jag vaknar har jag fortfarande den behagliga känslan av lycka och folkfest i kroppen. Bestämmer mig för att åter åka till stan och gå till Kungsan där "Smaka På Stockholm" pågår. Hela stan är nu full av människor och Solen syns igen. Jag strosar sakta bland restaurangerna och njuter av folklivet. Plötsligt tar någon mig i armen och säger "Tack för en fantastisk morgon på kullen och vad du var bra på radio". Jag tackar för de vänliga orden och funderar över vad jag sagt i radion. Några minuter senare händer samma sak igen och jag börjar bli mer fundersam och lite generad över uppmärksamheten. På väg ut från Kungsan hör jag någon som verkar ropa på mig så jag vänder mig om för att se vem det kan vara. Det är den vänliga kvinnan som föreslog stolen. Hon funderar på att bli medlem i STAR så jag talar om hur hon ska göra via vår hemsida. När jag lämnar henne känner jag mig som en riktig kändis och får massor av lyckliga känslor i kroppen. Klockan är nu mycket så jag går mot bilen som står på söder.

Väl hemma sätter jag mig ner och summerar dagen. Det känns nästan som den lyckligaste dagen jag haft de senaste åren. Hela kroppen är ett enda lyckorus. Går det att bli så lycklig av en ideell förening som sysslar med astronomi och visar en Venuspassage som inte syns? Går det att kombinera lycka och astronomi? Svaret blir ett tveklöst, ja. STAR har fantastiska medlemmar som går upp mitt i natten och skapar folkfest på Observatoriekullen, och de får inte en enda krona för det. De lyckas dessutom göra 300-400 människor glada och lyckliga när de ställer till med ett arrangemang på en så okristlig tid. Tack, alla STAR medlemmar som var på Observatoriekullen den 6 juni. Ni gjorde ett fantastiskt bra jobb som glädde så många människor denna arla morgons-tund. *Nils-Erik Olsson, Ordförande i STAR*

Omslagsbild; *Från Venuspassagen uppe på Observatoriekullen som vi kunde se trots en del moln. Sol/venusbild foto Mats Mattsson. Folkmyllerbild foto Peter Strømmer.*



Kameravridaren AstroTrac i teori och praktik

2012-04-02

Ulf Larsson och Mats Mattsson från STAR redogjorde för sina erfarenheter av den behändiga manicken AstroTrac. Den monteras ovanpå ett vanligt kamerastativ och överst på den monteras kameran. Polaxelinställning görs med en tillhörande polsökare och sedan vrider en 12V-motor kameran i takt med

stjärnhimlen så att långa exponeringstider möjliggörs. Precisionen i följningen är tydligen mycket bra.



Kulturnatt Stockholm

2012-04-21

Många av Stockholms museer var öppna denna kväll, även så Observatoriemuseet och STAR. Mellan kl 18 och 20 höll Nippe Olsson föredrag för allmänheten om "Astronomi sett med ögon från Stockholms Amatörastronomer". Tidvis var lokalen i Magnethuset överfylld. Från kl 20 till 24 hade vi kupolen öppen så att man kunde beskåda himlens under genom teleskopet. Fast det gick inte så bra. Den första tim-

men kunde vi se ljusstarka Venus som uppvisade en skära. Sen förstörde molnen all sikt. Så de senare besökarna fick bara se en reklamskylt med NCC-stjärnan på, men var ändå på gott humör. Kön till kupolen var lång och vi räknade till drygt 300 besökare.



Universums första stjärnor och galaxer

2012-04-23

Föredrag om det unga universum av Erik Zackrisson, docent i Astronomi vid Stockholms Universitet. Ett

referat finns på sidan 8 i detta nummer av STELLA.

Kvinnor inom naturvetenskap och matematik

2012-05-07

Återigen ett föredrag av vår ständigt lika kunnige och medryckande medlem Karsten Jöred som botaniserade bland kvinnliga vetenskapare från Hypatia till

Vera Rubin. Tyvärr hade STELLA ingen rapportör vid detta tillfälle.

Astroloppis

2012-05-12

Redan kl. 10 denna lördag slog vi upp portarna i Magnethuset för en loppis med massor av prylar, främst kameror, kameraoptik, linser, teleskop, tid-

ningar och böcker. Fram till kl. 14 hade vi ett 30-tal besökare och en hel del av materialet såldes. En kul tillställning som vi hoppas kunna upprepa nästa år.

Astrofotokväll

2012-05-14

6 medlemmar visade sina senaste bilder med olika vinklingar på astrofoto. Det var bilder tagna med enkel digitalkamera, systemkamera, videokamera,

med och utan teleskop. Objekten täckte det mesta inom astronomi. En asteroidockultation var nog det ovanligaste.

Vårfest

2012-05-28

Sedvanlig avslutning på terminen med korvgrillning, potatissallad, bröd och dryck samt ett glatt umgänge.

Den utlovade solen behagade dock inte infinna sig, så förtäring (förrättning?) fick ske inomhus.

Venuspassagen

2012-06-06

STAR höll öppet hus. Se vidare artikeln om händelsen på sidan 4 ff.

ASTRONOMI-APPAR TILL ANDROID-TELEFONER

Av Claes Holmerson

Till moderna, smarta telefoner finns det numera mycket att välja på för den som vill ha stöd under sitt utforskande av natthimlen. Det var först för ett år sen som jag skaffade min första smartphone. Under lång tid hade jag en Sony Ericsson-telefon av lite äldre slag, men som jag kunde installera program på. Det var under denna period som mitt intresse för astronomi började gry. Jag hittade programmet Sideralis, som kunde rita upp stjärnhimlen på godtycklig plats, visa konstellationerna, och ge information om stjärnornas namn, koordinater, avstånd och magnitud. Detta program räckte långt för mig, det innehöll 1600 stjärnor och 100 Messier-objekt, och hjälpte mig att bekanta mig med stjärnhimlen under mörka kvällar när jag egentligen var ute i något annat ärende.

Sideralis är inget Android-program utan ett J2ME-program som fungerar för många äldre telefonmodeller. När jag sedan skaffade mig en Android-telefon var jag intresserad av vilka alternativ som fanns där. Det som följer är beskrivningar av några av de bästa programmen jag hittat. Floran av program har vuxit rejält senaste året, men många program gör samma sak.

Jag kände redan till programmet Google Sky Map, som Google utvecklat som ett slags reklampelare för sitt nya operativsystem för mobiltelefoner. Sky Map kunde rita en bild av stjärnhimlen som den såg ut bakom telefonens skärm. Genom att rikta telefonen mot en plats på himlen där man såg en stark stjärna så visade telefonen vilken stjärna det var. Smarta telefoner innehåller kompassfunktionalitet, men sensorn i dem kallas magnetometer och mäter magnetfältet i tre dimensioner. Den kan mäta inte bara deklinationen (en uppgift om nord/sydlig-riktning) utan också inklinationen, som mäter hur "brant" magnetfältet lutar mot jordens yta. När telefonen vet longitud och latitud (genom dess GPS) kan den beräkna den teoretiska inklinationen på denna plats, och med utgångspunkt från magnetometerens värden avgöra ungefär hur telefonen är riktad.

Sky Map visar information i lager: stjärnor, figurer av stjärnbilder, DSO, planeter mm. Man kan söka efter objekt i en katalog, och telefonen visar med en pil i vilken riktning man ska flytta telefonen för att

peka mot dem. Det finns dock inte mycket information om de enskilda stjärnorna, så Sky Map fungerar bäst som orientering, för de de som ännu inte hittar bra på stjärnhimlen.

För mer avancerade användare finns det ett alternativ, programmet Skeye, av den indiske programmeraren Harshad RJ. Principerna är liknande som för Sky Map, och Skeye vet också hur telefonen är riktad i förhållande till stjärnhimlen. Det är dock särskilt anpassat att fungera som push-to-instrument på ett teleskop, genom en funktion kallad Virtual DSC. Det vill säga, man fäster telefonen på teleskop-tuben, riktar in teleskopet mot en känd referenspunkt, markerar i programmet vilken referenspunkt man valt, och upprepar proceduren. Detta kalibrerar programmet. Därefter hjälper programmet till att rikta teleskopet, genom att visa med en pil hur man ska knuffa tuben i rätt riktning för att hitta sina objekt. Harshad RJ hävdar i dokumentationen att med två eller tre referenspunkter blir noggrannheten cirka 8 bågminuter.

Jag har inget eget teleskop ännu så jag har inte kunnat prova denna funktion, men principen tilltalar mig mycket. Skeye finns i två versioner, en enklare, som är gratis på marknaden Google Play, och en mer avancerad version som heter Skeye Pro. Skillnaden mellan versionerna är främst i antalet objekt: Pro-versionen innehåller hela NGC och IC-katalogerna, alla stjärnor ned till 10:e magnituden, satelliter mm.

Då det inte är möjligt att ta betalt för appar på Google Play om man bor i Indien som Harshad RJ gör, så kan man endast köpa Pro-versionen på andra marknader. Jag köpte Pro-versionen för 9 dollar på en marknad som hette SlideMe.

Harshad RJ är mycket lyhörd för förslag - på min första Android-telefon fungerade inte funktionen att zooma genom att knipa åt med fingrarna på skärmen. Jag föreslog att han skulle implementera zoomning med volymknappen, och inom loppet av några dagar hade han lagt till denna funktion. Att Harshad RJ är en dedikerad amatörastronom betonas också av hans experiment att kommunicera med "digital setting circles" (digitala gradskivor för teleskop) genom Skeye.

