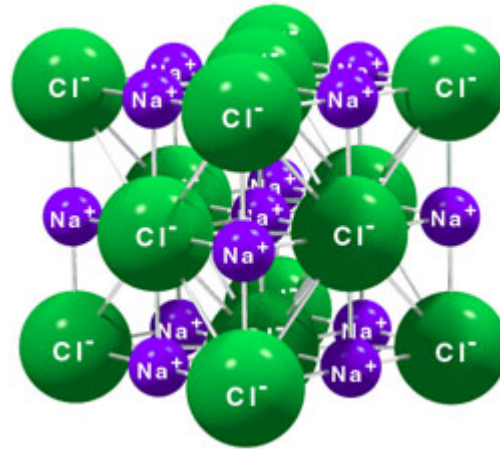


# Coulombs lov

Vi skal arbeide med

- Bergning av krefter mellom punktladninger



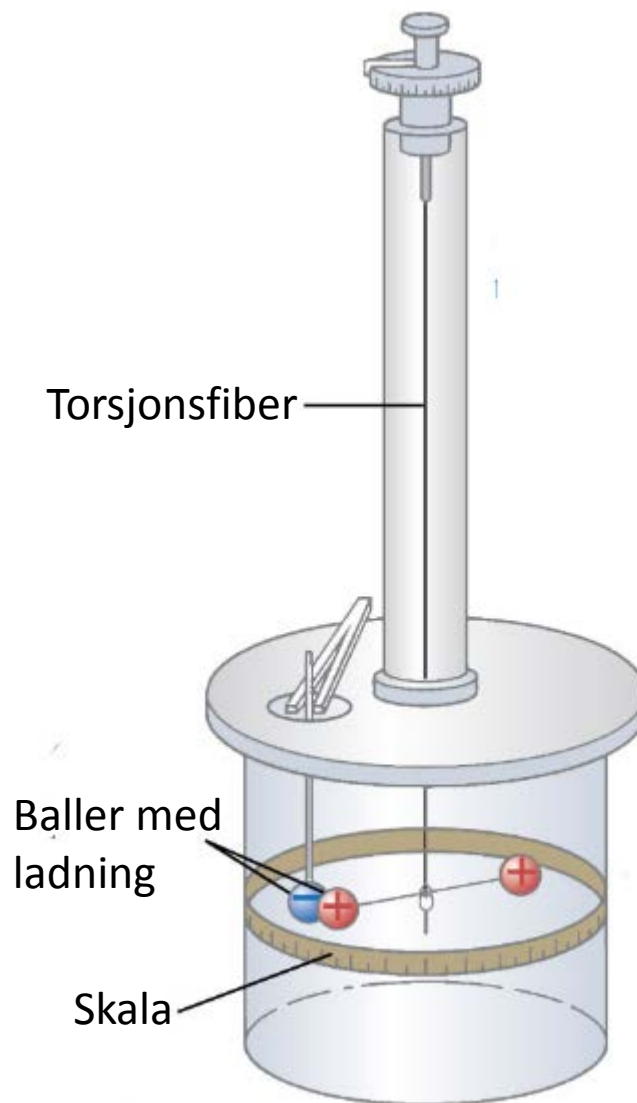
\*Bilder og figurer er i stor grad hentet fra Y&F



Den franske fysikeren Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806) brukte en torsjonsvekt til å studere elektriske krefter mellom ladninger.

Eksperimentell lov.

Enheten for ladning er oppkalt etter Coulomb og defineres ut fra strøm.



2012 Pearson Education, Inc.

Coulomb fant at den elektriske kraften mellom **punktladninger**

- avtar til en fjerdedel av den opprinnelige når avstanden doubles, altså kraften er proporsjonal med  $1/r^2$
- er avhengig av ladningene

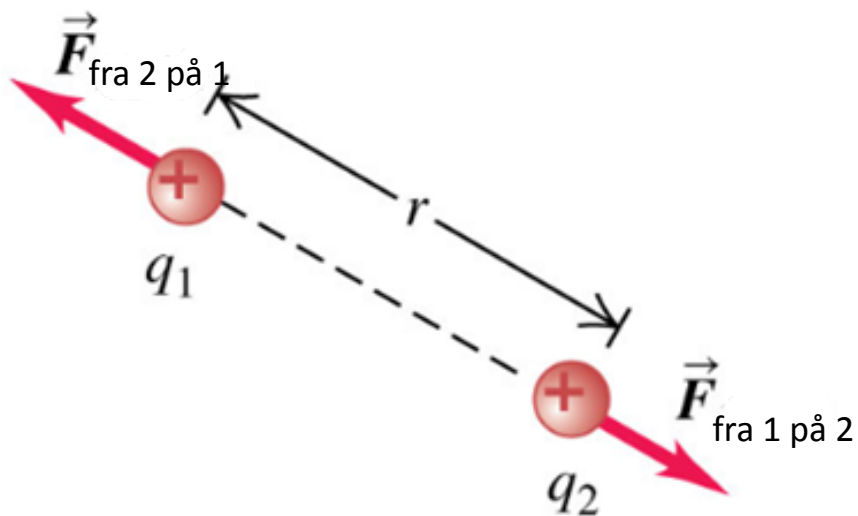
Coulombs lov:

Størrelsen av den elektriske kraften mellom to ladninger er proporsjonal med produktet av ladningene og omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden mellom dem.

