

THE AURORAL OBSERVATORY

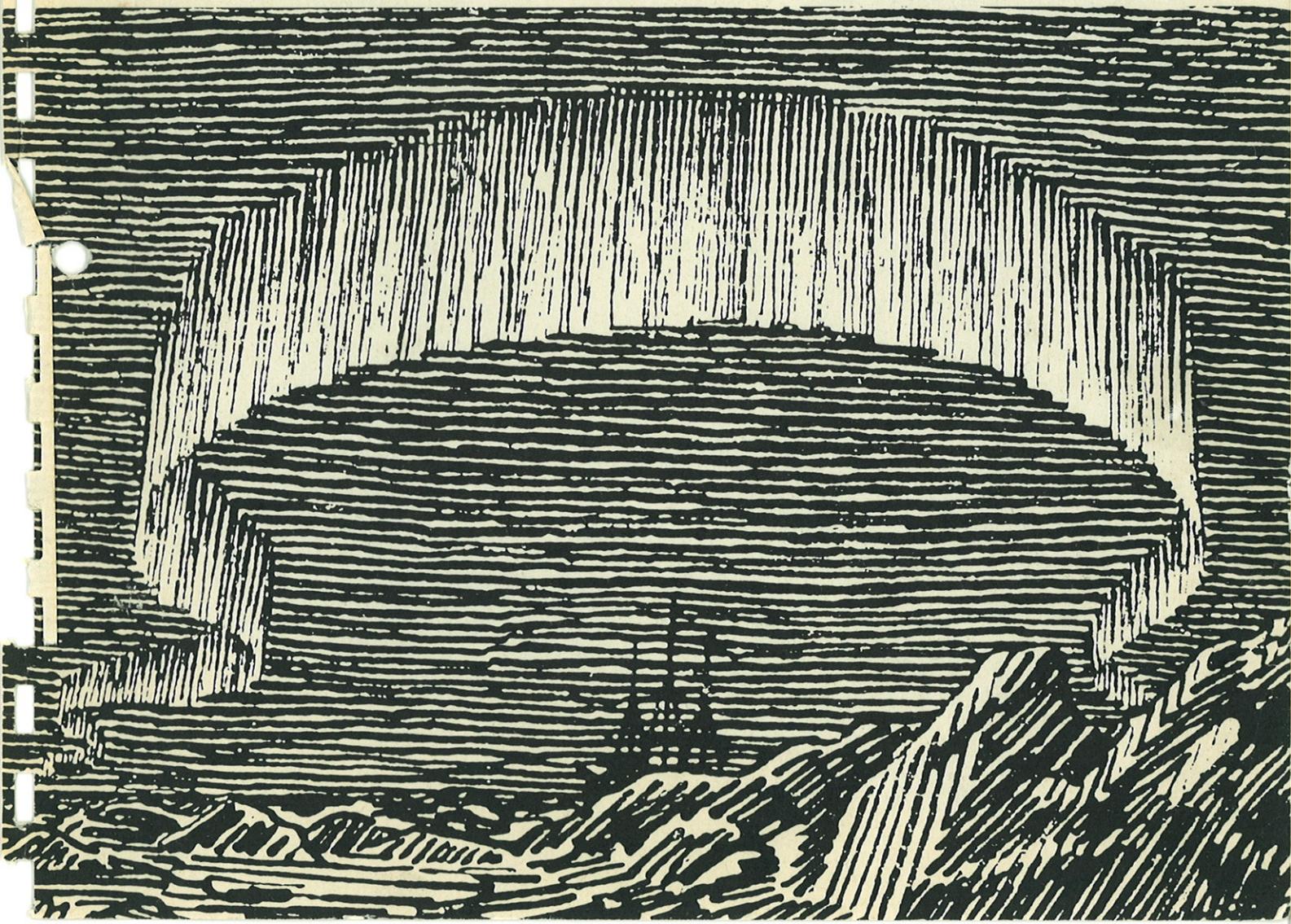
TROMSØ

NORWAY

NORDLYSSPEKTROFOTOMETER

SP3

KJELL HENRIKSEN



Longyearbyen, 24.09.2002

THE AURORAL SPECTROPHOTOMETER NUMBER 3 (SP3)

This instrument was found in late spring 1993 stocked away in the garage of the Auroral Observatory in Tromsø. It was completely covered with old scientific papers of the aurora, which most probably saved it from rust and degradation. The instrument was restored and the optical components realigned to its original performance by Fred Sigernes under the supervision of his advisor prof. Kjell Henriksen in 1993.

The instrument was then moved to the Auroral station in Adventdalen where it was in operation for the last time during the auroral season of 1994. Note that back in 1977 it was used for the first time to measure the Helium emissions in the polar cleft from Ny-Ålesund.

The history of SP3 tells a story of auroral spectroscopy that started with prof. Lars Vegard's spectrographs and the discovery of the proton aurora in 1939. Vegard was a former student prof. Kristian Birkeland and the founder of the Auroral Observatorium in Tromsø. Later on at the same institution, professors Anders Omholt and Leif Harang wanted higher spectral resolution and sensitivity than Vegard's spectrographs, which used prisms instead of gratings as the key dispersive elements. The result was SP3, which was constructed in 1960 by Willy Stoffregen at the Ionospheric Observatorium in Uppsala. It was used extensively by his student Kjell Henriksen to study aurora, airglow and star spectra. It has even been used to obtain spectra of Barium released by rockets.

Today we use large mirrors instead of lenses to illuminate the gratings to obtain even higher spectral resolution and sensitivity. The Ebert-Fastie spectrometers have taken over the role of SP3. But still it serves valuable part in the teaching of spectroscopy at UNIS.

Fred Sigernes
University Courses on Svalbard (UNIS)

Attached: K. Henriksen original report on SP3 in Norwegian (1977).

NORDLYSSPEKTROFOTOMETERET

SP3

Kjell Henriksen

Nordlysobservatoriet

Institutt for matematiske realfag

Universitetet i Tromsø

Mai 1977

FORORD

Spektrofotometeret SP3 ble konstruert ved Uppsala Ionosfär Observatorium i 1960 av Willy Stoffregen, etter at opplegget på forhånd var drøftet av A. Omholt, L. Harang og W. Stoffregen. Hensikten var å bygge en nordlysspektrograf med større følsomhet og oppløsningsevne enn Lars Vegards spektrografer. SP3 har vært anvendt til opptak av spektra fra nordlys, natthimmellys, stjerner og rakettutslipper av barium, strontium og andre lett ioniserbare stoffer i ionosfären. Instrumentet kan brukes som spektrograf, dvs. fotografere det oppspalte lyset og som spektrometer måle elektronisk det oppspalte lyset.

Da det kommende høst, 1977, skal startes et videregående kurs i spektroskopi ved Nordlysobservatoriet, er det nødvendig at eksisterende utstyr settes i optimal stand. Nordlys og natthimmellys inneholder interessante problem som spektroskopiske undersøkelser vil kunne belyse. SP3 vil bli et av hovedinstrumentene i kurset, ettersom det er spesialbygd for å observere nordlys og natthimmellys, og det er naturlig at spektroskopiske metoder tilegnes ved observasjon av disse naturfenomen.

Til optimaliseringsarbeid med SP3 var Willy Stoffregen ved Nordlysobservatoriet i 2 uker i mars 1977, fordi det viste seg nødvendig å ha en grundig gjennomgang av instrumentet.

Arbeidet ble konsentrert om finjustering av den optiske delen og montasje av mikrometer for fininnstilling av bølgelengde. SP3 er bygd for å være innendørs og opereres ved romstemperatur.

Det gjenstår nå å gjøre instrumentet feltmessig, konstruere et stativ og innkapsling. Dette arbeidet er i gang og vil forhåpentligvis være avsluttet før undervisningen starter til høsten. Willy Stoffregen har påtatt seg å utarbeide tegninger. Nansenfondet har bevilget kr 5000,- som skal brukes til reisepenger for hans besøk i Tromsø.

Instrumentet, SP3, er så godt at det ennå kan brukes i forskning, og planer for de eksperiment som skal gjennomføres vinteren 77/78 omtales i denne rapporten. Når det gjelder forskning kan det nevnes at Stoffregen er interessert, og spesielt når det gjelder påvisning av heliumemisjoner. For å komme fram til et holdbart resultat må SP3 virke optimalt, og det er derfor en betryggelse og et aktivum å samarbeide med Stoffregen, noe som vil ha positiv virkning på spektroskopikurset.

Nordlysobservatoriet, mai 1977

Kjell Henriksen

INNLÆDNING

Hensikten med denne rapporten er å vise prinsipiell virkemåte for SP3, anvendelsesmuligheter for instrumentet, nåværende operative tilstand og klargjøre forbedringer som vil være utført i løpet av 1977. Rapporten legger dette fram ved hjelp av prinsippskisser, bilder, kalibreringskurver og en del observasjonsresultat. De optiske beregninger for denne konstruksjonen tas ikke med, men vil gjennomføres i kurset Spektroskopi.

PRINSIPP TIL SPEKTROGRAF OG SPESIELT EN AV LITTRROW TYPE, SP3

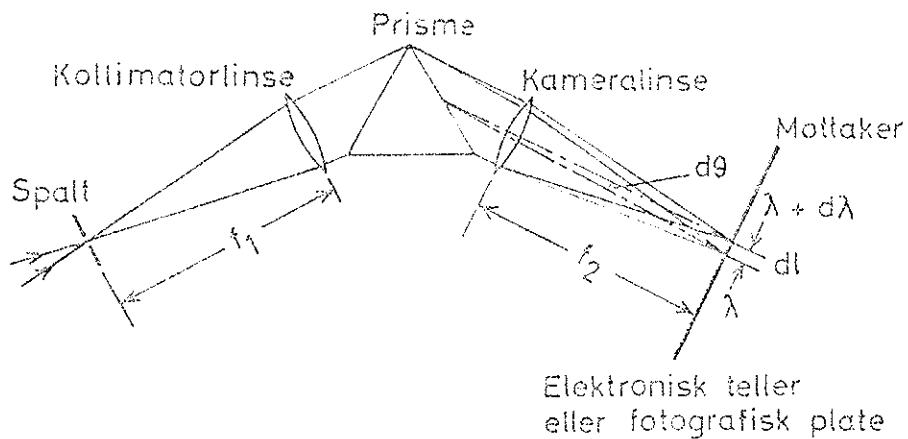
Det er to hovedanvendelser for en spektrograf. Den ene er å spalte opp og måle bølgelengder i elektromagnetisk stråling. I dette inngår detaljundersøkelser av absorpsjons- og emisjonspektra (f.eks. båndstrukturer, linjebredder og Doppler forskyvninger).

Den andre er å måle den relative intensitet av strålingen for hvert bølgelengdeintervall. Absoluttmåling med spektrograf er relativt vanskelig, men er nødvendig og gjennomførbar ved bruk av kalibreringsstandard.

En prismespektrograf bruker dispersjonen av et transparent medium for å spalte opp lys. I et diffraksjonsgitter danner spaltene (transmisjonsgitter) eller de reflekterende, inngraverte linjer (refleksjonsgitter) utgangspunktet for sekundærbølger, og for hvert bølgelengdeintervall interfererer disse positivt i bestemte retninger og gir det oppspalte spektrum av innfallende, sammensatt lys.

Forskjellen mellom betegnelsene spektrograf og spektrometer består i at i spektrografen fotograferes det oppspalte spektrum mens i spektrometret måles intensiteten av hver bølgelengde suksessivt, gjerne elektronisk og digitalt. SP3 forener begge disse funksjonene og kalles derfor et spektrofotometer. Med et fotometer observeres et bestemt bølgelengdeintervall og er dermed et enklere instrument enn et spektrometer.

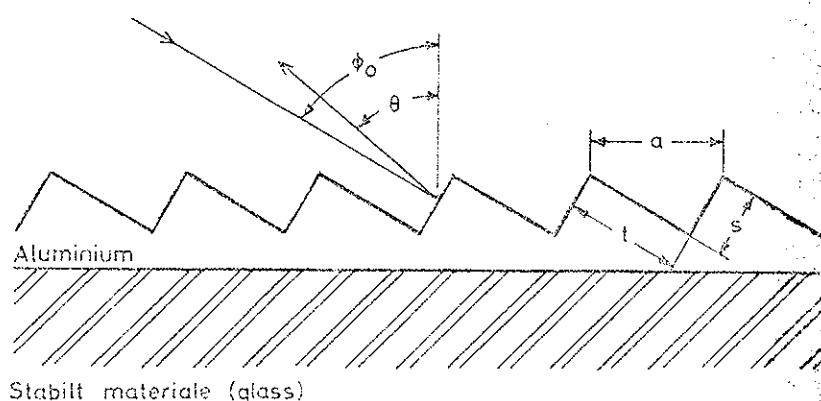
I den optiske delen av en spektrograf kollimeres lyset inn mot gitteret/prismet der det spaltes, og det oppspalte spektret samles så av mottakeren som er en fotografisk plate eller en elektronisk teller. (Dersom konkavgitter anvendes, kan både kollimator og kameralinse sløyfes). Et prinsipielt oppsett for en prismespektrograf er vist i figur 1.



