

## Tavoitteet:

- Määrittää pistevarausten välinen sähköinen voima
- Määritellä sähkökenttä
- Ratkaista sähkökenttä, kun varaus ei ole pistemäinen
- Selvittää, miten varattu hiukkanen liikkuu sähkökentässä

## Esitiedot

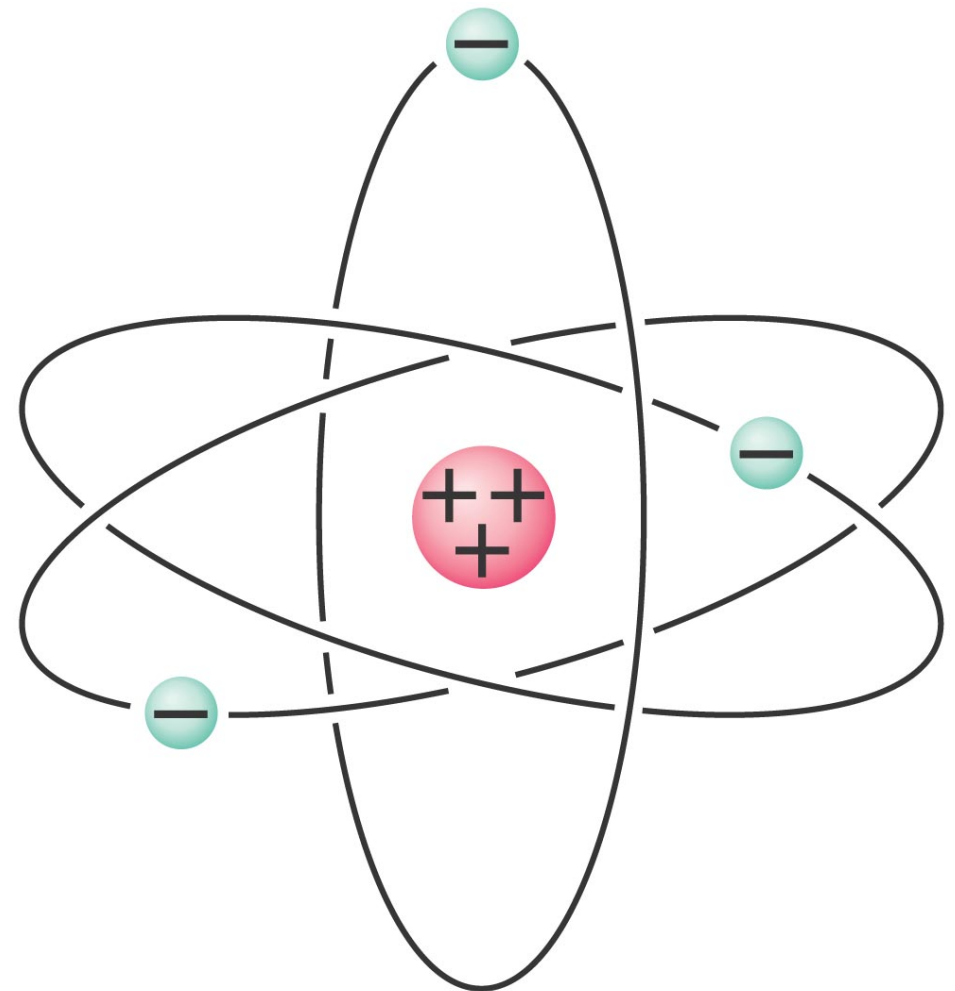
- Newtonin lait
- Momentti

## 21.1 Varaus

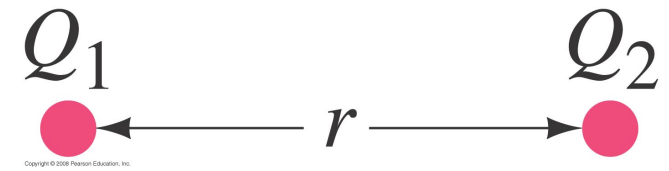
Kahdenlaista varausta: + ja –

Elektronin ja protonin varauksen itseisarvo on yhtä suuri !

Alkeisvaraus  $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



# 21.5 Coulombin laki

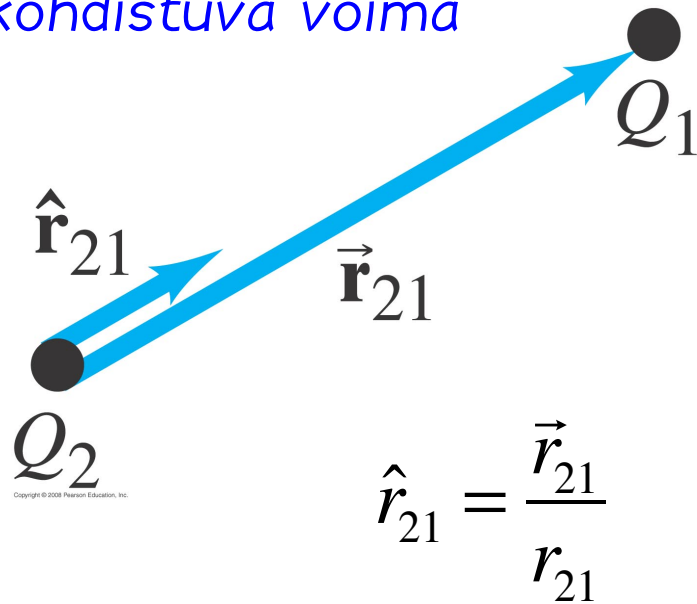


Kahden varauksen välinen voima

$$\vec{F}_{12} = k \frac{Q_1 Q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

