

Füüsika ei ole keeruline,
ta on lihtsalt veider.

Vincent Icke „The Force of symmetry“ 1994

Füüsika, see on imelihtne!

Kaido.Kiil@tyhg.edu.ee

Tähtsad kuupäevad

Teine trimester lõppeb 06.03.2026.

Vaheaeg: 23.02.2026 – 01.03.2026.

Viimasel tunnil enne vaheaega korjan vihikud ära ning vihikute eest saab hinde, mis läheb kontrolltööde hinnetega arvesse trimestri hinde panemisel.

Daltoni piljardipallimudel

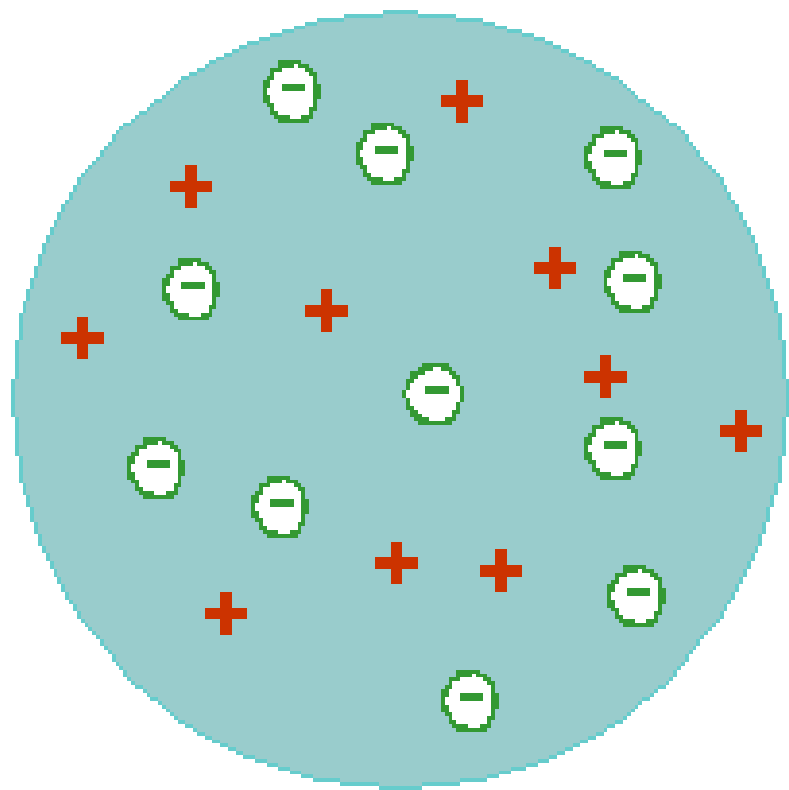


Esimese tänapäeva mõistes tõsisemalt võetava katse kirjeldada aatomit tegi **John Dalton** 1803. a

Daltoni mudeli kohaselt olid aatomid homogeensed ja kerakujulised (läbimõõduga ca 100 pm) nagu piljardipallid. Kõik lihtaine aatomid olid kõik ära vahetamiseni ühesugused. Liitainete aatomid aga koosnevad erinevate elementide aatomitest.

