

Elektromagnetisme

Kraften som driver verden – felt, induksjon og elektromagnetiske bølger

NAT1026 – Teknologi og samfunn

En nål snur seg – og verden endres

Den 21. april 1820, under en forelesning ved Universitetet i København, oppdaget Hans Christian Ørsted noe han ikke hadde planlagt å finne. Han holdt en elektrisk ledning nær et kompass og knyttet til batteri. Kompassnålen slo unna. Da han brøt strømmen: den slo tilbake. Ørsted, tilsynelatende rolig, avsluttet forelesningen og begynte å skrive det som skulle bli en av de mest siterte vitenskapelige publikasjonene på 1800-tallet: elektrisk strøm skaper magnetfelt.

Nyheten spredte seg med ekspressfart til Paris. Michael Faraday i London ble nesten besatt av spørsmålet: Ørsted hadde vist at elektrisitet skaper magnetisme. Kan magnetisme skape elektrisitet? I 1831 – etter ti år med eksperimenter – fant Faraday svaret: et SKIFTENDE magnetfelt inducerer elektrisk spenning i en leder. Det er dette prinsippet alle generatorer, transformatorer og induktive ladere i dag er basert på.

«Nothing is too wonderful to be true, if it be consistent with the laws of nature.»

— Michael Faraday, brev til John Tyndall (1849)

Elektrisk og magnetisk felt

Et elektrisk felt omgir enhver elektrisk ladning. Et magnetfelt omgir enhver bevegende ladning – det vil si elektrisk strøm. De to feltene er ikke uavhengige: et skiftende elektrisk felt skaper et magnetfelt, og et skiftende magnetfelt skaper et elektrisk felt. De er to sider av samme fenomen – elektromagnetisme.

Magnetfelt visualiseres med feltlinjer. Fra en stabmagnet går linjene ut fra nordpolen og inn i sydpolen. De krysser aldri hverandre, og tetthet angir styrke. Jordas magnetfelt – dannet av bevegelse av flytende jern i yttrekernen – er det feltet som skjermer oss mot solens ioniserende stråling og lar kompassnålen peke nord.

Lorentz-kraften og partikkelakseleratorer

En elektrisk ladet partikkel som beveger seg i et magnetfelt opplever en kraft vinkelrett på begge – på bevegelsen og på feltet. Kraften er $F = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, kalt Lorentz-kraften. Fordi kraften alltid er vinkelrett på hastigheten, endrer den retning men ikke fart – partikkelen går i sirkelbane.

CERN bruker dette prinsippet i sin 27 km lange partikkelring (LHC). Supraledende magneter bøyer protoner rundt ringen gang etter gang, og elektriske felt akselererer dem til 99,9999991 % av lysfarten. MR-maskiner i sykehus bruker et svært sterkt magnetfelt (1,5–7 Tesla) til å

orientere hydrogenatomer i kroppen – en radiobølge forstyrrer dem, og signalene de sender ut gir detaljerte bilder av vev uten ioniserende stråling.

Elektromagnetiske bølger og Maxwells prediksjon

James Clerk Maxwell samlet alle elektromagnetiske fenomener i fire elegante ligninger i 1865. Fra ligningene beregnet han at koblele elektriske og magnetiske felt kan forplante seg som bølger med hastigheten $1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ – og ble forbløffet over at svaret matchet den kjente lyshastigheten nøyaktig. Han konkluderte: lys er elektromagnetiske bølger. Heinrich Hertz bekreftet det eksperimentelt i 1887 ved å produsere og detektere radiobølger – ingen hadde trodd på det.

Type	Bølgelengde	Frekvens	Bruksområde
Radiobølger	>10 cm	<3 GHz	Radio, TV, mobilnett, WiFi
Mikrobølger	1 mm–10 cm	3–300 GHz	Radar, mikrobølgeovn
Infrarødt	700 nm–1 mm	0,3–430 THz	Varmekamera, fjernkontroll
Synlig lys	380–700 nm	430–790 THz	Syn, fotosyntese, solceller
Ultrafiolett	10–380 nm	790 THz–30 PHz	Sterilisering, solbrenthet
Røntgen	0,01–10 nm	30 PHz–3 EHx	Medisinsk diagnostikk
Gammastråling	<0,01 nm	>3 EHx	Kreftbehandling, sterilisering

Generator, motor og transformer

Faradays induksjonslov er grunnlaget for all elektrisk energiproduksjon. En generator er i essensen en spole som roterer i et magnetfelt – det skiftende magnetflukset gjennom spolen induserer en vekselspanning. Kull-, gass- og kjernekraftverk, vindturbiner og vannkraftverk: alle bruker en generator. Det de tilføyer av varme eller mekanisk energi er bare én eller annen måte å snurre en spole.

