

# Coulombin voima

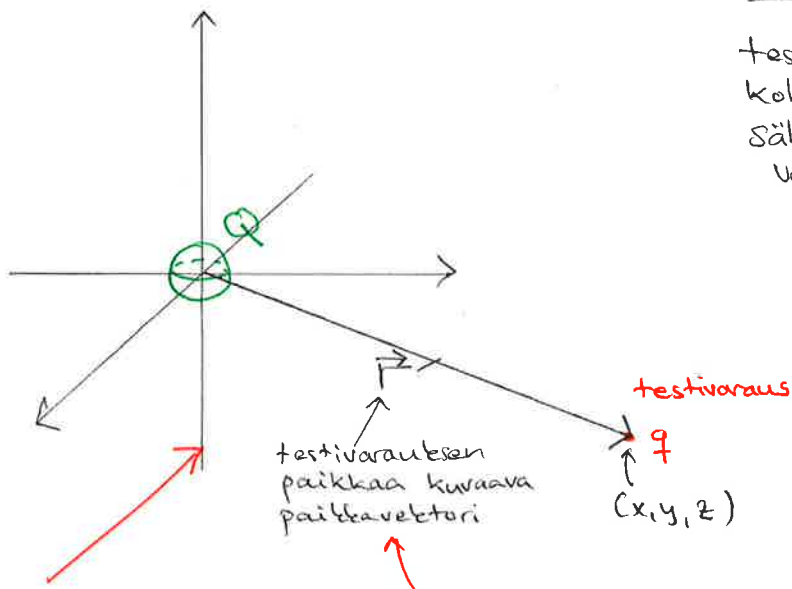
testivaraukseen  
kohdistuva  
sähköstaattinen  
voima

Lineaarinen  
riippuvuus  
varauksista  
 $q \cdot Q$   
verrannollinen  
 $F \propto \frac{q \cdot Q}{r^2}$

verrannollisuus-  
kerrin  
tyhjiössä  
 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

pienenee  
etäisyyden  
neliössä

tyhjiön permittivisyys  
(luonnonvakio).



koordinaatisto  
voidaan valita  
mielivaltaisen  
monella  
tavalla

voimien vektoriesityksellä  
voimme esittää  
fysiikan lait koordinaatistosta  
riippumattomalla tavalla.

## Coulombin voima uudelleen

$$\vec{F}_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot Q}{r^2} \hat{r}$$

$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$  yksikkövektori

voiman suunta

Voiman  
suuruus  
+merkki

$r^2 = \vec{r} \cdot \vec{r} = |\vec{r}|^2$  pistetulo

### Pistetulo:

Olkoot  $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$   
 $\vec{b} = (b_x, b_y, b_z)$

$\Rightarrow \vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$

Geometrisesti:

$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \theta$

$= |\vec{b}| \cdot \underbrace{|\vec{a}| \cdot \cos \theta}_{\vec{a}\text{in projektio } \vec{b}\text{:lle}}$

$\vec{a}$ in projektio  
 $\vec{b}$ :lle.

Huom:

jos  $q \cdot Q < 0$  (eli ovat erimerkkiset)  
on voiman ~~suunta~~ merkki negatiivinen  
ja se on siis suuntaan  $-\hat{r}$ .

$\Rightarrow$  testivaraus kokee ~~voimaa~~ <sup>varausta</sup>  $Q$   
voiman kohti ~~origosta~~  
 $\Rightarrow$  puoleksavetävä voima

jos  $q \cdot Q > 0$  (samanmerkkiset)  
on voiman suunta  $+\hat{r}$   
 $\Rightarrow$  pois päin origosta  
varauksesta  $Q$ .

# Staatinen sähkökenttä

Staatinen: vain paikallaan olevia varauksia

Coulombin

Varauksenvälinen pitkäkantaman voima ymmärretään nykyään siten, että varaus  $Q$  synnyttää sähkökentän  $\vec{E}$ , jonka kanssa testivaraus  $q$  vuorovaikuttaa.

⇒ pelkkiä kontaktivuorovaikutuksia mutta sähkökenttä toimii välittäjänä.

Fysiikan lait (ts. havaitut voimat) eivät tietenkään muutu:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

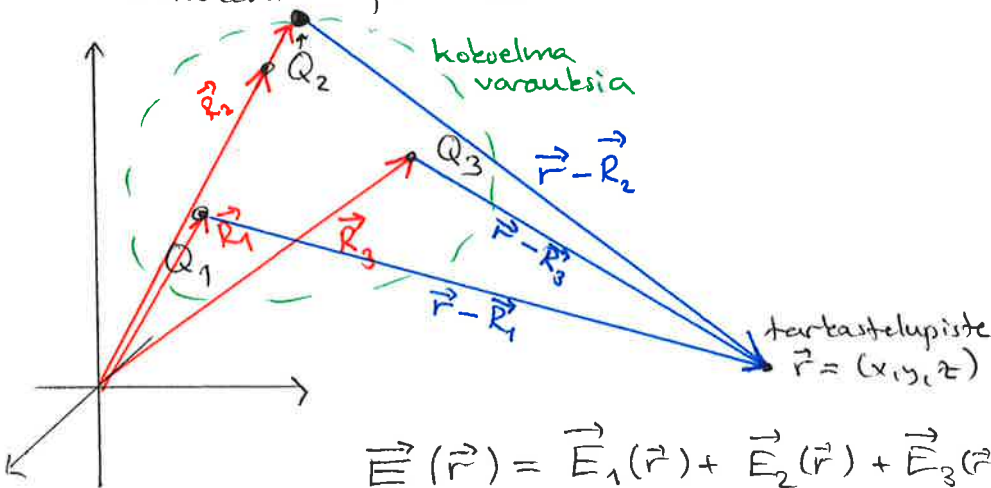
Oikeammin:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

