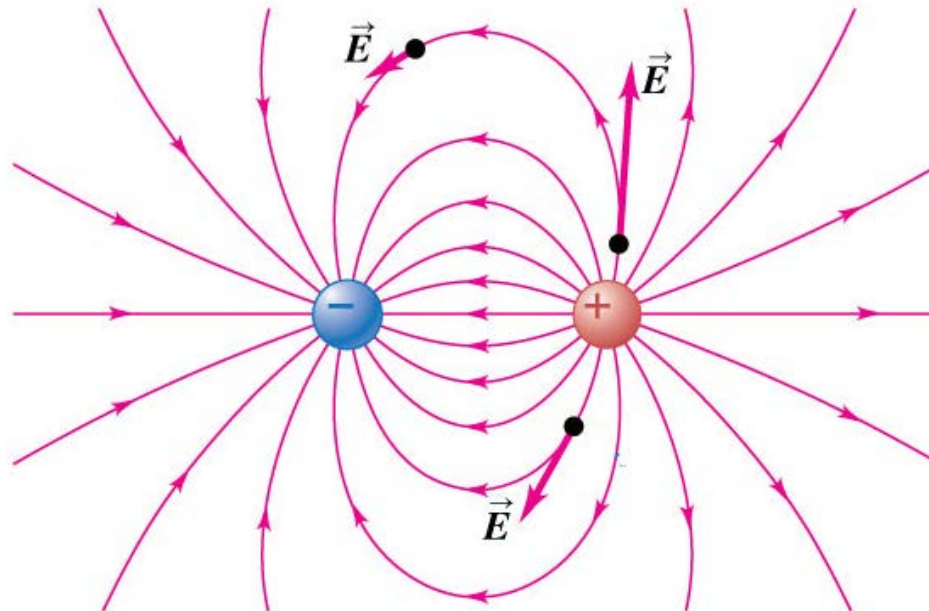
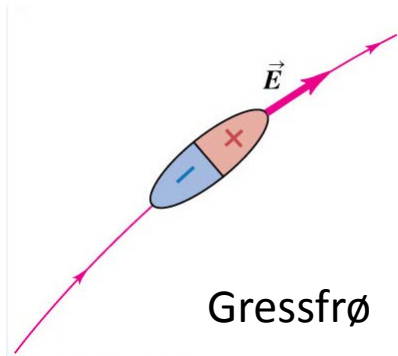


Elektriske dipoler

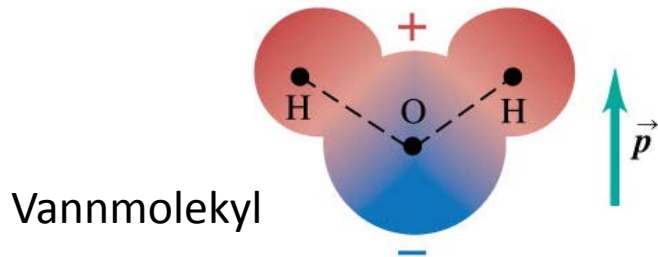
- Hva er en elektrisk dipol?
- Krefter på dipoler i homogene felt
- Potensiell energi til en dipol i et elektrisk felt





Elektrisk dipol

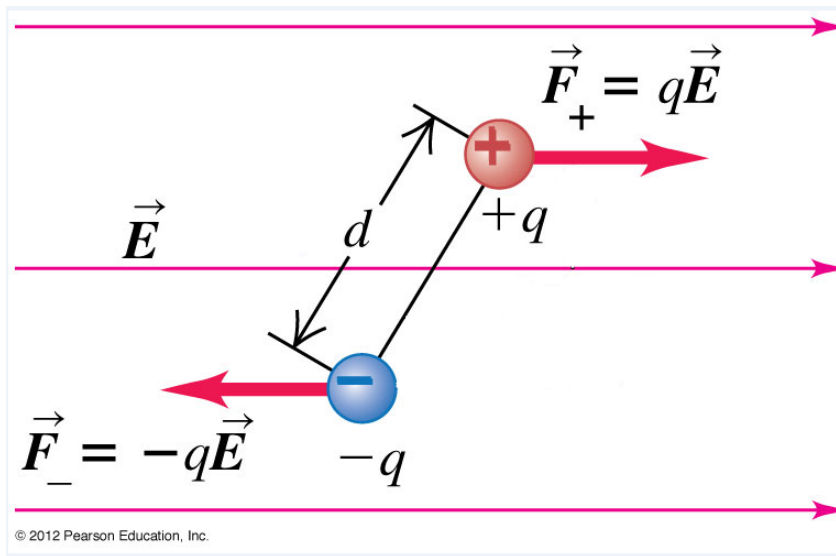
To like store, men motsatte ladninger, $+q$ og $-q$ plassert i en avstand d fra hverandre kalles en elektrisk dipol.