Figur 1 Prinsippet for en prismespektrograf/meter.

f_1 er fokallengden for kollimatorlinsen, og f_2 er fokallengden for kameralinse. $\delta\theta$ er forskjellen i avbøyningen ved de to bølgelengdene λ og $\lambda + d\lambda$. Avstanden mellom de tilhørende fokalpunktene på mottakeren er dL . Avbøyningen oppstår i prismet.

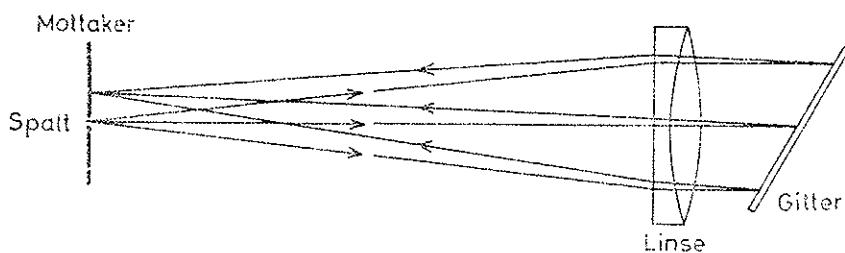
Spektret fra en prismespektrograf består bare av en orden og er derfor enkelt å interpretere. Med et gitter oppnås gjerne relativt større oppløsning, oppspalting, av lyset enn med et prisme. Den mest brukte gittertype er refleksjonsgitter med inngraverte linjer. En ulempe ved gitterspektrografer er at emisjoner fra ulike ordener overlapper hverandre, men kan til en viss grad elimineres ved hjelp av optiske filtre som slipper gjennom et avgrenset bølgelengdeområde. Prinsippet for et refleksjonsgitter med inngraverte linjer er vist i figur 2.



Figur 2 Profilen til et risset refleksjonsgitter. Gitteret er slik at de bratteste sidene som har lengde s har de beste refleksjonsegenskapene, og positiv interferens oppstår når den optiske vegen for reflektert eller reemittert fra disse sidene utgjør et helt multiplum av bølgelengden λ . a er gitterkonstanten, ϕ_0 innfallsvinkelen og θ refleksjons- (eller utfalls-) vinkelen.

Den prinsipielle konstruksjonen til en Littrow spektrograf er vist i figur 3. Det som er spesielt med denne spektrograftypen er at kollimator og kameralinse er samme linse, og dermed opp-

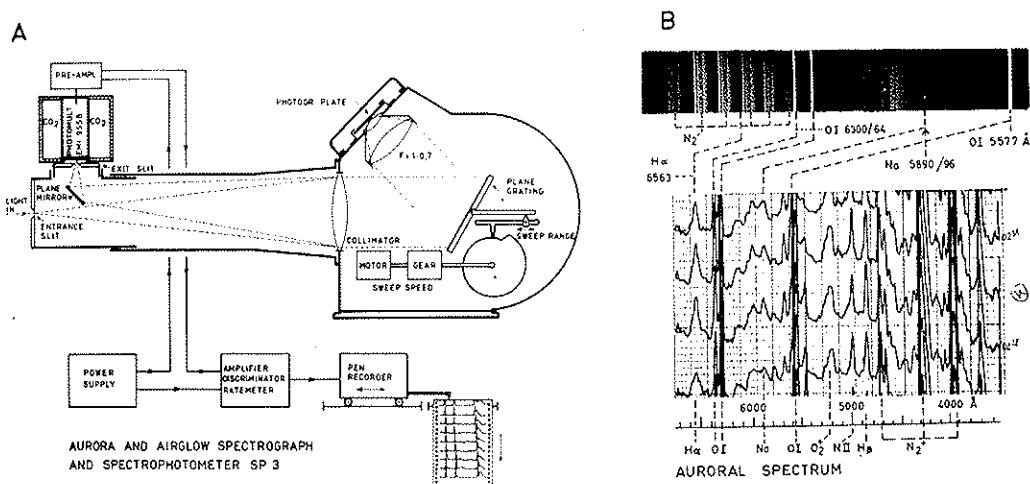
nås det mest kompakte oppsett av alle plangitter spektrograder. Dette oppsettet er spesielt velegnet for scanning av et spektralområde ved å dreie gitteret. Det settes imidlertid store krav til en absorpsjonsfri linse.



Figur 3 Prinsippskisse for Littrow spektrograf.
Her fokuseres bildet av inngangsspalten i denne spaltens plan. I dette planet må mottakeren sitte om denne er en fotografisk plate. Ved elektronisk deteksjon er det ikke så kritisk at mottakeren skal være i fokalplanet for det oppspalte lyset.

SP3 er en spektrograf av Littrow type. Siden denne spektrografen er konstruert for å måle nordlys og natt himmellys, har den en spesiell utførelse, se figur 4.

Det fins en rekke spektrograftyper, f.eks. Ebert, Ebert-Fastie, Paschen-Runge osv. Den vesentligste forskjellen mellom disse er monteringen av gitteret i forhold til resten av det optiske systemet. Denne rapporten skal imidlertid konsentreres om SP3.



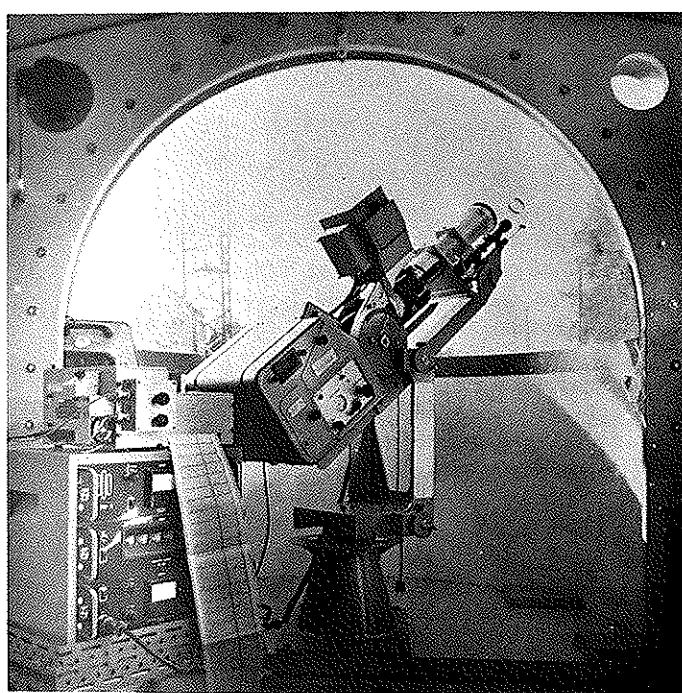
Figur 4 Prinsippkisse for SP3 med registreringsutstyr. Observasjonsresultat, fotografisk og elektronisk detektert, er gjengitt til høyre.

KONSTRUKSJON OG VIRKEMÅTE TIL SP3

I figur 4 er strålegangen i SP3 opptegnet når instrumentet er brukt som spektrograf og som spektrometer. Tilhørende registreringer er gjengitt til høyre i figuren (fra: Meddelande nr. 15, 1966, Uppsala Ionosfärobservatorium, Uppsala, Sverige). Kollimatorlinsen har diameter 10 cm og brennvidde 50 cm. Linsens fokalplan ligger i inngangsspaltens plan. Når SP3 brukes som spektrometer, reflekteres lyset nesten parallelt med det innfallende lyset tilbake gjennom kollimatorlinsen mot det plane speilet og derfra til den elektroniske telleren, som i dette tilfelle er fotomultiplikatorrøret av typen EMI 9553. For hver omdreining av kamskiven K scanner SP3 gjennom innstilt bølgelengdeintervall (regulerbart fra 60Å til 5000Å). Som spektrograf må gitteret ha en annen hellingsvinkel og stå fast

under eksponeringen for at lyset skal reflekteres opp til den fotografiske platen og gi et skarpt spektrum. Når gitteret står i en fast posisjon, kan SP3 også virke som et fotometer og registrere et avgrenset bølgelengdeintervall. SP3 kan derfor ikke brukes som spektrograf og spektrometer samtidig.

Uppsala Ionosfärobservatoriets SP3 vises i figur 5 der den er montert inn i en plastikkuppel på en stor lastebil. På bildet har SP3 en feltlinse med 10 cm diameter og brennvidde 50 cm foran inngangsspalten. Feltlinsens fokalplan på billedsiden ligger i inngangsspaltens plan. Synsfeltet til SP3 bestemmes av feltlinsen og den rektangulære inngangsplaten, som er 40 cm lang og med regulerbar bredde, fra 0 til 2 mm. (Bredden varieres med mikrometerskrue). Synsfeltet blir dermed mindre og

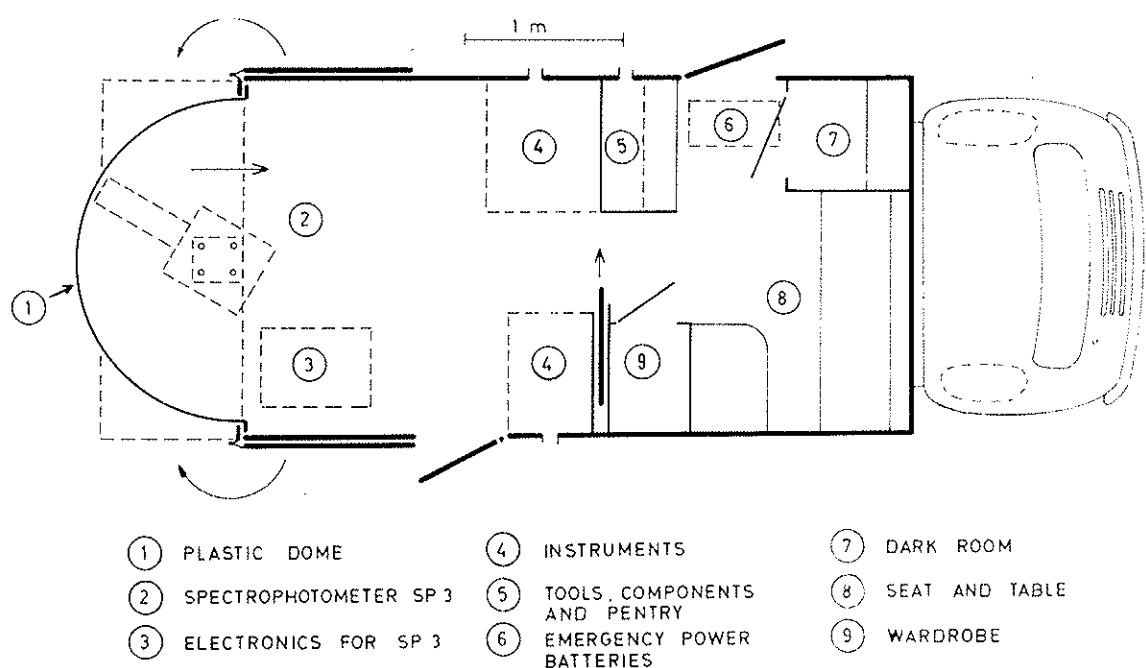


Figur 5 UJO's SP3 i operativ stand under 2 meters plastkuppel, plassert på en lastebil.

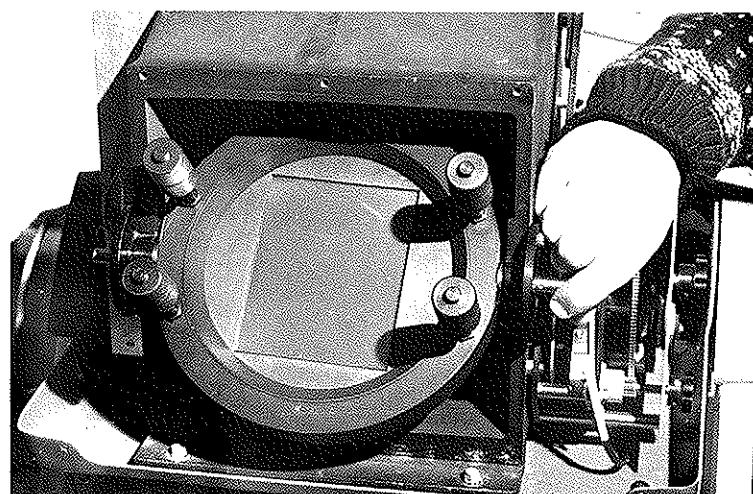
gjør at lyset fra tilsvarende små områder observeres uten at anvendelig lysmengde (fluks) minker, idet absorpsjon og refleksjon i feltlinsen neglisjeres. Inngangsspalten og utgangsspalten er identiske.

