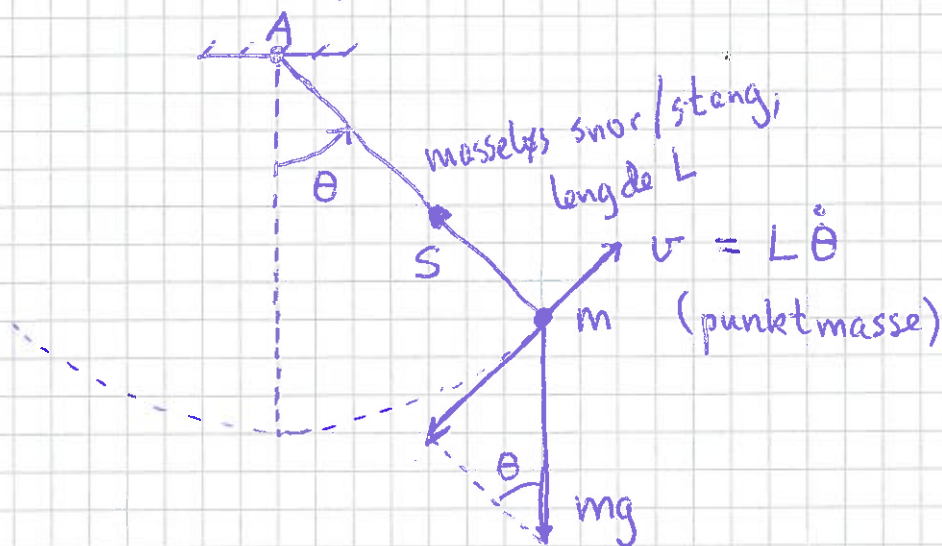


Matematisk pendel [YF 14.5; LL 9.6]

(56)



Beregelsen // sirkelbanen:

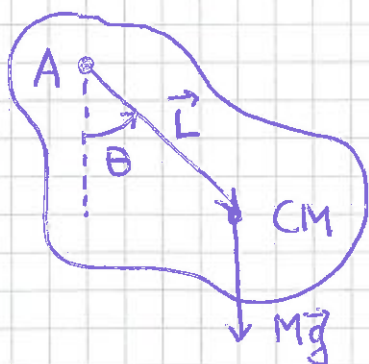
$$\left. \begin{aligned} F_{||} &= -mg \sin \theta \\ a_{||} &= \dot{v} = L \ddot{\theta} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} -mg \sin \theta &= m L \ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} + \frac{g}{L} \sin \theta &= 0 \end{aligned}$$

Anta små utsving fra likevekt, $|\theta| \ll 1 \Rightarrow \sin \theta \approx \theta$

$$\Rightarrow \boxed{\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta = 0 \quad \text{med} \quad \omega_0 = \sqrt{g/L}}$$

Fysisk pendel

[YF 14.6; LL 9.6]



Stivt legeme, masse M , tregh. mom. I
mhp aksen A , $\vec{R}_{CM} = \vec{L}$.

N2 for rot. om A : $\tau = I \ddot{\theta}$
med $|\vec{\tau}| = |\vec{L} \times M\vec{g}| = MgL \sin \theta$.

Fortegn: $\vec{\tau}$ gir rot. med klokka når $\theta > 0$
 $\Rightarrow \tau = -MgL \sin \theta$

$$\Rightarrow \ddot{\theta} + \frac{MgL}{I} \sin \theta = 0$$

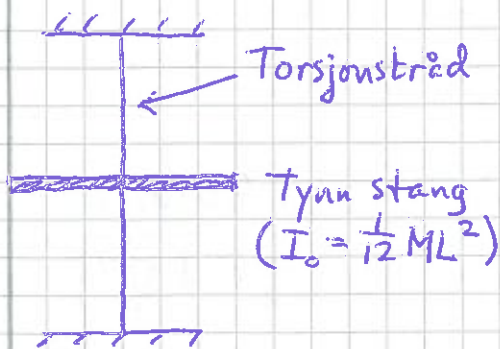
Anta små utsving, $\sin \theta = \theta$: $\boxed{\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta = 0 ; \omega_0 = \sqrt{\frac{MgL}{I}}}$