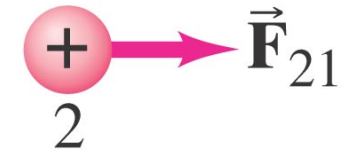
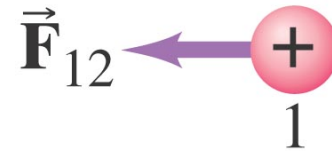
Tämä on varaukseen 1 varauksesta 2 kohdistuva voima



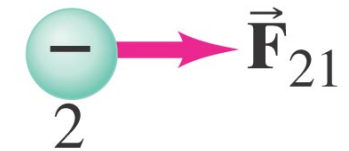
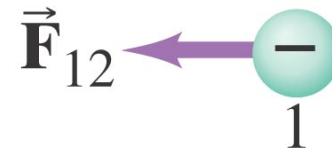
Varausten merkit määrävät voiman suunnan

$F_{12}$  = force on 1 due to 2

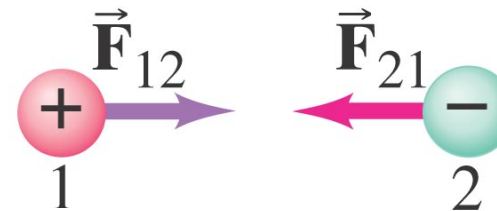
$F_{21}$  = force on 2 due to 1



(a)



(b)



(c)

Yksikkövektori  $\hat{r}$  osoittaa ulos tarkastelupisteestä

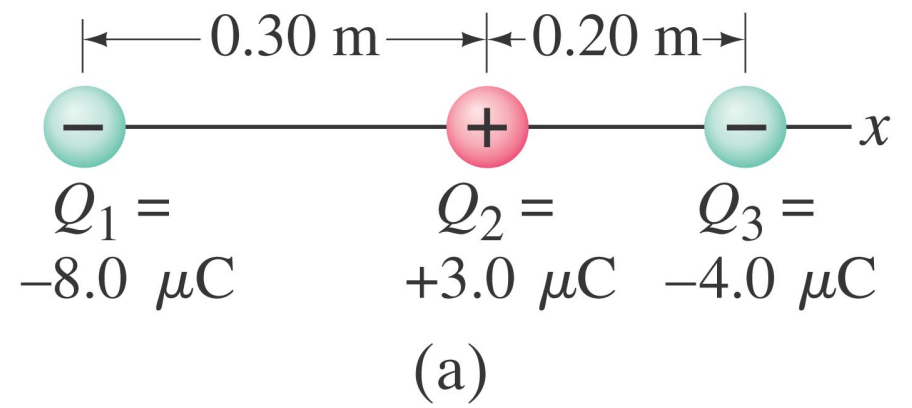
## Esimerkki 21.1



Kuvassa on esitetty kaksi positiivista varausta. Kumpi on suurempi, varauksen  $Q_1$  varaukseen  $Q_2$  kohdistama voima vai varauksen  $Q_2$  varaukseen  $Q_1$  kohdistama voima?