Skeye innehåller inte så mycket extra information om objekten i dess kataloger. Programmet Star Odyssey är en katalog med mer läsning om stjärnor, och vill man sedan hitta stjärnan på himlen så öppnas Skeye med en instruktion att peka ut stjärnan. Tyvärr fungerar det inte åt andra hållet - man kan inte öppna Star Odyssey för läsning om en stjärna som man hittat i Skeye. Sky Map Assistant är ett liknande program för Sky Map, men som innehåller foton av Messier-objekt, som sedan kan öppnas Sky Map och pekas ut på himlen.

Skeye kan gärna kompletteras med programmet Mobile Observatory, som kostar 30 kronor. Det fungerar bäst som kalender för månens faser, solens uppgång och nedgång, positionen för Jupiters månar och liknande fakta. Det innehåller också förslag på händelser att observera; datum och klockslag för konjunktioner, förmörkelser mm. Stjärnkartorna är dock inte av samma klass som Skeye, mer statiska men kanske mer lättlästa.

Sky Safari är ett välrenommerat astronomi-program som först fanns för Iphone och Ipad, men som också kommit till Android. Det finns i tre versioner som kostar mellan 20 kronor och 270 kronor. Den höga prislappen antyder att detta är ett avancerat program - de dyrare versionerna kan kontrollera teleskop och innehåller upp till 15 miljoner stjärnor. Det är mer avancerat än jag haft nytta av, men det jag definitivt uppskattat också i den billigaste versionen är det redaktionella innehållet: texterna som beskriver objekten. Det är värt priset flera gånger om. Ska man bara välja ett program så är det kanske detta, för sin mångsidighet.

Slutligen, Sat Track, som tidigare kallades Heavens Above (oberoende av den välkända webbsajten). Det innehåller information om satelliter som passerar över himlen vid telefonens position. Framförallt Iridium-satelliter, som kan blinka till med så kallade Iridium Flares. Sat Track visar med en kompassnål i vilken riktning man ska titta, och räknar ned tiden till blinkningen förväntas. Det har varit oväntat rogivande att vänta på kvällens blinkning från himlavalvet.

Sideralis:

<http://sideralis.free.fr/>

Sky Map:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.stardroid>

Sky Map Assistant:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Supernova.SMA>

Skeye:

<http://lavadip.com/skeye/>

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lavadip.skeye>

<http://slideme.org/application/skeye-pro>

Star Odyssey:

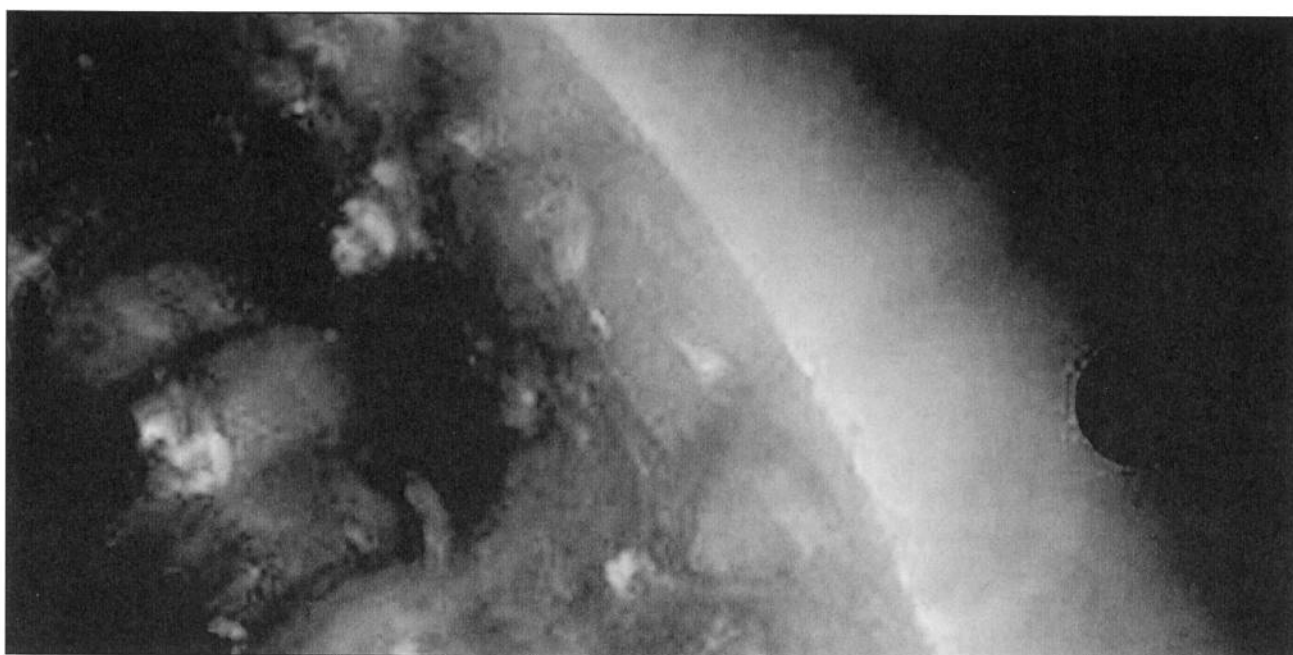
<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.randyl.starodyssey>

Mobile Observatory:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kreappdev.astroid>

Sky Safari:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.southernstars.skysafari_lite



Venus i solen korona. Bild tagen av NASA's SDO satellit.

UNIVERSUMS FÖRSTA STJÄRNOR OCH GALAXER

Text Bernt Balkh, STAR

Foto Gunnar Lövsund



Erik Zackrisson

Referat och egna synpunkter från ett föredrag i Magnethuset av Erik Zackrisson, docent i astronomi vid Stockholms Universitet, måndagen den 23 april 2012.

Erik inledde med att berätta om spektrallinjer och våglängdsområden i samband med detektion av strukturer i rymden. Gas- och stoftmoln både i jordens atmosfär och i rymden utanför har en tendens att skymma strålningen från objekt såsom stjärnor och galaxer och annat som finns i vårt universum. Därför tar vi hjälp av vår supermoderna teknik och skickar upp satelliter ovanför jordatmosfären. Till vår hjälp har vi **Hubbleteleskopet** som har givit oss fantastiska bilder på stjärnbildningsområden, nebulosor, galaxhopar, galaxkollisioner m m. **COBE-** och **WMAP-**satelliterna detekterar den kosmiska bakgrundsstrålningen som ju är resterna av vårt tidiga heta universum, Big Bang och den efterföljande inflationen, dvs. den enorma expansionen som skedde då. Det största märkbaserade fungerande teleskop vi har här i Sverige är ett 1 meters teleskop, dvs. teleskop av reflektortyp där spegeldiametern är 1 meter. Det teleskopet finns hos Astronomiska institutionen hos Stockholms Universitet i huset Alba Nova i Stockholm.

Det finns också andra stora teleskop i Sverige t.ex. ett i Lund som är större, 1,5 meter i diameter, men icke fungerande beroende på kanske främst finansiella orsaker.

Stjärnbildningsprocesserna är ytterst komplicerade och vi har svårt att förstå dessa processer i detalj. Det beror på att de sker i massiva, stoftrika molekylnmoln. På grund av stoftet är det mesta av stjärnbildningen skymd för synligt ljus. Med infraröddetektorer på satelliter kan man dock observera dessa protostjärnor inbäddade i sina stoftkokonger. Inom den lokala gruppen av galaxer där Vintergatan och Andromedagalaxen ingår, är stjärnbildningsprocesser relativt sällsynta, men om dessa båda spiralgalaxer kollide-

rar skulle det kunna sätta igång en stjärnbildningsprocess. Vi vet ju att galaxerna Vintergatan och Andromeda är på kollisionskurs mot varandra. Kanske de klotformiga stjärnhoparna som bildar en sfärisk halo runt de flesta spiralgalaxerna bildades under sådana omständigheter, dvs. kollisioner mellan spiralgalaxer. De klotformiga stjärnhoparna är väldigt gamla objekt. Erik visade animeringar på hur två galaxer kolliderade med varandra. Ofta är det mindre galaxer som kolliderar med varandra och ger upphov till en typisk elliptisk galax. Dessa som i sin tur kolliderar med varandra, ofta i de centrala delarna av en galaxhop, ger upphov till galaxkannibalism som skapar en elliptisk jättegalex. I solsystemets närmaste omgivning finns en s.k. "Starburstgalax" (stjärnbildningsgalax), M 82 i Stora Björnen. Stjärnbildningen sker där i de centrala delarna. Mot planet, där stjärnbildningen sker, blåses vätgas ut i form av vindar.

Tycho Brahe upptäckte den 11 november 1572 en supernova, SN 1572. 16 månader senare kunde han inte se längre novan för blotta ögat. Kikaren var då ännu inte uppfunnen. Supernovaresten finns i stjärnbilden Cassiopeia och är en av de starkaste radiokällorna på himlen.

Stjärnbildning och supernovaaktivitet var vanligare i det tidiga Universum, som också genererade de tyngre grundämnena vi ser i dag. De senaste resultaten från **WMAP** tyder på att de första stjärnorna bildades c:a 400 - 500 miljoner år efter Big Bang.