Eller: Størrelsen på kraften,  $F$  mellom de to punktladningene  $q_1$  og  $q_2$  som er plassert i avstanden  $r$  fra hverandre er:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

Retningen bestemmes av om ladningene har samme eller motsatt fortegn.  $k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$



Ladninger med samme fortegn  
frastøter hverandre

Retningene til kreftene er langs forbindelseslinja mellom de to ladningene.  
I begge tilfellene er  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

## Eksempel

To punktladninger ,  $q_1 = +25nC$  og  $q_2 = -75nC$  ligger i ro 3,0 cm fra hverandre.

Finn den elektriske kraften fra  $q_1$  på  $q_2$  og fra  $q_2$  på  $q_1$ .  $k = 9,0 \cdot 10^9 Nm^2 / C^2$

## Eksempel

To punktladninger ,  $q_1 = +25\text{nC}$  og  $q_2 = -75\text{nC}$  ligger i ro 3,0 cm fra hverandre.

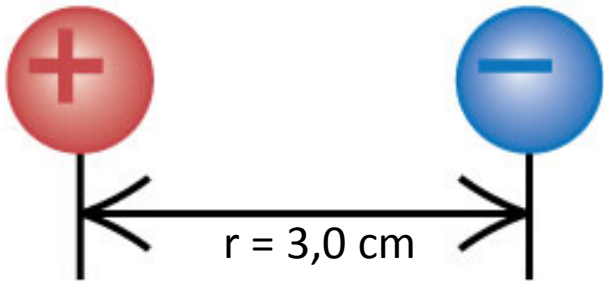
Finn den elektriske kraften fra  $q_1$  på  $q_2$  og fra  $q_2$  på  $q_1$ .  $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$

## Løsning

$$q_1 = 25\text{nC}$$

$$q_2 = -75\text{nC}$$

Tegn alltid først en figur og før på det du vet.

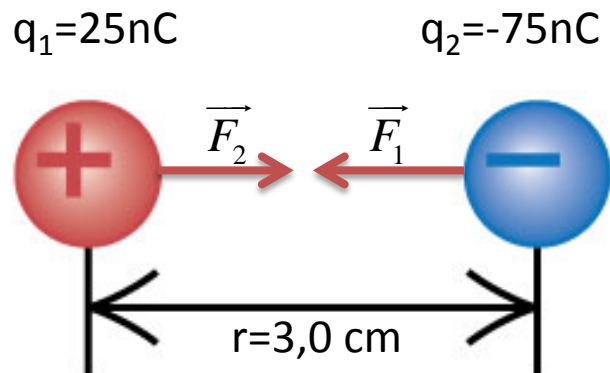


## Eksempel

To punktladninger ,  $q_1 = +25\text{nC}$  og  $q_2 = -75\text{nC}$  ligger i ro 3,0 cm fra hverandre.

Finn den elektriske kraften fra  $q_1$  på  $q_2$  og fra  $q_2$  på  $q_1$ .  $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$

## Løsning



Tegn alltid først en figur og før på det du vet.

Kraft og motkraft. De to kreftene er like store og motsatt rettet som vist på figuren.

Kraften  $F_1$  fra ladning 1 virker på ladning 2.

Coulombs lov:

$$\underline{\underline{F_{1\text{ på }2}}} = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} = 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 \frac{|(25 \cdot 10^{-9} \text{ C})(-75 \cdot 10^{-9} \text{ C})|}{(0,030\text{ m})^2} = \underline{\underline{0,019\text{ N}}}$$

## Enheten Coulomb

Defineres med strøm slik at 1 Ampere = 1 C/s

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

## Konstanten $k$

skrives ofte som:  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  hvor  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} C^2 / (Nm^2)$  er permittiviteten i vakuum.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.0 \cdot 10^9 Nm^2 / C^2$$

Permittiviteten dukker opp i flere sammenhenger som vi skal komme tilbake til.

## Elementærladningen $e$

er ladningen til ett proton, den fundamentale enheten for ladninger

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$$



## Sammenligner med uttrykket for gravitasjonskraften

Elektrisk kraft mellom to ladninger:  $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$

Gravitasjonskraft mellom to masser:  $G = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$

- Uttrykkene har samme form
- To helt forskjellige typer krefter
- Gravitasjon kan bare være positiv

De elektrostatiske kreftene mellom to ladninger på 1 Coulomb i en avstand på 1 m er omtrent like stor som kreftene mellom to masser på ca  $10^{10}$  kg i samme avstand.