Da UJO's SP3 er montert under en plastikkuppel kan observasjoner gjennomføres under alle slags værforhold, se figur 6. Elevasjonen kan varieres fra 0 til 90° og 180° i asimut. Instrumentet er alltid operativt, og ved å plassere det på en bil blir denne oppstillingen en del av et rullende observatorium.

Hovedelementet i en plangitter spektrograf er det plane gitteret som spalter opp lyset. På grunn av den ømfindtlige overflaten må det aldri berøres, pustes på eller stå utildekket. Gitteret i SP3 har 1200 inngraverte linjer pr. mm, og arealet er 10×12 cm. I figur 7 er baklokket på SP3 tatt bort og forsiden av gitteret fotografert. De fire loddene er for avbalansering ved rotasjon. Figur 8 viser baksiden av gitteret. Skalaen på gitterholderen er for innstilling av gitterlinjene slik at de blir parallelle med inngangsspalten. Gitteret skal helle oppover som angitt på figur 4. Det kan monteres med en annen helling (forsiden heller nedover) slik at refleksjonene skjer fra den "mørke" delen av gitterstripene (i figur 2 har den delen lengden t), men da forringes oppløsning og intensitet vesentlig. Intensiteten avtar til ca. 10%.



Figur 6 UJO's målevogn med skisse av grunnplanet.
SP3 sees innenfor plastikkuppelen, og et
nordlysfotometer står ved siden av måle-
vognen.

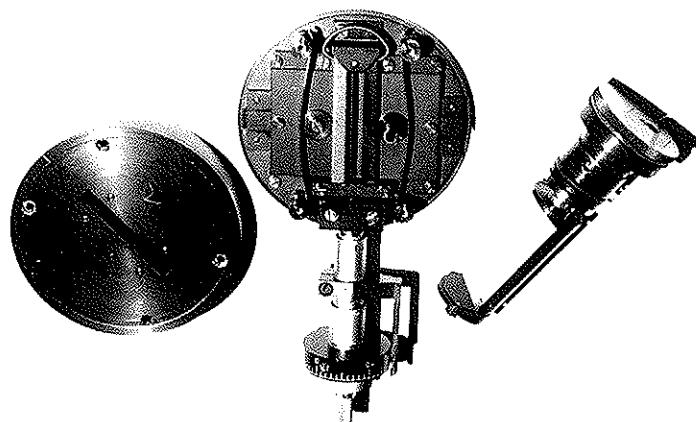


Figur 7 Forsiden av gitteret i gitterholderen.
Gitteret er festet til samme glassort som
basismaterialet i gitteret.

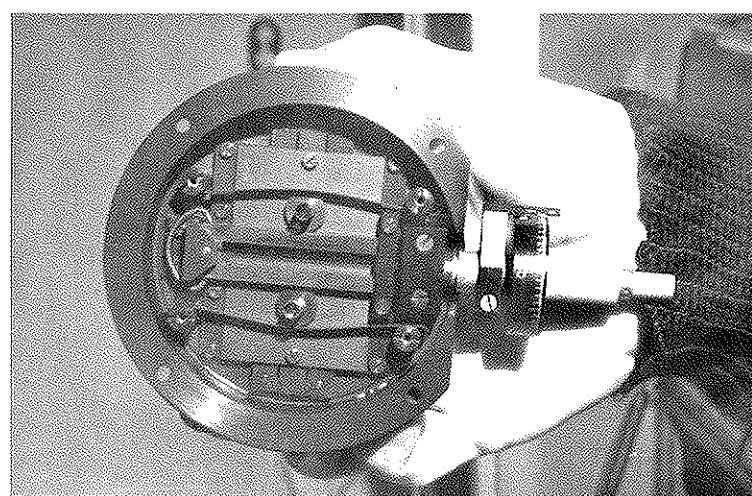


Figur 8 Baksiden av gitteret. I øverkant av gitterholderen er en skala for parallelinnstilling
av gitterstripene i forhold til inngangsspalten.
Denne innstillingen må ikke forandres.
En liten ikke-parallilitet gjør i første
rekke opplosningsevnen nye dårligere.

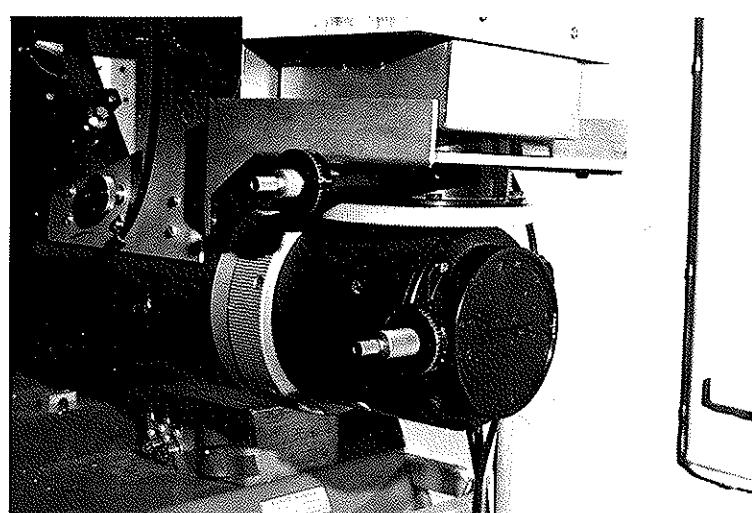
Som nevnt er inngangs- og utgangsspalten identiske, og ligger i fokalplanet for kolimator/kameralinsen. Spalten formas av to planparallelle stålblad, og spaltåpningen reguleres ved hjelp av en mikrometerskrue, se figur 9 og 10. På SP3 kan spaltåpningen sees gjennom et rektangulært hull i et lokk som beskytter selve spaltmekanismen, den mekaniske konstruksjonen som gjør at spaltenes bredde kan varieres. I figur 9 er lokket avbildet til høyre, og i midten vises stålbladene som danner spaltåpningene. Til venstre i figur 9 ligger det plane, krumbare speilet som reflekterer lyset mot utgangsspalten. Figur 10 er et nærbilde av spaltmekanismen, og figur 11 viser inngangsspalten påmontert SP3.



Figur 9 Lokket over inngangsspalten til høyre, i midten stålbladene og mikrometerskruen for regulering av inngangsspaltens bredde, og til venstre det plane, krumbare speilet montert i sin holder. Justeringsskruen for regulering av det plane speilets krumming er ikke med. Denne anordningen kan imidlertid sees på figurene 15 og 17, og regulerer trykket på speilet via en aksling inn gjennom hullet i speilholderen som står i forbindelse med en kilemekanisme bak speilet.



Figur 10 Nærbilde av inngangsspalten med lokket tatt bort.

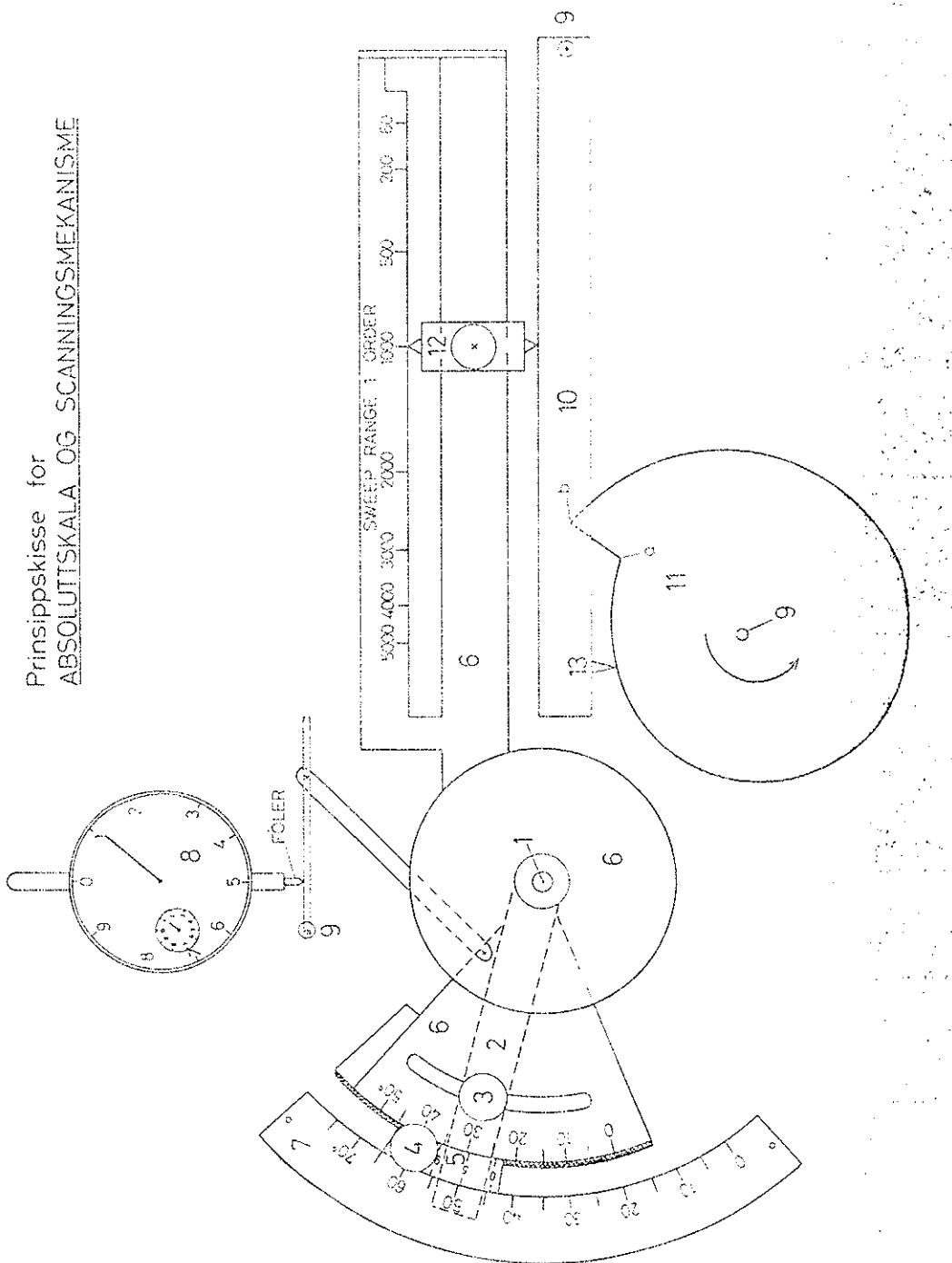


Figur 11 Inngangsspalten påmontert SP3. Mikrometerskruens skala sitter til venstre for selve spaltåpningen.

For hver posisjon, hellingsvinkel til gitteret, reflekteres et bestemt bølgelengdeintervall (fra 1 til 50Å) ut gjennom utgangsspalten og kan måles. Bredden av dette intervallet bestemmes av bredden på spaltene, som bør være like brede ved korrekt innstilling. I figur 12 er scanningsmekanisme og posisjonsavlesningsskalaer tegnet. Siden det er hellingsvinkelen på gitteret som bestemmer den bølgelengden som registreres ved utgangsspalten og på den fotografiske platen, er det nødvendig at posisjonen til arm 2 kan fastsettes med tilstrekkelig nøyaktighet. Arm 2 er stift forbundet med gitteret. Skala 6 er for grovinnstilling av gitterets posisjon og derigjennom bølgelengden, med nøyaktighet $\sim 100\text{\AA}$, mens skala 8 brukes for fininnstilling, med nøyaktighet $\sim 5\text{\AA}$. Figur 13 er et nærbilde av scanningsmekanismen, grov- og fininnstillingsskala. En synkronmotor driver eksenterskiven slik at scanningen av bølgelengdeintervallet utføres, og de variable scanningstidene, 15 sek, 1 min og 4 min, innstilles ved hjelp av et gear.

Avstanden mellom spaltene og kollimator/kameralinsen er justerbart slik at spaltene kan plasseres nøyaktig i fokalplanet. I figur 11 sees en aluminiumsring bak inngangsspalten. Denne brukes for justering av avstanden mellom inngangsspalt og linse. Under utgangsspalten er en liknende ring for justering av avstanden mellom linsen og denne spalten.

