

FYS1120 - Oppsummering

Robin A. T. Pedersen

October 8, 2016

Contents

1	Forord	2
2	Introduksjon	2
3	Formler	4
4	Ladning og Coulombs lov	5
4.1	Coulomb	5
5	Elektriske felt	6
5.1	generelt	6
5.2	E-felt og spenning	6
5.3	Parallele flater?	6
6	Dipoler	7
6.1	Elektrisk dipol	7
6.2	Dipol i e-felt	7
7	Fluks	7
7.1	Hva er elektrisk fluks?	7
8	Gauss' lov	8
8.1	Beskrivelse	8
8.2	E-felt på lederflate	8
9	Elektrisk arbeid og potensiell energi	8
9.1	Ladning i e-felt	8
10	Elektrisk potensial (spennende... nei vent. spenning.)	9
10.1	Elektrisk potensial	9
10.2	Ekvipotensialflater	9

11 Kondensatorer og Kapasitans	9
11.1 Kondensator?	9
11.2 Parallell-plate kondensator	10
11.3 Energi i kondensator	10
12 Dielektrika	10
12.1 dielektrikum	10
12.2 Dielektrisitetskonstanten	11
12.3 Indusert ladning	11
13 Elektrisk strøm, resistivitet og resistans	12
13.1 Strømtetthet	12
13.2 Resistivitet	12
13.3 Resistans	13
13.4 Strøm på mikroskopisk skala	13
14 Elektromotorisk spenning/kraft	14
14.1 ems? emk? (engelsk, emf, electromotive force)	14
15 Energi og effekt i kretser	14
15.1 Elektrisk effekt	14

1 Forord

ADVARSEL! Teksten er shi... ikke top notch.

Denne teksten er ment som et sammendrag av emnet FYS1120.

Hensikten er, for meg personlig, å få en oversikt over fagets struktur. Hvis teksten også kan fungere som et oppslagsverk eller som generell støttelitteratur for andre, er det vel og bra. **Men vit at det kan finnes feil og mangler.** Jeg er ingen autoritet i feltet og skriver dette for selv å lære faget.

Innholdet er planlagt å struktureres etter forelesningene. Avvik vil forekomme der tema i forelesningene overlapper.

2 Introduksjon

Emnet ser ut til å ha flere tema felles med *Fysikk 2* fra vgs, og *FYS1210* for oss som har hatt det.

Følgende er en oversikt over begreper vi skal lære mer om. Mer detaljer kommer i senere seksjoner.

Elektrostatikk Det motsatte av elektrodynamikk. Statisk elektrisitet handler om elektrisk ladning som står i ro eller beveger seg langsomt.

Elektrisk strøm Bevegelse av elektrisk ladning. F.eks i form av elektroner eller ioner.

Elektrisk kraft Kraften som tiltrekker eller frastøter ladde partikler beskrives av Coulombs lov. Kraften mellom to ladde partikler er proporsjonal med produktet av ladningene, og omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden mellom dem.

Kirchhoffs lov om strømmer Summen av strømmene inn i et punkt, er lik summen av strømmene ut.

Kirchhoffs lov om spenning Summen av alle spenninger i en krets er null. Altså, spenningsfallet over komponentene tilsvarer spenningen fra batteriet.

Lineære kretser Krets-parametre (motstand, induktivitet, kapasitet, osv) er konstante. I komponentene er forholdet mellom strøm og spenning lineært. Inneholder ingen ikke-lineære komponenter (forsterkere, dioder, transistorer, osv).

Elektroniske komponenter Motstand, diode, transistor, spole, IC, kondensator, sensor, osv.

Magnetfelt Magnetiske felt kan lages ved bevegelse av ladde partikler og forekommer i magnetiske materialer. Deres retning og magnitudo beskrives av vektorfelt. To enheter brukes: tesla (magnetfelt) og ampere per meter (H-felt).