## Eksempel

Sammenlikn den elektriske kraften og gravitasjonskraften mellom to  $\alpha$ -partikler.

Gitt      masse:  $m = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

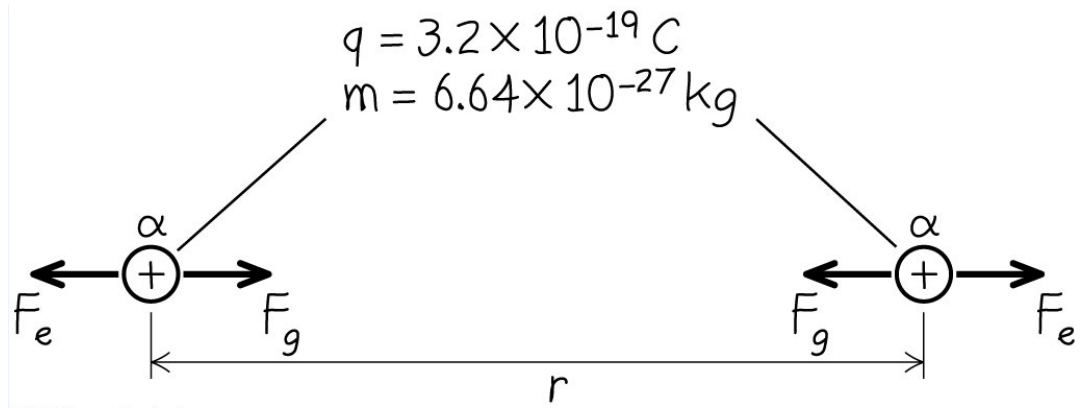
ladning:  $q = 2e = 3,20 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

gravitasjonskonstanten:  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

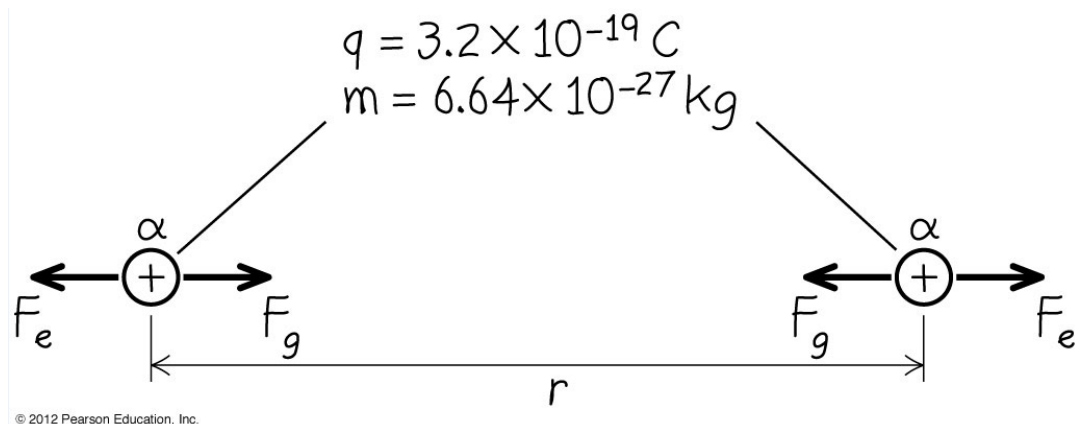
# Løsning

Først figur:



## Løsning

Først figur:



Elektrisk kraft:  $F = k \frac{q^2}{r^2}$

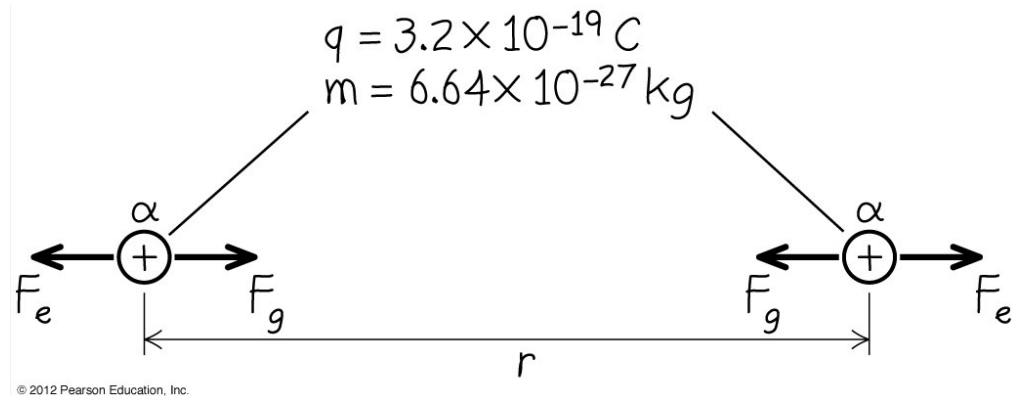
Gravitasjonskraft:  $G = \gamma \frac{m^2}{r^2}$

Vi får: 
$$\frac{F}{G} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}}{\gamma \frac{m^2}{r^2}} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \gamma m^2} = \frac{9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 \cdot (3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg} \cdot (6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg})^2} = \underline{\underline{3,1 \cdot 10^{35}}}$$

Gravitasjonskrafta er neglisjerbar i forhold til den elektriske krafta.