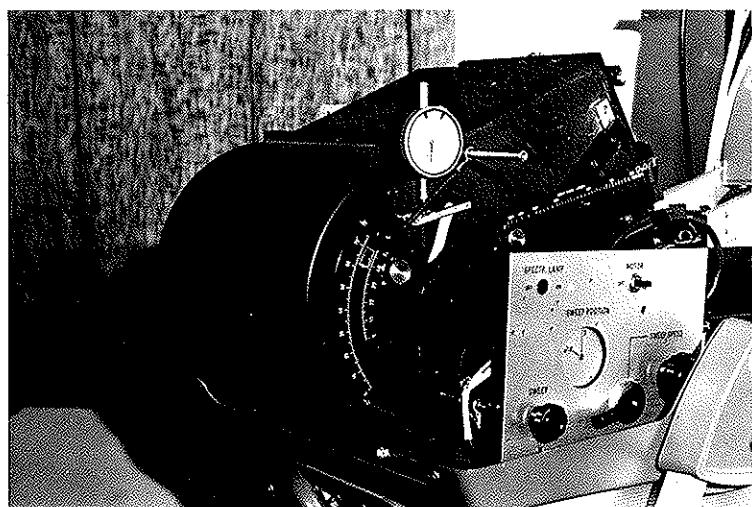
Siden spaltene er tilnærmede striper er det viktig at disse er parallelle slik at oppløsningen blir optimal. Bildet av inngangsspalten skal falle parallelt ut gjennom utgangsspalten. Den siste justering av paralleliteten foretas med vridning av



Figur 12 Scanningsmekanisme og grov- og fininnstillingsskalaer av dittetrenets posisjoner.
Bitter kalibrering kan registreres ved hjelpe av følgende metode før man ser tilbake til figur 20.

Utfyllende figurtekst for figur 12

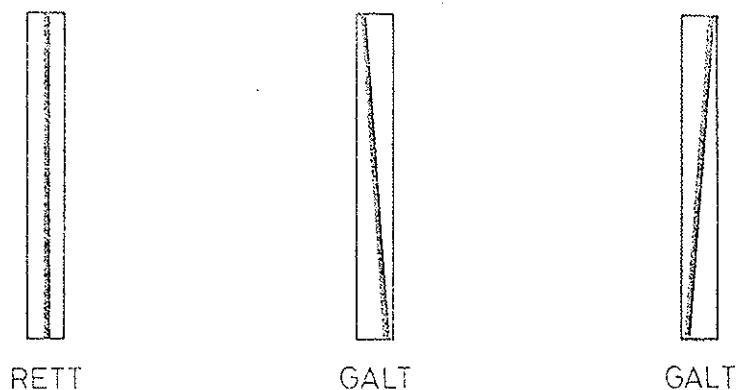
- 1 Gitteraksel.
- 2 På gitteraksel fastsittende arm.
- 3 Låseskrue.
- 4 Innstillingsskrue med tannhjulsinnstilling.
- 5 Noniusskala på arm 2.
- 6 På gitteraksel løstsittende vridbar anordning for sweepets innstilling, koblet til arm 2 ved hjelp av låseskrue 3.
- 7 På spektrografkappe fastsittende skala. Skala 5 og 7 gir grovavlesning av gitterets posisjon.
- 8 Mikrometer med skala for finavlesning av gitterets posisjon. Følerens fulle variasjonsområde er 1 mm, og det gjengis ved 1000 delestrek på skalaen.
- 9 Omdreiningsaksel fast i spektrografkappe.
- 10 Mellomarm mellom 6 og eksenterskive (kamskive) ll.
- 11 Eksenterskive med 1 rotasjon pr 15 sek, 1 min eller 4 min. For hver rotasjon dreies gitteret slik at innstilt bølgelengdeområde (sweep range, fra 60Å til 5000Å) kan observeres.
- 12 Flyttbar overføring etter vektarmprinsipp gir varierbar sweep range fra 60Å til 5000Å.
- 13 Spiss 13 hviler på kanten av eksenterskive ll og gjør at arm 10 svinger om omdreiningsaksel i høyre ende. Med 13 i posisjon a framkommer korteste bølgelengde i valgt sweep, og med 13 i posisjon b framkommer lengste bølgelengde.



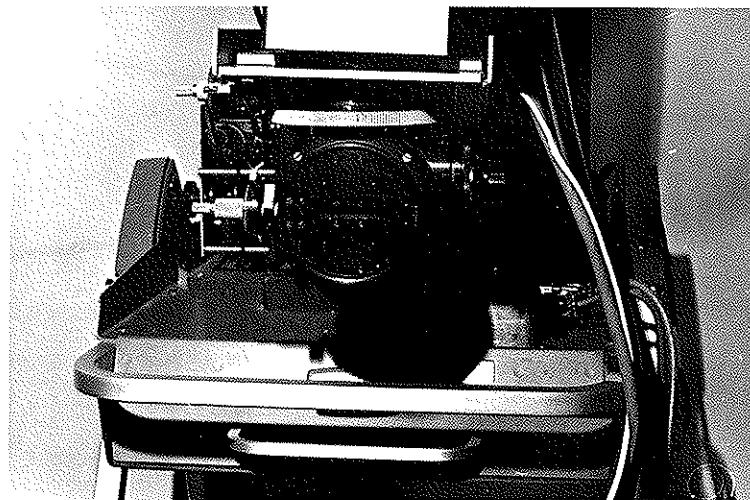
Figur 13 Nærbilde av scanningsmekanisme, grov- og fininnstillingsskala. Synkronmotor som driver scanningen via kamhjulet, sitter bak aluminiumsplaten i forgrunnen. I underkant til høyre på denne platen er innstillingsskruen for de tre scanningstidene. Hendel for frikopling av gearet er til venstre for denne innstillingsskruen.

utgangsspalten. Inngangsspalten skal være fast i forhold til gitteret. På figur 14 illustreres hva som menes med parallellitet i denne sammenheng.

Det plane speilet, se figur 4 og 9, skal reflektere lyset rett opp i utgangsspalten. Speilets hellingsvinkel er justerbar og kan avleses på skala til høyre for inngangsspalten, se figur 15. I nåværende tilstand skal posisjonen være $-0,6^\circ$.

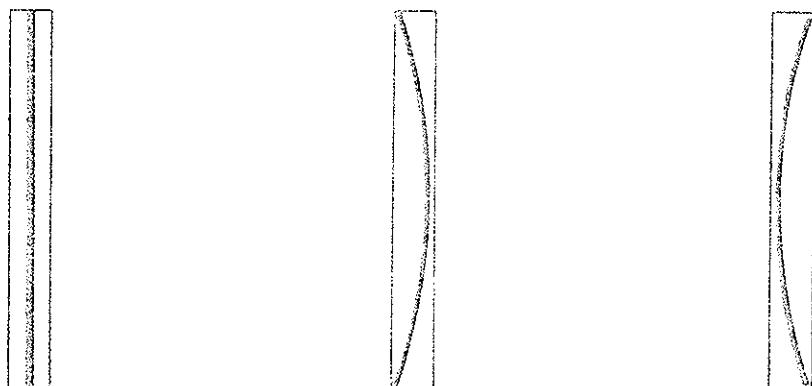


Figur 14 Illustrasjon av rett og gal parallellitet, avbildning av inngangsspalten i utgangsspalten plan. Justeringen foretas med diffusor (opalglass eller matt, gjennomskinnelig papir) i inngangsspaltens og utgangsspaltens plan.



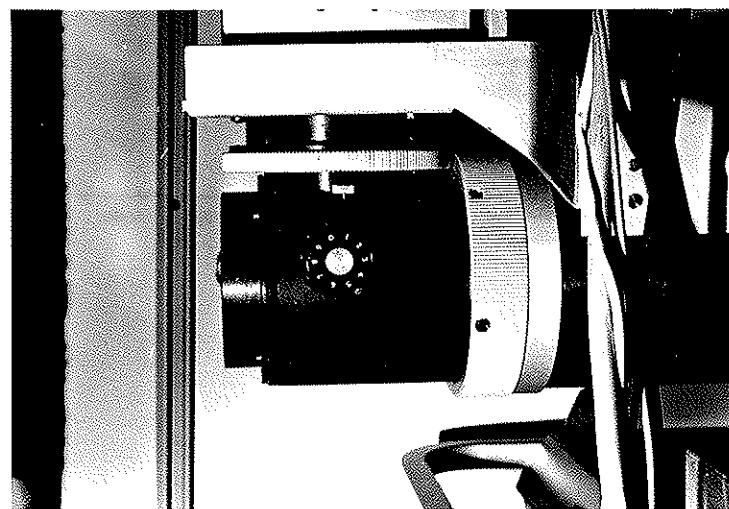
Figur 15 Skala for hellingsvinkel til det plane, bøyelige speilet til høyre for inngangsspalten. Nåverende skalaverdi er -0,6.

Når den reflekterte strålen fra gitteret faller utenfor den optiske aksen på kameralinsen, blir bildet av inngangsspalten buet, se figur 16. Denne forvrengningen av bildet er bølgelengdeavhengig, men kan elimineres ved å bøye det plane speilet. På figur 17 sees en skala for justeringsskrue som brukes for å variere krumningen på det plane speilet, kfr. figur 9. Når bildet av inngangsspalten blir buet, avtar oppløsningen fordi gitteret må dreies noe før hele bildet kan passere gjennom utgangsspalten.

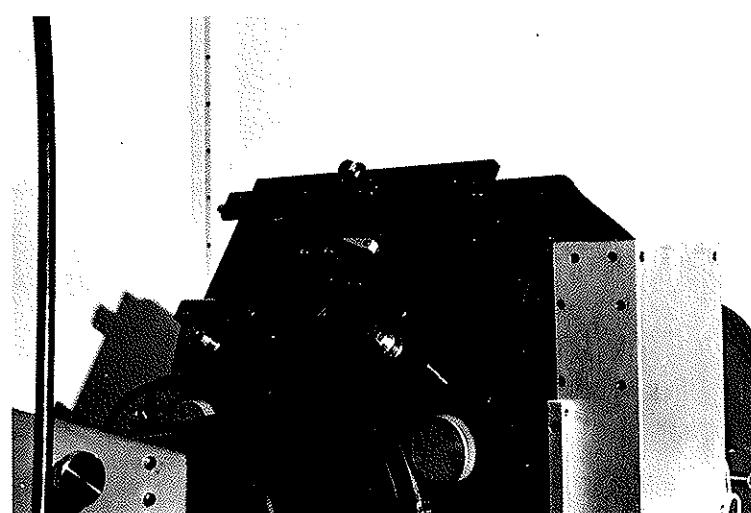


Figur 16 Bilde av inngangsspalten i utgangsspaltons plan. Bildet kan være buet til høyre og venstre, men kan kompenseres ved å bøye det plane, krumbare speilet til en side. Resultatet blir da som angitt til høyre, ett rett bilde.

Figur 18 viser kassetten for fotografiske plater. Kassetten sitter i et kassettbord. og på hver plate kan 12 eksponeringer tas. I første orden fås et bølgelengdeintervall på 2000-2500 Å avbildet for hver eksponering og i annen orden halvparten. Dimensjonen på de fotografiske platene er 50 × 90 mm.

