

ELEVHEFTE
Fysikk 2

NORDLYSETS HØYDE OG STRØMSTYRKE

Læringsressurs for videregående skole

Kort om aktiviteten

En enkel regneøvelse for å finne nordlysets høyde og strømstyrke. Gir en enkel introduksjon til Biot–Savarts lov og idéen om strømfordelinger.

Læringsmål

Økt forståelse for hvordan måling av magnetfelt kan gi oss verdifull informasjon om nordlys.

Innhold

Kort om aktiviteten.....	1
Læringsmål.....	1
Jordens magnetfelt.....	2
Magnetfelt fra strømfordelinger	3
Størmers trianguleringsmetode.....	4
Oppgave 1 – Magnetometermålinger og magnetfelt.....	5
Oppgave 2 – Nordlysets høyde.....	7
Oppgave 3 – Nordlysets strømstyrke.....	8
Kildehenvisninger	9
Bilder	9

Jordens magnetfelt

Jorden har et magnetfelt, og det er dette vi benytter oss av når vi navigerer med et kompass. Det at kompassnåler alltid dreier seg mot nord forteller oss at magnetfelt har en retning. I tillegg har de en størrelse, og for Jordens magnetfelt er denne på mellom 40 og 70 μT (mikrotesla) avhengig av hvor på kloden man befinner seg. Dette er ganske svakt sammenliknet med feltet like utenfor en typisk kjøleskapsmagnet, hvor feltstyrken typisk er 10 000–60 000 μT (altså 0,01–0,06 T).

Siden det har både størrelse og retning, er et magnetfelt en vektorstørrelse. Men Jordens magnetfelt er faktisk ikke rettet samme vei som en vanlig kompassnål! På våre breddegrader peker jordmagnetfeltet delvis inn i Jorden samtidig som det peker nordover. Orienteringskompass kompenserer for dette ved hjelp av et lodd på kompassnåla som gjør at den holder seg horisontal selv om magnetfeltet peker delvis innover. Dette ekstra loddet gjør at våre vanlige orienteringskompass ikke er særlig egnede i for eksempel Australia, hvor jordmagnetfeltet delvis peker opp fra bakken (og mot nord). Du kan selv finne ut hvorfor vanlige skipskompass ikke har dette problemet – de fungerer bra over alt, bortsett fra like i nærheten av magnetisk nordpol og sørpol.

Fra et fysikkfaglig standpunkt er det den sørlige magnetpolen som ligger i nærheten av geografisk nord, mens den nordlige magnetfeltpolen ligger langt mot sør. Dette er fordi magnetfeltlinjene er definert til å peke i samme retning som en kompassnål. Kompassnålen er en magnetisk nordpol, og den må derfor peke i retningen av Jordens magnetiske sørpol.

Jordens magnetfelt endrer seg i løpet av hundretusener av år. Fra målinger av havbunnen vet vi at magnetisk nord- og sørpol har byttet plass flere ganger opp gjennom jordens historie. Men i løpet av én dag eller én uke, er endringene altfor små til å registreres.

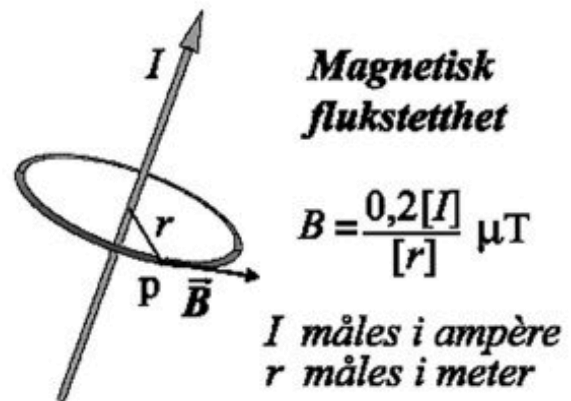
Likevel kan vi med følsomme magnetfeltnålere, gjerne kalt magnetometre, registrere svake endringer i jordmagnetfeltet i løpet av sekunder og minutter. Disse endringene skyldes ikke forhold i Jordens indre – i motsetning til Jordens magnetfelt – men et tilleggs-magnetfelt som skyldes elektriske strømmer i atmosfæren. Vi har også magnetfelt som skyldes menneskelig aktivitet, for eksempel trikk, T-bane, jernbane, el-biler, andre biler, kraftledninger, varmekabler, motorer, komfyrer osv. Vi skal ikke gå inn på disse siste magnetfelt-bidragene i denne øvelsen, men kun konsentrere oss om de magnetfeltene naturen selv skaper.