## Løsningsstrategier Coulombs lov

1. Tegn figur med ladningene, skriv på navn og avstander.



2. Tegn inn et koordinatsystem hvis det er mer enn to ladninger.
3. Spørsmålet vil være å finne krefter. Merk av kreftene du skal finne på figuren.

## Eksempel

Tre punktladninger er plassert på linje slik at  $q_2$  ligger 2,0 cm til høyre for  $q_1$  og  $q_3$  2,0 cm til venstre for  $q_1$ .  $q_1 = 1,0nC$ ,  $q_2 = -3,0nC$  og  $q_3 = 5,0nC$

Finn den totale elektriske kraften på  $q_3$  fra  $q_1$  og  $q_2$ .

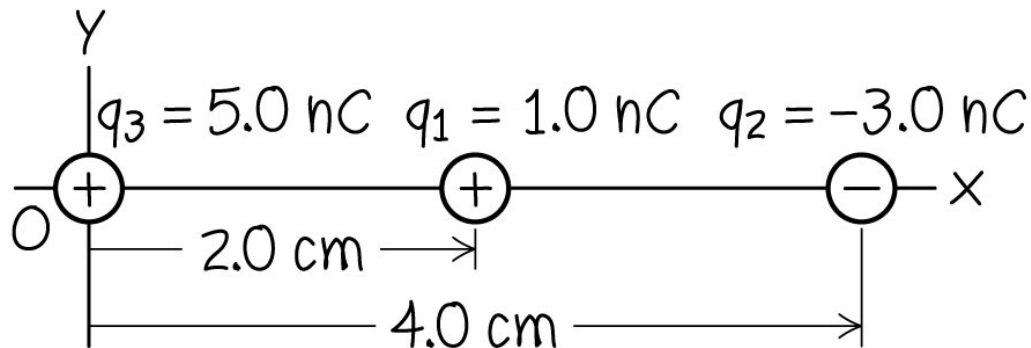
## Eksempel

Tre punktladninger er plassert på linje slik at  $q_2$  ligger 2,0 cm til høyre for  $q_1$  og  $q_3$  2,0 cm til venstre for  $q_1$ .  $q_1 = 1,0 \text{ nC}$ ,  $q_2 = -3,0 \text{ nC}$  og  $q_3 = 5,0 \text{ nC}$

Finn den totale elektriske kraften på  $q_3$  fra  $q_1$  og  $q_2$ .

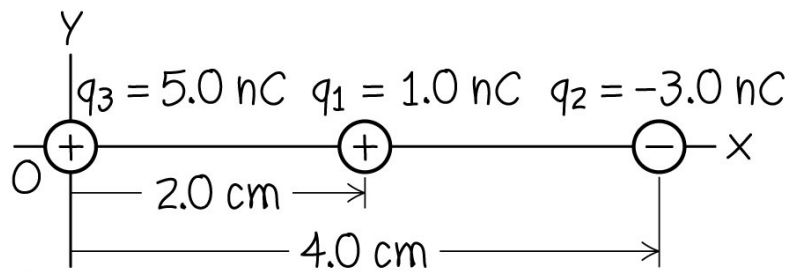
## Løsning

Først figur:



$$r_{13} = 2,0 \text{ cm}$$

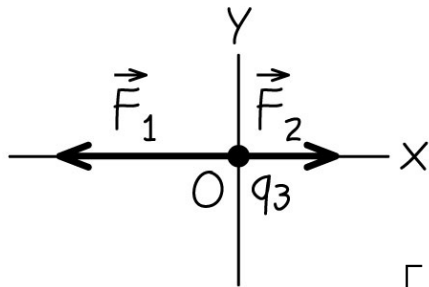
$$r_{23} = 4,0 \text{ cm}$$



$$r_{13} = 2,0 \text{ cm}$$

$$r_{23} = 4,0 \text{ cm}$$

Videre figur for kreftene som virker fra ladning 1 og 2 på ladning 3:



$$F_3 = F_{1\text{ på }3} + F_{2\text{ på }3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ -\frac{|q_1 q_3|}{r_{13}^2} + \frac{|q_2 q_3|}{r_{23}^2} \right]$$

$$= (9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \left[ -\frac{|(1,0 \cdot 10^{-9} \text{ C})(5,0 \cdot 10^{-9} \text{ C})|}{(0,020\text{m})^2} + \frac{|(-3,0 \cdot 10^{-9} \text{ C})(5,0 \cdot 10^{-9} \text{ C})|}{(0,040\text{m})^2} \right]$$

Kraft på ladning 3:  $\underline{\underline{F_3 = -112\mu\text{N} + 84\mu\text{N} = -28\mu\text{N}}}$  mot venstre.

