

nye mekanismer på er at måle afvigelser fra CP-symmetrien og sammenligne dem med forudsigelserne fra CKM-modellen. LHCb-eksperimentet ved LHC i Genève har et omfattende program af præcisionsstudier af CP-symmetri, og experimentet offentliggjorde for nylig [1] opdagelsen af CP-symmetribrud i henfald af baryoner – partikler, ligesom protonen og neutronen, der består af tre kvarker.

Opdagelsen blev gjort ved at studere bottom-baryonen Λ_b^0 , som består af en up-, en down- og en bottom-kvark, samt dens antipartikel $\bar{\Lambda}_b^0$. Den tunge og relativt kortlivede baryon henfalder til mere stabile partikelsystemer – i dette tilfælde $pK^-\pi^+\pi^-$ (se figur 1). Hvis CP-symmetrien er bevaret, skal henfaldskæden for Λ_b^0 og $\bar{\Lambda}_b^0$ forekomme lige hyppigt; men målingen viste, at Λ_b^0 -baryonen henfalder omkring 2,5 % oftere til sluttillstanden end sin antistof-modpart.

Antallet af registrerede Λ_b^0 - og $\bar{\Lambda}_b^0$ -henfald påvirkes også af mulige asymmetrier i produktionen af disse partikler og i detektion af deres henfald. Når der korrigeres for disse effekter i dataanalysen, er den statistiske signifikans af observationen 5,2 standardafvigelser. Nøjere studier viser, at kortlivede resonanser af andre partikler i henfaldet både kan øge og mindske CP-asymmetrien, fordi den kvantemekaniske interferens varierer mellem de forskellige henfaldsveje. LHCb har også undersøgt henfaldskanalerne $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda K^+ K^-$ og $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p \pi^-$ (hvor J/ψ er en meson, der består af en charm-kvark og en anti-charm-kvark), som viser tegn på CP-symmetribrud med signifikans på hhv. 3,1 og 3,9 standardafvigelser, men der kræves mere data for endeligt at fastslå CP-brud i disse henfald.

LHCb befinder sig nu i sin tredje dataindsamlingspe-

riode med et planlagt produktionsstop i midten af 2026. Med de nyindsamlede datamængder fortsætter arbejdet med at forstå, hvad der skete ved universets fødsel, hvor stof og antistof gik hver sin vej.

Litteratur

- [1] LHCb Collaboration (2025) “Observation of charge-parity symmetry breaking in baryon decays”, *Nature*. bind **643**, side 1223–1228.



Lars Eklund er professor ved Institutionen för Fysik och Astronomi, Uppsala Universitet.



Patrik Adlarson er forsker ved Institutionen för Fysik och Astronomi, Uppsala Universitet.

Fra Skyhav til Stjernelys: Erfaringer fra NOT-sommerskolen på La Palma

Charlie Emil Lind-Thomsen, Niels Bohr Institutet

Artiklen præsenterer en beretning fra den observationelle sommerskole ved Det Nordiske Optiske Teleskop (NOT), hvor danske fysikstuderende opnår praktisk erfaring med planlægning og udførelse af astronomiske observationer. Forløbet omfatter både forberedende arbejde i København og fem nætters observationer på La Palma, herunder udvælgelse af mål, analyse af sigtbarhed, konstruktion af observationsblokke samt håndtering af kalibrationsdata og rådata. Artiklen skitserer centrale tekniske procedurer og læringsprocesser og fremhæver, hvordan opholdet giver indblik i observationsastronomiens metodik og arbejdskultur, herunder gruppens identifikation af en mulig lensed kvasar.

Forberedelserne i København

Hvert år afholdes en observationel sommerskole ved Det Nordiske Optiske Teleskop (NOT). Målet med sommerskolen er at give studerende i astrofysik ”hands-on” erfaring med brugen af teleskoper og alt, hvad der hører til.

Sommerskolen varer to uger. Først forbereder man de observationer, man gerne vil lave hjemme i Danmark, hvorefter man flyver til La Palma, hvor sommerskolen har hele fem nætters observationstid på NOT. I løbet af den sidste uge bliver man indført i alt, hvad der skal til – fra man opstarter NOT, til man sidder med et

reduceret datasæt i hånden.

I år havde jeg den store fornøjelse at deltage i sommerskolen sammen med 21 andre fysikstuderende fra hele Danmark. Sommerskolen fandt sted fra den 11. til den 23. august. Jeg var en del af en gruppe på fem andre studerende – stor tak til Ísól, Mark, Kaj, Fiona og William. Her følger en kort fortælling om vores oplevelser:



Figur 1. Det Nordiske Optiske Teleskop (NOT) på La Palma.