→ utmasse (mat. pendel): $I = ML^2 \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{g/L}$; OK
→ I_0 ok $\omega_0 \rightarrow 0$; OK

Torsjionspendel

[YF 14.4; LL 9.6]

(57)



Hookes lov: Tråden motsetter seg vridning og virker på stanga med dreiemoment prop. med vridningsvinkelen:
 $\tau = -\mathcal{J}\theta$

med torsjonsstivhet \mathcal{J}

N2, rot. om trådens akse:

$$\tau = I_0 \ddot{\theta} \quad \Rightarrow \quad -\mathcal{J}\theta = I_0 \ddot{\theta} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta = 0; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{\mathcal{J}}{I_0}}}$$

Eks/Exp:

$M = 50\text{g}$, $L = 11\text{cm}$. M&L $T = 2\pi/\omega_0$ og beregn \mathcal{J} .

$$\begin{aligned} \mathcal{J} &= I_0 \omega_0^2 = 4\pi^2 I_0 / T^2 = \pi^2 ML^2 / 3T^2 \\ &= \pi^2 \cdot 0.050\text{kg} \cdot (0.11\text{m})^2 / 3 \cdot (0.8\text{s})^2 \\ &= \underline{\underline{3.1 \cdot 10^{-3}}} \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \quad (\text{evt Nm}) \end{aligned}$$

ELEKTRISITET OG MAGNETISME

58

YF 21-31 ; LHL 19-27

- I. Elektrostatikk. Ledere, isolatorer [YF 21-24; LHL 19-20]
- II. Strøm. DC-kretser [YF 25-26; LHL 21-22]
- III. Magnetostatikk. Magnetisme [YF 27-28; LHL 23,26]
- IV. Elektromagnetisk induksjon. AC-kretser [YF 29-31; LHL 24,25,27]

"Fra Coulombs lov til forståelse av kretselementene motstand, kondensator og spole."

I. Elektrostatikk [YF 21-24; LHL 19-20]

Elektrisk ladning [YF 21.1; LHL 19.1]

Materie består av atomer.

Atom = kjerne + elektroner

Kjerne = protoner + nøytroner = kjernepartikler

Kjernepartikkel = tre kvarker

Elementærpartikler = (antatt!) udelelige "byggeklosser" i naturen (elektron, kvarker, foton, nøytrinoer, Higgs osv); disse partiklene har elektrisk ladning, positiv, negativ eller ~~en~~ null, og ladningen er kvantisert:

Elementærpartikkel	Ladning
Elektron (e)	-e
Opp - kvark (u)	+ 2e/3
Ned - kvark (d)	- e/3
Elektron - nøytrino (ν_e)	0
Foton (γ)	0

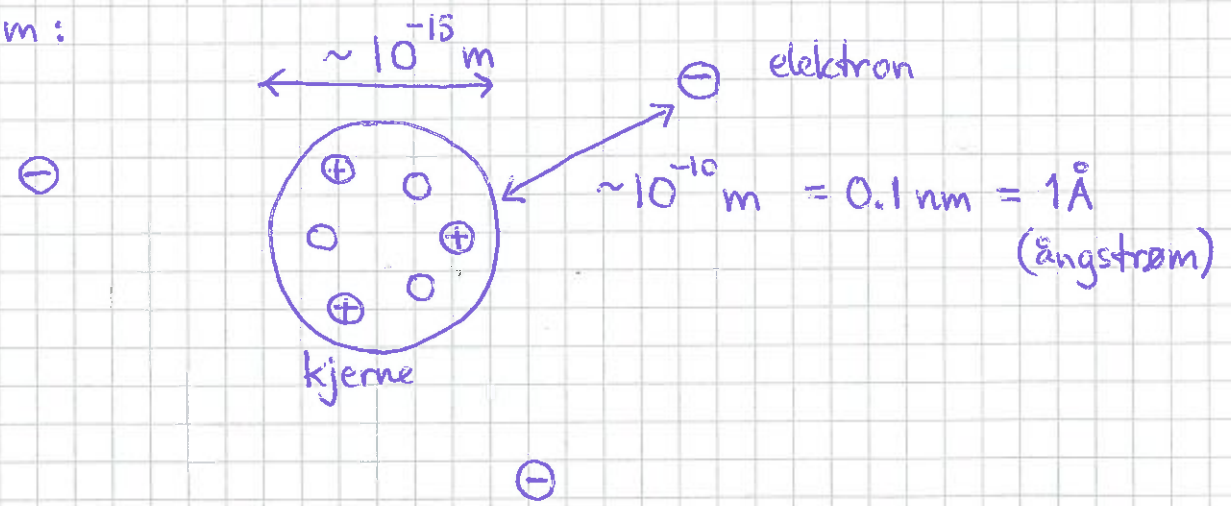
e = elementærladningen; påvist eksperimentelt av R. Millikan med små elektrisk ledede oljedråper i 1909 (NP 1923 ; NP = nobelpris)