Med enhetsvektorer:  $\underline{\underline{\vec{F}_3 = (-112\mu\text{N})\hat{i} + 84\mu\text{N}\hat{i} = -28\mu\text{N}\hat{i}}}$

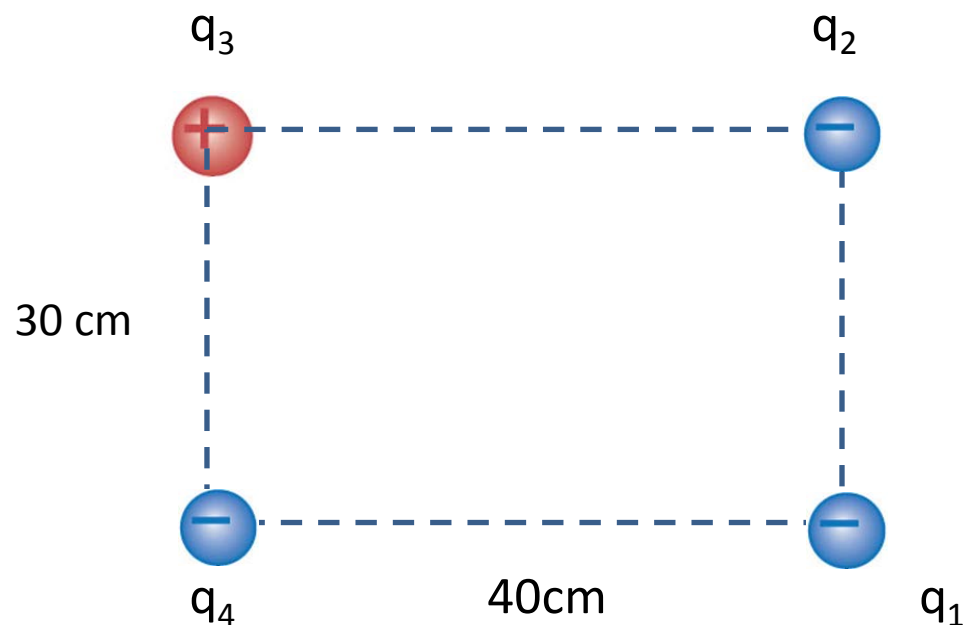


## Eksempel

Figuren viser en ladning  $q_1$  som vekselvirker med tre andre ladninger.

Ladningene har verdiene  $q_1 = -5,0\mu C$ ,  $q_2 = -8,0\mu C$ ,  $q_3 = 15\mu C$  og  $q_4 = -16\mu C$

Finn resultantkraften på  $q_1$  fra de tre andre ladningene.