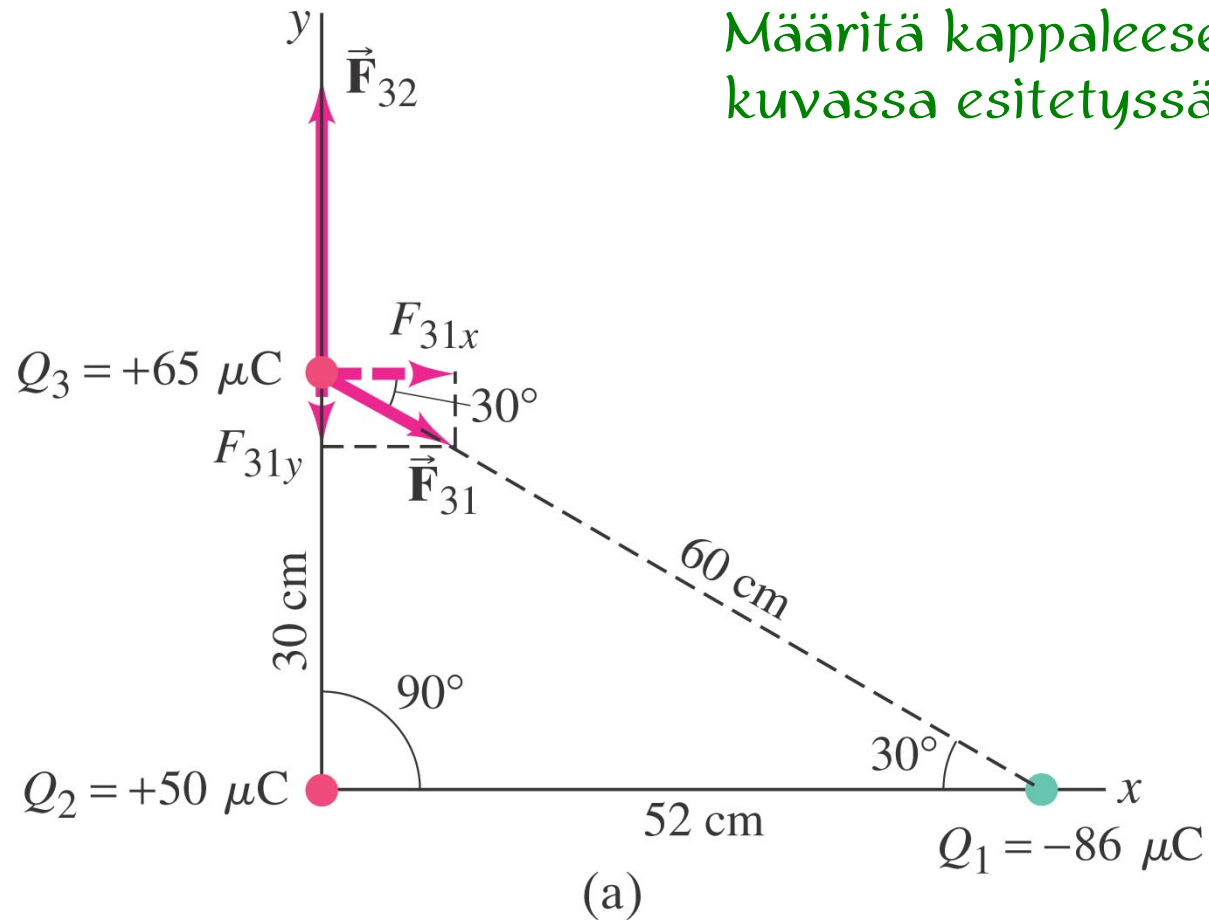
## Esimerkki 21.2

Kolme varattua kappaletta on samalla suoralla. Määritä kappaleeseen 3 kohdistuva voima.



## Esimerkki 21.3

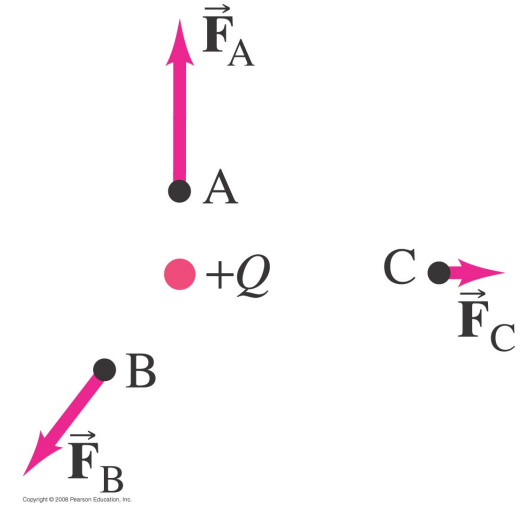
Määritä kappaleeseen 3 kohdistuva voima kuvassa esitetystä tilanteesta.



## 21.6 Sähkökenttä

Sähkökenttä on voima yksikkövarausta kohti

Määritelmä 
$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q}$$



Voima kohdistuu kappaleeseen - kenttä vaikuttaa kaikkialla.

Sähkökentässä varaukseen kohdistuva voima on  $\vec{F} = q\vec{E}$

Pistevarauksen  $Q$  kenttä 
$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

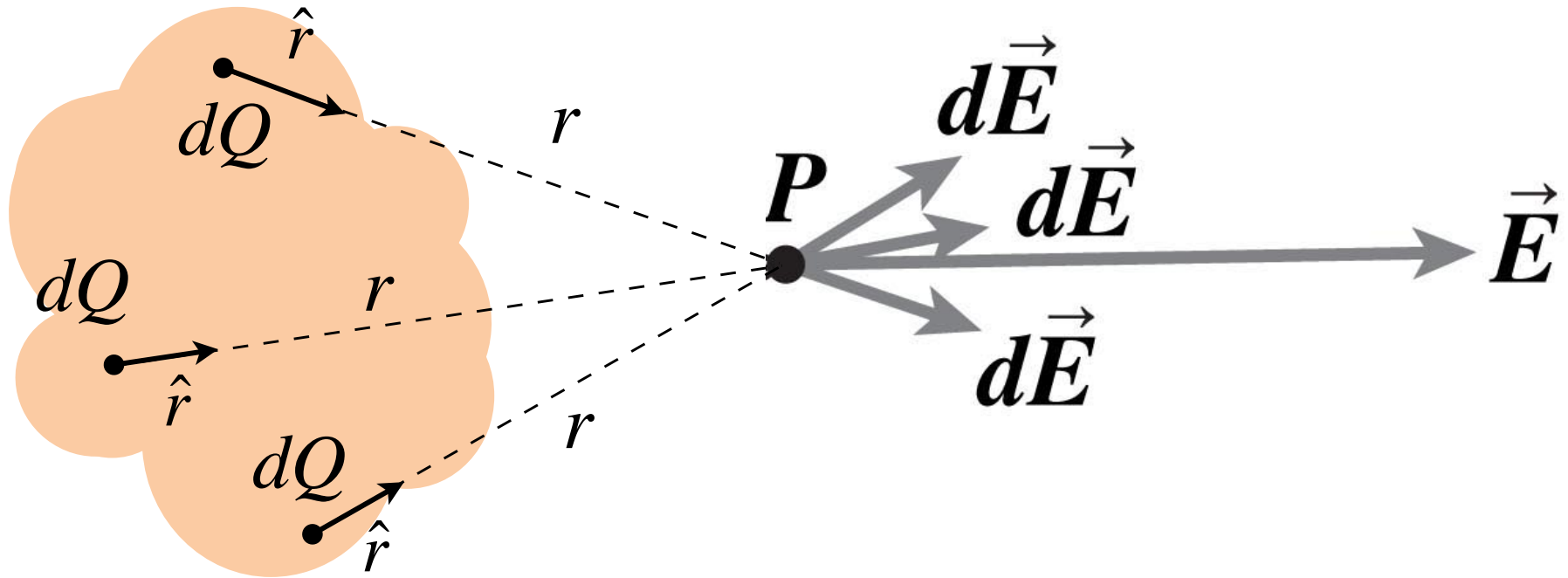
$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{Q}{r^3} \vec{r}$$