Amperes lov Det magnetiske feltet rundt en elektrisk strøm er proporsjonal med strømmen. På eksamen i *Fysikk 2* sitter folk med høyrehåndsregelen og peker med tommelen som en anvendelse av amperes lov.

Elektromagnetisk induksjon Forandring av magnetisk fluks gjennom en krets skaper spenning.

Forskyvningsstrøm Er ikke en strøm av ladde partikler, men et elektrisk felt som varierer i tid.

Vekselstrøm Elektrisk strøm hvor bevegelsesretningen periodisk reverseres. Som produsert i en alternator (generator) ved elektromagnetisk induksjon.

Transiente strømmer (kompleks beskrivelse) Kortvarige strømmer, som f.eks. kan komme i tillegg til en sinusformet strøm. Oppstår bl.a. pga. forandring i magnetisk fluks.

Maxwells ligninger En samling av fire ligninger som beskriver sammenhengen mellom elektriske og magnetiske felt. Gauss' lov, Amperes lov, Faradays induksjonslov, magnetiske monopoler.

Elektromagnetiske bølger Elektrisk felt som oscillerer i fase med magnetisk felt og brer seg som tversbølger. F.eks. synlig lys, radiobølger osv.

Stråling fra ladning i bevegelse Når ladde partikler aksellereres produseres elektromagnetiske bølger.

3 Formler

ADVARSEL!

Det kan finnes feil.

Det er gjort forenklinger. f.eks. $W = U$ når realiteten er $W = \Delta K + \Delta U$. Forenklinger holder for oppgavene vi gjør, men gjelder ikke generelt.

Variabelnavn brukes som synonymer. f.eks. $s = d = r$ er alle lik strekning.

Sentripetalakselerasjon

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Coulombs lov

$$\mathbf{F} = k \frac{qQ}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Coulombs konstant

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \cdot 10^9$$

Enhetsvektor

$$\hat{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{r}}{r}$$

E-felt

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$$

Arbeid

$$W = Fs$$

Arbeid, bevaring av energi

$$W = \Delta K + \Delta U$$

Elektrisk potensiale

$$V = \frac{U}{q} = \frac{W}{q} = \frac{Fd}{q} = Ed$$

Ladningstetthet

$$\lambda = \frac{Q}{L} = \text{linjetetthet}$$

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \text{arealtetthet}$$

$$\rho = \frac{Q}{V} = \text{volumtetthet}$$

Gauss' lov

$$\Phi = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Homogent e-felt?

$$\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = EA = \frac{q}{\epsilon_0}$$
$$\Rightarrow E = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Elektrisk dipolmoment

$$\mathbf{p} = q\mathbf{d}$$

Dipol pot. energi

Energi i kondensator

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}C\left(\frac{Q}{C}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

4 Ladning og Coulombs lov

4.1 Coulomb

En kilde til et elektrisk felt Q (lading) vil påføre en kraft på en annen ladning q .

Coulombs lov sier at denne kraften er proporsjonal med produktet av ladningene og omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden.

$$F = k \frac{qQ}{r^2}$$

Kraften virker like mye på begge ladningene (etter Newtons #3 lov).
 k er Coulombs konstant $8.99e9$.

5 Elektriske felt

5.1 generelt

På grunn av en eller flere ladninger virker det krefter på andre ladninger i samme rom.

Vi bruker en *testladning* q_0 for og måler den elektriske kraften i et rom.

Hvis vi deler på q , få vi den delen av kraften som kun avhenger av egenskapen til rommet. Dette er efeltet.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$$

5.2 E-felt og spenning

Vi kan relatere E-felt til spenning.

$$W = U = Fd$$
$$V = \frac{U}{q} = \frac{Fd}{q} = Ed$$

Så E-felt kan skrives som

$$E = \frac{V}{d}$$

5.3 Parallell flater?

Ved parallell flater? kan vi se bort fra vektordelen av følgende integral.

$$\int \mathbf{E} \cdot \mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Det gir

$$EA = \frac{q}{\epsilon_0}$$

E-feltet er da (husk at $q = \sigma A$):

$$E = \frac{\sigma A}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

6 Dipoler

6.1 Elektrisk dipol

En dipol er to ladde objekter, med like stor men motsatt ladning, separert med en avstand.