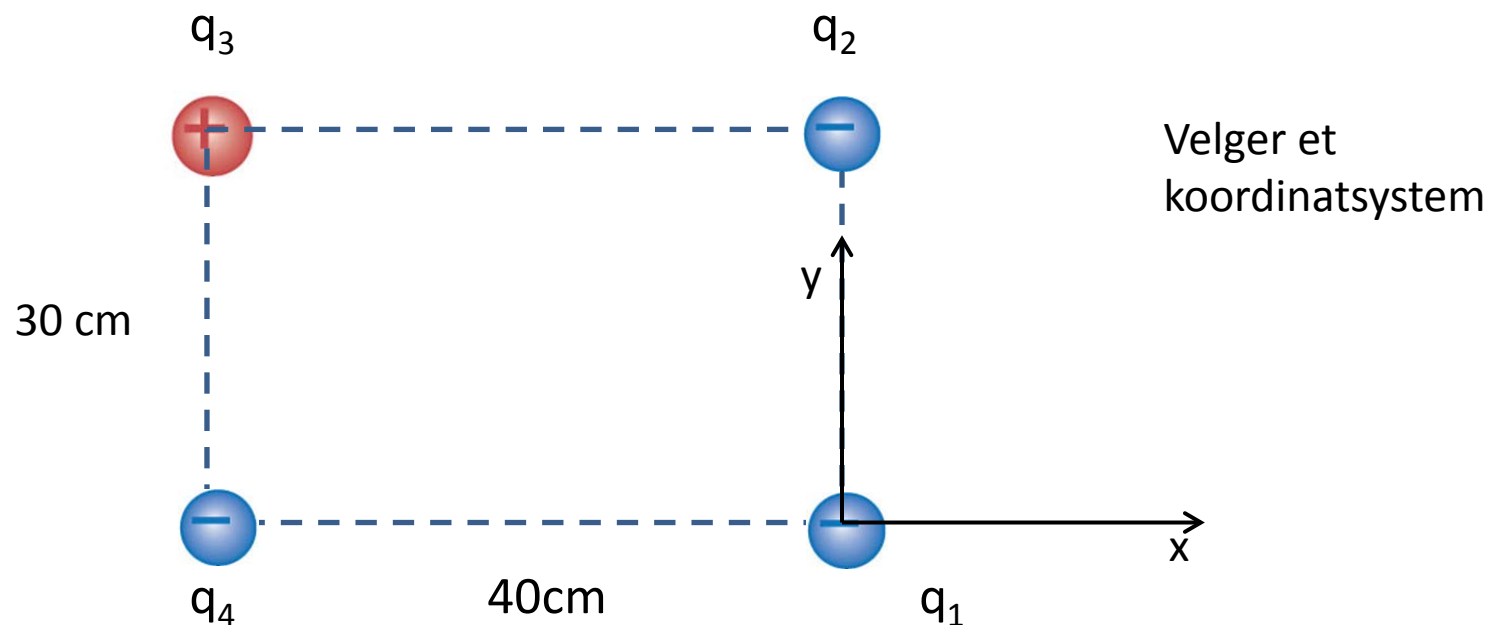


## Eksempel

Figuren viser en ladning  $q_1$  som vekselvirker med tre andre ladninger.

Ladningene har verdiene  $q_1 = -5,0\mu C$ ,  $q_2 = -8,0\mu C$ ,  $q_3 = 15\mu C$  og  $q_4 = -16\mu C$

Finn resultantkraften på  $q_1$  fra de tre andre ladningene.

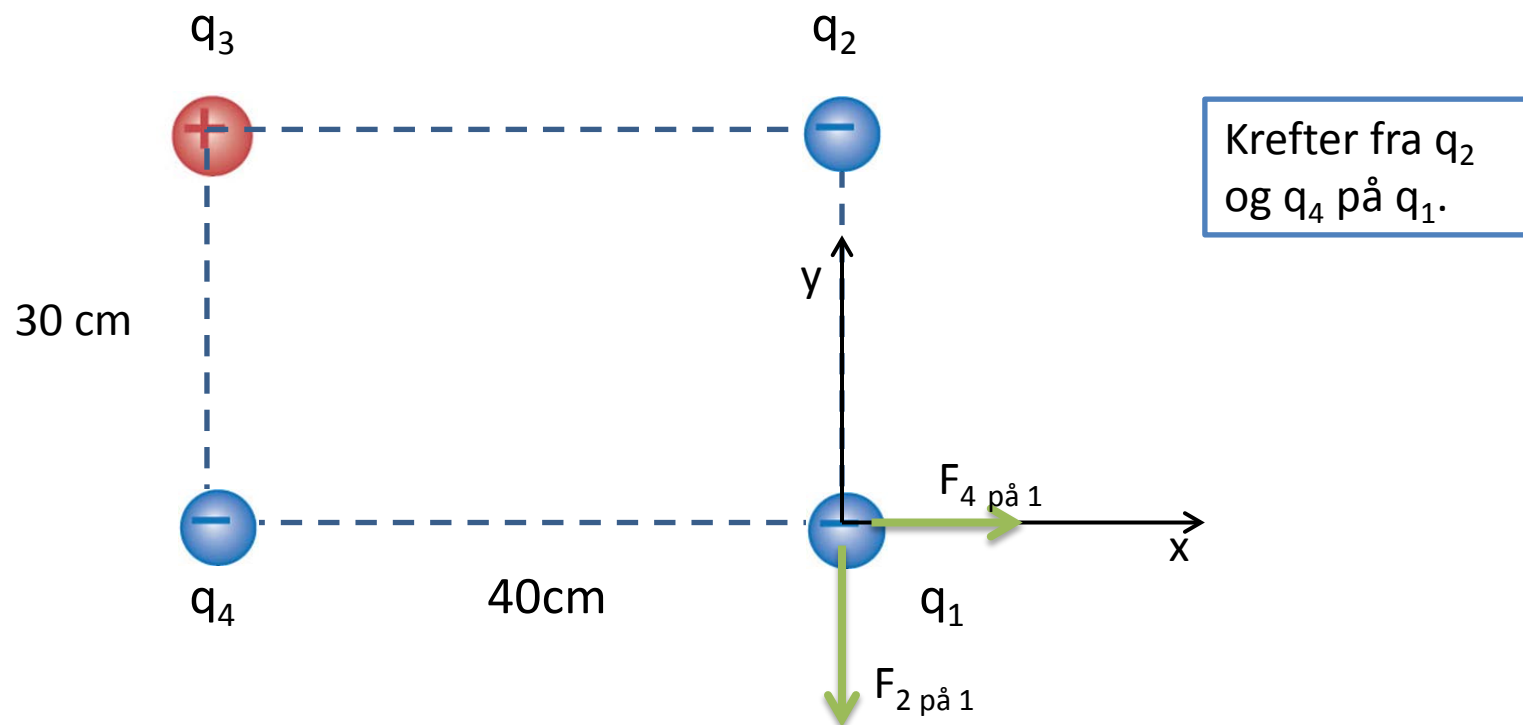


## Eksempel

Figuren viser en ladning  $q_1$  som vekselvirker med tre andre ladninger.