$$\vec{E}(x, y, z) = kQ \frac{(x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k})}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

Yksikkövektori  $\hat{r}$  osoittaa poispäin pistevarauksesta (origosta)

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

## Jatkuva varausjakauma



Kukin varausalkio  $dQ$  aiheuttaa kentän  $d\vec{E}$

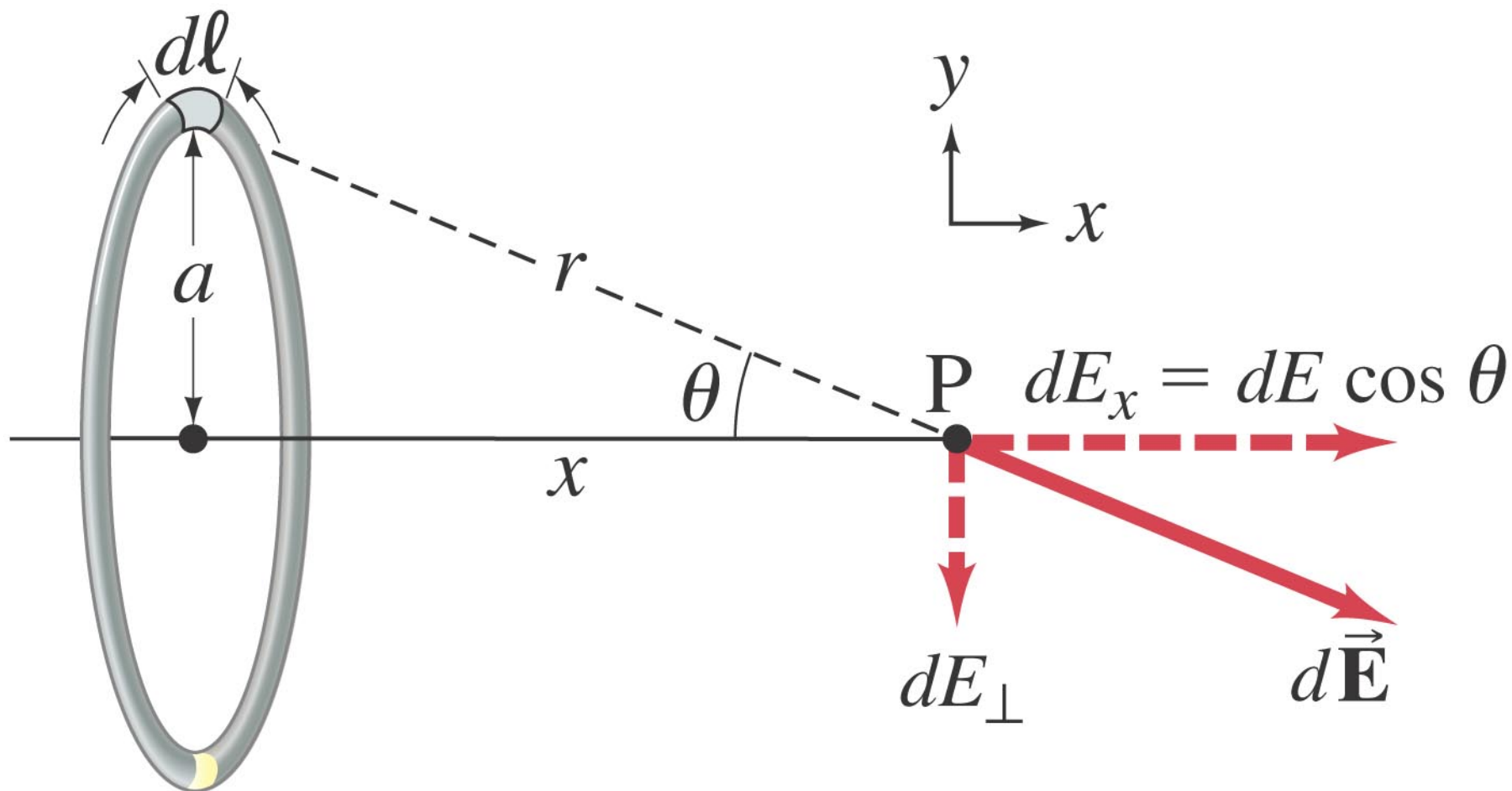
Superpositioperiaatteen mukaan kokonaiskenttä saadaan laskemalla yhteen osat