Gressfrøet og vannmolekylet er to eksempler på elektriske dipoler.

Mange av vannets egenskaper er tett knyttet til at molekylene er elektriske dipoler f eks som løsemidler for salter som er helt nødvendig for liv.

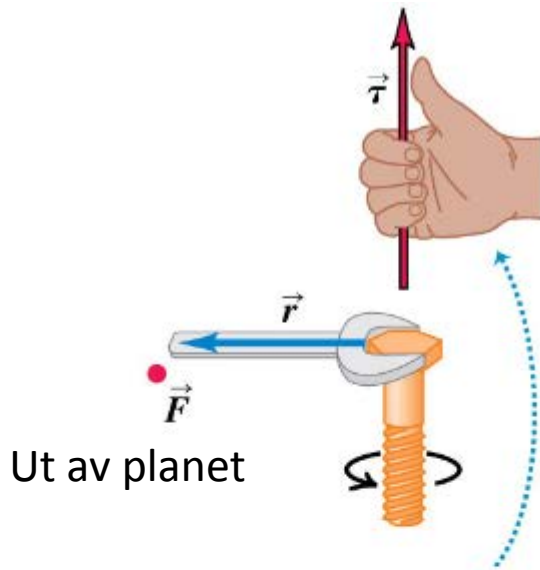




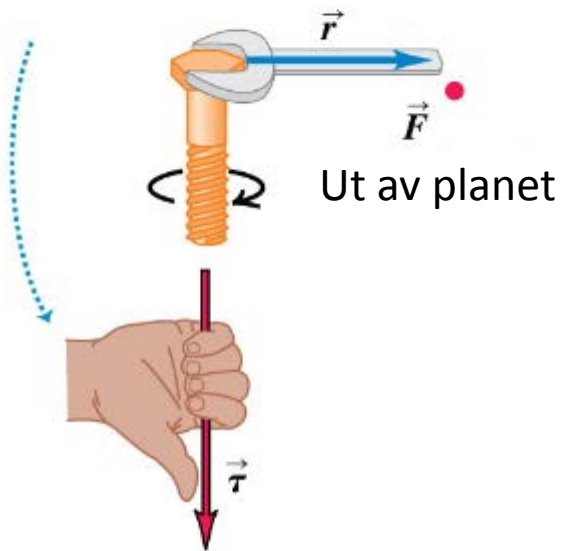
Hvilke krefter og hvilket dreiemoment virker på en dipol som plasseres i et homogent elektrisk felt?

Ladningene er like store og feltet er homogent.

Kreftene på de to ladningene må være like store, men motsatt rettet.



Høyrehåndsgeloen for å finne retningen på dreiemomentet.

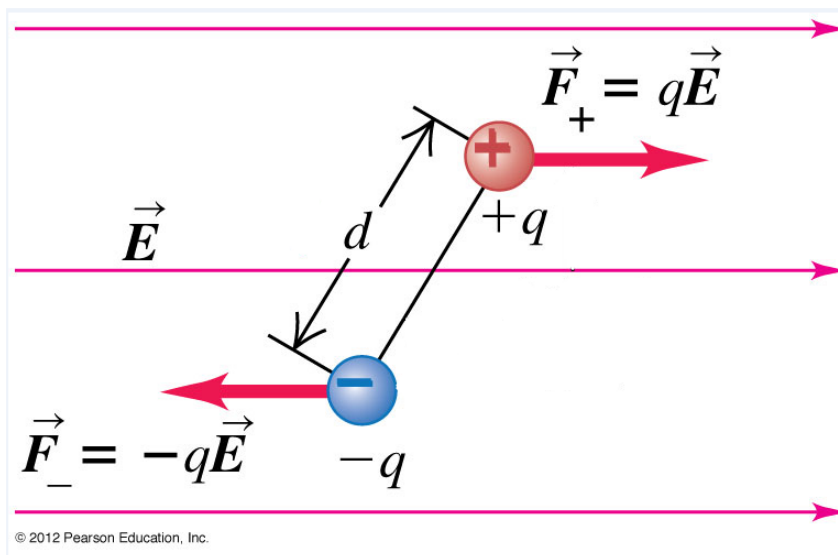


Dreiemoment:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Krafta F virker normalt på arma r og fører til en rotasjon ikke en translasjon.