Nøytron (n) = 1u + 2d $\Rightarrow q_n = 0$

Proton (p) = 2u + 1d $\Rightarrow q_p = +e$

[symbol q, Q for elektrisk ladning: "quantity of electricity"]

Atom:



Praktisk tatt hele atommassen i kjernen:

$m_e \approx 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 $m_n \approx m_p \approx 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Nøytrale atomer med atomnummer Z har (60)
 Z protoner og Z elektroner $\Rightarrow Q = Ze - Ze = 0$

Ioner er atomer og molekyler med flere eller færre elektroner enn protoner.

Eks:

N^{3-} = nitrogenatom med 10 elektroner ($Z=7$), $q = -3e$

N_2^+ = N_2 -molekyl med 13 elektroner, $q = +e$

Ladningsbevarelse:

Netto ladning i et lukket system er konstant.

Eks: β -decay

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ (feks. ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$)

$Q: 0 \rightarrow +e + (-e) + 0 = 0$

\uparrow
antineutrino

$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ (feks. ${}^{23}_{12}\text{Mg} \rightarrow {}^{23}_{11}\text{Na} + e^+ + \nu_e$)

$Q: +e \rightarrow 0 + e + 0 = e$

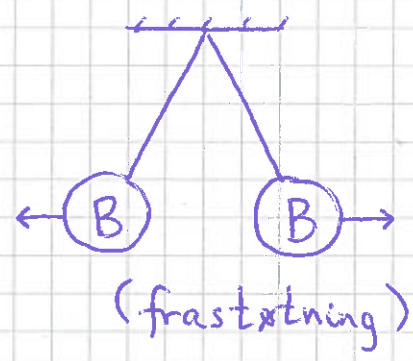
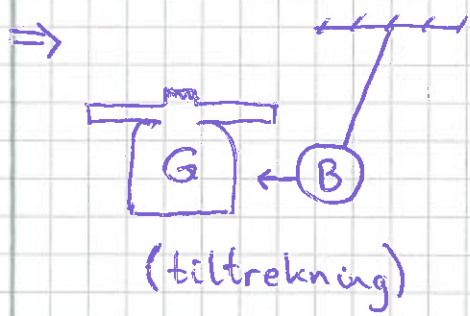
\uparrow
positron

Med kvarker:

$n = 1u + 2d \xrightarrow{1d \rightarrow 1u} 2u + 1d = p$ (β^- decay)

$p = 2u + 1d \xrightarrow{1u \rightarrow 1d} 1u + 2d = n$ (β^+ decay)

Påvisning av ladning (kvalitativt):
Gni 2 ballonger mot samme genser

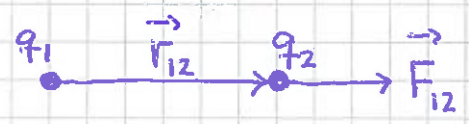
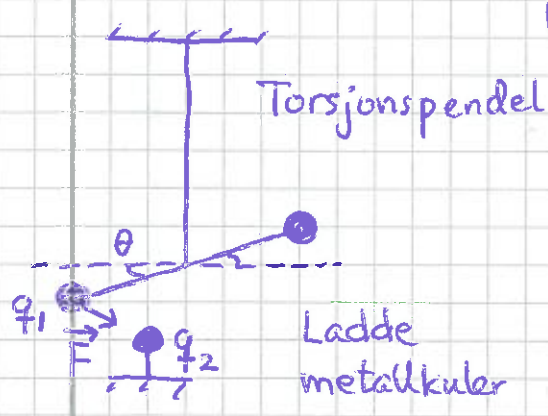