Rymdteleskopet Hubble har varit en stor källa till kunskap om universum. Men vad händer sen när Hubbleteleskopet går i graven? Om 5 år lär Hubbleteleskopet kollapsa. Kommer James Webb-teleskopet ta över år 2018? Med Hubbleteleskopet har man under 13 dygn tagit de djupaste bilderna av vårt universum någonsin, 13 miljarder år tillbaka i tiden.

Idag har vi *Very Large Array* i New Mexico, som består av 27 radioteleskop placerade i ett visst mönster för att uppnå bästa upplösning. Med det teleskopet har man studerat M 82 och dess supernovarester. I Chile finns ESO:s observatorium på berget Paranal i Atacama-öknen.

Teleskopet *VLT* med en spegel på 8,2 meter i diameter är världens största teleskop i sitt slag. Med detta teleskop har man tagit bilder av Krabbnebulosan, som är rester från en supernovaexplosion som skedde år 1054. I mitten av nebulosan finns en neutronstjärna.

Med de framtida nya generationernas rymdteleskop, t.ex. *James Webb*, räknar astronomerna med att se de första astronomiska ljuskällorna, de s.k. supertunga **Dark stars**. Det verkar vara mycket intressanta objekt som vi vet väldigt lite om. Erik berättade också om Dark stars extremt ljusstarka stjärnor som man tror bildas när mörk materia kolliderar. Man uppskattar att universum består av 75 % mörk energi, 21 % mörk materia och 4 % normal materia.

Simuleringar av universums struktur visar att galaxbildningen är mycket komplex. Galaxer och galaxhopar har en enormt rik struktur som också visar på innehåll av mörk materia. Erik visade bildanimationer på detta skeende. Den mörka materien växelverkar gravitationellt endast med sig själv och andra materiekomponenter. Den normala baryoniska materien växelverkar mycket starkt med sig själv genom kollisioner mellan atomerna, vilket resulterar i ett gastryck. Om tätheten är hög kan materien med tiden förlora sin energi genom strålningsprocesser vilket bidrar till hopklumpning och stjärnbildning och supernovaexplosioner.

Den storskaliga strukturen visar på filament av mörk materia där den normala materien följer med som någon sorts mareld på havet, om man får uttrycka det så. Astronomen Fritz Zwicky mätte redan på 1930-talet en galaxhops storlek och galaxernas hastighet, dvs. rödförskjutningen, och beräknade sedan massan hos galaxhopen. Han fann att den totala massan han på detta sätt erhöll översteg den man får genom att beräkna galaxernas totala massa utifrån ljusstyrkan man observerar. Man kan också mäta massan hos en galaxhop genom gravitationslinseffekten, en ny metod som går ut på att hopen fungerar som en gigantisk lins som böjer ljuset och därav beräknar man massan.

De närvarande STAR-medlemmarna ställde också många frågor angående mörk materia, svaret är fortfarande något diffust! Kanske kan framtidens teknik lösa den gåtan?

Vad är då den mörka energin, kan det vara en slags repulsion i termen av den **kosmologiska konstanten**, som fungerar som en konstant acceleration som får allt större betydelse med tiden. Denna masslösa kraft kan vara energi hos vakuumet.

Härmed är min energi slut liksom referatet från ett mycket intressant föredrag av astronomen Erik Zackrisson.

Ett stort tack å STARs vägnar!

STARs HEMSIDA

Nu har vi börjat få lite snurr på STARs hemsida, www.starastro.org. Vi har en ny webmaster, Johan Olzén, som ska se till att hemsidan fungerar både tekniskt och innehållsmässigt. Till sin hjälp har han Peter Mattisson, Göte Flodqvist och Gunnar Lövsund. Nytt är bl. a. att viss information bara är tillgänglig via inloggning. Lösenord kommer att (via e-post) meddelas de medlemmar som har betalat årsavgiften **och har meddelat en e-postadress till kassören Gunnar Lövsund**. Då får man tillgång till fotogalleri, årsmötesprotokoll, stadgar, förteckning över litteratur i vårt bibliotek m.m. Sidan är fortfarande under utveckling och förslag om innehåll liksom bilder till galleriet är mycket välkomna.

Info via e-post

Jag har en e-postlista som jag använder för utskick till medlemmar. För att vara med där måste man skicka ett mail till nilserik.olsson@telia.com och tala om att man vill stå med. Utskick gör jag när något händer som inte står i programmet eller något som sker på annan plats. Ni som inte står i min lista är välkomna att anmäla er. Ni som redan är med men har flyttat eller bytt e-postadress, var snälla och meddela det snarast både till mig och till kassören Gunnar Lövsund. OBS! Din e-postadress blir inte synlig vid utskick.

"Nippe" Olsson, ordförande

RÖDA FLÄCKAR PÅ LILLA LEJONET

Text Bertil Forslund, STAR

Foto Digitized Sky Survey (genom CDS) och Bertil Forslund

Ovanför den lättidentifierade stjärnbilden *Lejonet* (Leo), vars namn man spårar åtminstone tillbaka i persisk och babylonisk forntid, ligger *Lilla Lejonet* (Leo Minor). Den har inte så gamla anor och är litet svår att hitta på himlen, inklämd som den blev mellan *Lejonet* och *Stora Björn*. *Lilla Lejonet* är en 1600-talskonstruktion av den polske astronomen Johannes Hevelius, som tyckte att en ny konstellation borde kunna formas av stjärnorna i det här området. De är generellt ljussvaga.

Vid en mönstring nyligen på nätet i den fotografiska himmelsatlasen *Wikisky* [1] fastnade min blick på en grupp röda prickar på *Lilla Lejonets* "rygg" alldeles i närheten av *46 Leonis Minoris (Praecipua)*, magnitud 3,8, ljusstarkast i konstellationen. De ser ut som stjärnor, åtta stycken i en snygg liten grupp, men det är underligt att *Wikisky* inte kan leverera någon information alls om någon av dem, varken identitet eller magnitud. Ändå tycker man att ljusstyrkorna är jämförbara med andra närliggande, välbeskrivna stjärnor av magnitud 7 – 9. Den sammanhållna gruppen av likfärgade objekt antyder en stjärnhop, ett intryck som förstärks då man anar ytterligare objekt i bakgrunden, av samma färg och typ men nätt och jämt synliga. Ökar man förstoringen i *Wikisky* växer prickarna till röda fläckar på ett sätt som inte är typiskt för stjärnor i atlasen utan snarare leder tanken till röda nebulosamoln alternativt klothopar eller elliptiska galaxer, som är så avlägsna att man inte kan upplösa individuella stjärnor.

Wikisky är en imponerande, lättillgänglig och värdefull fotografisk sammanställning av hela stjärnhimlen, men har förstås en del smärre defekter. Förutom spår efter satelliter och flygplan ser man här och där fläckar, som möjligen härrör från interna reflexer i de instrument som använts vid fotograferingen. För utredning av de röda fläckarna på *Lilla Lejonet* behövde jag för säkerhets skull också konsultera andra källor. En sådan är *The Aladin Sky Atlas* [2], administrerad av CDS (*Centre de Données astronomiques de Strasbourg*), även den lättillgänglig via nätet. Liksom *Wikisky* erbjuder *Aladin* för varje område på himlen olika sorters fotoupptagningar, med olika upplösningsgrad och i flera spektralområden, både på film och digitalt. Vid närmare granskning inser man förstås att underlaget delvis är detsamma för de bägge databaserna. I *Wikisky* tycks amerikanska data dominera, medan européerna med fransmännen i spetsen har satt sin prägel på *Aladin*. Fläckarna vid *46 LMi* syns också i *Aladin*, men bara i upptagningar med rött filter från arkivet *POSSII F-DSS2* (0,658 µm). I *Wikisky* syns de röda fläckarna också bara i bildmaterial från denna samma källa (*DSS2, "Digitized Sky Survey 2"*), som bl.a. utnyttjat det s.k.

Oschin-teleskopet (1,2 m) på *Palomar*-observatoriet i Kalifornien. "F-et" markerar just användning av rödfilter.

Figur 1 är en kopia i svart-vitt från *Aladin* på ett 13'x15' stort område "nordväst om" *46 LMi* med två av de åtta ljusstarkare fläckarna. När man har öppnat *The Aladin Sky Atlas* på datorn och tryckt "Start Aladin Applet" kan man sedan begära en bild på t.ex. området motsvarande Fig. 1 ur något arkiv. Därefter kan man via en "server selector" kalla in olika astronomiska databaser från vilka objekt automatiskt läggs in som symboler i bilden. Klickar man på dessa i tur och ordning får man uppgifter om identitet m.m. Bilden myllrar strax av symboler för avlägsna stjärnor och djuprymdsobjekt som galaxer, kvasarer, radiokällor m.m. Tyvärr kunde jag inte finna någon symbol som sammanföll med centrum på fläcken eller på annat sätt tycktes associerad med denna. Mysko!

Egna observationer

Det finns risk att de "röda fläckarna" i *Leo Minor* i verkligheten är så ljussvaga att de bara kan detekteras med proffsutrustning. I så fall har trädgårdsastronomen inte mycket att hämta, men för att få visshet måste man ju testa. I min 8'' reflektor såg jag tyvärr ingen skymt av röda objekt i målområdet "nordväst" om *Praecipua*, trots bra seeing. Så lätt var det tydligen inte.