Ladningene har verdiene  $q_1 = -5,0\mu C$ ,  $q_2 = -8,0\mu C$ ,  $q_3 = 15\mu C$  og  $q_4 = -16\mu C$

Finn resultantkraften på  $q_1$  fra de tre andre ladningene.

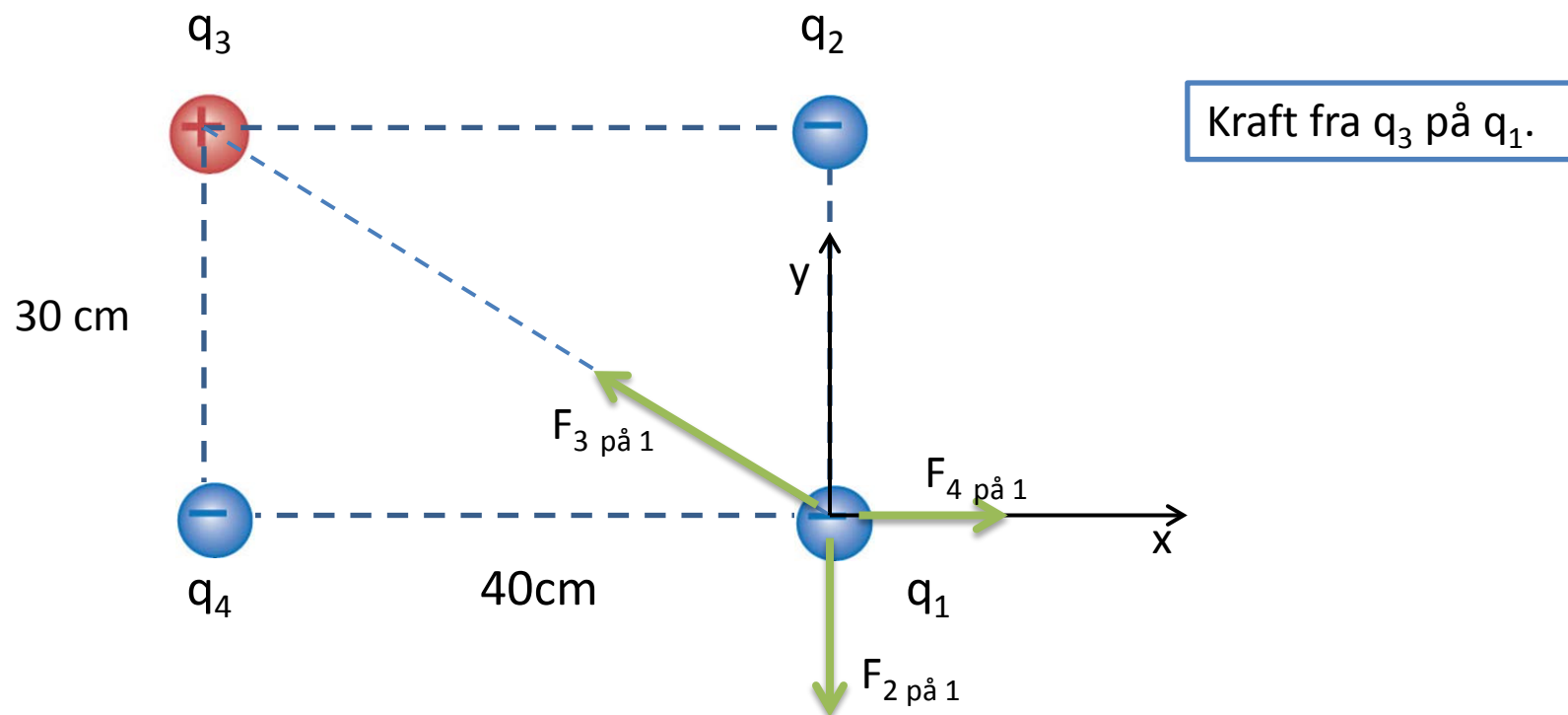


## Eksempel

Figuren viser en ladning  $q_1$  som vekselvirker med tre andre ladninger.

Ladningene har verdiene  $q_1 = -5,0\mu C$ ,  $q_2 = -8,0\mu C$ ,  $q_3 = 15\mu C$  og  $q_4 = -16\mu C$

Finn resultantkraften på  $q_1$  fra de tre andre ladningene.