Dipolmomentet p er et mål på hvor mye separasjon \mathbf{d} av ladning q .

$$\mathbf{p} = q \mathbf{d}$$

Jo mer ladning, jo større separasjon av ladning. Jo større avstand, jo større separasjon av ladning.

Retningen på dipolmomentet er definert fra minus til positiv.

6.2 Dipol i e-felt

Når en dipol plasseres i et e-felt, vil like ladninger frastøte hverandre, og dipolen vil rotere til den peker i samme retningen som e-feltet.

Potensiell energi

Den potensielle energien U til en dipol i e-felt E , altså arbeidet W for å rotere den, er

$$U = W = Ep \cos \theta = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$$

$$U = W = Fs = F \left(\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \cos \theta \right) = Eq \left(\frac{d}{2} - \frac{d}{2} \cos \theta \right)$$

TODO?

Dreiemoment (torque)

Dreiemomentet τ er gitt ved

$$\tau = Ep \sin \theta = \mathbf{E} \times \mathbf{p}$$

7 Fluks

7.1 Hva er elektrisk fluks?

Fluks er et mål på hvor mye av et e-felt som går gjennom en flate. Man kan tenke på hvor mange feltlinjer fra e-feltet som går gjennom flaten.

Gjennom hvert lille stykke av arealet, regner man kun den delen som står normalt på e-feltet.

$$d\Phi = E_{\perp} \cdot dA$$

Den totale fluksen er da integralet av dotproduktet av vektorene

$$\Phi = \iint_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

8 Gauss' lov

8.1 Beskrivelse

Gauss' lov beskriver forholdet mellom e-felt og ladning.

Den totale fluksen gjennom en lukket flate, er proporsjonal med nettoladning inni flaten.

$$\Phi = \frac{q_{\text{inni}}}{\epsilon_0}$$

Kombinert med formelen for fluks blir det

$$\iint_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

8.2 E-felt på lederflate

For en ladet metallkule (ekstrapoler eksempelet for andre volumer) står e-feltet normalt ut fra hvert flatestykke dA . Derfor trenger vi ikke å bry oss vektordelen av regnestykket

$$\iint_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = EA$$

Ved gauss' lov har vi

$$EA = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Da vet vi e-feltet langs overflaten

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

9 Elektrisk arbeid og potensiell energi

9.1 Ladning i e-felt

$$W = F \cdot s$$

Så for en ladning som beveger seg fra a til b i et e-felt har vi: arbeid W og potensial energi U , gitt ved

$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b q \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = -\Delta U = U_a - U_b$$

Den potensielle energien er arbeidet utført fra et referansepunkt til punktet vi måler i.

10 Elektrisk potensial (spennende... nei vent. spenning.)

10.1 Elektrisk potensial

Potensiell energi U er relativt til ladningen vi betrakter. Elektrisk potensial V er en egenskap til rommet, som vi ser når vi ser bort ifra testladningens størrelse q .

$$V = \frac{U}{q}$$

Når vi måler med et multimeter, måler vi potensialforskjellen mellom to punkter a og b. La oss kombinere $v = \frac{U}{q}$ med ligningen for potensiell energi.

$$\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = V_a - V_B$$

10.2 Ekvipotensialflater

Områder hvor potentialet har lik skalarverdi kalles ekvipotensialflater. Det brukes for å visualisere elektrisk potensiale.

Linjene minner om høydelinjene på et kart. Det elektriske feltet står normalt på disse linjene.

11 Kondensatorer og Kapasitans

11.1 Kondensator?

To ledende flater separert kan, når spenning er påført, samle opp og holde på ladning.