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i = \sum_{i=1}^N k \frac{Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad \text{tai} \quad \vec{E} = \int_{\text{kappale}} d\vec{E} = \int_Q k \frac{dQ}{r^2} \hat{r}$$



## Esimerkki 21-9

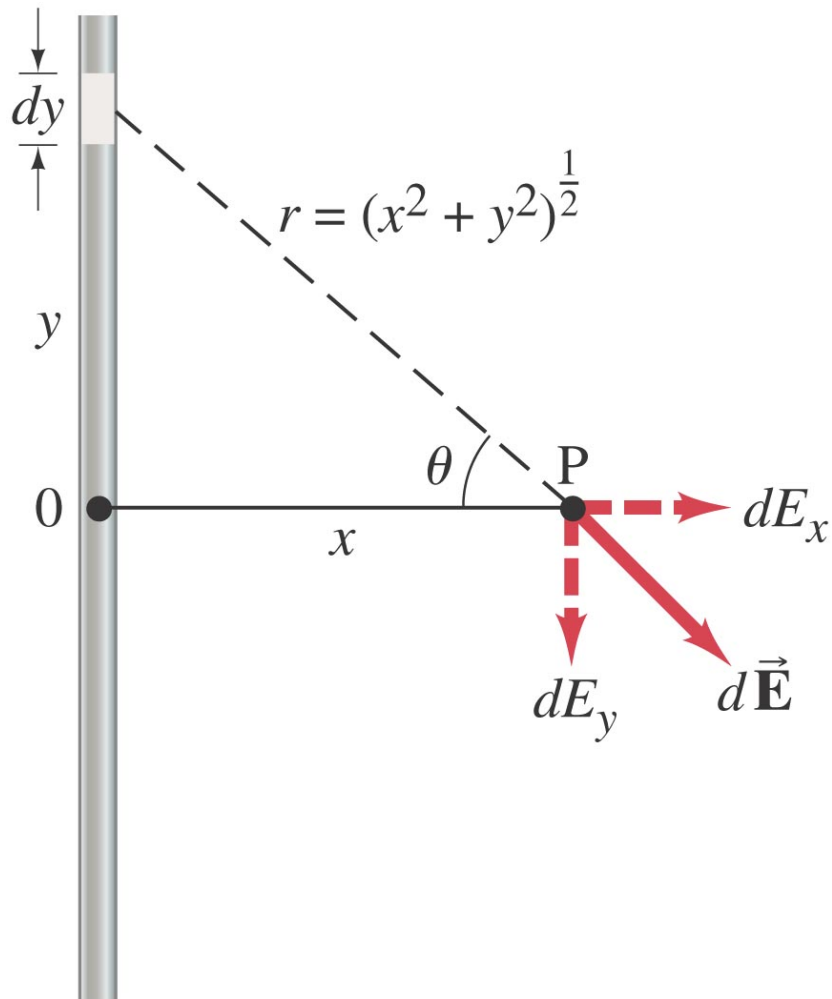
Laske tasaisesti varatun renkaan aiheuttama sähkökenttä renkaan akselilla. Renkaan säde on  $a$  ja varaus  $Q$ .