Vi bruker først Coulombs lov og finner størrelsen på kraften fra  $q_2$ :

$$F_{2\text{ på }1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r_{21}^2} = (9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{|(5,0 \cdot 10^{-6} \text{ C})(8,0 \cdot 10^{-6} \text{ C})|}{(0,30 \text{ m})^2} = 4,0 \text{ N}$$

Vi bruker Coulombs lov på nøyaktig samme måte og finner:

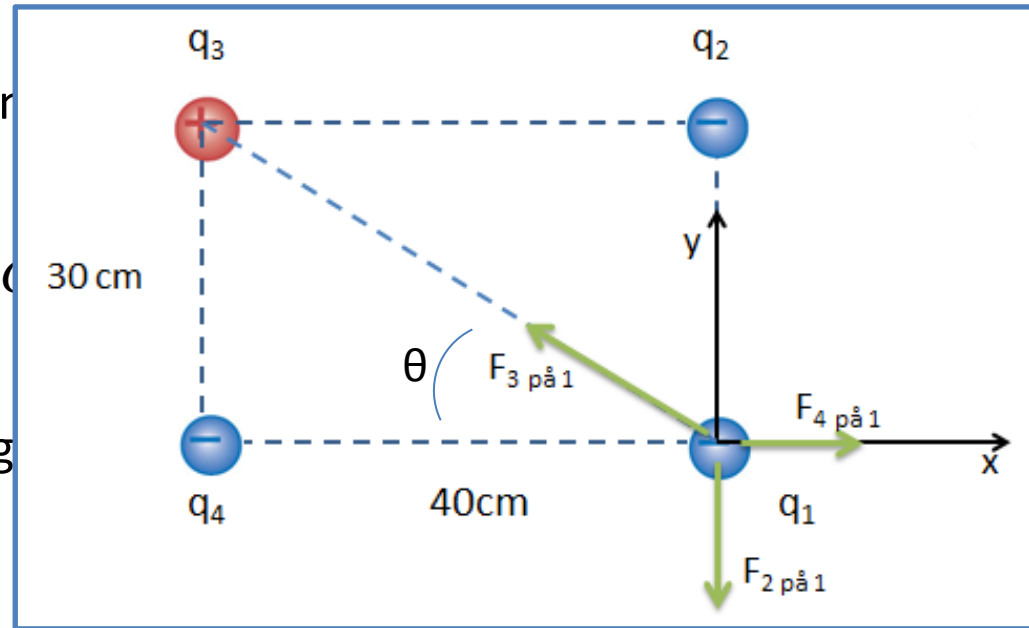
$$F_{3\text{ på }1} = 2,7 \text{ N} \text{ og } F_{4\text{ på }1} = 4,5 \text{ N}$$

Vi bruker først Coulombs lov og finner

$$F_{2\text{ på }1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r_{21}^2} = (9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(2 \cdot 10^{-6} \text{ C})^2}{(0,3 \text{ m})^2} = 4,0 \text{ N}$$

Vi bruker Coulombs lov på nøyaktig

$$F_{3\text{ på }1} = 2,7 \text{ N} \text{ og } F_{4\text{ på }1} = 4,5 \text{ N}$$



Vi må dekomponere  $F_{3\text{ på }1}$  og finner først vinkelen mellom kraften og den negative x – akse:  $\tan \theta = (30 / 40) \Rightarrow \theta = 37^\circ$

Resultantkraften på komponentform:

$$F_{1x} = F_{2\text{ på }1,x} + F_{3\text{ på }1,x} + F_{4\text{ på }1,x}$$

$$F_{1y} = F_{2\text{ på }1,y} + F_{3\text{ på }1,y} + F_{4\text{ på }1,y}$$

Vi bruker først Coulombs lov og finner størrelsen på kraften fra  $q_2$ :

$$F_{2\text{ på }1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r_{21}^2} = (9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{|(5,0 \cdot 10^{-6} \text{ C})(8,0 \cdot 10^{-6} \text{ C})|}{(0,30\text{m})^2} = 4,0\text{N}$$

Vi bruker Coulombs lov på nøyaktig samme måte og finner:

$$F_{3\text{ på }1} = 2,7\text{N} \text{ og } F_{4\text{ på }1} = 4,5\text{N}$$

Vi må dekomponere  $F_{3\text{ på }1}$  og finner først vinkelen mellom kraften og den negative x – aksen:  $\tan \theta = (30 / 40) \Rightarrow \theta = 37^\circ$

Resultantkraften på komponentform:

$$F_{1x} = F_{2\text{ på }1,x} + F_{3\text{ på }1,x} + F_{4\text{ på }1,x} = 0 + 2,7\text{N} \cdot \cos 37 + 4,5\text{N} = 2,3\text{N}$$

$$F_{1y} = F_{2\text{ på }1,y} + F_{3\text{ på }1,y} + F_{4\text{ på }1,y} = -4,0\text{N} + 2,7\text{N} \cdot \sin 37 + 0 = -2,4\text{N}$$

Resultantkraften på  $q_1$  er:  $\vec{F}_1 = (2,3\hat{i} - 2,4\hat{j})\text{N}$

# Coulombs lov

- Bergning av krefter mellom punktladninger

Neste forelesning:  
Elektriske felt