(Y&F kapittel 10.1)



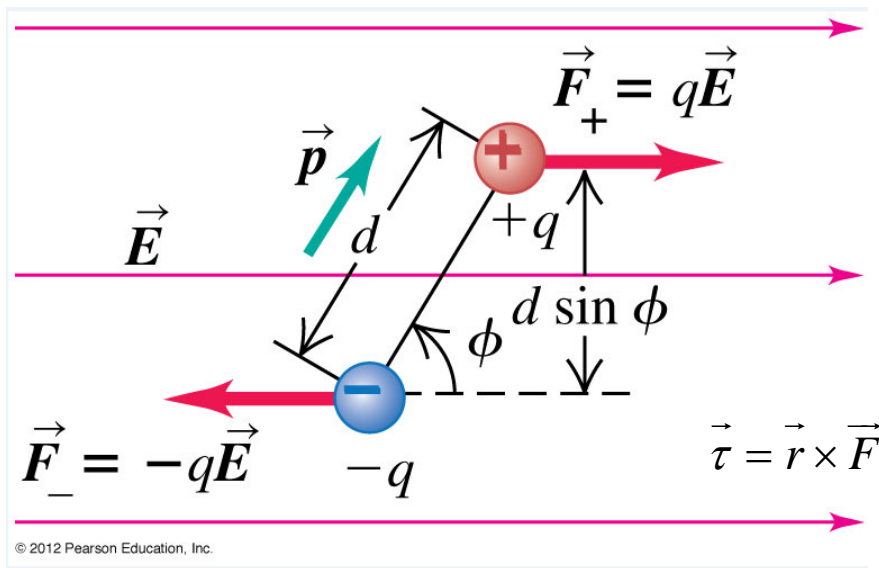
Her er det to krefter som ikke virker langs samme linje.

Vi får et dreiemoment fra hver av dem: $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

Hvilken retning roterer dipolen?

Hvor er rotasjonsaksen?

Hva er \vec{r} ?



Vinkelen mellom positivt felt og d er ϕ .

Hva er arma?

Vi får: $\tau = (qE)d \sin \phi$

som er summen av dreiemomentene på hver ladning.

Vi definerer *det elektriske dipolmomentet*, $p = qd$ (Enhet: Cm)

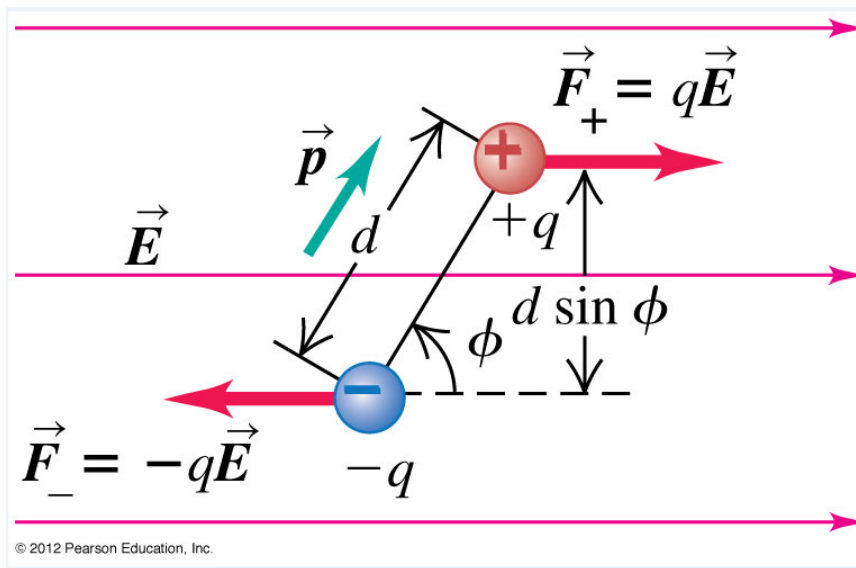
Det elektriske dipolmomentet defineres som en vektor, \vec{p} med retning fra negativ til positiv ladning.