## Esimerkki 21-11

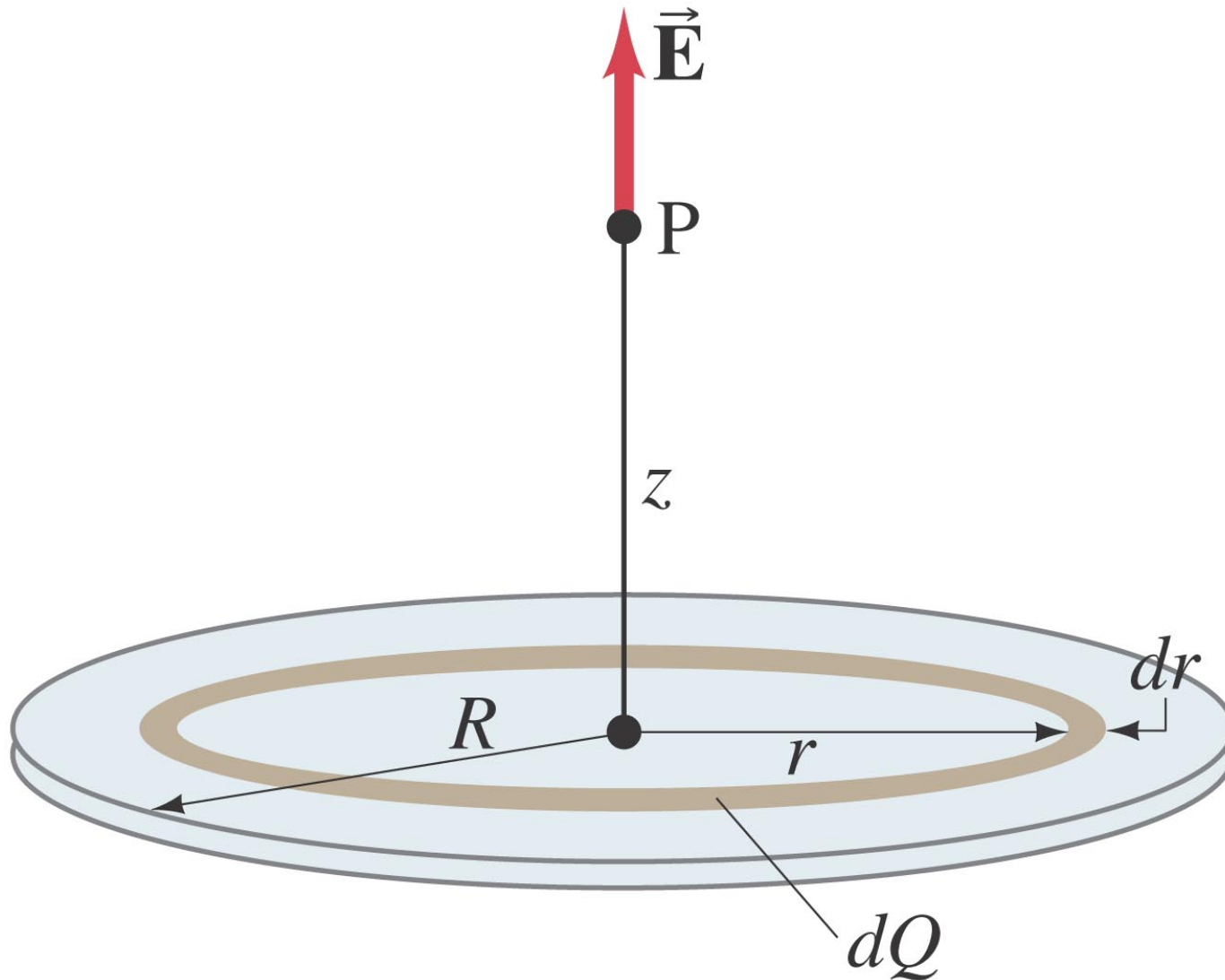
Määritä sähkökentän voimakkuuden itseisarvo hyvin pitkän suoran tasaisesti varatun langan lähetyvillä, kun etäisyys langasta on paljon pienempi kuin langan pituus.

Langassa on viivavaraustiheys  $\lambda$ .

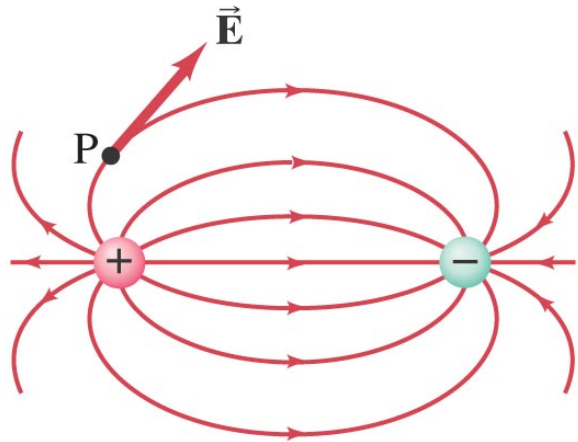


## Esimerkki 21-12

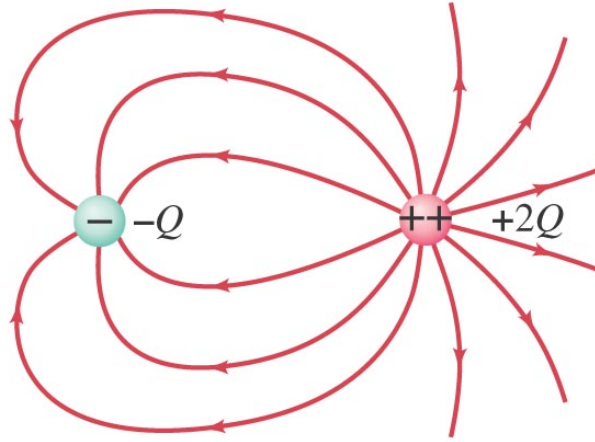
Varaus on jakautunut tasaisesti ohuelle kiekolle, jonka säde on  $R$  siten, että pintavaraustiheys on  $\sigma$ . Määritä kentän itseisarvo kiekon akselilla, kun ollaan etäisyydellä  $z$  kiekon pinnasta.