Den første uge brugte vi i Niels Bohr Bygningen i København, hvor vi først skulle finde ud af, hvad vi gerne ville observere. Vi havde nogle forskellige idéer, og planlagde i meget forskellige retninger: Nogle ville gerne observere den intergalaktiske komet 3I/Atlas, som skulle passere forbi en stjerne, mens vi var dernede, og andre ville tage flotte billeder af stjernehobe, galakser og planeter. Selv havde jeg arbejdet med lensede kvasarer i mit bachelorprojekt to måneder tidligere og havde derfor fundet nogle lensede kvasarkandidater, som jeg meget gerne ville undersøge nærmere. En lensede kvasar er et fænomen, hvor lyset fra en fjern kvasar bliver bøjet og forstærket af tyngdekraften fra et massivt objekt, typisk en galakse, der ligger mellem os og kvasaren.

Vi var inddelt i fire grupper, som hver havde omkring ni timers observationstid på NOT, fordelt over fire nætter. Hver gruppe havde altså én nat fri fra observationer.

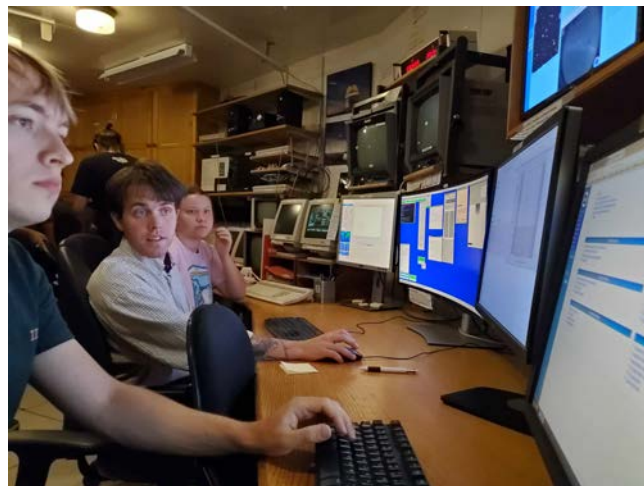


Figur 2. Teleskopet kigger ud gennem den øverste luge. Foto: Benjamin Godson.

I løbet af ugen skulle vi planlægge, hvordan vi bedst udnyttede den tid, vi havde til rådighed ud fra dogmet om ikke at spille den dyrebare teleskoptid!

Vi skulle kigge på visibility plots, som viser, hvornår et objekt på himlen befinder sig over horisonten i løbet af natten, og sammenligne dem med vores tider på teleskopet. Vi skulle vælge filtre, grismer og spalter, som er optisk udstyr, der udvælger specifikke bølgelængder af lys til astrofysiske observationer, og samle det hele i en observationsblok. Det er en kode, man starter på teleskopet, som sørger for, at ens objekt bliver observeret som planlagt.

Og vi måtte for guds skyld ikke glemme finding chartet, som er et billede af nattehimmelen omkring objektet med en pil, der peger på det specifikke mål, så man kan finjustere teleskopet. Ej heller måtte vi glemme kalibrationsobservationer, som gør det muligt at fratække støj og atmosfæriske effekter, og som gør det muligt at vide, hvilke bølgelængder ens observationer svarer til. Ud over at planlægge vores observationer blev vi sat ind i forskellige praktiske og tekniske ting, som: Hvordan laver man observationsblokke? Hvad betyder sigtbarhed, fugtighed og støj for jordbaserede teleskoper? Hvad skal der til for, at man kan observere et objekt med NOT? Hvad gør man med de rådata, teleskopet indsamler?



Figur 3. Der er stor koncentration i kontrolrummet, når man er igang med at udføre observationer. Det helst skal gå hurtigt for ikke at spille den dyrebare observationstid. De mange skærme styrer forskellige dele af teleskopet og har forskellige informationer.

Den kursusansvarlige, Johan Fynbo, holdt små oplæg om disse emner, og i løbet af ugen blev vi endelig klar til at tage af sted mod La Palma!

Observationerne på La Palma

Vi mødtes ulideligt tidligt i lufthavnen lørdag den 16. august, klar til en hel dags rejse og fire nætters observationer på La Palma. Efter at man er brudt gennem skylaget på Roque de los Muchachos, ankommer man til NOT, hvor hele ni andre teleskoper også har deres hjem: det spanske Gran Telescopio Canarias, det britiske William Herschel Telescope, det italienske Telescopio Nazionale Galileo, det hollandske Jacobus Kapteyn Telescope, det svenske Swedish Solar Telescope, det

hollandske Dutch Open Telescope, det britiske Liverpool Telescope, det belgiske Mercator Telescope og MAGIC Telescopes, et gamma-ray-teleskop.