Dreiemomentet til en dipol: $\tau = pE \sin \phi$

$pE \sin \phi$ er størrelsen til kryssproduktet mellom \vec{p} og \vec{E}

$\vec{p} \times \vec{E}$ har retning inn i planet, altså samme retning som dreiemomentet.

Dreiemomentet til en elektrisk dipol: $\boxed{\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}}$



Dreiemomentet til en elektrisk dipol:

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

\vec{p} har retning fra negativ til positiv ladning.

Dreiemomentet er størst når $\vec{p} \perp \vec{E}$

$\tau = 0$ når $\vec{p} \parallel \vec{E}$ eller $\vec{p} \parallel -\vec{E}$

↓
Stabil
likevekt

↓
Ustabil
likevekt

Potensiell energi til en elektrisk dipol

Når dipolen endrer retning i et elektrisk felt, utfører feltet et arbeid på dipolen. Arbeidet vil føre til at vinkelen mellom feltet og dipolmomentet avtar.

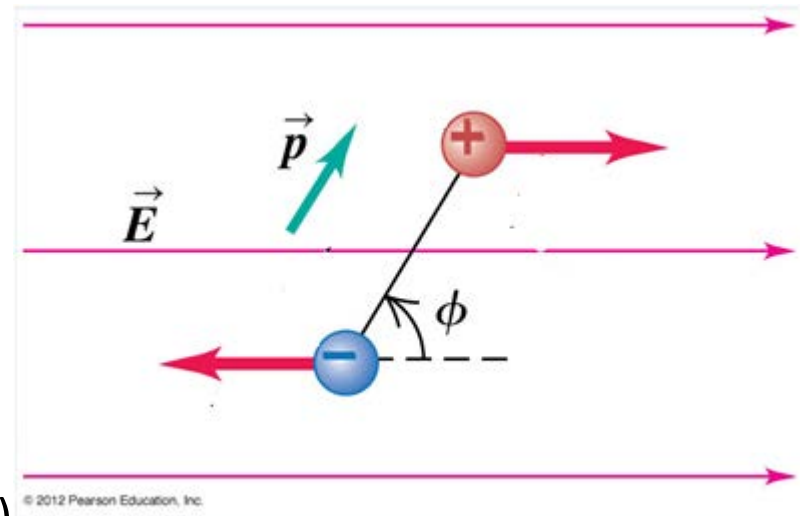
Arbeidet dW gjort av dreiemomentet τ fører til en liten rotasjon $d\phi$:

$$dW = \tau d\phi = -pE \sin \phi d\phi$$

(Retning avtagende vinkel: $\tau = -pE \sin \phi$)

Arbeid som feltet gjør fra ϕ_1 til ϕ_2 er:

$$W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} (-pE \sin \phi) d\phi = pE \cos \phi_2 - pE \cos \phi_1$$

