

# FYS1120 - Oppsummering

Robin A. T. Pedersen

September 28, 2016

## Contents

<b>1 Forord</b>	<b>2</b>
<b>2 Introduksjon</b>	<b>2</b>
<b>3 Ladning og Coulombs lov</b>	<b>4</b>
3.1 Coulomb . . . . .	4
<b>4 Elektriske felt</b>	<b>4</b>
4.1 generelt . . . . .	4
4.2 E-felt og spenning . . . . .	4
4.3 Parallele flater? . . . . .	4
<b>5 Dipoler</b>	<b>5</b>
5.1 Elektrisk dipol . . . . .	5
5.2 Dipol i e-felt . . . . .	5
<b>6 Fluks</b>	<b>6</b>
6.1 Hva er elektrisk fluks? . . . . .	6
<b>7 Gauss' lov</b>	<b>6</b>
7.1 Beskrivelse . . . . .	6
7.2 E-felt på lederflate . . . . .	6
<b>8 Elektrisk arbeid og potensiell energi</b>	<b>7</b>
<b>9 Elektrisk potensial (spennende... nei vent. spenning.)</b>	<b>7</b>
<b>10 Ekvipotensialflater</b>	<b>7</b>
<b>11 Kondensatorer og Kapasitans</b>	<b>7</b>
11.1 Kondensator? . . . . .	7
11.2 Parallell-plate kondensator . . . . .	7

<b>12 Dielektrika</b>	<b>8</b>
12.1 dielektrikum . . . . .	8
12.2 Dielektrisitetskonstanten . . . . .	8
12.3 Indusert ladning . . . . .	9
<b>13 Elektrisk strøm, resistivitet og resistans</b>	<b>9</b>
13.1 Strømtetthet . . . . .	9
13.2 Resistivitet . . . . .	10
13.3 Resistans . . . . .	10
13.4 Strøm på mikroskopisk skala . . . . .	10
<b>14 Energi, effekt og resistivitet?</b>	<b>11</b>
<b>15 Elektromotorisk spenning? fiks de siste seksjonene</b>	<b>11</b>

## 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 Ladning og Coulombs lov

### 3.1 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  $8.99e9$ .

## 4 Elektriske felt

### 4.1 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.

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

### 4.2 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

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

### 4.3 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  $q = \sigma A$ ):

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

## 5 Dipoler

### 5.1 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  $\mathbf{q}$ .

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

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.

### 5.2 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  $\tau$  er gitt ved

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

## 6 Fluks

### 6.1 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

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

## 7 Gauss' lov

### 7.1 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

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

### 7.2 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

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

## 8 Elektrisk arbeid og potensiell energi

TODO

## 9 Elektrisk potensial (spennende... nei vent. spenning.)

TODO

## 10 Ekvipotensialflater

TODO

## 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)

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

## 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. Polariseringsen medfører et elektrisk felt som motvirker det som allerede var der. Denne reduksjonen er knyttet til den dielektriske konstant  $k$ .

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

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

#### 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  $\epsilon_r$ .

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

**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 selvom du varierer en av parameterne.

### 13.2 Resistivitet

Resistivitet  $\rho$  er et materialets 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  $\Omega\text{m}$ .

### 13.3 Resistans

Resistans, motstand som vi kjenner det.

La oss ta utgangspunkt i resistivitet.

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{E}{J} = \frac{V}{JL} = \frac{AV}{IL} \\ \implies V &= \frac{\rho L}{A} I \\ \implies R &= \frac{\rho L}{A}\end{aligned}$$

Her brukes det at

$$\begin{aligned}V &= EL \implies E = \frac{V}{L} \\ J &= \frac{I}{A} \\ V &= RI\end{aligned}$$

Dette gir mening fordi resistivitet er  $\Omega\text{m}$ , 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

$$\begin{aligned}\text{Strøm} &= \frac{\text{ladning}}{\text{tid}} \\ dN &= \text{antall ladninger i et lite volum} = n A dx \\ \frac{dx}{dt} &= \frac{\text{forflytning}}{\text{tid}} = \text{hastighet} = v_d\end{aligned}$$

**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 Energi, effekt og resistivitet?**

TODO

**15 Elektromotorisk spenning? fiks de siste seksjonene**

TODO