Inför fotografering med hög förstoring behöver man ett känt och tydligt objekt att rikta teleskopet mot. Både *Wikisky* och *Aladin* visar en namngiven stjärna: *TYC 2521-2073-1* (*RA*: 10^h53^m33^s, *Dek*: +35°07'36'', magnitud 11,5), som överlappar en av de största fläckarna (den starkaste stjärnan i Fig. 1, vid pilen). Även mina gammelmansögon ser stjärnan utan svårighet i 8'' reflektorn så den torde allmänt duga som siktmärke. För den som har ett "go-to-teleskop" eller annars kan justera och avläsa *RA* och *Dek* med precision är det nog lättast att nå dit genom att utgå från *Praecipua* och därifrån öka *RA* med 14'' och *Dek* med 55'. Den som skall söka sig fram i okularet på fri hand från *Praecipua* till *TYC 2521-2073-1* kan ha hjälp av en liten grupp med fem, sex stjärnor av magnitud 10 - 14 i karaktäristisk ringform. Den ligger c:a 5 bågminuter över och 10 väster om *TYC* (strax utanför bildens övre högra hörn i Fig. 1) och fångar blicken lättare än lilla ensam *TYC*.

Med CCD-kamera monterad på mitt 8'' Meade LX90 (L=2000 mm, f/10) tog jag i Påskas några bilder på *TYC 2521-2073-1*. Tyvärr var det nästan fullmåne och dessutom långt ifrån kristallklar luft. Fig. 2 visar resultatet av en serie "stackade" bilder med nära sju minuters total exponeringstid. Trots att

bakgrunden ljusades upp för att underlätta bedömning av eventuella skiftningar i färg eller gråton så syns inga sådana på den förväntade "fläckens" plats strax t.v. om *TYC*. Inte heller framträdde någon fläck på en i totalt 25 minuter exponerad bild med rödfilter och fokalreducerare (f/6,3) på teleskopet. Antiklimax? Tja, uppenbarligen krävs långtidsexponeringar för den här uppgiften.

Utmaning?

De röda fläckarna i *Leo Minor* har säkert ingen central roll i Universums utveckling, men jag skulle ändå vilja veta vad det rör sig om. De kanske är välkända objekt för många och då beklagar jag min okunnighet och att läsarnas tid har ödslats på mitt inlägg. Under alla förhållanden är jag tacksam för tips och information i ämnet (hoppas bara att vi inte är utsatta för något amerikanskt studentskämt eller en olycka i mörkrummet någonstans, någon gång).

I t.ex. *Wikisky*-atlasen vimlar det av röda områden; oftast stora och små emissionsnebulosor. Det som gör fläckarna nordväst om *Praecipua* speciella är 1) deras regelbundna, cirkulära form och 2) deras antal och förekomst inom ett begränsat område på himlen. Som nämndes inledningsvis kan man i *Wikisky* förutom de åtta ljusstarkaste fläckarna se några svagare och, med centrum strax väst om *Praecipua*, en samling mycket ljussvaga av samma typ. Söker man av omgivningen hittar man ytterligare två ganska starka en bit norrut, strax innanför gränsen för *Stora Björn* (Ursa Major).

När man ökar förstoringen i *Wikisky* och första gången ser en av de röda prickarna växa hajar man till och associerar spontant till en klothop med gamla, röda stjärnor. Vid närmare granskning blir man benägen att utesluta den möjligheten ändå. Det går inte att urskilja några individuella stjärnor och att en prydlig hop med regelbundna klothopar skulle ha förbisetts av Professionen i flera 100 år vore alltför

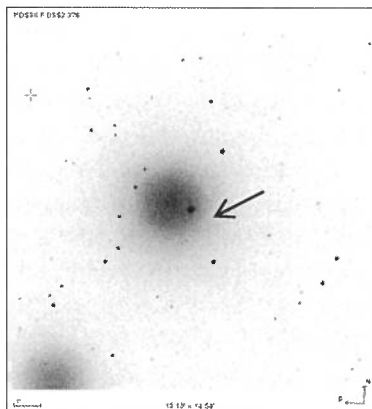


Fig. 1. Digitalbild på omgivningen till *TYC 2521-2073-1* (stjärnan vid pilen) i *Leo Minor*. Två fläckar med okänd identitet framträder. Kopia från *The Aladin Interactive Sky Atlas* [2]. Fotot taget med rödfilter i *Digitized Sky Survey 2*. Notera skalstrecket nere till vänster (= 1 bågminut).

bra för att vara sant. I stället kan det handla om ljussvaga röda stjärnor, som är skymda av interstellärt stof och därför syns diffusa. Mot detta talar att det inte tycks vara extremt stoftrikt i den här riktningen. Detaljstuderar man *Wikisky*-fotona ser man nämligen mellan fläckarna tydligt spiralgalaxer och andra djuprymdeobjekt. Får jag spekulera vidare kan man alternativt tänka sig avlägsna heta, blå stjärnor, vars energirika ljus på vägen mot oss exciterar gas som återutsänder rött ljus (som i emissionsnebulosorna). Hur som helst, om de röda objekten också ligger samlade utefter synlinjen har vi att göra med en celest hop av något slag, som ju alltid är intressant. Att döma av dess vinkelstorlek bör den ligga i *Vintergatan* eller nära invid.

Författaren har hittills inte lyckats fånga någon av de röda fläckarna på bild, men skall naturligtvis pröva igen. Ändå är min förhoppning att också några andra av *STARs* medlemmar skall finna uppgiften att dokumentera dem tillräckligt intressant och utmanande för att försöka. Förutsättningar som jag vet finns i föreningen är: kraftfulla teleskop, långtidsexponeringar med hjälp av guidekamera, kunskap om användning av olika filter och avancerad bildbehandling samt, inte minst, möjlighet att observera från platser fria från ljusföroreningar. Viss osäkerhet råder dessvärre om *Wikisky*- och *Aladin*-bildernas tillkomst. Instrument? Exponeringstider? Vi får vara medvetna om att vi kanske "fäktar mot väderkvarnar" om det i själva verket är bedrifter gjorda med *Oschin teleskopet* eller självaste *Hubble ST* som vi försöker matcha. Vad vet jag?

Referenser:

1. *Wikisky Sky Map*: <http://www.wikisky.org/>
2. *The Aladin Interactive Sky Atlas*, C.D.S., Strasbourg: <http://aladin.u-strasbg.fr/>



Fig. 2. Ungefär samma område som i Fig. 1 fotograferat genom författarens 8'' Meade LX90 teleskop. *TYC 2521-2073-1* är den ljusaste stjärnan (magn. 11,5). 10 stycken 40-sekunders exponeringar har "stackats" till en jpeg-bild. Korrektion har gjorts för mörkerström (dark frames) och utläsningsbrus (bias frames). Kamera: Qcam2-412. Binning 2x2.

FRÅN BIG BANG TILL I DAG

Text Dan Örberg, STAR

Torsdag den 8 december 2011 var jag på ett intressant föredrag på Observatoriemuseet. Det hade rubriken "Kosmos i ett nötskal – Från Big Bang till i dag på 60 minuter". Det var med Rahman Amanullah som forskar inom kosmologi, astropartikelfysik och strängteori på Oskar Klein-centret i Stockholm.

Han inledde med att visa ett vackert foto från ett ökenområde. Det såg ut ungefär som Arizona. Natt-himlen syntes väl med ett glittrande pärlband av stjärnor. Poängen med att visa bilden var att det inte fanns något sätt att säga om den är tagen i år eller 1912. Stjärnhimlen ändras knappt någonting på 100 år. Men vår förståelse om universum, dess utbredning, ålder och storskaliga struktur har ändrats avsevärt.

En slående skillnad mellan då och nu är att man inte hade någon gemensam syn om dess utbredning. En vanlig uppfattning var att vår galax, Vintergatan, utgjorde i stort sett hela Kosmos. Detta var ämnet för en konferens som ägde rum i Washington 1920 och som anordnades av amerikanska vetenskapsakademien. Konferensen fick namnet Den stora debatten. Huvuddeltagarna var astronomerna Harlow Shapley och Heber Curtis som intog motsatta ståndpunkter. Shapley argumenterade för att hela universum bestod av Vintergatan. Man hade kunnat tro att han, eftersom han var den yngre, skulle ha en mer radikal inställning.

På hösten 1923 hittade den kände astronomen Edwin Hubble en variabel stjärna i Andromedanebulosan. Det var en så kallad cepheid. Cepheider är ett bra verktyg för avståndsbestämning eftersom det finns en given relation mellan perioden för ljusstyrkans variation och den absoluta ljusstyrkan - den så kallade Period-luminositetsrelationen. Jag återkommer till den i avsnittet längre ner om Henrietta Leavitt. Man kan alltså veta hur ljusstark en cepheid är genom att noggrant mäta variationen i ljusstyrkan över en eller flera perioder. Sedan är det "bara" att mäta den skenbara ljusstyrkan så vet man hur långt bort den är. Resultatet som han fick var 900 000 ljusår. En siffra som senare reviderats uppåt åtskilligt, men det viktiga var att man nu visste att Vintergatan inte är den enda galaxen i universum. Hubble blev helt kallsvettig av sitt resultat och vågade inte offentliggöra något förrän efter flera mätningar. Andromedanebulosan fick nu heta Andromedagalaxen.