Konklusjon:

- Samme type ladning frastøter hverandre
- Ulik type ladning tiltrekker hverandre
- Kaller de to typene ladning positiv og negativ



Coulombs lov [YF 21.3 ; LHL 19.3] (s.8)
(ca 1785)



Coulomb observerte

- $F_{12} \sim q_1 \cdot q_2 / r_{12}^2$
- $\vec{F}_{12} \sim \hat{r}_{12}$

- Samme form som Newtons gravitasjonslov
- $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$ (N3)

$$\Rightarrow \vec{F}_{12} = K_e \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

Coulombs lov

Enhet for ladning [YF 21.3 ; LHL 19.1] (62)

$$[q] = C \quad (\text{coulomb})$$

- $1C = 1As =$ ladning som passerer tverrsnitt av leder pr sekund når strømstyrken er $1A$ (ampere)

- $1C =$ ladning til hver av to like ladninger som i innbyrdes avstand $1m$ frastøter hverandre med kraft $8,98755... \cdot 10^9 N$.

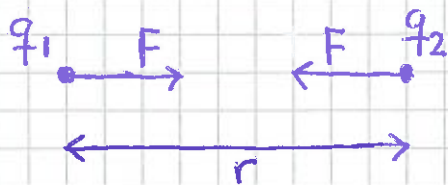
$$\text{Dvs: } K_e = (4\pi\epsilon_0)^{-1} = 8,98755... \cdot 10^9 \text{ m}^2 N/C^2, \\ (\approx 9 \cdot 10^9 \text{ m}^2 N/C^2)$$

$$\text{med } \epsilon_0 = 8,854... \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{m}^2 N$$

= permittiviteten til vakuum (tomt rom)

↑ (mer om dette senere!)

$$\Rightarrow e = 1,602... \cdot 10^{-19} \text{ C} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Coulombs lov

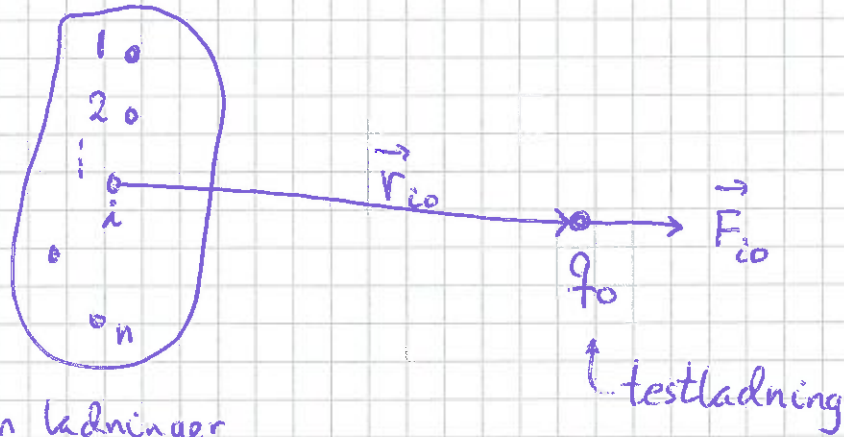
Elektrisk kraft fra flere ladninger

(63)

[YF 21.3 ; LHL 19.3]

Som i mekanikken gjelder superposisjonsprinsippet (SPP):

$$\vec{F}_{\text{tot}} = \sum_i \vec{F}_i \quad (\text{total kraft} = \text{vektorsum av enkeltkrefter})$$

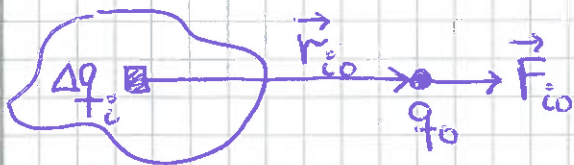


n ladninger
 $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$

$$\vec{F}_0 = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{i0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i q_0}{r_{i0}^2} \hat{r}_{i0}$$

= total kraft på q_0 fra $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$

Med kontinuerlig ladningsfordeling:



$$\vec{F}_0 = \sum_i \vec{F}_{i0} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_{i0}^2} \hat{r}_{i0} \rightarrow \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\hat{r} dq}{r^2}$$