Magnetfelt fra strømfordelinger

For å beregne magnetfeltet rundt en vilkårlig strømfordeling brukes **Biot–Savarts lov**. Dersom strømmen følger en tilnærmet rett linje i nærheten av der vi måler feltet, kan vi bruke en forenklet utgave av denne loven (se figur 1).

Feltretningen i et punkt p utenfor strømlinjen vil være tangentielt til en sirkel gjennom p som står vinkelrett på strømlinjen og har denne som sitt sentrum. Hvilken vei tangenten skal peke finner vi ved hjelp av «høyrehåndsregelen»:

Dersom vi griper med høyre hånd omkring strømlinjen med tommelen i strømmens retning, vil magnetfeltet dreie seg rundt ledningen i samme retning som de øvrige fire fingrene peker.



Figur 1: Biot-Savarts lov for en uendelig lang, rett leder.

Magnetfeltstyrken er omvendt proporsjonalt med avstanden. Det vil si at feltet halveres dersom avstanden til linjen økes til det dobbelte. Dersom vi måler magnetfeltet i tre ortogonale retninger (x, y, z), kan vi finne retning og størrelse på magnetfeltet. Dette er imidlertid ikke nok til å bestemme strømlinjens avstand: Vi finner retningen strømmen går i, men ikke hvor langt unna den er.

Dersom vi derimot måler magnetfeltet på to forskjellige steder samtidig, vil vi (gitt at stedene ikke er altfor langt fra hverandre) kunne bruke de to retningsbestemmelsene til å bestemme avstanden ved hjelp av triangulering (også kjent som «krysspeiling»). Når vi har avstanden, kan vi enkelt finne strømstyrken.

Dette er i grove trekk idéen bak et nasjonalt og internasjonalt nettverk av magnetometre som tikker og går jevnt og trutt, sekund for sekund, dag etter dag, år etter år. Et utdrag av disse måledataene er fritt tilgjengelig på Internett.

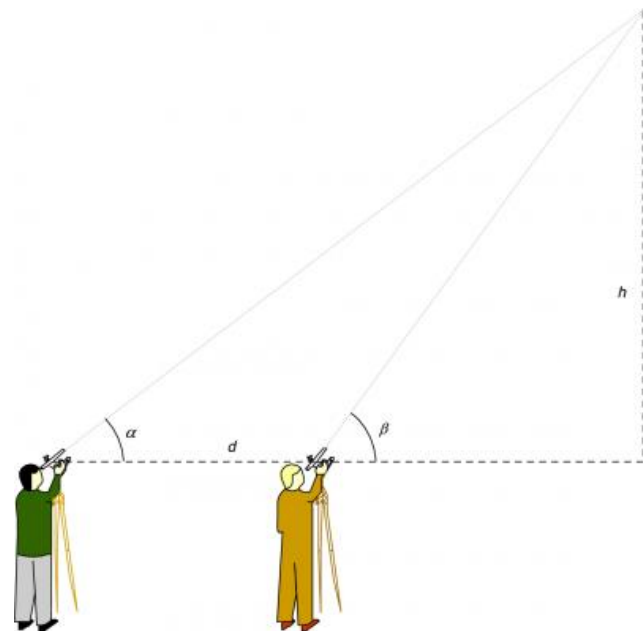
Størmers trianguleringsmetode

Neppe noe annet ved nordlyset er blitt mer inngående studert og diskutert enn dets høyde. Fra 1700-tallet til begynnelsen av det 20. århundre var dette et kontroversielt spørsmål. Noen mente at middelhøyden for nordlys var omkring 1000 km, mens andre påstod at nordlyset kom helt ned til jordoverflaten.