Åren kring 1910 arbetade astronomen Henrietta Leavitt på Harvardobservatoriet med katalogisering och mätning av ljusstyrkan hos variabla stjärnor. Hon grubblade över om det fanns ett samband mellan perioden för variationerna i ljusstyrka och den absoluta ljusstyrkan för variabler av typen cepheider. Leavitt kunde visa att det finns ett sådant samband. Hon gick tillväga på följande sätt. Hon riktade in sig på ett antal

cepheider i Lilla Magellanska molnet. Leavitt visste inte hur långt bort detta var men hade på känn att det nog låg rätt långt bort. Så långt att de inbördes avstånden mellan ljuskällorna var försumbara jämfört med avståndet mellan Jorden och Lilla Magellanska molnet och att skillnaderna i ljusstyrka bara hade reella orsaker. Detta visade sig vara helt riktigt och 1912 publicerade Leavitt ett arbete som beskrev ljusstyrkan och perioden för 25 cepheider. Det framgick tydligt att en lång period innebär högre ljusstyrka och tvärtom.

Nu återstod att mäta avståndet till en cepheid så hade man en bra mätsticka för universum. Detta utfördes av en grupp astronomer där Harlow Shapley var en av deltagarna. De mätte avståndet till en närliggande cepheid med olika metoder där stjärnparallax ingick.

En annan skillnad mellan 1912 och idag är att nuförtiden är forskarsamhället i stort sett enigt om att tid och rum började med Big Bang för cirka 13,7 miljarder år sedan och att universum sedan dess utvidgat sig. Detta var okänt för hundra år sedan. Även Albert Einstein förespråkade det *Stationära tillståndets kosmologi* i början av sin karriär. Dvs att universum alltid har sett likadant ut förutom att det inträffar mindre händelser som att stjärnor föds och dör.

Idén om ett expanderande universum har inte bara en förälder. Man kan nämna Alexandr Fridman och Georges Lemaitres, t ex. Men för att idén skulle få stadig grund behövdes bra mätresultat. En pionjär var Vesto Slipher som fått äran av att först mäta rödförskjutning hos galaxer.

(Rödförskjutning innebär att linjerna i spektrum från en ljuskälla är förskjutna mot den röda änden. Anledningen till det är att ljuskällan rör sig i synlinjen bort från observatören. Ju högre hastighet, desto högre rödförskjutning.)

Edwin Hubble hörde talas om Sliphers framgångar och antog utmaningen. Han och hans assistent Milton Humason tog sig an att mäta avstånd och rödförskjutning hos galaxer.

Humason hoppade av skolan vid 14 års ålder och började efter några yrkesverksamma år arbeta på Mount Wilson-observatoriet med transporter och fastighetsskötsel. Han visade intresse och fallenhet för astronomernas arbete och tog privatlektioner i matematik. År 1919 fick han anställning på fotografiska avdelningen.

1929 kunde Hubble och Humason offentliggöra ett arbete där avstånd och rödförskjutning för 46 galaxer ingick. Slutsatsen var att det finns ett linjärt samband, dvs ju längre bort en galax befinner sig desto högre hastighet bort från oss har den. Detta var en milstolpe.

Snart anslöt sig också Einstein till uppfattningen att universum utvidgar sig.

I mitten på 60-talet var radioastronomerna Arno Penzias och Robert Wilson på Bell Laboratories samsatta med att förbereda sin antenn för mätningar på himlen. De hade bekymmer med ett irriterande bakgrundsbrus. De försökte eliminera alla ovidkommande strålningskällor men hur de än ansträngde sig återstod en liten mängd strålning som verkade komma från alla håll och ha en temperatur på cirka tre grader Kelvin.

Ungefär samtidigt var kosmologerna Robert Dicke och James Peebles på Princetonuniversitetet upptagna med ett teoretiskt arbete där det förutsades att det ska finnas en bakgrundsstrålning som härstammar från en tidpunkt cirka 300 000 år efter Big Bang, den så kallade rekombinationen då universum blev tillräckligt svalt för att elektronerna som fram till dess rört sig lite hit och dit nu slog ihop sig med atomkärnorna. Universum blev i och med det genomskinligt och det ljus som fram till dess haft svårt att ta sig fram kunde nu flöda fritt. Det är detta ljus som efterhand har svalnat och fått längre våglängd i och med universums expansion som är den kosmiska bakgrundsstrålningen.

Penzias fick reda på Dickes och Peebles' arbete genom en kollega. Han ringde till Dicke och talade om att han och Wilson hade hittat den förutsagda bakgrundsstrålningen. Penzias och Wilson fick senare Nobelpriset för sin upptäckt.

Vad jag tycker är konstigt med det här är att ingen av Penzias, Wilson, Dicke eller Peebles hade hört talas om de vetenskapliga artiklar som lades fram i slutet av 40-talet av George Gamow, Ralph Alpher och Robert Herman. Alpher och Herman hade förut sagt den kosmiska bakgrundsstrålningen och Gamow och Alpher hade redogjort för hur den relativa förekomsten av väte och helium kunde förklaras av Big Bang.

Rahman sammanfattade med fyra punkter varför teorin om Big Bang numer är huvudfåran när det gäller uppfattningen om universums början och utveckling. De är:

1. Att universum expanderar
2. Att den kosmiska bakgrundsstrålningen finns
3. Fördelningen av grundämnen stämmer med teorin
4. Universum verkar ha en begränsad ålder, dvs. man har inte hittat några stjärnor som är jätte-jättegamla utan de äldsta är någonsans kring 10 miljarder år.

Rahman nämnde också lite annat på föredraget. T.ex. Knut Lundmark som redan 1919 genom observationer av novor fick fram ett avstånd till Andromedanebulosan på 650 000 ljusår, vilket borde ha räckt för att utnämna den till galax.

Vera Rubin som på 60-talet blev en pionjär när det gäller mätning av rotationshastighet för galaxer. Mätningar som oförklarligt visar en för hög hastighet och återuppväckte diskussionen om mörk materia. Mörk materia påtalades redan på 1930-talet av Fritz Zwicky men det fick inget genomslag då. Bland annat kanske för att han var så otrevlig.

COBE-satelliten som i början på 90-talet kunde registrera ytterst små ojämnheter i den kosmiska bakgrundsstrålningen och historien om 2011 års Nobelpris i fysik som handlar om att universum expanderar fortare och fortare. Men det får inte plats i den här artikeln.

Litteraturtips

Som kunskapskälla har jag använt den roliga och informativa boken Big Bang av Simon Singh.

Information om höstens program

Som ni ser i det bifogade bladet är det ett digert program med många spännande aktiviteter. För att inte missa något och även kunna se eventuella ändringar bör ni ofta titta på vår hemsida www.starastro.org.

Observera följande i programmet

Måndagen den 17 september ska vi besöka Cosmonova på Naturhistoriska Riksmuseet för att se hur det ser ut bakom kulisserna. Föranmälan till nilserik.olsson@telia.com krävs, antalet deltagare är begränsat till 30 stycken. Sista anmälningsdag torsdag 13 september kl 1800. Först till kvarn gäller. Vi träffas klockan 1800 på trappen utanför. Viktigt att komma i tid. När vi gått in låses nämligen dörren.

Lördagen den 13 oktober är det "Astronomins dag och natt" för första gången. Svenska Astronomiska Sällskapet vill göra astronomin mera synlig på det här sättet. Runt om i landet kommer det att vara aktiviteter med Astronomi som tema. I Stockholm blir det aktiviteter på tre platser med anknytning till astronomi. Det är Riksmuseet/Cosmonova, Vetenskapens Hus vid Albanova samt STAR och Observatoriemuseet. På Observatoriekullen kommer STAR och Observatoriemuseet ha olika aktiviteter. Vi försöker få till föredrag av både yrkesastronomer och amatörer. Vi ska även försöka få till något som gör barn och ungdomar intresserade.

Nils-Erik "Nippe" Olsson

ETT SOLDRIVET PRECISIONSUR

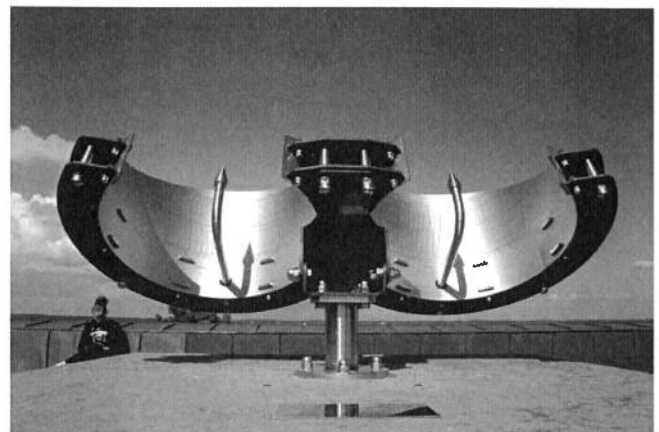
Text Nils-Erik "Nippe" Olsson, STAR

Styrelsen i STAR fick en inbjudan från Kunskapsskolan i Saltsjöbaden. De skulle inviga ett lite ovanligt solur den 24 april. Förutom tre styrelsemedlemmar (Nippe Olsson, Gunnar Lövsund och Linda Rosendahl) från STAR hade många astronomer och andra antagit inbjudan. Vi samlades i en föreläsningssal där några tal hölls, bland annat ett om Kunskapsskolan i Saltis av Kurt Berndt, som är chef för deras Naturvetenskapliga Centrum, KNC. Kurt berättade om det nya soluret, som är menat som ett tack till SAAB AB. Uret har en speciell inbyggd korrigerig för tidsekvationen och solens högsta punkt på himlen varje dag hela året. SAAB:s VD Håkan Buskhe höll ett mycket bra tal om SAAB och varför de är en stor sponsor till bland an-

nat Kunskapsskolan. Sedan var det dags att gå upp på den östra terrassen där uret stod under ett svart skycke. För själva avtäckandet stod Håkan Buskhe och Kunskapsskolans ordförande tillika störste ägare Peje Emilsson. Dagen var väl vald eftersom solen visade sig från sin bästa sida utan en massa skymmande moln. Skycket åkte av och det visade sig att soluret bestod av två ur; ett för sommar- och ett för vinterhalvåret. Det liknade inte alls ett normalt solur. Men så har det också en mycket hög precision – avvikelserna är max 30 sekunder i flera sekler framöver. Det krävdes många diskussioner bland samtliga närvarande inklusive inbjudna astronomer för att förstå hur det fungerade. Dagen avslutades med smörgås, kaffe och mingel i det fina aprilvädret.