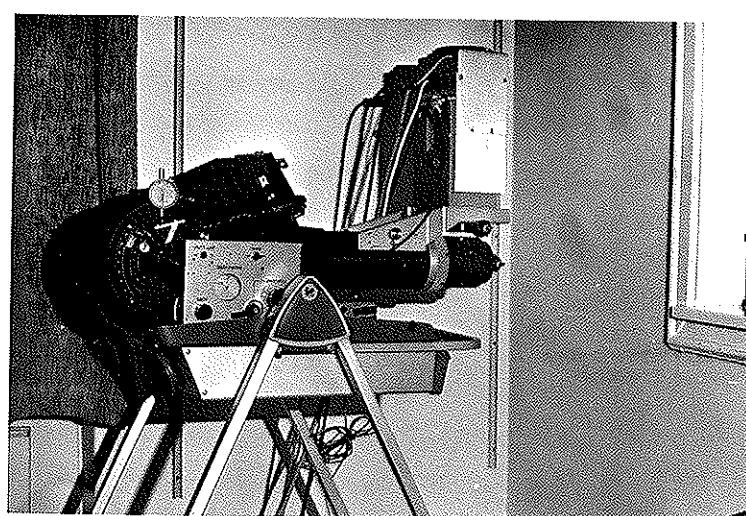
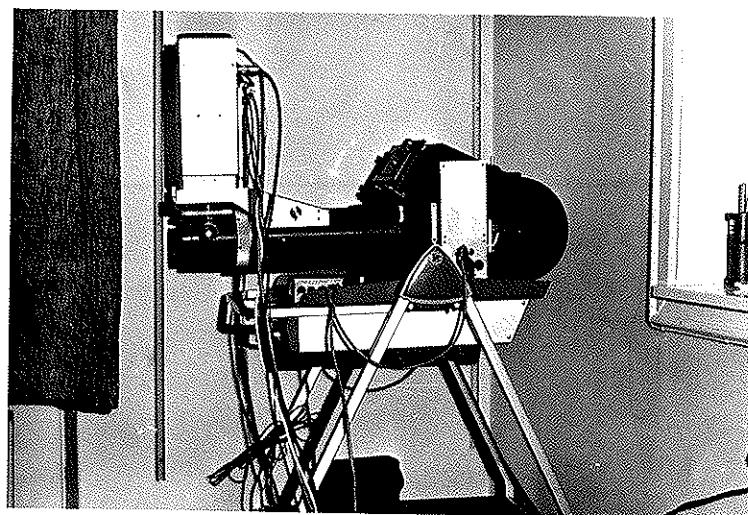


Figur 17 Skala for justeringsskrue for regulering av krumming på det plane, krumbare speilet.



Figur 18 Kassett for fotografiske plater i kassettbordet på SP3.

Foto av SP3 er gjengitt på figurene 18a og 18b. Fotomultiplikatoren sitter i en Peltier kjøler, aluminiumsboksen på toppen av SP3.



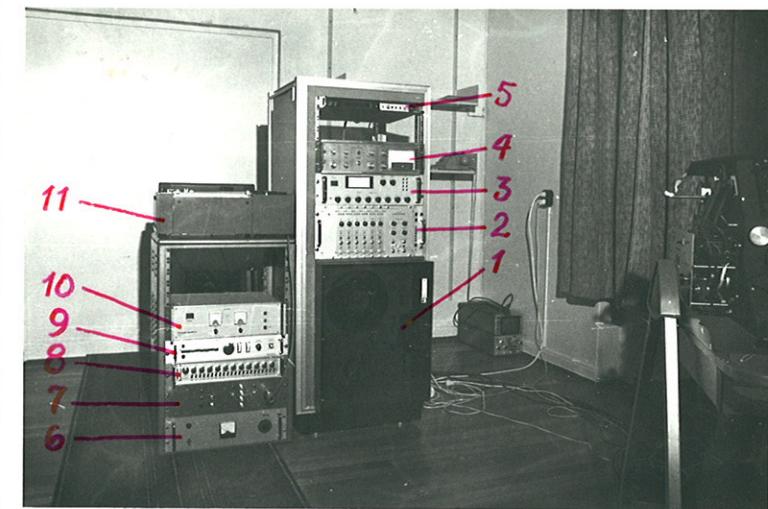
Figur 18 a,b Foto av bak- og forsiden på SP3.

REGISTRERINGSAPPARATUREN

Når SP3 brukes som spektrograf, anvendes fotografiske plater for å registrere det oppspalte spektret som gitteret lager. Denne registreringsmåten trenger ingen elektronikk.

Som spektrometer krever SP3 elektronisk utstyr. Som det nå er, går pulsene fra fotomultiplikatoren via et ratemeter ut på analog skriver, dertil går signalene via elektroniske tellere (scalere) inn på et digitalt magnetbånd, slik at målingene kan bearbeides på regnemaskin. Denne regnemaskinbearbeidningen tar lang tid, og der er derfor fordelaktig både for forskning og undervisning om en mangekanalsanalysator eller mikroprosessor kunne anskaffes slik at bl.a. signalmidling over flere scan kunne foretas øyeblikkelig. Derved kunne både svake og sterke emisjoner studeres samtidig og instantant. Registrerings-elektronikken er avbildet i figur 19.

En ordentlig presentasjon av virkemåten til SP3 bør inneholde fullstendige kurver over innstillinger, kalibreringer og de tilhørende signaler. I de neste avsnitt vil kalibringskurve for bølgelengdeinnstilling presenteres, en del registreringer, ideer for forskning som skal gjennomføres kommende vinter med SP3, sammen med undervisningsmessige aspekt.



Figur 19 Elektronikkutstyr for drift av SP3.

- 1 Digital båndstasjon, type PEC.
- 2 Digitaliseringsenhet for tilpassing og digitalisering av klokke data og signal til båndstasjonen, bygd av A/B Atomenergi.
- 3 8-kanals ratemeter, bygd ved Nordlysobservatoriet (ikke nødvendig).
- 4 Ratemeter som inneholder forsterker, indikator, pulset og analog utgang, type Ecko.
- 5 Digital klokke, type Digitek.
- 6 Termostat og strømforsyning for Peltierkjøler.
- 7 Strøm til synkronmotor på SP3.
- 8 Fordeler av høgspenning, type Oltronix.
- 9 Høgspenningskilde, type Oltronix.
- 10 Lavspenningskilde for forsterkeren bak fotomultiplikatorrøret, bygd ved Nordlysobservatoriet.
- 11 Skriver, type Watanabe.

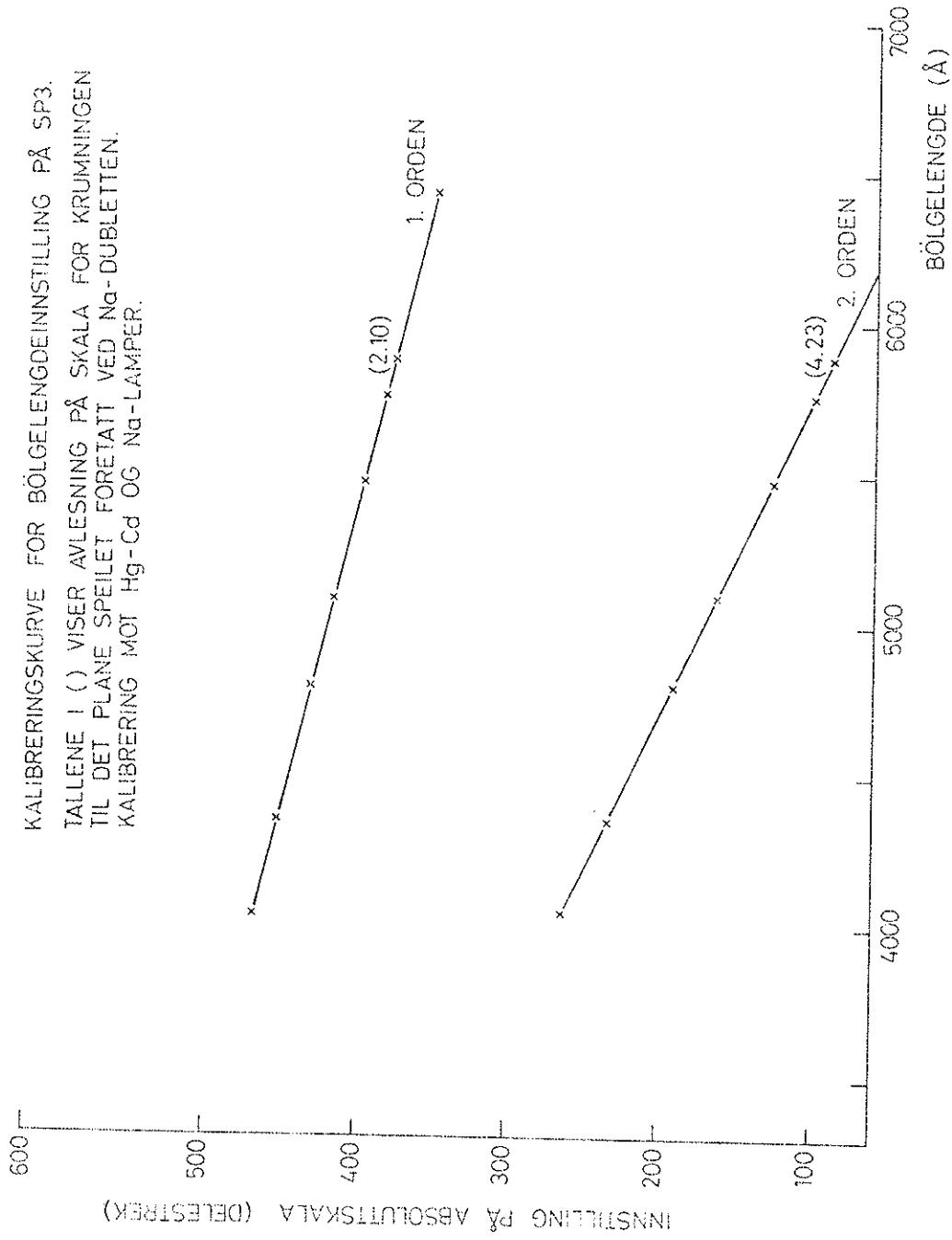
KALIBRERINGSKURVE

I figur 20 er kalibreringskurven for SP3 gitt, når instrumentet brukes som spektrometer. Fininnstillingsskalaen, eller absoluttskalen, er delt i hundre delestrek per omdreining, og langviseren på mikrometeret kan gjøre 10 omdreininger. Kalibreringskurven angir avlest antall delestrek for en rekke bølgelengder slik disse registreres ved utgangsspalten av fotomultiplikatoren for første og annen ordens spektrum. For hver kurve er krumningen av bildet til inngangsspalten eliminert ved bølgelengden 5890Å, den ene linjen i Na-dubletten. Hvor mye krumningen forandrer kalibreringskurven, gjenstår å undersøke.

Det totale spektralområdet som kan undersøkes med SP3 er fra 3500Å til 8000Å. Den nedre grensen skyldes at linsene er vanlig glass, og for lengre bølgelengder enn 8000Å går effektiviteten av fotomultiplikatoren mot null og umuliggjør observasjon.

Fra kalibreringskurvene ser man at linjer fra første og annen ordens spektrum ikke overlapper hverandre i det synlige spektralområdet. Dette er en vesentlig fordel med SP3.

Det gjenstår nå å finne hvordan bøyningen av inngangsspaltens bilde varierer med bølgelengden. Preliminære undersøkelser viser at intensiteten av annen ordens spektrum er bare 20-30% av intensiteten i første ordens spektrum, men en presis undersøkelse gjenstår. Denne undersøkelsen som har betydning for optimal utnytting av SP3, vil bli behandlet i kurset Spektroskopi.



Figur 20 Kalibreringskurver for SP3. Kurvene viser registrerbart bølgelengde ved utgangsspalten for hver posisjon av gitteret avlest på fininnstillingsskalaen, absoluttskalaen.

MÅLINGER

En måte å bedømme en spektrograf er å studere målingene. Dette vil i dette avsnittet en del registreringer presenteres for å vise SP3's evne til å måle bølgelengde og intensitet og dermed klargjøre en del anvendelsesmuligheter.

En prøveeksponering av en plate med 1. ordens spektra av Hg-Cd lampe er vist i figur 21. Følgende linjer kan sees: Hg 4046Å, Hg 4358Å, Cd 4678Å, Cd 4799Å, Cd 5085Å, Hg 5460Å, Hg 5769/5790Å. Under eksponeringen var absoluttinnstillingen 2,30 (delestrek). Spektrene er tatt med 0,3 mm åpning på inngangsspalten, og Hg-dubletten er oppløst. Oppløsningen kan bli nærmere en størrelsesorden bedre når spaltbredden minkes til 0,03 mm, men ikke en størrelsesorden som 1. approksimasjonsberegningene angir. Linjene er svakt buede; en effekt som er omtalt tidligere. Det andre spektret fra venstre er skarpest og klarest. Dette skyldes at platen har vært nærmest fokus for linsesystemet i SP3 når denne delen av platen ble eksponert. Feilen vil bli studert og eliminert.



Fig. 21 1. ordens spektrum av Hg-Cd lampe. Under eksponeringen belyste lampen en skjerm som reemitterte diffus.

I figur 22 er en plate med 2. ordens spektra av Hg-Cd lampen, tatt med 0,3 mm spaltåpning. I dette tilfelle hadde gitteret posisjonen $-0,5^\circ$ avlest på grovinnstillingsskalaen. Denne posisjonen er utafor området for absoluttskalaen. Spektrulampen hadde samme plassering i forhold til en reflekterende skjerm som ved eksponeringen av 1. ordens platen, men nå var eksponeringstiden 3 ganger lengre. Ved visuell sammenligning av originalplatene ser man at SP3 er minst 3 ganger mindre fôl som ved fotografering av 2. ordens spektrum. En bedre fastsetting av intensitet og intensitetsforhold foretas med densitometer.