Professor Carl Størmer bestemte høyden av nordlysene (basert på samtidige, parallaktiske fotografier av nordlyset fra to eller flere stasjoner) i tidsrommet 1910–40. Med dette innførte Størmer den fotografiske teknikk i nordlysforskningen. Sammen med sin medarbeider Ole A. Krogness bygde han de første nordlyskameraene med nok følsomhet til å ta gode bilder av nordlys med en eksponeringstid på noen få sekunder.

To observatører med kjent innbyrdes avstand d måler retningen til et bestemt punkt av nordlyset samtidig (i praksis er det enklest at observatørene sikter seg inn på en avtalt stjerne).

Nordlysets høyde over bakken kan deretter bestemmes ved hjelp av enkel trigonometri. Figur 2 viser den sentrale idéen, men i virkeligheten må man også ta hensyn til Jordens krumning. På Størmers tid var hovedproblemet å sikre at begge observatører gjør sine målinger på nøyaktig samme tidspunkt, men dette ble løst ved hjelp av en telefonforbindelse.

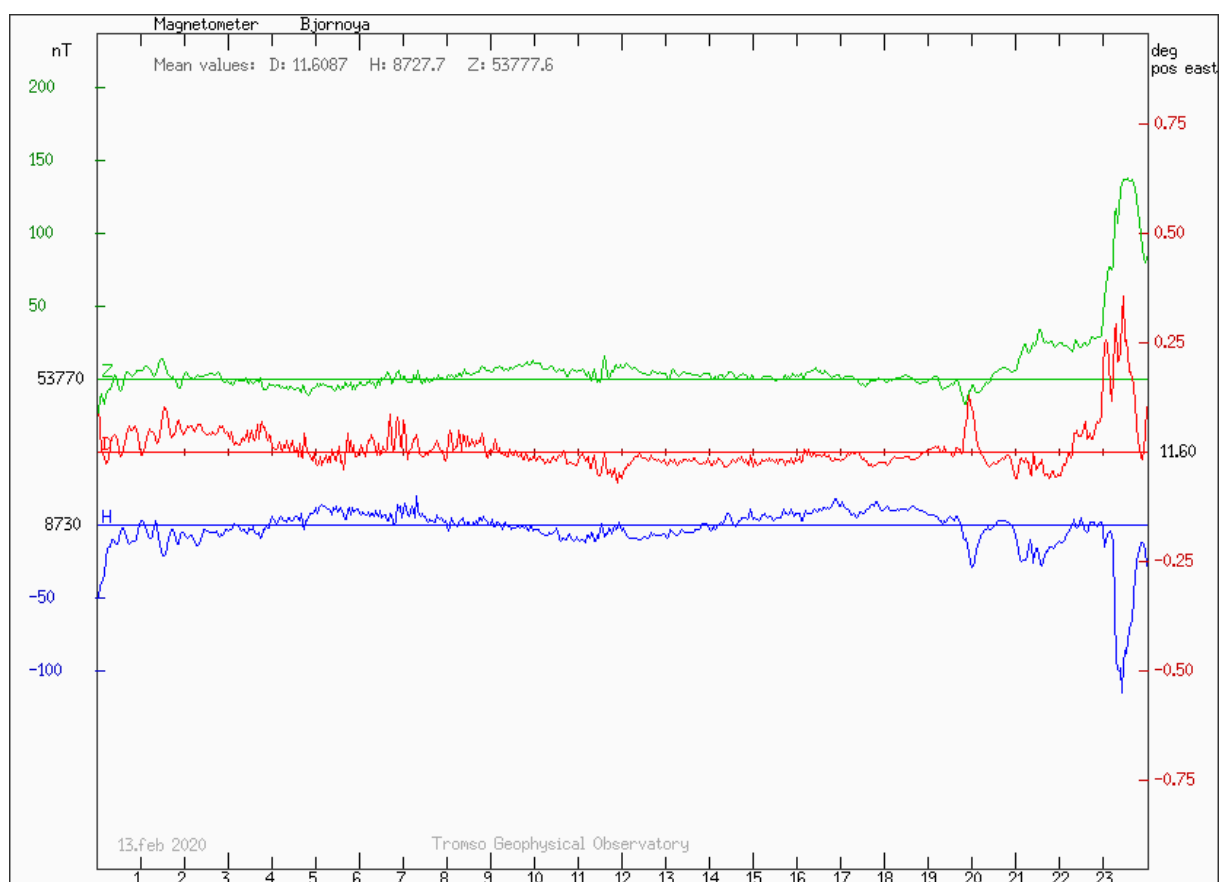


Figur 2: Illustrasjon av triangulering fra NLDA.

Oppgave 1 – Magnetometermålinger og magnetfelt

I denne oppgaven skal vi bli kjent med magnetogrammer og magnetfeltemålinger. Vi skal bruke målinger for å regne ut totalt magnetfelt på to forskjellige steder for et gitt tidspunkt.