Transformatoren er en undervurdert hero i det elektriske systemet. Vekselstrøm i primærspolen skaper et skiftende magnetfelt som induserer spenning i sekundærspolen. Forholdet mellom spenningene er lik forholdet mellom viklingsantallene. Kraftverket produserer kanskje 11 000 V – transformeres opp til 300 000–400 000 V for effektiv overføring over lange linjer (høy spenning, lav strøm, minimale varmetap), og transformeres ned igjen til 230 V i ditt stikkontakt.

■ Nøkkelsammendrag

- ✓ Ørsted (1820): elektrisk strøm skaper magnetfelt – elektromagnetismens grunnsten
- ✓ Faraday (1831): skiftende magnetfelt induserer spenning. Grunnlag for generator og transformer
- ✓ Lorentz-kraften: $F = q(v \times B)$. Grunnlag for MR, LHC og elektromotoren

- ✓ Maxwell (1865): fire ligninger som forener elektrisitet og magnetisme. Predikerte EM-bølger
- ✓ EM-spekter: radio, mikrobølger, IR, synlig lys, UV, røntgen, gamma – alle EM-bølger
- ✓ Generator: mekanisk bevegelse → induisert spenning. Transformer: spenningsomforming via induktiv kobling
- ✓ MR bruker sterkt magnetfelt og radiobølger – ingen ioniserende stråling

Tenk og drøft

1. Forklar Faradays induksjonslov og beskriv ett praktisk eksempel der den brukes i hverdagen.
2. Hva er Lorentz-kraften, og hvorfor beveger en ladet partikkel seg i sirkelbane i et homogent magnetfelt?
3. Forklar Maxwells bidrag til forståelsen av lys.
4. En transformator har 500 viklinger i primærspolen og 50 i sekundærspolen. Inngangsspenning: 230 V. Hva er utgangsspenningen?
5. Forklar hvorfor elektrisitet overføres med høy spenning i kraftnettet. Bruk $P = I^2R$ i forklaringen.
6. Sammenlikn MR og røntgen som diagnostikkmetoder – hva er fordelene og ulempene med hvert system?

Praktiske forsøk

Forsøk 1: Bygg en enkel elektromagnet

Demonstrer at elektrisk strøm skaper magnetfelt ved å bygge en elektromagnet av kobbertråd.

Utstyr:

- 1,5 V batteri
- Kobbertråd (isol., 0,5 mm)
- En jernbolt
- Binders og stifter
- Tape

Fremgangsmåte:

1. Vikle kobbertråden tett rundt jernbolten – ca. 50 viklinger.
2. Koble endene til batteriet (kortvarig for å spare batteri).
3. Hold elektromagneten nær binders. Observer.
4. Koble fra batteriet. Hva skjer med bindersen?
5. Prøv med ulikt antall viklinger og mål "løftekraft" i antall binders.

Refleksjon: Hva skjer med magnetstyrken ved dobbelt antall viklinger? Hvorfor er kjernen av jern (ikke plast eller aluminium)?

Forsøk 2: Indusert spenning: vikle og mål

Observer induksjon ved å bevege en magnet gjennom en spole.

Utstyr:

- 200-viklingsSpole (evt. lag av kobbertråd rundt papirrulle)
- Stav-magnet
- Voltmeter (mikrovolt-område)
- Logg

Fremgangsmåte:

1. Koble spolen til voltmeteret.
2. Beveg magneten RASKT inn i spolen. Les av spenningen.
3. Beveg magneten SAKTE inn. Sammenlikn.
4. Hold magneten stille midt i spolen. Hva skjer?
5. Beveg magneten ut. Hva skjer med retningen på spenningen?

Refleksjon: Hva forteller eksperimentet om sammenhengen mellom hastighet og indusert spenning? Hva ville skje om man brukte en sterkere magnet?