Og hvilket syn er ikke dette fantastiske bjerg, lige på grænsen til Atlanterhavet! En symbiose mellem natur og naturvidenskab mødes på klippetoppene, hvor teleskoperne pryder den vulkanske grund. Når man befinder sig over skylaget, føler man sig taget ud af den almene verden – svævende på en lille ø kun bestående af klipper, et skyhav og teleskopernes ensomme frem-spring. Men ingen af de naturskønne omgivelser slår det fænomen, som opstår, når solen er gået ned, og dens sidste stråler langsomt forsvinder. En nattehimmel uden lige begynder langsomt at tone frem. Resten af Mælkevejen buldrer af liv og stjerner, og teleskopernes spejle åbner denne om dagen lille og omslutede verden ud imod det uendelige univers.

Det var i disse omgivelser, at min gruppe havde første observationsnat søndag. Vi var den første gruppe og skulle derfor starte teleskopet op. Det astronomiske tussmørke begyndte kl. 21.15, men før det skulle der tages diverse kalibrationsobservationer, og vi skulle sikre os, at alle grismer og filtre var tilgængelige. Ud over tre undervisere fra KU, SDU og AU var der i denne uge to studerende til stede på NOT for at hjælpe os: Kostas Valeckas og Roar Rasmussen. Uden disse to personer var der ingen tvivl om, at min gruppe på ingen måde ville have kunnet så meget som at åbne teleskopets kuppel. Med tålmodighed og kyndighed førte Roar og Kostace os gennem alle skridt, der skulle til for at udføre de nødvendige procedurer. De studerende er ansat på NOT mindst et år ad gangen.



Figur 4. Fra kontrolrummet i NOT umiddelbart efter, at de foreløbige data fra en observation er kommet op på skærmen. Det er tydeligt fra spektret, at der dels er flere objekter på skærmen (det er godt!), men også, at der er tale om kvasarer, som vi har ledt efter. Derfor det store smil!

I løbet af de næste fem nætter blev vi bedre og

bedre til at udføre de nødvendige procedurer, og vi fik observeret næsten samtlige af de planlagte objekter. Den cirka to og en halv times observationstid midt om natten fløj af sted.

Vi var fyldt med eufori over at indtaste kommandoer på den gamle TCS-computer, som var sort og grøn og absolut ikke måtte slukkes – og over at opholde os i NOTs kontrolrum, hvor hele rummet drejede, når man valgte sit target. Vi befandt os i et miljø, hvor den rene astronomi blev dyrket og nørdet i højeste gear.

I løbet af sådan en nat kunne man godt gå hen og slumre en smule i det varme kontrolrum, men så var det godt, at der efter hver observationsblok lød en høj alarm kaldet "astronomens vækkeur", hvor der stod "Vågn op og gør noget" på skærmen. Det andet, som kunne vække én i kontrolrummet, var hvis man fik en såkaldt "Target of Opportunity" – en funktion, som nogle astrofysikere kan aktivere, hvis de finder ud af, at nu skal dét objekt observeres, fordi der sker noget særligt. Det blev min gruppe udsat for et par gange, og det gik selvfølgelig ud over de observationer, vi selv havde planlagt, for natten blev jo ikke længere af den grund. Vi fik i hast aftalt, hvilke objekter vi så ikke nåede at observere alligevel.

Da klokken slog 02.38, blev det den næste gruppes tur, og det var med et tungt hjerte, at min gruppe og jeg begav os ned ad bjerget efter vores sidste observation. Dem af os, der ikke var alt for trætte oven på strabadserne, valgte at gå. Og her, med den tørre bjergluft omkring os, trætte hjerner, store smil, og hvad der følte som fri adgang til det ekspanderende kosmos over os, forstod jeg hele idéen med, hvorfor vi dyrker astrofysik bedre end nogensinde.

Læring, resultater og refleksion

Og således vil jeg afslutte min fortælling om dette års NOT-sommerskole. Ugen på La Palma har uden tvivl været blandt de mest lærerige i mit liv. Jeg har ikke kun fået en dyb indsigt i, hvad det vil sige at lave astronomiske observationer – hvordan man helt konkret går fra en idé til et reduceret datasæt, hvordan man planlægger og strukturerer en observationsnat, og hvordan man samarbejder i en gruppe for at nå sine videnskabelige mål – men også hvor stærkt, varmt og velkomment et miljø, der findes inden for astronomi.

Tak til alle jer, der har gjort dette muligt!

PS: *Jeg fandt mindst én lensed kvasar!* Af den grund ses jeg meget glad på billedet med NOT-kasket og de rådata, som vi lige har observeret.



Charlie Emil Lind-Thomsen er studerende på Niels Bohr Institutet.