Figur 22 2. ordens spektrum av Hg-Cd lampe.

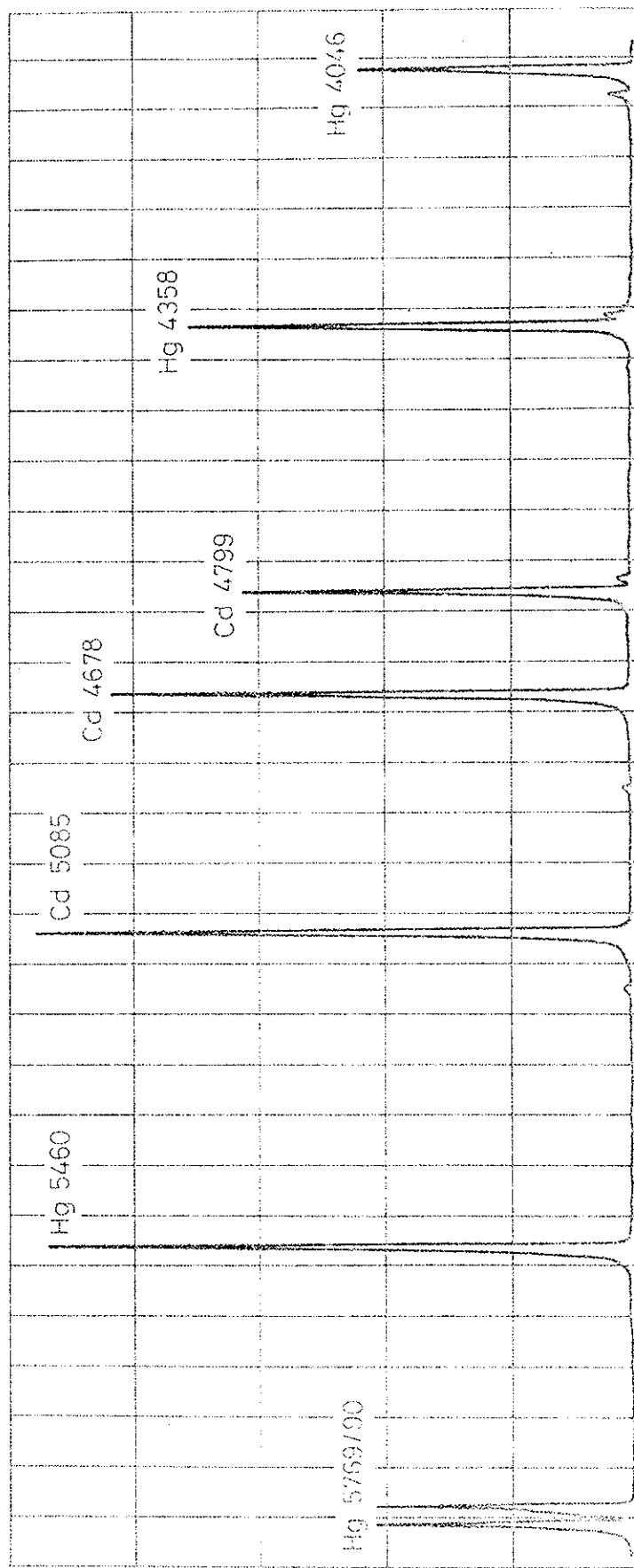
Ved å betrakte Hg-dubletten ser man at 2. ordens spektrum har dobbelt så stor oppløsning som 1. ordens spektrum. Et annet trekk ved 2. ordens spektret er at linjene er mer bøyde. Noen kompenseringsordning for bøyningen ved fotografisk deteksjon fins ikke, og er i grunnen heller ikke nødvendig. Linjene er bildet av inngangsspalten slik det framkommer i emulsjonen på

den fotografiske platen for de forskjellige bølgelengdene som det innfallende lyset inneholder.

Arbeidet med den fotografiske deteksjonen pågår, og senere forsøk har gitt tilfredsstillende avbildning av Na-dubletten. Dubletten er helt oppløst, og linjene er så mye adskilt at oppløsningsevnen i 1. orden er bedre enn 3Å. Med det eksisterende fotoutstyret på Nordlysobservatoriet er det ikke mulig å reproduksere disse platene. Det viser seg at den opprinnelige konstruksjonen av de fotografiske kassettene ikke har vært stabil nok, og en mindre modifikasjon vil gjennomføres.

I figur 23 er vist Hg-Cd spektrum elektronisk registrert i 1. orden for sammenligning med den fotografisk detekterte. Selv om intensitetsvariasjoner kommer bedre fram ved elektronisk deteksjon, har fotografisk deteksjon en vesentlig fordel ved observasjon av nordlys og natthimmellys, nemlig at hele spektralområdet registreres samtidig. I dagens nordlysforskning anvendes imidlertid nesten utelukkende elektronisk deteksjon.

SP3 er velegnet til å studere de mest dominerende nordlysemisjoner ved å scanne over hele anvendelsesområdet fra 3500Å til 8000Å. Slike observasjoner vil bli gjort i løpet av høsten 1977.

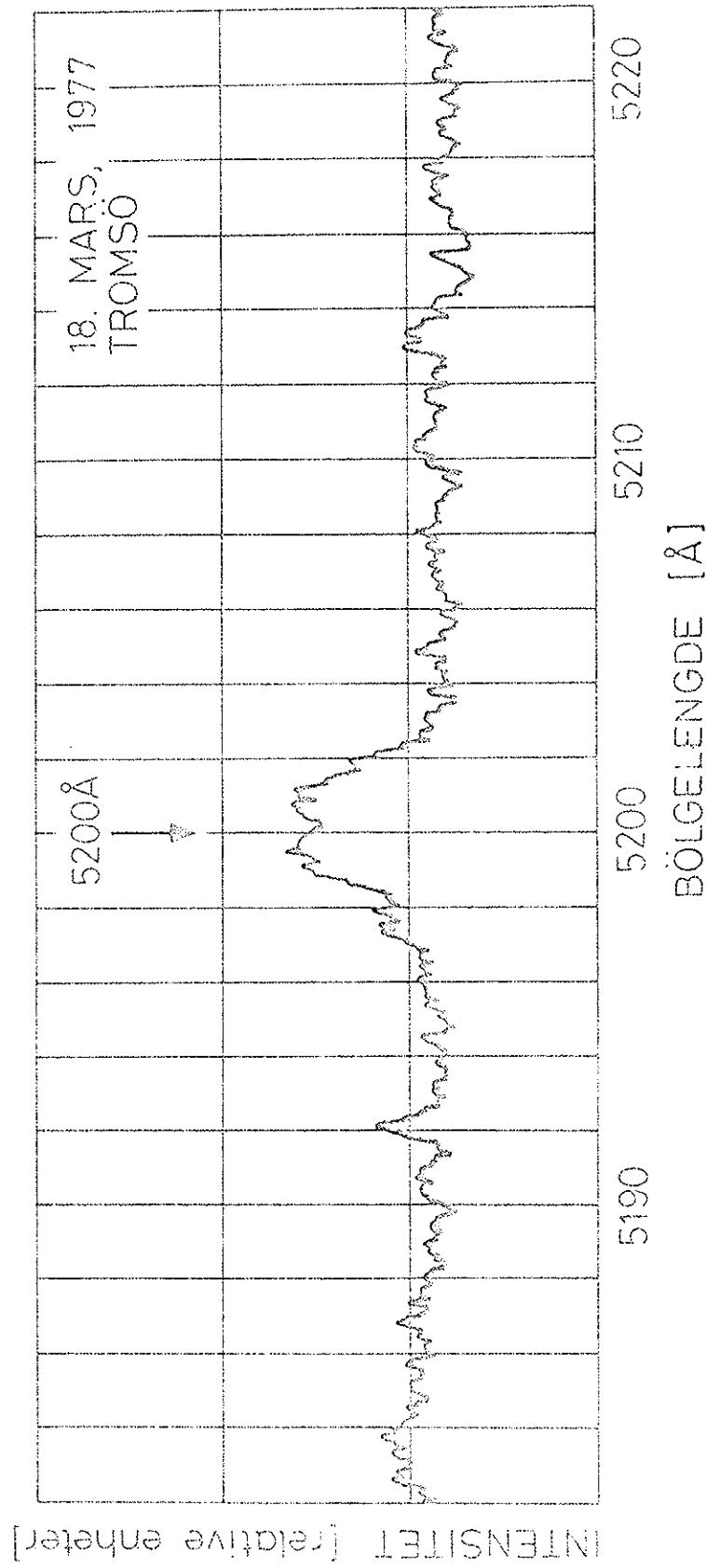


Figur 23 Spektrum av Hg-Cd lampe registrert i 1. orden med 0,3 mm spalt, samme spektralområde som 1. ordens spektrum på fotografisk plate i figur 21.

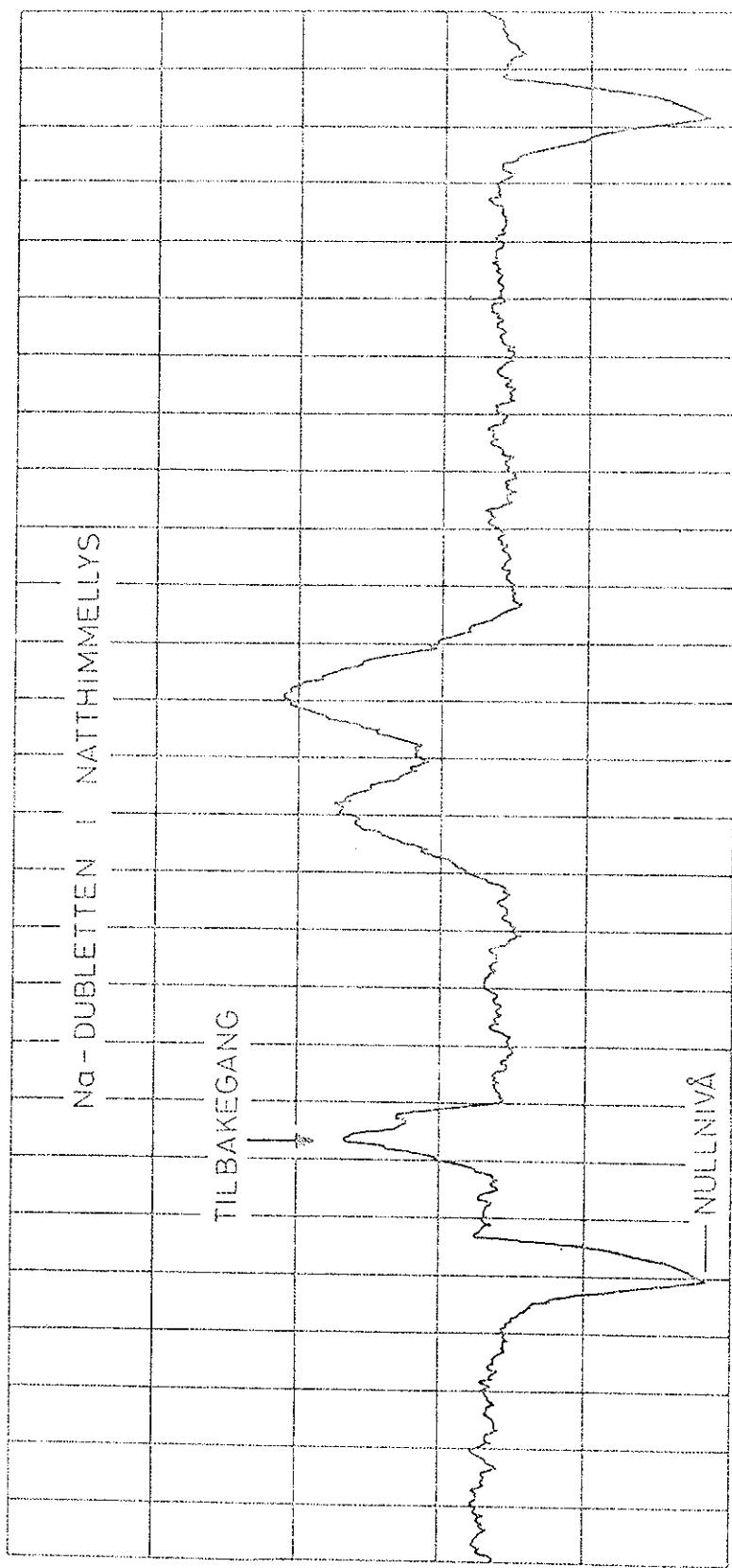
Da oppløsningsevnen til SP3 kan bli så god som 1-2Å, er instrumentet velegnet til å identifisere og studere emisjoner i nordlys og natthimmellys. I spektret fra den øvre atmosfären fins forbudte emisjoner som er umulig å studere i laboratoriet. Dette er metastabile emisjoner der øvre nivå har lange levetider, fra sekund til flere timer.