For en gitt spenning V , holder en cap (capasitor/kondensator) på en viss mengde ladning Q . Forholdet mellom hvor mye ladning den kan holde, for en gitt spenning, sier hvor god kapasitans C kondensatoren har.

$$C = \frac{Q}{V}$$

11.2 Parallell-plate kondensator

Kapasitans i en kondensator $C = Q/V$ kan uttrykkes annerledes.

Når to parallelle plater utgjør kondensatoren har vi

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\sigma A}{V} = \frac{\sigma A}{Ed} = \frac{\sigma A}{\frac{\sigma}{\epsilon_0} d} = \frac{\epsilon_0 \sigma A}{\sigma d} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Det bruker at

$$Q = \sigma A$$

og at

$$E = \frac{F}{q} \implies F = qE$$

$$W = U = Fd = qEd$$

$$V = \frac{U}{q} = Ed$$

og til sist (E-felt normalt på flatene)

$$\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = EA = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \implies E = \frac{\sigma A}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

11.3 Energi i kondensator

Lagret energi U i en kondensator

$$W = U = \frac{1}{2} C V^2$$

Ligningen kommer vistnok fra

$$W = \int dW$$

Men jeg vet ikke hvordan.

12 Dielektrika

12.1 dielektrikum

Et dielektrikum, dielektrisk materiale, er en isolator som kan polariseres.

Det inneholder mange dipoler (eller dipolmomenter) som, ved tilstedeværelsen av et elektrisk felt, vil ordne seg slik at materialet får en positiv og en negativ side.

12.2 Dielektrisitetskonstanten

Når et dielektrikum føres inn i et elektrisk felt, blir materialet polarisert. Polariseringen medfører et elektrisk felt som motvirker det som allerede var der. Denne reduksjonen er knyttet til den dielektriske konstant k .

Relativ permittivitet ϵ_r er det fresheste ordet for dielektrisitetskonstant k . Det er synonymt ($\epsilon_r = k$).

Permittivitet ϵ er produktet av den relative permittiviteten ϵ_r og permittiviteten i vakuum ϵ_0 . $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$.

Dielektrikum mellom kondensatorplater

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d}$$

La C_0 være kapasitansen mellom kondensatorplater i vakuum, og C være kapasitansen etter at et dielektrikum er innsatt.

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d}$$

Da kan man se at

$$\epsilon_r = k = \frac{C}{C_0}$$

Relasjon til E-felt

Når dielektrikumet plasseres mellom kondensatorflatene, reduseres e-feltet.

Det nye e-feltet E er det originale E_0 minus det fra dielektrikumet E_d .

$$E = E_0 - E_d = \frac{V_0}{d} - \frac{V_d}{d} = \frac{1}{d}(V_0 - V_d) = \dots = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r}$$

Altså er det originale e-feltet redusert med en faktor på ϵ_r .

$$E = \frac{E_0}{\epsilon_r}$$

ADVARSEL! Jeg orker ikke regne ut for å bekrefte om dette stemmer akkurat nå. Regn det ut selv før du stoler på at det er sant.

12.3 Indusert ladning

Dielektrikum i e-felt blir polarisert.

Eksempelvis, for dielektrikum mellom kondensatorplater: Ladningen Q_i på hver side av dielektrikumet kan finnes ved å sammenligne kapasitansen og e-feltet før og etter innsettingen av materialet.

$$Q_0 = C_0 V_0 = C_0 E_0 d$$

$$Q_1 = C_1 V_1 = C_1 E_1 d$$

Q_i er da forskjellen mellom disse ladningene.

$$Q_i = Q_0 - Q_1$$

NB! Ladningen på kondensatoren ble ikke nødvendigvis forandret. Vi ser på nettoladningen.

Alternativt (fra et løsningsforslag)

$$Q_i = Q \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r} \right)$$

Ladningen i dielektrikumet er forskjellen mellom den originale ladningen Q , og den reduserte (netto)ladningen $\frac{Q}{\epsilon_r}$ mellom platene.