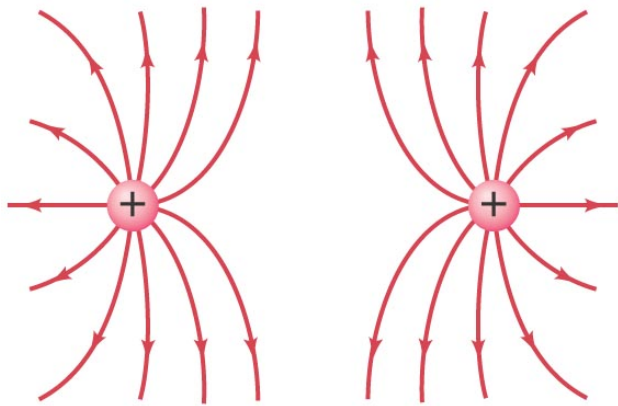
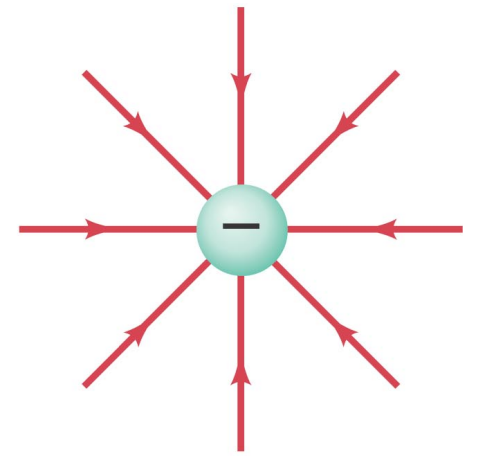
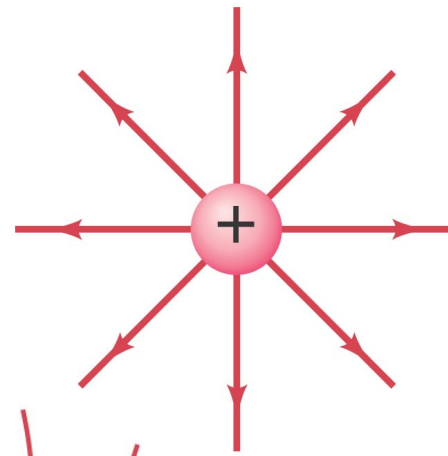
# 21.8 Kenttäviivat



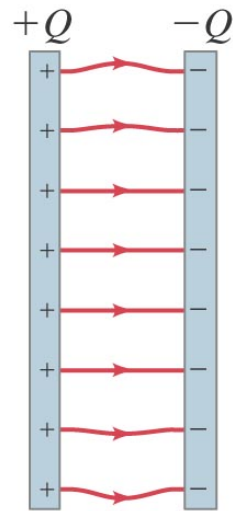
(a)



(c)



(b)



(d)

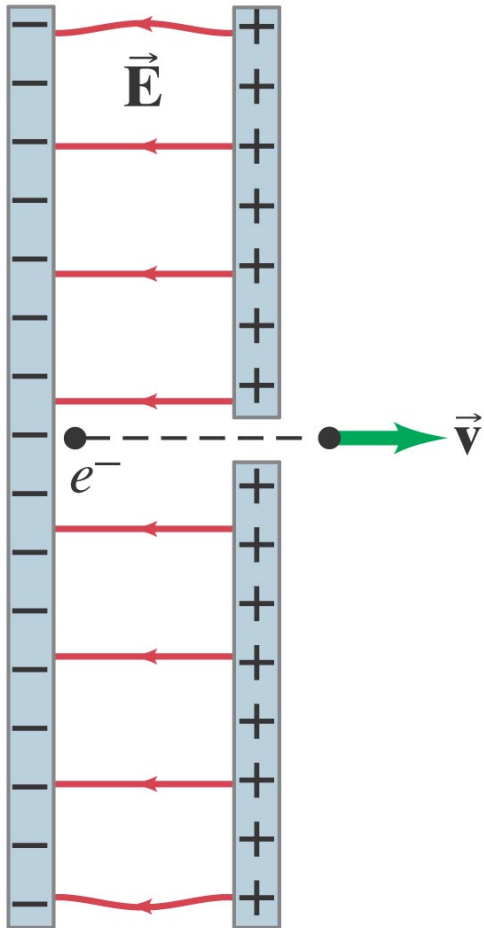
## 21.10 Varattu hiukkanen sähkökentässä

### Esimerkki 21-15

Elektroni kiihdytetään levosta oikeisen kuvan mukaisesti kahden yhdensuuntaisen levyn välissä olevalla homogeenisella sähkökentällä ( $E = 2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$ ). Levyjen välinen etäisyys on 1,5 cm ja levyssä oleva reikä on niin pieni, että se ei vaikuta kentän homogeenisuuteen.

Määritä elektronin nopeus kuvan pisteessä.