Figur 3 viser et magnetogram for Bjørnøya den 13. februar 2020. Et magnetogram viser utviklingen av magnetfeltet over tid. I stedet for å oppgi magnetfeltet som (B_x, B_y, B_z) , benyttes (H, D, Z) , hvor H er horisontalkomponenten, D misvisningen/deklinasjonen (vinkelen mellom geografisk nord og magnetisk nord) og Z er vertikalkomponenten med positiv retning *nedover*. H og Z oppgis i nT (nanotesta, dvs. milliarddels tesla), mens D oppgis i grader. Deklinasjonen er positiv dersom magnetisk nord ligger østenfor geografisk nord (sett fra stedet hvor man befinner seg), og angir altså magnetfeltets horisontale retning.¹



Figur 3: Magnetogram for Bjørnøya den 13.02.2020, en relativt rolig dag. Kilde: TGO.

Plottet i figur 3 er ikke så lett å lese første gang man ser det. Aksene og grafene er fargekodet, men for Z og H vises kun halvparten av aksene – positive avvik for Z, og negative avvik for H. De tre horisontale linjene viser gjennomsnittsverdiene for, fra øverst til nederst, henholdsvis Z, D og H. De fargede aksemarkeringene viser avviket fra den relevante gjennomsnittsverdien, oppgitt i svart på hver akse.

¹ Her på den nordlige halvkule kan man estimere deklinasjonen med å sammenligne pekeretningen til et kompass med retningen Nordstjernen ligger i.

Fra figur 3 leser vi altså at magnetfeltet på Bjørnøya rett etter midnatt den 13. februar hadde komponentene:

$$Z \approx 53\,770 \text{ nT} - 25 \text{ nT} \approx 53\,750 \text{ nT}$$

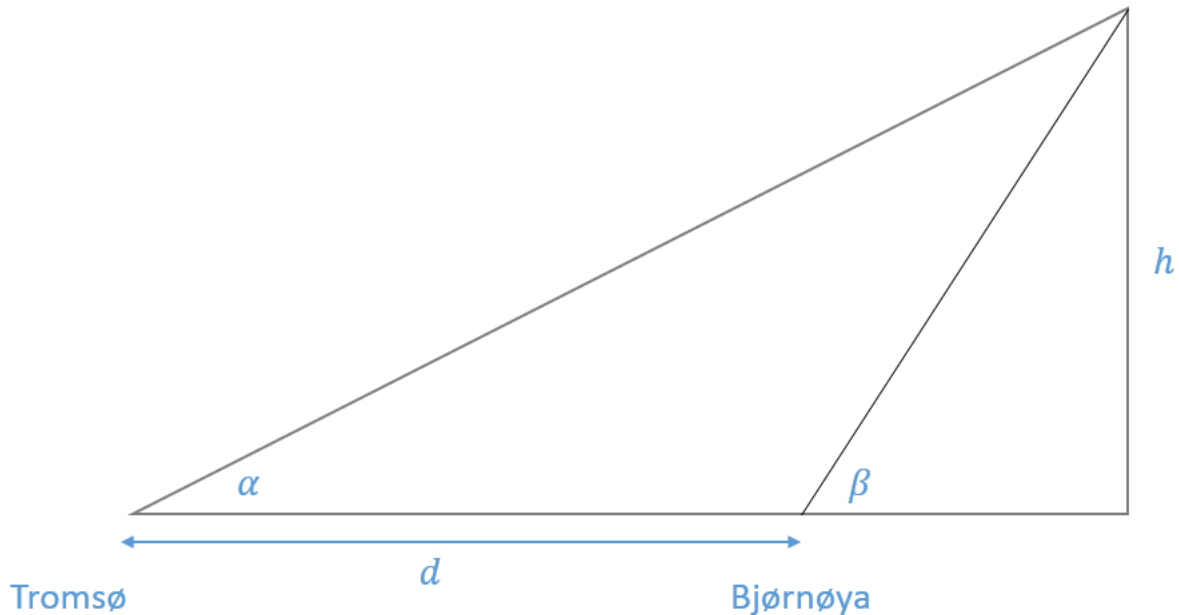
$$D \approx 11,60^\circ + 10^\circ \approx 22^\circ$$

$$H \approx 8\,730 \text{ nT} - 50 \text{ nT} = 8\,680 \text{ nT}$$

- a) Gå til websidene til Nordlysobservatoriet i Tromsø, geo.phys.uit.no, og velg «Geomagnetic data», fulgt av «Archive» eller «Realtime». Hent magnetogrammer for Tromsø og Bjørnøya.
- b) Velg et tidspunkt på x-aksen og les av verdiene på y-aksen for både horisontal- (H) og vertikal- (Z) komponentene.
- c) Slå sammen de relative H- og Z-komponentene for å finne den totale forstyrrelsen i Jordens magnetfelt, $\Delta B \equiv |\Delta \vec{B}|$, både for Tromsø og for Bjørnøya. Dette er de interessante størrelsene i resten av øvelsen.

Oppgave 2 – Nordlysets høyde

I denne oppgaven skal vi finne ut hvor høyt opp i atmosfæren nordlyset befinner seg. Basert på avstanden mellom målestedene brukt i forrige oppgave og vinklene fra hvert målested mot nordlyset, kan vi regne ut høyden ved å bruke trigonometriske funksjoner.



Figur 4: Illustrasjon til oppgave 2.