Från Håkan Buskhe, Kurt Berndt, Peje Emilsson.
Foto Nippe Olsson



Solurets vänstra del är graderad för vinterhalvåret och den högra för sommarhalvåret. Foto Lars-Erik Svensson

TIPS OM STJÄRNKARTOR

Text Gunnar Lövsund, STAR

Från STARs medlem Claes Schibler, numera bosatt i Klövsjö, har vi fått tips om några intressanta stjärnatlaser som kan hittas på Internet. Här kan man tanka ner kartor i PDF-format och skriva ut i A4-storlek. Praktiskt för en kvälls observation inom ett begränsat område. Länkarna finns upplagda på www.starastro.org

http://www.cloudynights.com/item.php?item_id=1052

20 kartor täcker hela stjärnhimlen med stjärnor ner till magnitud 7. Lämplig om man vill få en översikt över objekt intressanta för ett mindre teleskop.

http://www.geocities.jp/toshimi_taki/atlas_85/atlas_85.htm
146 kartor som täcker stjärnor ner till mag. 8,5. Filerna är tyngre än föregående atlas.

<http://www.uv.es/jrtorres/triatlas.html>

25 kartor ner till magnitud 9

56 kartor till mag. 9,8 (typ Sky Atlas 2000)

107 kartor till mag. 11

218 kartor till mag. 11,1

571 kartor till mag. 12,6 (typ Uranometria 2000). Filerna är mycket tunga, så en snabb uppkoppling är bra. Oerhört detaljerat med alla slags objekt.

NÅGRA GLIMTAR AV DEN SPECIELLA RELATIVITETSTEORIN DEL 2

Text Hans Riesel, september 2011. Föredrag hållet för STAR (Utvidgad version)

INNEHÅLL

13. Transformation av lägeskoordinater. 14. Varifrån kommer invarianten $x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$? 15. Skillnaden mellan Galilei-Newtons och Minkowskis modeller av världen. 16. Val av enheter. 17. Längdförkortning och tidsdilatation. 18. Några invariansgenskaper. 19. Transformation av hastigheter. 20. Transformation av Lorentzfaktorn $\gamma(u)$. 21. 3-vektorer och 4-vektorer

13. Transformation av lägeskoordinater. I relativitetsteorins rum-tid blir transformationsformlerna mellan S och S^* mera komplicerade. De kallas Lorentz' transformation och lyder

$$\begin{aligned} x^* &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, & y^* &= y, & z^* &= z, \\ t^* &= \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{aligned} \quad (10)$$

och omvänt

$$\begin{aligned} x &= \frac{x^* + vt^*}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, & y &= y^*, & z &= z^*, \\ t &= \frac{t^* + vx^*/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \end{aligned} \quad (11)$$

där c är ljusets hastighet i vakuum. Vi observerar, att det ena formelsystemet övergår i det andra, om man byter ut v mot $-v$. — Inför man beteckningen γ för den s.k. Lorentzfaktorn $(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$, kan formlerna skrivas

$$\begin{aligned} x^* &= \gamma(x - vt), & y^* &= y, & z^* &= z, \\ t^* &= \gamma(t - vx/c^2) \quad \text{etc.} \end{aligned} \quad (12)$$

Liksom vid Galileis transformation ser vi, att den omvända transformationen fås genom att byta tecknet på v . — Varför blir nu med Lorentz' formler ljushastigheten densamma i alla inertialsystem? Jo, låt "avståndet" mellan två händelser (x_1, y_1, z_1, t_1) och (x_2, y_2, z_2, t_2) i S vara vektorn $(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t)$, där $c\Delta t = \{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2\}^{1/2}$. Om ljushastigheten i S är c , så blir motsvarande "avstånd" i S^* vektorn

$$(\Delta x^*, \Delta y^*, \Delta z^*, \Delta t^*) =$$

$$\begin{aligned} &(\gamma(\Delta x - v \cdot \Delta t), \Delta y, \Delta z, \gamma(\Delta t - v \cdot \Delta x/c^2)), \text{ och} \\ &c^2 \Delta t^{*2} - \Delta x^{*2} - \Delta y^{*2} - \Delta z^{*2} = \\ &c^2 \gamma^2 (\Delta t - v \cdot \Delta x/c^2)^2 - \gamma^2 (\Delta x - v \cdot \Delta t)^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2 \\ &= c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Denna kalkyl visar, att *ljushastigheten utfaller med samma värde c i både S och S^** , om respektive systems egentid används vid mätningen av c . Den ljushastighet c man finner genom att beräkna ljusets gångtid för att tillryggalägga sträckan $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ i systemet S blir nämligen exakt densamma som den en observatör i S^* finner för en ljustråle att tillryggalägga sträckan $(\Delta x^*, \Delta y^*, \Delta z^*)$.

I den vanliga euklidiska geometrin överförs uttrycket $\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2$ i $\Delta x^{*2} + \Delta y^{*2} + \Delta z^{*2}$ vid en ortogonal koordinattransformation, alltså vid en vridning eventuellt följt av en parallellförflyttning. Detta beror på, att uttrycket representerar en geometrisk storhet, nämligen kvadraten på längden av linjestycket $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ som förblir oförändrad vid byte av koordinatsystem. Sådana storheter kallas *invarianter*. — Man säger också, att uttrycket $x^2 + y^2 + z^2$, som ju är kvadraten på avståndet från origo till punkten (x, y, z) fastlägger *metriken* i den (tredimensionella) euklidiska geometrin, d.v.s. definierar hur man beräknar avstånd i denna geometri.

I den fyrdimensionella Lorentzgeometrin däremot, där koordinattransformationerna beskrivs med Lorentz' formler, är det i stället uttrycket $c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2$ som är invariant, alltså överförs i $c^2 \Delta t^{*2} - \Delta x^{*2} - \Delta y^{*2} - \Delta z^{*2}$, vid Lorentztransformationer. I Lorentzgeometrin spelar tydligen Lorentztransformationerna samma roll som de ortogonala transformationerna gör i den euklidiska geometrin, d.v.s. de låter uttrycket

$$c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2 \quad (14)$$

förbli oförändrat. Med en djärv generalisering kallar man då detta uttryck för *kvadraten på avståndet mellan origo $(0, 0, 0, 0)$ och händelsen*

(x, y, z, t) . Observera att uttrycket kan anta både positiva och negativa värden! — Skalära produkten av två 4-vektorer (ct_1, x_1, y_1, z_1) och (ct_2, x_2, y_2, z_2) definieras som

$$c^2 t_1 t_2 - x_1 x_2 - y_1 y_2 - z_1 z_2. \quad (15)$$

Om skalära produkten av två 4-vektorer är $= 0$, säger man att vektorerna är ortogonala i Minkowskirymden.

14. Varifrån kommer invarianten $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$? Den ekvation som bestämmer ljusets utbredning är den partiella differentialekvationen av andra ordningen

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0, \quad (16)$$

där φ är den s.k. vågfunktionen, som vi för ögonblicket inte behöver precisera närmare. Kravet att varje fysikalisk lag skall få samma formulering i alla inertialsystem leder till att (16) vid övergång från S till S^* skall få formen

$$\alpha \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^{*2}} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^{*2}} \right) = 0, \quad (17)$$

där α är någon konstant $\neq 0$. Man kan visa, att detta krav leder till formlerna (10) ovan för Lorentztransformationen. Allt man behöver göra för att visa detta, är att ansätta formlerna (10) med obestämda koefficienter, och sedan genomföra en måttligt komplicerad räkning. Slutresultatet av denna är, att de obestämda koefficienterna får precis de värden, som visas i (10). — Så här ser kalkylen ut: Sätt

$$x^* = A(x - vt), \quad y^* = y, \quad z^* = z, \quad t^* = Bt - Dx. \quad (18)$$

Då blir $\varphi(x^*, y^*, z^*, t^*) = \varphi(A(x - vt), y, z, Bt - Dx)$ och

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \varphi}{\partial x^*} \cdot A + \frac{\partial \varphi}{\partial t^*} \cdot (-D), \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{\partial \varphi}{\partial y^*}, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{\partial \varphi}{\partial z^*},$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial \varphi}{\partial x^*} \cdot (-Av) + \frac{\partial \varphi}{\partial t^*} \cdot B, \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = A^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^{*2}} - 2AD \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^* \partial t^*} + D^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^{*2}},$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^{*2}}, \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^{*2}}, \quad \text{samt}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = A^2 v^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^{*2}} - 2ABv \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^* \partial t^*} + B^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^{*2}}. \quad (20)$$

Insättning i vågekvationen ger

$$\left(A^2 - \frac{A^2 v^2}{c^2} \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^{*2}} - 2 \left(AD - \frac{ABv}{c^2} \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^* \partial t^*} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^{*2}} - \left(\frac{B^2}{c^2} - D^2 \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^{*2}} = 0. \quad (21)$$

För att detta uttryck skall överensstämma med vågekvationens utseende (17) i systemet S^* fordras alltså att

$$A \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) = 1, \quad A \left(D - \frac{Bv}{c^2} \right) = 0,$$

$$\text{och att } B^2 - c^2 D^2 = 1. \quad (22)$$

Detta ger koefficienterna i (10).