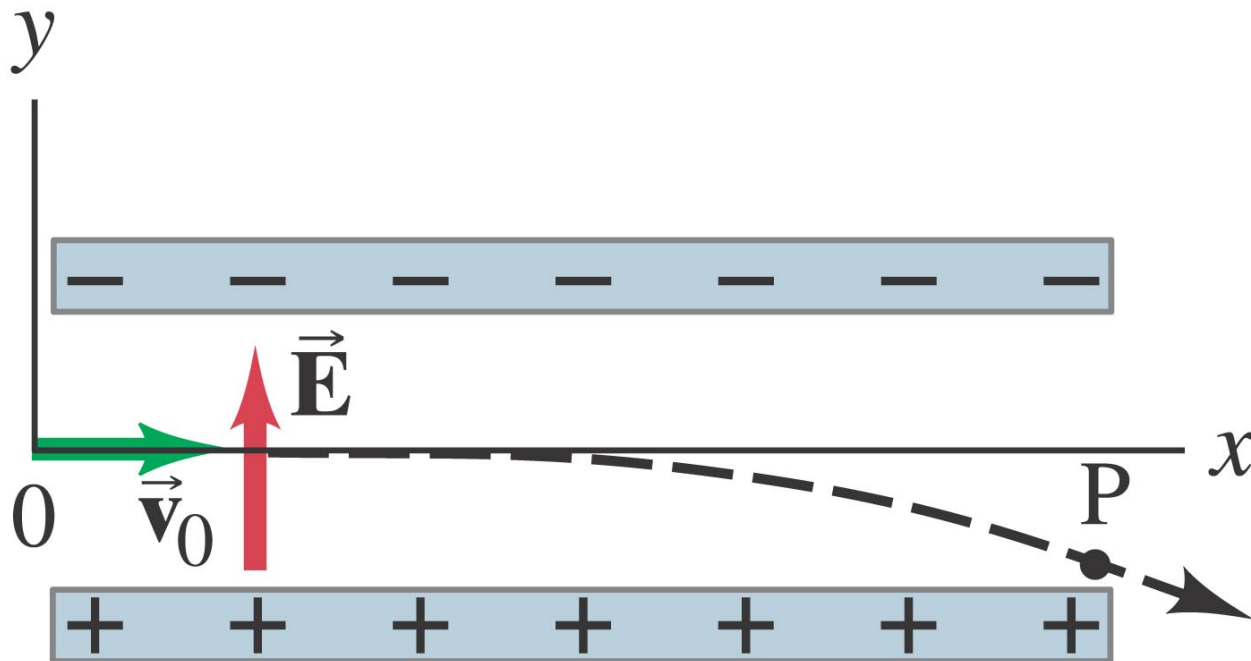
Osoita, että painovoiman voi tehtävässä perustellusti jättää huomiotta.



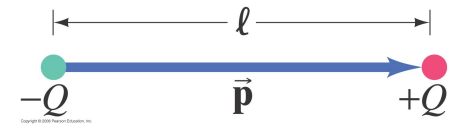
## Esimerkki 21-16

Elektroni saapuu kahden yhdensuuntaisen levyn välissä olevaan homogeeniseen sähkökenttään  $\vec{E}$  kohtisuorassa kenttäviivoja vastaan nopeudella  $\vec{v}_0$

Kuvaa hiukkasen liikettä kirjoittamalla sen radan yhtälö levyjen välissä.



# 21-11 Sähköinen dipoli



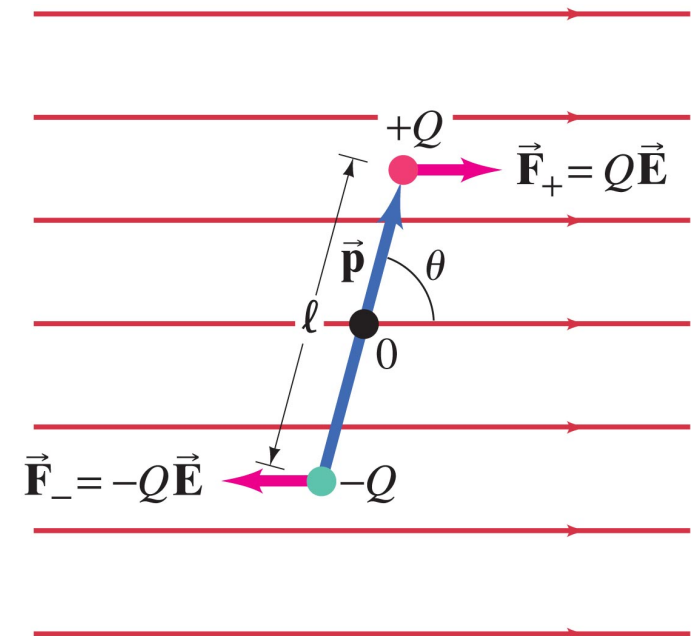
- Tärkeä esimerkki varausjakaumasta
- Kaksi yhtä suurta vastakkaismerkkistä varausta lähekkäin
- Dipolin suuruutta kuvataan dipolimomentilla  $\vec{p} = Q\vec{\ell}$

Dipoliin kohdistuva kokonaisvoima vakiokentässä on nolla

Momentti pyrkii pyörittämään dipolia  $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

Dipolin asentoon kentässä liittyy

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



## Esimerkki 21-17

Vesimolekyyli on homogeenisessa sähkökentässä, jossa sähkökentän voimakkuus on  $2,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ .

Määritä kuinka suuri momentti vesimolekyyliin kentässä suurimmillaan kohdistuu.

Määritä kuinka suuri on potentiaalienergia momentin ollessa suurimmillaan.

Selvitä missä asennossa potentiaalienergia on suurimmillaan.

Veden dipolimomentti on  $6,1 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$ .