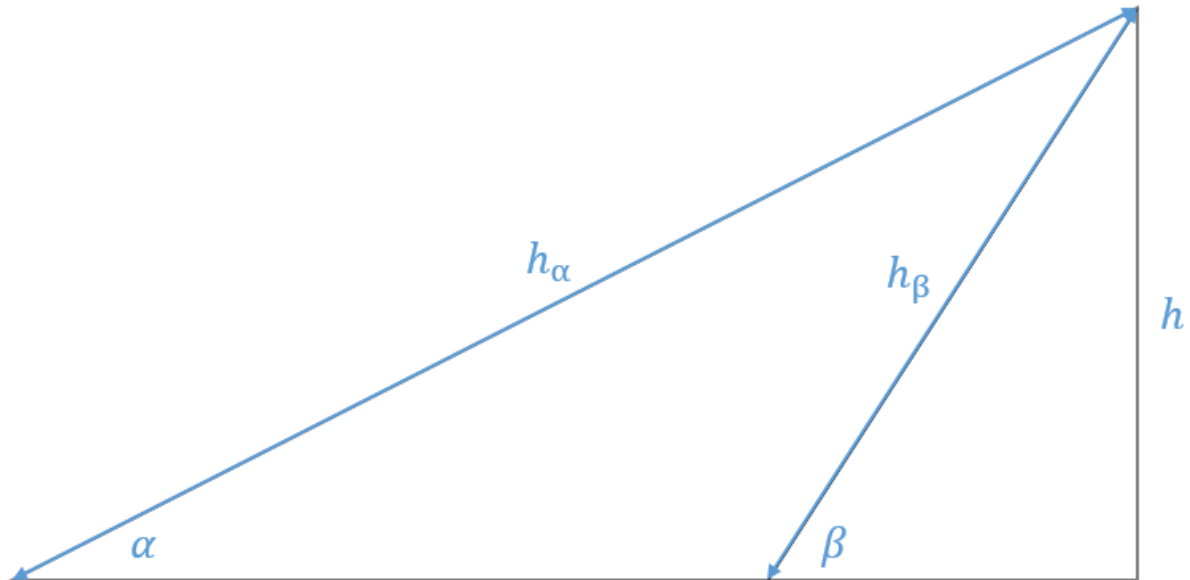
- a) I hvilke høyder forekommer nordlyset? Hvor høyt er dette sammenlignet med høyden passasjerfly vanligvis flyr i? Har vi nordlys i verdensrommet? Bruk sarepta.space eller andre passende kilder til å finne svar.

I oppgave 1 brukte du målinger fra Tromsø og Bjørnøya. Direkteavstanden mellom disse to stedene er omtrent $d = 400 \text{ km}$. Nordlyset ble observert på himmelen fra Tromsø på omtrent 35° (α) og fra Bjørnøya på omtrent 65° (β), begge i forhold til horisontalplanet.

- b) Hvor høyt var nordlyset i rett linje over bakken? Finn h . Inkluder en forklaring til figur 4 i svaret ditt, og vis hvordan du har kommet fram til resultatet.

Oppgave 3 – Nordlysets strømstyrke

- a) I forrige oppgave fant du høyden (h) til nordlyset over bakken. Se på figuren under, og finn avstanden til nordlyset fra hvert av observasjonsstedene (dvs. finn h_α og h_β i figur 5).



Figur 5: Illustrasjon til oppgave 3.

For en uendelig lang rett leder forenkles Biot–Savarts lov til:

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

hvor r er avstanden fra observasjonsstedet, målt i meter (dvs. h_α eller h_β); ΔB er magnetfeltforstyrrelsen på observasjonsstedet, målt i tesla (T); og $\mu_0 = 4\pi \cdot 1,000\,000\,000\,55\,(15) \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ er en naturkonstant kjent som den *magnetiske konstanten* (sammenlign med formelen gitt i figur 1).

- b) Bruk formelen ovenfor, løs for I og finn strømstyrken til nordlyset i ampere, gitt magnetfeltforstyrrelsene du fant i oppgave 1c.
- c) Resultatene du fant i b) kan variere, hva kan være årsaken til dette?
- d) Utfordring: Utrengningen i oppgave b) antar at den elektriske strømmen assosiert med nordlyset kan tilnærmes som en tynn, rett leder. Dette er ikke alltid tilfellet. Se om du kan finne ut hvordan Biot–Savarts lov blir dersom man i stedet må regne som om hele himmelen er dekket av et strømførende plan. Hvordan blir svaret i oppgave b) nå? Gir måledataene fortsatt mening?

Kildehenvisninger

- Innholdet er utviklet av NAROM for Nordic ESERO.

Bilder

- Forsidebilde: *Nordlyset danser over Jakobsbakken* av Bjørn Svendsen.