15. Skillnaden mellan Galilei-Newtons och Minkowskis modeller av världen. Vi har nu fört fram teorierna tillräckligt långt för att kunna ge en koncis beskrivning av skillnaden mellan fysikens två ovan nämnda referenssystem. I den Galilei-Newtonska mekaniken är det uttrycket $x^2 + y^2 + z^2$ som är invariant vid vanliga ortogonala koordinattransformationer, som ju används i *den* beskrivningen av världen, medan det i Minkowskigeometrin i stället är uttrycket $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ som är invariant vid de koordinattransformationer, som används där och som i denna geometri motsvarar de ortogonala transformationerna i den euklidiska geometrin. — Observera den strukturella likheten mellan "vågoperatorn"

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

och invarianten $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ i Minkowski-geometrin!

16. Val av enheter. Ovanstående och liknande kalkyler kan ges en enklare form om man väljer enheter så att ljushastigheten får värdet 1. Man kan t.ex. välja tidsenheten som den tid det tar för ljuset att färdas 1 m, vilket sker på $1/(3 \cdot 10^8)$ sek = 3,33 ns (nanosekunder). I kosmologin, där stora avstånd och långa tider förekommer, kan det vara praktiskt att räkna tiden i år och avstånden i ljusår. — Med denna förenkling blir det uttrycket $t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ som är invariant vid Lorentztransformationer.

17. Längdförkortning och tidsförlängning. En uppseendeväckande konsekvens av ljusets konstanta hastighet i olika inertialsystem är *Fitzgeraldkontraktionen* som gör att ett föremål med

längden l_0 som rör sig med hastigheten v synes hoptryckt i rörelseriktningen till längden

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = l_0/\gamma. \quad (23)$$

En annan, ganska analog konsekvens är *tidsdilatationen*, som gör att ett ur som rör sig med hastigheten v tycks gå långsammare än ett stationärt ur med en faktor $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. En tredje, för många fysikaliska förlopp ytterst viktig konsekvens är, att ett föremål som i vila har massan m_0 , men som rör sig med hastigheten v , tycks få sin massa ökad till

$$m = m_0/\sqrt{1 - v^2/c^2} = m_0\gamma. \quad (24)$$

Detta fenomen märks bl.a. när man låter elektriskt laddade partiklar, som elektroner eller protoner, snurra i en cyklotron. På grund av den ökade massan utsätts de för högre centrifugalkrafter i böjarna och går därför i flackare banor än de annars skulle göra, något som man kan iaktta. Detta får inte förstås så, att det skulle vara föremålets materieinnehåll som växer med ökad hastighet, utan det är så att där "massan" m förekommer i rörelseekvationerna, så måste m utbytas mot uttrycket $m_0\gamma$ ovan, för att ekvationerna fortfarande skall stämma.—En konsekvens av formeln är, att föremålets rörelseenergi inte följer den Newtonska formeln $E = m_0v^2/2$, utan får utseendet

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{m_0v^2}{2\sqrt{1 - v^2/c^2}} = m_0\gamma\frac{v^2}{2}, \quad (25)$$

ett uttryck som går mot oändligheten, då v närmar sig c . Det skulle alltså kosta oändligt mycket energi att driva upp en materiell partikel i ljushastigheten, vilket därför är omöjligt.

18. Några invariansegenskaper. Ur 4-vektorerna kan man härleda samband som kommer från 4-vektorns invariansuttryck. Så ger 4-lägesvektorn $R = (x, y, x, ct)$ att uttrycken

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 \quad \text{samt} \\ (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 - c^2(\Delta t)^2 \quad (26)$$

har samma värden i alla inertialsystem. — Betrakta en partikel som rör sig med konstant hastighet sträckan $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ under tiden Δt . I ett annat inertialsystem, som är fast förbundet

med denna partikel, blir sträckans längd och även $\Delta t = 0$, varför invarianten i detta system får värdet 0. Därför blir även $(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 - c^2(\Delta t)^2 = 0$ i det ursprungliga systemet, vilket är en omskrivning av det faktum att gångtiden för en ljusstråle längs intervallet $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ är Δt , om ljushastigheten är c , något som leder till *samma värde på c i varje inertialsystem*. — För 4-impulsvektorn $P = (\mathbf{p}, cm)$, där

$$\mathbf{p} = m \cdot (u_1, u_2, u_3),$$

blir invarianten $= c^2m^2 - p^2$, som i ett inertialsystem som följer med m i dess likformiga rörelse, då ju $\mathbf{p} = 0$, övergår i c^2m^2 , och man finner alltså att i varje inertialsystem $c^2m^2 - p^2 = c^2m_0^2$, vilket ju är en omskrivning av $m_0^2 = m^2/(1 - u^2/c^2)$, eller det kända uttrycket $m = m_0 \cdot \gamma(u)$ för massans variation med hastigheten.

19. Transformation av hastigheter. Utgå återigen från två inertialsystem S och S^* , där S^* rör sig med hastigheten v i positiva x -axelns riktning i förhållande till S . Antag, att en partikel rör sig med (vektor-)hastigheten \mathbf{u} i S . Vilken blir dess hastighet i S^* ? Antag, att hastighetens komponenter i de bägge systemen är

$$\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3) = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right) \quad \text{resp.} \\ \mathbf{u}^* = (u_1^*, u_2^*, u_3^*) = \left(\frac{dx^*}{dt^*}, \frac{dy^*}{dt^*}, \frac{dz^*}{dt^*} \right). \quad (27)$$

Hastigheten u är $|\mathbf{u}| = (u_1^2 + u_2^2 + u_3^2)^{1/2}$ och analogt för $u^* = |\mathbf{u}^*|$. Deriverar vi Lorentz' formler (12) ovan med avseende på t och beaktar att hastigheten v mellan de båda inertialsystemen är konstant, alltså att $dv/dt = 0$, får vi

$$\frac{dx^*}{dt^*} = \gamma \left(\frac{dx}{dt} - v \right) = \gamma(u_1 - v), \quad \frac{dy^*}{dt^*} = \frac{dy}{dt} = u_2, \\ \frac{dz^*}{dt^*} = \frac{dz}{dt} = u_3 \quad \text{och} \\ \frac{dt^*}{dt} = \gamma \left(1 - \frac{v}{c^2} \frac{dx}{dt} \right) = \gamma \left(1 - \frac{u_1 v}{c^2} \right). \quad (28)$$

Insättning i uttrycket för \mathbf{u}^* ovan ger

$$\mathbf{u}^* = \frac{d\mathbf{u}^*}{dt^*} = \frac{d\mathbf{u}^*}{dt} \bigg/ \frac{dt^*}{dt} = \\ \left(\frac{u_1 - v}{1 - u_1 v/c^2}, \frac{u_2}{\gamma(1 - u_1 v/c^2)}, \frac{u_3}{\gamma(1 - u_1 v/c^2)} \right). \quad (29)$$

Löser vi dessa formler med avseende på u_1, u_2 och u_3 finner vi den inversa transformationen

$$\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3) =$$

$$\left(\frac{u_1^* + v}{1 + u_1^*v/c^2}, \frac{u_2^*}{\gamma(1 + u_1^*v/c^2)}, \frac{u_3^*}{\gamma(1 + u_1^*v/c^2)} \right). \quad (30)$$

Man ser, att man får dessa inversa formler genom att återigen ersätta v med $-v$.

Formlerna (29) talar om hur hastighetskomponenterna (u_1, u_2, u_3) transformeras vid övergång från ett inertialsystem till ett annat. Det kan vara av intresse att även se hur hastighetens absoluta belopp $u = |\mathbf{u}| = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$ transformeras. Med en ganska lång kalkyl kan formel (30) omformas till

$$c^2 - u^2 = \frac{c^2(c^2 - u^{*2})(c^2 - v^2)}{(c^2 + u_1^*v)^2}, \quad (31)$$

eller omvänt

$$c^2 - u^{*2} = \frac{c^2(c^2 - u^2)(c^2 - v^2)}{(c^2 - u_1v)^2}. \quad (32)$$

Man ser att man som vanligt får de inversa formelerna genom att ersätta v med $-v$.

Om man väljer $u_2 = u_3 = 0$, blir även $u_2^* = u_3^* = 0$. och (32) övergår i

$$c^2 - u_1^{*2} = \frac{c^2(c^2 - u_1^2)(c^2 - v^2)}{(c^2 - u_1v)^2}. \quad (33)$$

Genom att sätta in $u_1^* = (u_1 - v)/(1 - u_1v/c^2)$ från (29) kan man lätt konstatera att (32) är identisk med den tidigare härledda formeln för addition av de parallella hastigheterna u och $-v$, som ger just $(u - v)/(1 - uv/c^2)$. — Lägg märke till att vid addition av hastigheter, som båda är parallella med S - och S^* -systemens x -axlar, ingen förändring sker av hastigheternas transversala komponenter y och z . En sådan påverkan sker däremot i det allmänna fallet, ty då blir y - och z -komponenterna i (29) inte längre $= 0$.