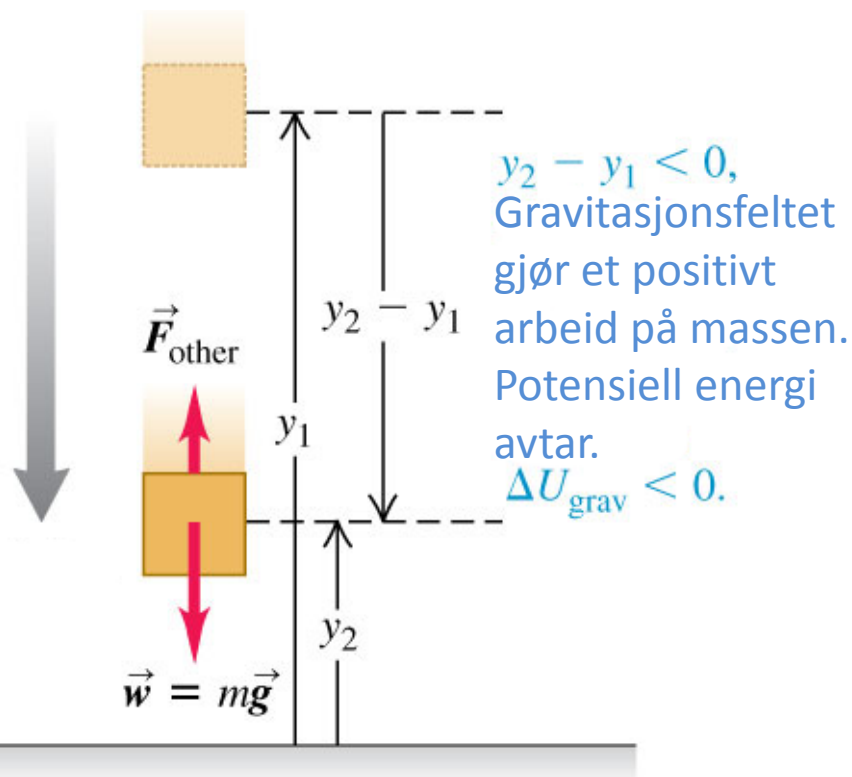


Når feltet gjør et positivt arbeid på dipolen, avtar den potensielle energien.

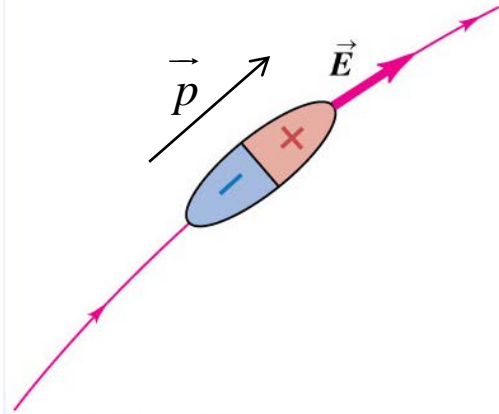
Potensiell energi til en elektrisk dipol i et elektrisk felt: $U(\phi) = -pE \cos \phi$

Energi er en skalar og vi gjenkjenner skalarproduktet mellom dipolmomentet

og det elektriske feltet: $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$



Vi har definert et nullpunkt for den potensielle energien til en elektrisk dipol, nemlig når $\phi = \pi/2$



$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

Gressfrøet retter seg etter det elektriske feltet for å minimalisere den potensielle energien.
Stabil likevekt.

Eksempel

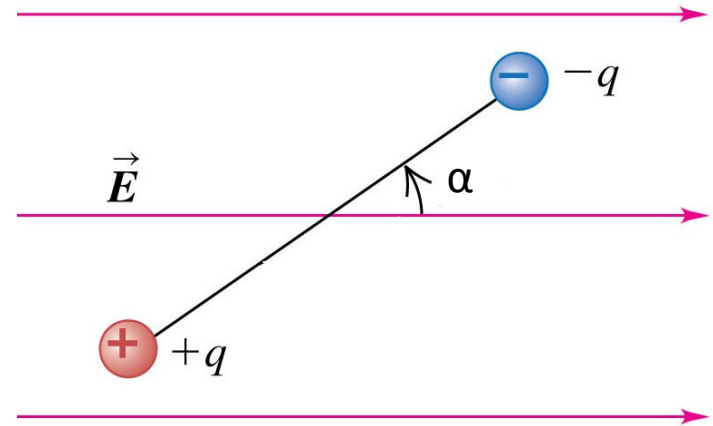
En dipol ligger i et homogent elektrisk felt.

Se figur.

$$E = 5,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$d = 0,125 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$



- a) Hva er netto kraft på dipolen?
- b) Finn størrelse og retning til det elektriske dipolmomentet.
- c) Finn størrelse og retning til dreiemomentet.
- d) I hvilken retning ligger den elektriske dipolen når den potensielle energien er minst?
- e) Finn potensiell energi når $\alpha = 35^\circ$.

Eksempel

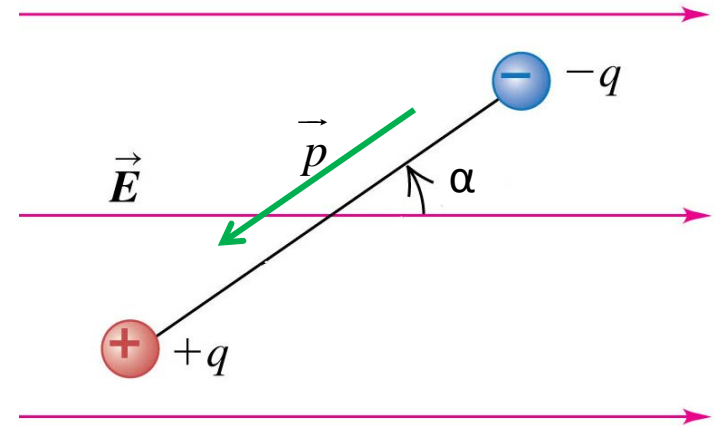
En dipol ligger i et homogent elektrisk felt.