13 Elektrisk strøm, resistivitet og resistans

13.1 Strømtetthet

En ledning (sylindrisk kabel) har en viss evne til å lede strøm, avhengig av hvilket materiale den er laget av.

En tykkere ledning, leder bedre. Hvor mye strøm I som kan gå, for et gitt areal A (tverrsnitt), kalles for strømtetthet J .

$$J = \frac{I}{A}$$

Det minner om kondensatoren evne C til å holde ladning Q for en gitt spenning V . Evnen beskriver kun forholdet, som vil holde selv om du varierer en av parameterne.

13.2 Resistivitet

Resistivitet ρ er et materialets sin evne til å motstå elektrisk strøm.

Strøm, i en leder, kommer av elektriske felt E . Jo høyere strømtetthet J i forhold til e-feltet, jo mindre resistivitet.

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Jo lavere strøm, jo mer motstand.

Enheten for resistans er ohm-meter Ωm .

13.3 Resistans

Resistans, motstand som vi kjenner det.

La oss ta utgangspunkt i resistivitet.

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V}{JL} = \frac{AV}{IL}$$

$$\implies V = \frac{\rho L}{A} I$$

$$\implies R = \frac{\rho L}{A}$$

Her brukes det at

$$V = EL \implies E = \frac{V}{L}$$

$$J = \frac{I}{A}$$

$$V = RI$$

Dette gir mening fordi resistivitet er Ωm , og $\frac{L}{A}$ er $\frac{\text{m}}{\text{m}^2}$, så vi får fjernet meteren.

Hvorfor ikke bare dele på L ? Fordi motstanden avhenger av tykkelsen.

13.4 Strøm på mikroskopisk skala

Tenk på en ledning sett fra siden. Tverrsnittet har et areal A . Materialet har n frie ladninger q per volumenhet. Vi ser på et lite tidsintervall dt . Da beveges det i en liten avstand dx , en liten mengde ladning dQ .

$$\text{Strøm} = I = \frac{dQ}{dt} = q \frac{dN}{dt} = q \frac{n A dx}{dt} = q n A v_d$$

Her brukes det at

$$\text{Strøm} = \frac{\text{ladning}}{\text{tid}}$$

$$dN = \text{antall ladninger i et lite volum} = n A dx$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\text{forflytning}}{\text{tid}} = \text{hastighet} = v_d$$

Detaljer

v_d kalles for drifthastigheten.

n avhenger av konfigurasjonen til materialet. Gjennomsnittsfarten til ladningene.

Ladningenes bevegelse kalles virrevandring. Fordi de ikke beveger seg uniformt i én retning, men kræsjer frem og tilbake.

14 Elektromotorisk spenning/kraft

14.1 ems? emk? (engelsk, emf, electromotive force)

I likhet med en fontene som sirkulerer vann ved hjelp av en vannpumpe, må en elektrisk krets som sirkulerer ladning få hjelp av noe som påfører elektromotorisk spenning.

Enheten forteller hvor mye energi J som overføres per ladning C , altså $\frac{J}{C}$. Eller, med andre ord, hvor mye arbeid som påføres hver enhetsladning for å flytte den mellom to punkter.

$$V = \frac{J}{C}$$

Det er samme enhet som spenning, volt ($V = U/Q$). Men tilsynelatende brukes symbolet \mathcal{E} .

$$W = q\mathcal{E} = U$$

TODO? spenning, ems og indre motstand?

15 Energi og effekt i kretser

15.1 Elektrisk effekt

Hvor mye arbeid W du kan gjøre er én ting, men hvor fort t kan du gjøre det? Hvor effektiv P er du?

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F s}{t} = \frac{q E s}{t} = \frac{q V}{t} = I V$$

Effekt (engelsk: power) er hvor mye arbeid som utføres per tid. Effekt forteller hvor fort energi overføres.

$$P = V I = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Alternative måter å skrive det på.