20. Transformation av Lorentzfaktorn $\gamma(u)$. Ibland har man behov av att veta hur Lorentzfaktorn transformeras, när man går över från ett inertialsystem S till ett annat S^* . — För att härleda detta samband skriver vi först om formel (31) som

$$\frac{1 - u^{*2}/c^2}{1 - u^2/c^2} = \frac{(1 + u_1^*v/c^2)^2}{1 - v^2/c^2}. \quad (34)$$

Rotutdraging ger

$$\frac{\gamma(u)}{\gamma(u^*)} = \gamma(v) \left(1 + \frac{u_1^*v}{c^2} \right), \quad (35)$$

och genom att ersätta v med $-v$ samt kasta om rollerna av u och u^* får man som vanligt den inversa varianten av samma formel:

$$\frac{\gamma(u^*)}{\gamma(u)} = \gamma(v) \left(1 - \frac{u_1v}{c^2} \right). \quad (36)$$

21. 3-vektorer och 4-vektorer. I den vanliga 3-dimensionella geometrin är det praktiskt att arbeta med 3-vektorer $\mathbf{r} = (x, y, z)$ för att få koncisa härledningar och enkla formler. På liknande sätt är det praktiskt att i Minkowskis rum-tid, som ju har fyra dimensioner, tre rumsdimensioner (x, y, z) och en tidsdimension t , införa s.k. 4-vektorer $R = (x, y, z, t)$. Dessa kommer till god användning t.ex. vid övergång från ett koordinatsystem S som är fast förbundet med ett inertialsystem, till ett annat inertialsystem S^* i rum-tiden. För att 4-vektorerna skall bli verkligt användbara i t.ex. härledningar, fordras emellertid ytterligare ett villkor. Det krävs nämligen att alla fyra komponenterna i 4-vektorn sammantagna återspeglar någon geometrisk eller fysikalisk egenskap. Ett nödvändigt villkor för detta är, att alla komponenterna har *samma fysikaliska dimension*, d.v.s. att de alla kan skrivas som $Längd^p \cdot Tid^q \cdot Massa^r$ med samma värden på p, q och r . Ett enkelt exempel är att man i ovanstående 4-vektor för en händelse bör välja tidskoordinaten till ct i st.f. t , så att lägesvektorn får utseendet (x, y, z, ct) , ty ljushastigheten c med dimensionen m/s ger $ct = (m/s) \times s = m$, som ju har dimensionen längd, liksom punktens rumskoordinater. — I fortsättningen kommer vi att använda halvfet stil för att beteckna 3-vektorer och vanliga versaler (stora bokstäver) för att beteckna 4-vektorer. Ex.: Lägesvektorn $\mathbf{r} = (x, y, z)$ får motsvarande 4-vektor $R = (x, y, z, ct) = (\mathbf{r}, ct)$ och hastighetsvektorn $\mathbf{u} = d\mathbf{r}/dt = (u_1, u_2, u_3)$ ingår i 4-vektorn $U = dR/dt^* = \gamma(u)(u_1, u_2, u_3, c) = \gamma(u)(\mathbf{u}, c)$. Accelerationsvektorn blir $\mathbf{a} = d\mathbf{u}/dt = (a_1, a_2, a_3)$ med motsvarande 4-vektor

$$A = dU/dt^* = \gamma dU/dt = \gamma \times \frac{d}{dt} (\gamma(u) \cdot \mathbf{u}, c \cdot \gamma) = (\gamma(\dot{\gamma}\mathbf{u} + \gamma\dot{\mathbf{u}}), \gamma\dot{\gamma}c) = \gamma(\dot{\gamma}\mathbf{u} + \gamma\dot{\mathbf{u}}, \dot{\gamma}c), \quad (37)$$

där $(\dot{\quad})$ betecknar derivering med avseende på t .

3-impulsvektorn \mathbf{p} för en partikel med hastigheten \mathbf{u} , definieras som $\mathbf{p} = m\mathbf{u}$ och motsvaras av 4-impulsvektorn $P = m_0\gamma(u)(\mathbf{u}, c) = (\mathbf{p}, cm)$. På grund av invariansen finner man att bl.a. storheterna

$$\mathbf{x}^2 - c^2t^2, \quad \gamma^2(u)(u^2 - c^2) \quad \text{och} \quad \mathbf{p}^2 - c^2m^2 \quad (38)$$

alla bibehåller sina värden vid övergång från ett inertialsystem till ett annat i Minkowskirymden.

Det visar sig, att 4-hastighetsvektorn U och 4-accelerationsvektorn A är ortogonala, ty

$$U \cdot A = \gamma(u)(\mathbf{u}, c) \cdot \gamma(\dot{\gamma}\mathbf{u} + \gamma\dot{\mathbf{u}}, \dot{\gamma}c) = \gamma^2(c^2\dot{\gamma} - \gamma\mathbf{u}\dot{\mathbf{u}} - \dot{\gamma}\mathbf{u}^2). \quad (39)$$

Nu är ju $\dot{\gamma}(u) = \gamma^3u\dot{u}/c^2$ samt $\mathbf{u}\dot{\mathbf{u}} = u\dot{u}$ och $\mathbf{u}^2 = u^2$. Detta reducerar (39) till

$$\begin{aligned} \gamma^2 \left(\gamma^3 u \dot{u} - \gamma u \dot{u} - \gamma^3 \frac{u \dot{u}}{c^2} u^2 \right) = \\ \gamma^3 u \dot{u} \left(\gamma^2 - 1 - \frac{\gamma^2 u^2}{c^2} \right) = 0. \end{aligned}$$

4-kraften F som verkar på en partikel med 4-impulsen P definieras som

$$F = \frac{dP}{dt^*} = \gamma(u) \frac{d}{dt} (\mathbf{p}, cm) = \gamma(u) \left(\mathbf{f}, c \frac{dm}{dt} \right), \quad (40)$$

där \mathbf{f} är 3-kraften, som verkar på partikeln. — Här är det intressant att konstatera, att det upp-

står en skillnad mellan Newtons mekanik och relativitetsteorin. Hos Newton leder kraftekvationen $\mathbf{f} = m \cdot \mathbf{a}$ till att partikelns acceleration sker helt i kraftens riktning. I relativitetsteorin däremot ”knuffar” en liten del av 4-kraften partikeln i den mot kraften vinkelräta riktningen! Så här hänger det ihop: Eftersom F är proportionell mot A , och A och U är ortogonala 4-vektorer, är även F och U ortogonala, och därför är

$$\begin{aligned} \gamma(u)(\mathbf{f}, c \frac{dm}{dt}) \cdot \gamma(u)(\mathbf{u}, c) = \\ \gamma^2(u) \left(c^2 \frac{dm}{dt} - \mathbf{f} \cdot \mathbf{u} \right) = 0, \quad (41) \end{aligned}$$

och alltså är $c^2 dm/dt = \mathbf{f} \cdot \mathbf{u}$. Eftersom emellertid

$$\mathbf{f} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{u}) = m \frac{d\mathbf{u}}{dt} + \mathbf{u} \frac{dm}{dt} = m\mathbf{a} + \frac{\mathbf{f} \cdot \mathbf{u}}{c^2} \cdot \mathbf{u}, \quad (42)$$

blir inte \mathbf{f} parallell med \mathbf{a} annat än i undantagsfall. Om $\mathbf{f} \parallel \mathbf{u}$ fås motsvarande acceleration ur $\mathbf{f}_{\parallel} = m\mathbf{a}_{\parallel} + \mathbf{f}_{\parallel}u^2/c^2$, dvs. $\mathbf{f}_{\parallel} = m\gamma^2\mathbf{a}_{\parallel} = m_0\gamma^3(u)\mathbf{a}_{\parallel}$, medan om $\mathbf{f} \perp \mathbf{a}$ man finner att $\mathbf{f}_{\perp} = m_0\gamma(u)\mathbf{a}_{\perp}$. *Ett föremål i rörelse besitter alltså olika stor tröghet mot förflyttningar i olika riktningar!* Obs. att resonemanget förutsätter att föremålets vilomassa m_0 är konstant; formlerna kan således inte tillämpas på t.ex. raketer.

(Forts. i nästa nummer)



IC 1318
2010-10-10
ISO 16#371
foto
Gunnar
Lövsund



Tarantulanebulosan (NGC 2070 eller 30 Doradus) är en HII-region 160 000 ljusår bort i Stora Magellanska Molnet i stjärnbilden Svärdfisken. Teleskop Celestron C11, kamera Canon 400D, exponering 4x2 minuter ISO1600.



Helixnebulosan (NGC 7293), en planetarisk nebulosa i stjärnbilden Vattumannen. Avstånd 700 ljusår. Teleskop Astro-Physics Starfire 130, Canon 400D, 10x1 minut ISO1600.



Eta Carina nebulosan (NGC 3372) i stjärnbilden Kölen omger ett antal öppna stjärnhopar och den mycket massiva stjärnan \dot{E} Carinae. Avstånd 6500 – 10000 ljusår. Teleskop Celestron C11, kamera Canon 400D, 8 minuter ISO1600.