En slik emisjon er NI-dubletten ved 5200Å med teoretisk levetid ca. 26 timer, og denne emisjonen tilsvarer tripletten ved 6300Å fra oksygenatomet. Under visse forhold kan 5200Å emisjonen være dominerende i spektret mellom nordlysets grønne linje og hydrogenemisjonen ved 4861Å, H_β. Dette er imidlertid ikke godt nok undersøkt. Et eksempel på observasjon av 5200Å-dubletten fra Nordlysobservatoriet er vist i figur 24.

Et annet eksempel på anvendelse av SP3 er undersøkelse av Na-dubletten 5890/96 i natthimmellys, figur 25, og i demningslys, figur 26. Det ligger et lag av natrium rundt 90 km høyde. En del eksiteres ved kjemiske reaksjoner om natten og emitterer. Eksitasjonen øker når sollyset treffer natriumlaget, og kan studeres ved emisjonsøkningen i demningslys. Dertil eksiteres også en del natrium ved kollisjoner med elektroner og protoner som genererer nordlys. Studium av natrium i den øvre atmosfären drives fra en rekke steder på midlere breddegrader. Noen korrelasjon med forstyrrelser i nordlyssonen kan imidlertid ikke gjennomføres fra disse stedene, og studier av Na-lyset fra våre breddegrader kan gi ny kunnskap om natrium i den øvre atmosfaren.

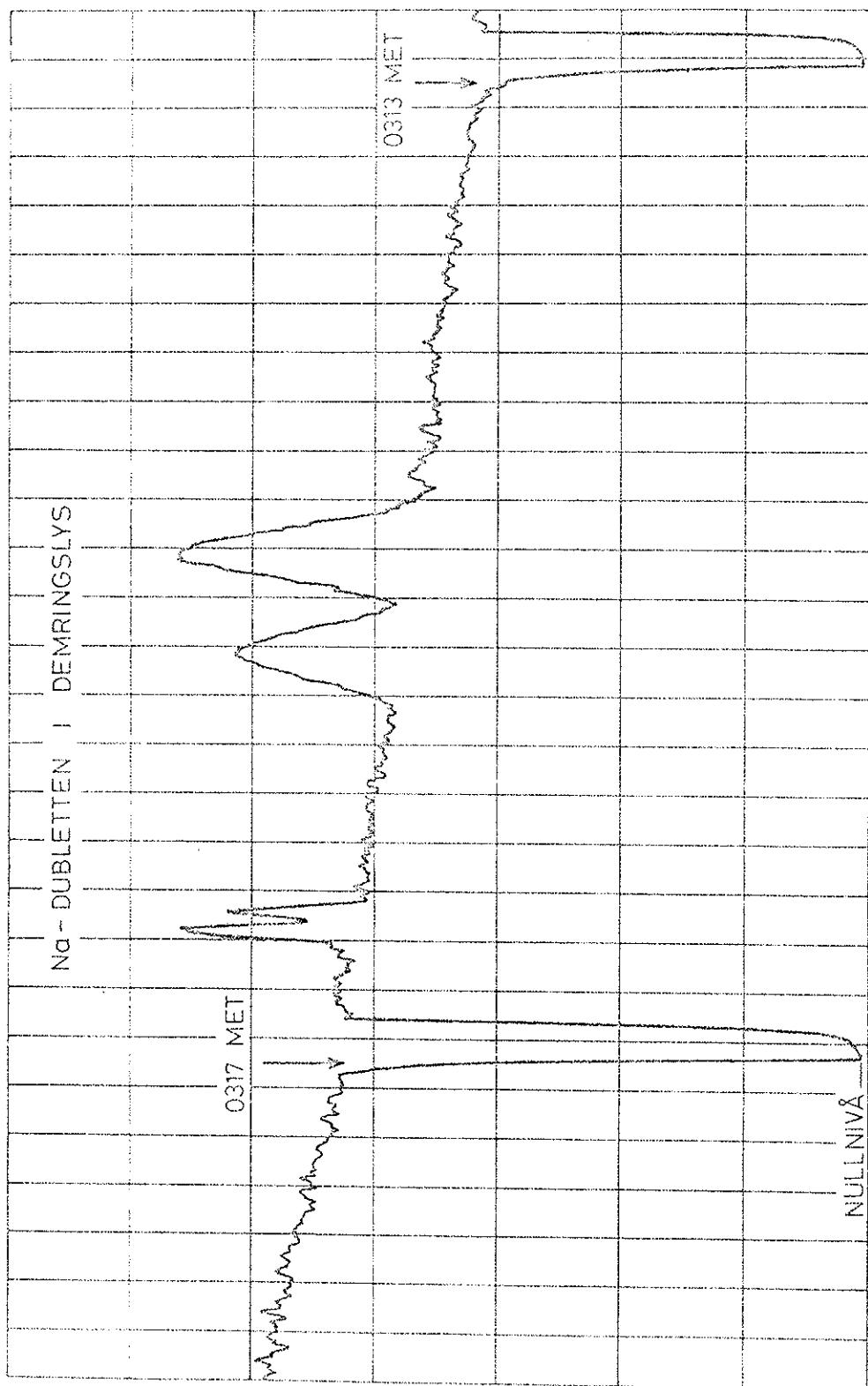


Figur 24 Observasjon av Ni-dubletten ved 5200\AA, spaltbredde 0,03 mm. Avstanden mellom linjene i dubletten er 2\AA, og på denne registreringen er de på grensen til å være oppdost.



Figur 25 Observasjon av svart natthimmel mot nord med 30° elevasjon, spaltbredde $0,3 \text{ nm}$. Intensiteten av Na-dubletten er $\sim 100R$. Nullnivået framkommer når signalet i SP3 blir kortsluttet.

Tiden mellom hver markering av nullnivå er 4 min, som er tiden som går med til å utføre et scan med tilbakgang. I dette tilfellet er scannet $\sim 50\text{A}$ langt. Intensitetsbetrøketten R står for Rayleigh og er 10^6 fotoner per sekund og cm^2 , observert fra en syklo som står klokken seg fra jordoverflaten og optokon har en høy ligheten. Denne enheten brukes spesielt i intensitetsobservasjoner av nordlys og natthimmellys.

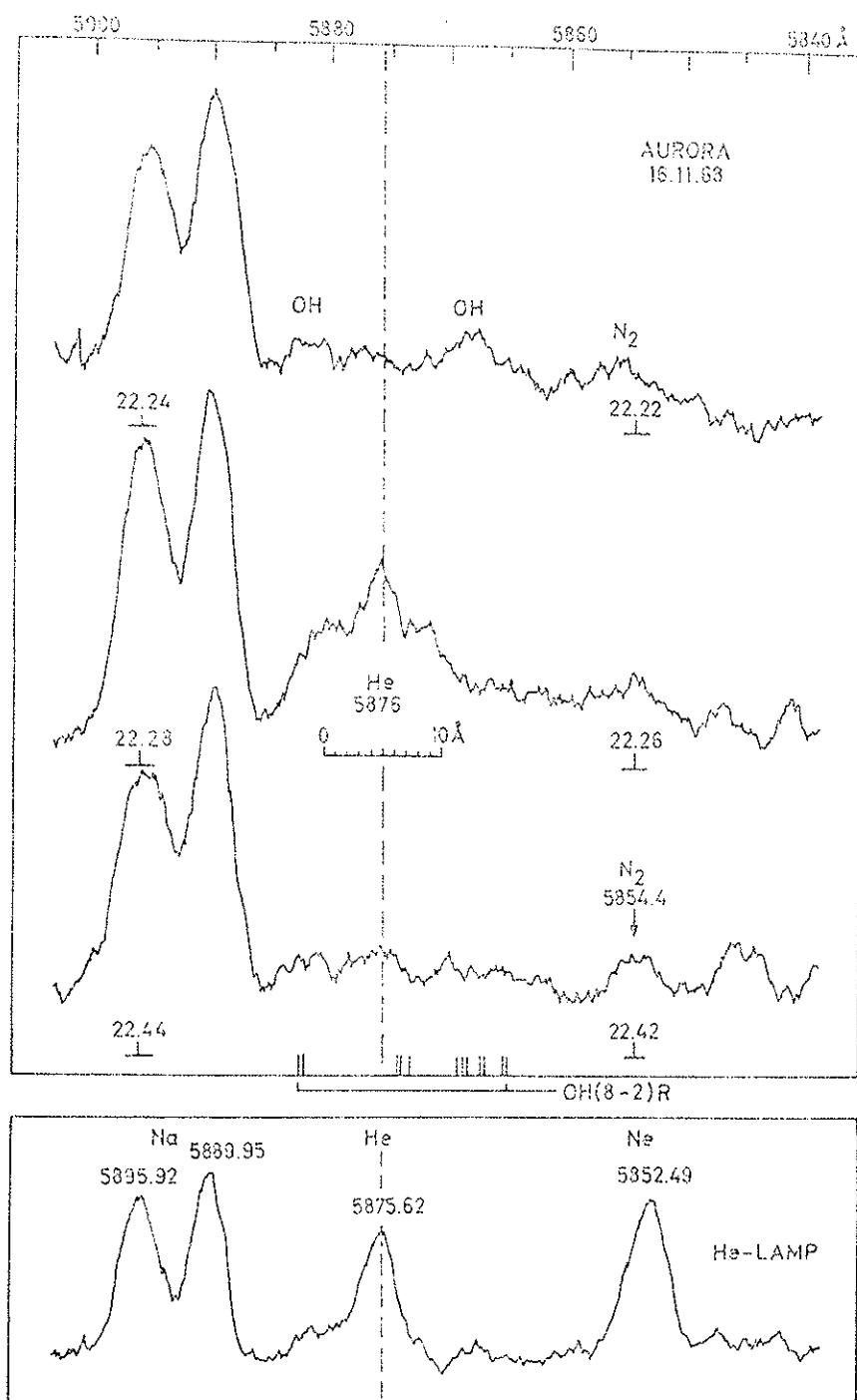


Figur 26 Observasjon gjennom solbelyst ionosfære ned 30° elevasjon mot nord fra Nordlysobservatoriet 7. april, 1977. Intensiteten av Na-dubletten ca. ~ 500R.