Se figur.

$$E = 5,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$d = 0,125 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$



- a) Hva er netto kraft på dipolen?
- b) Finn størrelse og retning til det elektriske dipolmomentet.

Løsning:

- a) Feltet er homogent og ladningene er like store med motsatte fortegn. Like store og motsatt rettede krefter på de to ladningene og netto kraft er null.
- b) Retningen til dipolmomentet er tegnet inn på figuren.

$$\underline{\underline{p = qd = 1,6 \cdot 10^{19} \text{ C} \cdot 0,125 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2,0 \cdot 10^{-29} \text{ Cm}}}$$

Eksempel

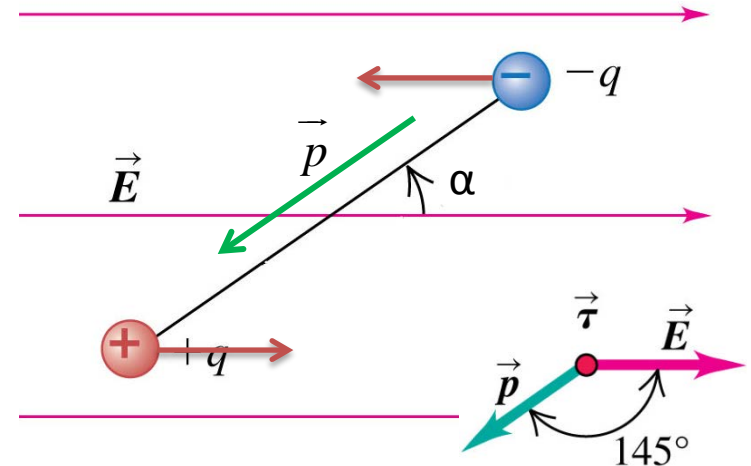
En dipol ligger i et homogent elektrisk felt.

Se figur.

$$E = 5,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$d = 0,125 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$



c) Finn størrelse og retning til dreiemomentet.

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Dreiemomentet fører til en rotasjon mot klokka.

ϕ er vinkelen mellom \vec{p} og \vec{E}

Løsning:

$$c) \quad \tau = pE \sin \phi = 2,0 \cdot 10^{-29} \text{ Cm} \cdot 5,0 \cdot 10^5 \text{ N/C} \cdot \sin 145 = \underline{\underline{5,7 \cdot 10^{-24} \text{ Nm}}}$$

Opp av planet (høyrehåndsregelen).

Eksempel

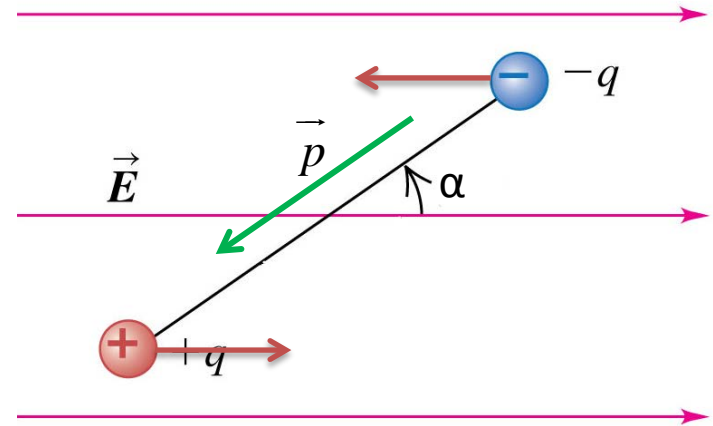
En dipol ligger i et homogent elektrisk felt.

Se figur.

$$E = 5,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$d = 0,125 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$



- d) I hvilken retning ligger den elektriske dipolen når den potensielle energien er minst?
- e) Finn potensiell energi når $\alpha = 35^\circ$.

Løsning:

- d) Med minst mulig potensiell energi ligger dipolen i stabil likevekt. Da er det elektriske dipolmomentet og feltet parallelle.
- e) Potensiell energi:

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE \cos \phi = -2,0 \cdot 10^{-29} \text{ Cm} \cdot 5,0 \cdot 10^5 \text{ N/C} \cdot \cos 145 = \underline{\underline{8,2 \cdot 10^{-24} \text{ J}}}$$