Pistevarauksen  $Q$  synnyttämä sähkökenttä.

testivaraukseen kohdistuva sähköstaattinen voima

Sähkökentät ja voimat additiivisia:



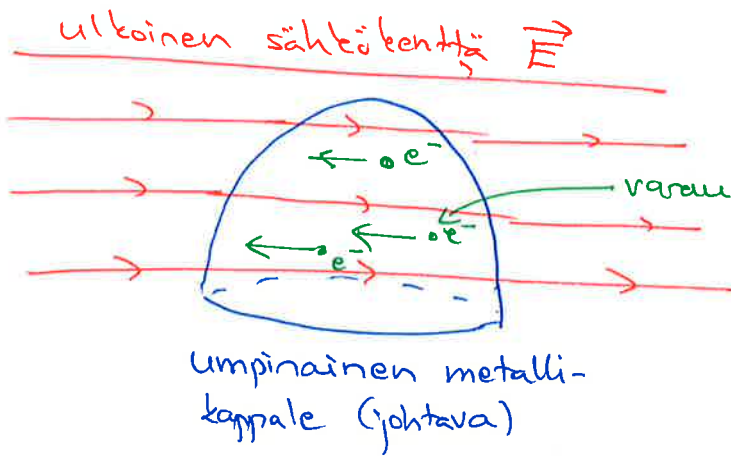
$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_1(\vec{r}) + \vec{E}_2(\vec{r}) + \vec{E}_3(\vec{r})$$

$$\vec{E}_m(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_m}{|\vec{r} - \vec{r}_m|^2} \cdot \frac{(\vec{r} - \vec{r}_m)}{|\vec{r} - \vec{r}_m|} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_m}{|\vec{r} - \vec{r}_m|^3} \cdot (\vec{r} - \vec{r}_m)$$

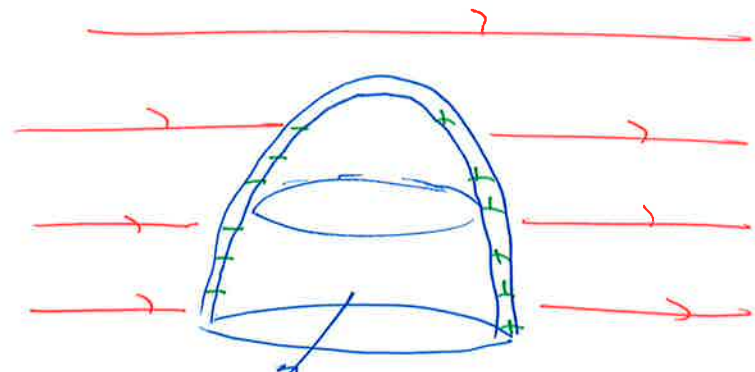
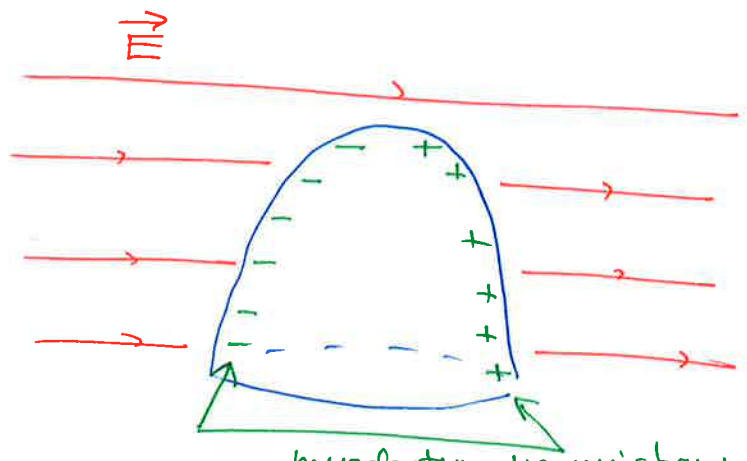
Tämä menee äkkiä tosi hankalaksi!  
Symmetrioiden hyödyntäminen välttämätöntä!

lisää sähkökentistä

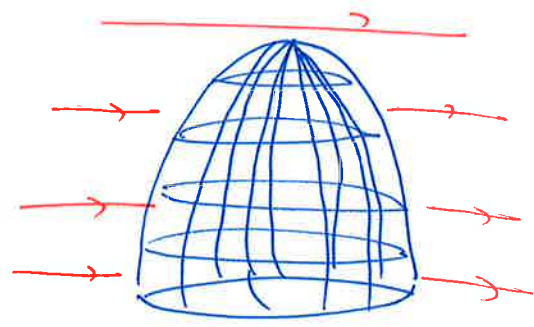
Faradayn häkki:



$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$$



→ sisäosa voidaan ajatustekn. hengessä "koventaa" pois.



Johtavasta materiaalista koostuvan Faradayn häkin sisällä sähkökenttä = 0.

Huomi: staattinen tilaus!