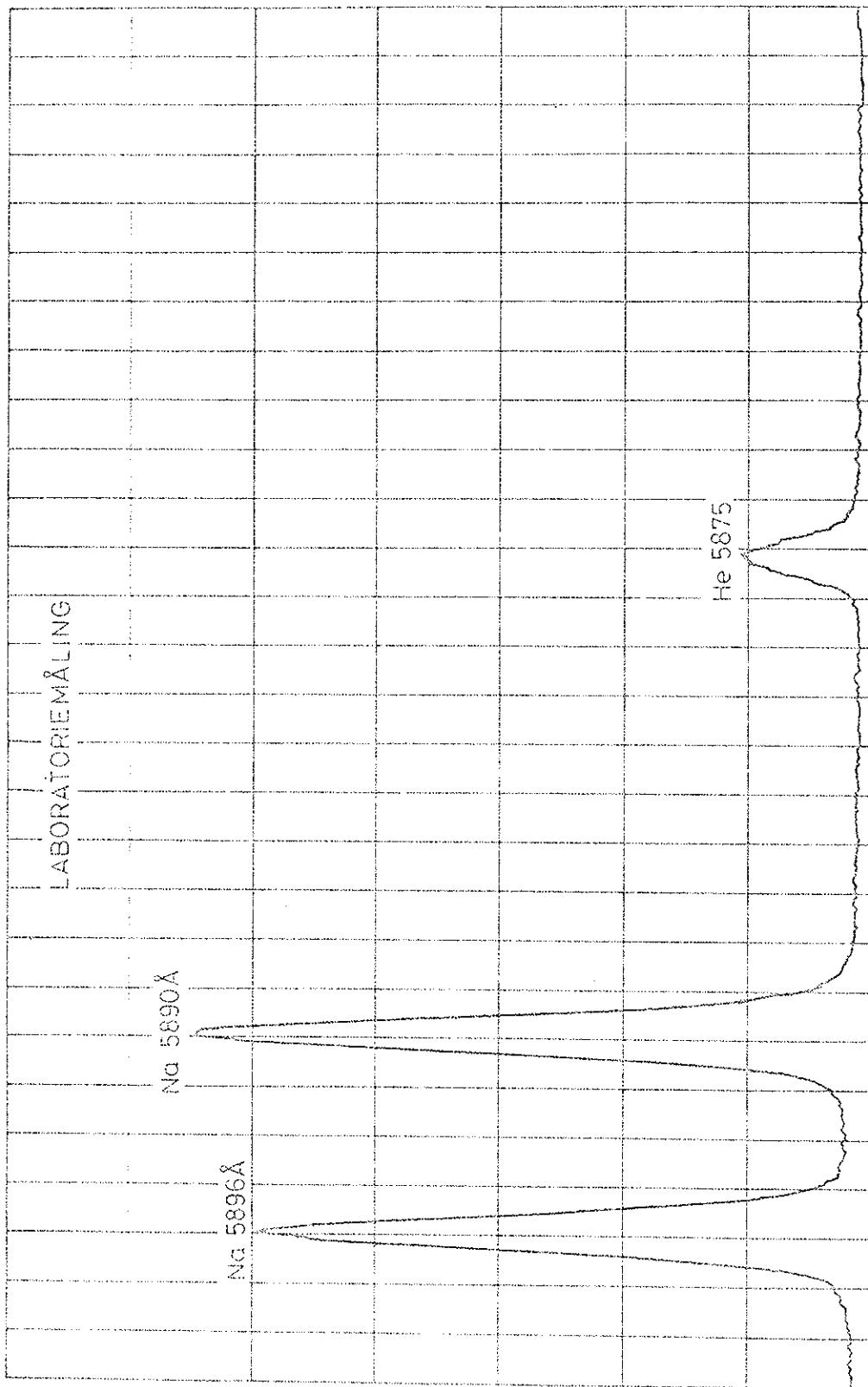
Figur 27 viser SP3-observasjon fra Kiruna i 1968. Her framkommer Na-dubletten tydelig og en emisjon der en sterk emisjon fra nøytralt helium HeI 5875 skal ligge. I dag diskuteres det kraftig om nedbøren av α -partikler i nordlysområdene er sterk nok til å skape målbar He-emisjon ved 5875Å. (Problemet tas opp bl.a. av A. Omholt og A. Vallance-Jones i bøkene deres fra 1971 og 1975). I så fall vil dette lyset være nordlys skapt av andre partikler enn elektroner og protoner, nemlig α -partikler fra solvinden. Målingen fra Kiruna er tatt mot magnetisk horisont og er derfor tilnærmet symmetrisk om 5875Å. Dersom emisjonen kan gjenfinnes mot magnetisk senit og da Dopplerforskjøvet, kan identifikasjon av He-lys i nordlys ikke bortforklaries. Dette vil bli prøvd gjennomført med SP3. SP3 har oppløsningsevne og følsomhet nok til å registrere Dopplerforskjøvet He-emisjoner. Den forventede Doppler-forskyvningen er på noen Å.

Figur 28 er en laboratoriemåling av Na 5890/96 og He 5875 og indikerer mulighetene til SP3. I figur 29 viser en observasjon i nordlys. Det er en svak emisjon der HeI 5875-emisjonen skal ligge. Da målingen er foretatt mot magnetisk senit og profilen er symmetrisk, kan dette ukritisk tolkes som He-emisjon. Observasjonen er imidlertid tatt fra Nordlysobservatoriet og kan skyldes reflektert He-lys fra byen eller en annen feilkilde. En eventuell refleksjon kan ha foregått fra en usynlig skydott.

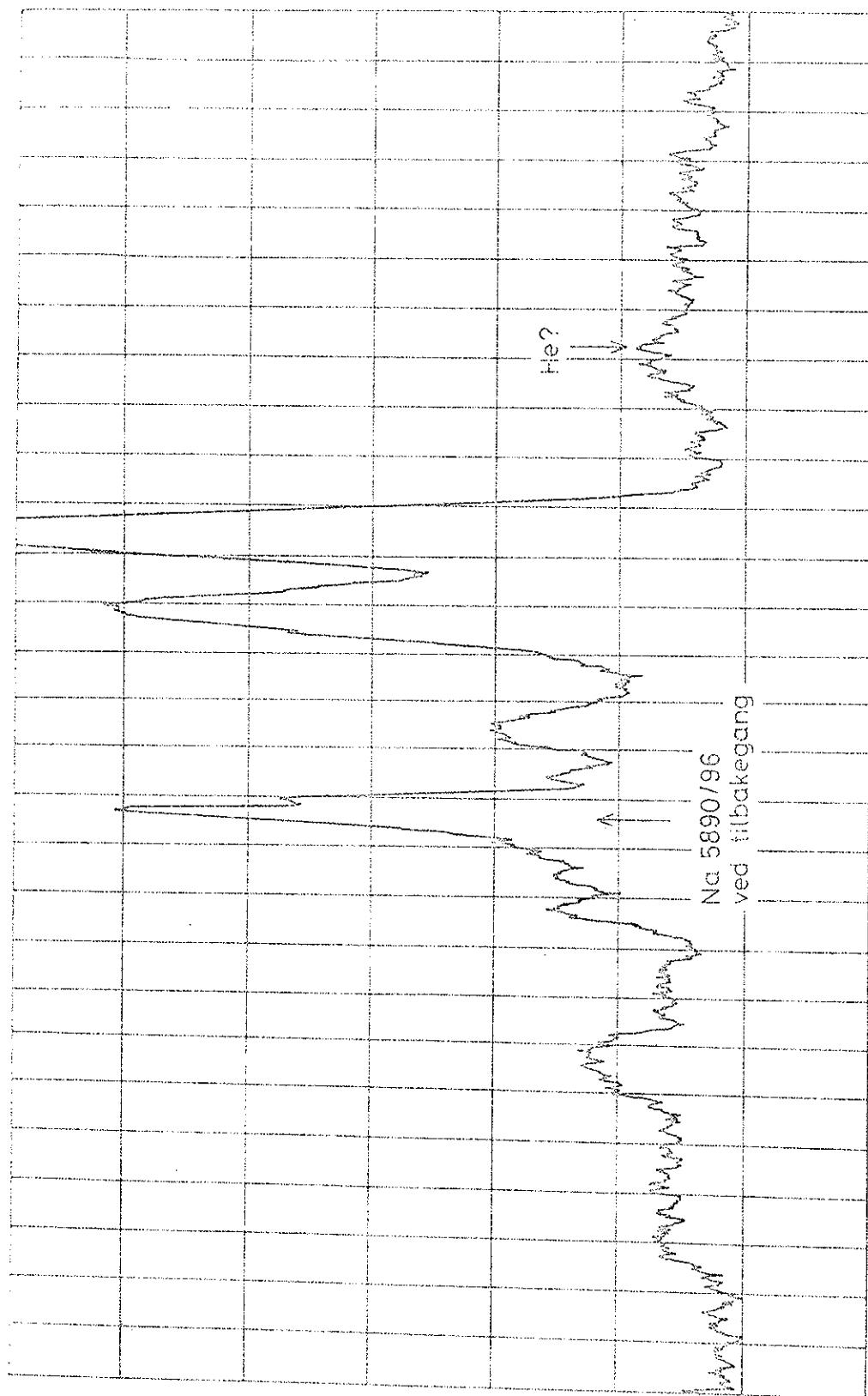
En annen vesentlig feilkilde for identifisering av HeI-emisjonen er at OH, O₂ og N₂ band kan forekomme ved 5875Å. Siden disse rotasjonsband har sine karakteristiske profiler, og SP3 har



Figur 27 Observasjon med SP3 fra Kiruna 16. november, 1968, foretatt nordover ned 20° elevasjon, dvs. like over magnetisk horisont. Det er meget sannsynlig at 2227 UT registreres HeI 5875Å emisjonen, og at den ble generert i et sterkt nordlys som kunne iakttas mot magnetisk horisont i nord (fra Planet. Space Sci. 17, 1927-1935, 1969).



Figur 28 Na-dubletten og He I 5875 \AA -emisjonen registrert i laboratorium fra Nao-og He-lamper. Spaltbredden er 0,05 mm, og scannets lengde $\sim 50\text{\AA}$. Denne registreringen viser at Dopplerefeksjonet i He I emisjon på 2-3 Angstrøm mot kortere bølgelengde vil kunne bestennes med SP3.



Figur 29 Observasjon av spektralområdet rundt 5890/96Å og 5975Å fra SP3 med nordlyssaktivitet. Siden Na-dublettens intensitet er $\sim 100R$, vil emisjoner rundt 10R lett kunne identifiseres. 10R er forventet intensitet av HeI 5975Å emisjonen i nordlys, og viser at SP3 er følsom nok til å identifisere HeI emisjonen om den finns med forventet intensitet. Ved denne registreringen var følsomheten på SP3 så stor at maksimalintensiteten ved 5890Å ikke ble registrert, dette var det gikk i metning.

tilstrekkelig oppløsningsevne til å undersøke disse rotasjonelinjer og bånd, skulle det være store muligheter til å identifisere de mulige emisjoner rundt 5875Å.

ANVENDELSER OG DET FORTSATTE OPTIMALISERINGSARBEID MED SP3

De framlagte observasjoner bør kunne vise en del muligheter som SP3 har, og disse vil bli flere med en rimelig innsats. Det pågår arbeid med å lage en innkapsling av SP3 slik at den kan anvendes med målinger ute. Dertil trengs et stativ slik at den lett kan brukes til observasjon fra alle deler av himmelen. Denne retningsvariasjonen bør på sikt kunne foretas automatisk og fra et observasjonsrom der operatøren kan betrakte hele himmelen gjennom et vidvinkelperiskop, observasjonskuppel eller lignende. Slik observasjonsanordning har klare fordeler, men fins ingen steder. Da SP3 også skal være et undervisningsinstrument, er det å håpe at studenter vil delta i planlegging av en hensiktsmessig observasjonsmetodikk.

En eventuell He emisjon ved 5875Å og andre svake emisjoner er vanskelig å identifisere med et enkelt scan. De blir borte i støyen. En måte å identifisere dem på er å ta middelverdien av flere scan. Som det nå er, kan dette gjøres ved bearbeiding av data som lagres på digital tape. Dette er lite tilfredsstillende ved undervisning og ved feltobservasjoner f.eks. på Svalbard. Denne signalmidlingen kan gjennomføres samtidig ved hjelp av mangekanalsanalysatorer eller mikroprosessorer, og arbeidet med dette er i gang.

Som vist i forrige avsnitt gjenstår det å få SP3 til å virke tilfredsstillende som spektrograf. Det synes som de fotografiske platene ikke blir liggende i samme stilling ved ulikstilte eksponeringer. Derfor vil en modifikasjon av holderne til platene, de fotografiske kassettene bli prøvd.

I undervisningen vil SP3 bli brukt til å registrere emisjoner fra den øvre atmosfære, og disse data skal brukes til å erverve kunnskaper om de fysiske prosessene som skaper lyset og andre forhold i den øvre atmosfære. Dertil vil selvsagt instrumentet SP3 med registreringsutstyr gjennomgås grundig slik at ferdigheter med apparatur tilegnes.

SP3 har vært brukt til å studere spektre fra stjerner, plasm'emisjoner i laboratorium og biologiske objekt. I dette kurset må imidlertid anvendelsene begrenses.

Etter undervisningens slutt høsten 1977 planlegger undertegnede å foreta feltreise til Ny-Ålesund og da særlig for å søke etter Doppler-forskjøvet helium emisjon ved 5875Å i den polare kløft. Det som er sagt foran, er en grunn til å søke en stadfesting av identifikasjonen til helium emisjonen i nordlys. En annen interesse er nitrogen emisjonen ved 5200Å. Da N(²D)-atomenes levetider er ca. 26 timer, vil 5200Å kunne vise driften av den nøytrale atmosfære i store høyder fra 250 km og oppover.

Arbeidet med SP3 vil knytte sammen høyere undervisning og forskning og heve kvaliteten av begge disipliner. Kurset F-13 Spektroskopi representerer et nytt tilbud til studentene ved Universitetet i Tromsø, og tilsvarende kurs er ikke gjennom-

ført ved noe universitet i Norge. Inspirasjon til kurset er hentet fra USA og Sverige. Spektroskopisk forskning av nordlys og natthimmellys var et hovedargument for oppretting av Nordlysobservatoriet. Ferdigheter i spektroskopi kan imidlertid brukes på en rekke felt i miljøvern, industri og forskning, og det er klart at slike anvendelsesområder vil diskuteres med studentene.