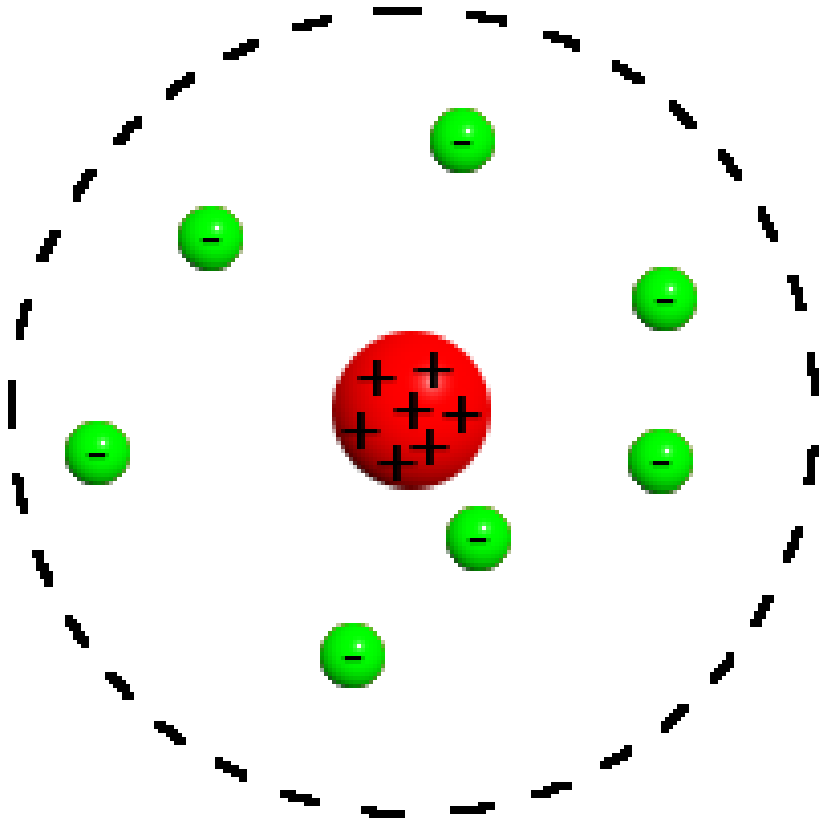
Daltoni teooria kohaselt keemiliste reaktsioonide käigus aatomid ei muutu, nad paiknevad reaktsioonide käigus teineteise suhtes ümber, ainekoguse mass tervikuna aga ei muutu.

Thomsoni rosinaisaiamudel



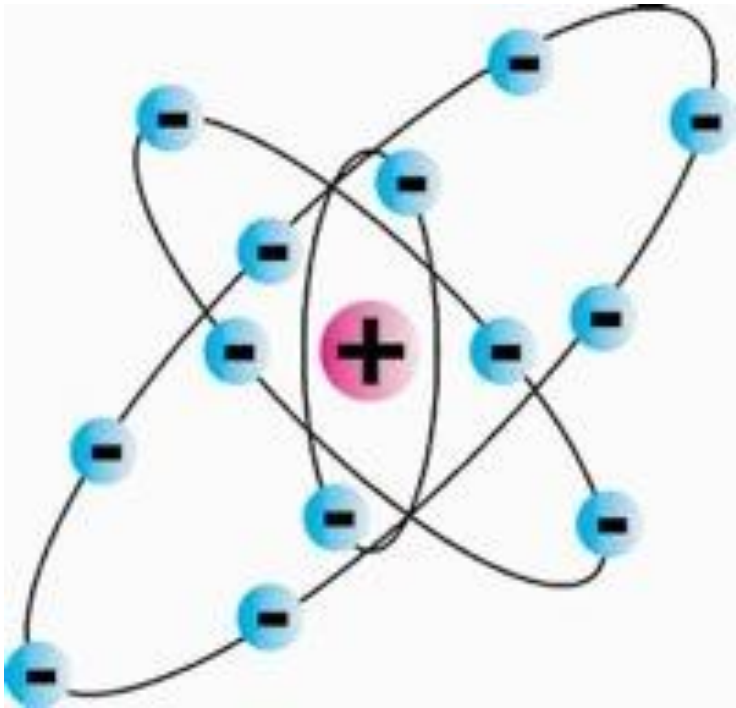
Joseph John Thomson kirjeldas aatomit kui rosinaisaia (tuntud ka ploomipudingi mudelina): Selle kohaselt on aatomid kerakujulised (läbimõõduga ca 100 pm) ning täidetud positiivse elektrilaengu massiga (nagu saias küpsetatud tainas), millesse on pikitud negatiivselt laetud osakesi – elektrone (nagu rosinaid saias), mis saavad teatud tingimustel aatomist lahkuda.

Rutherfordi õhupallimudel



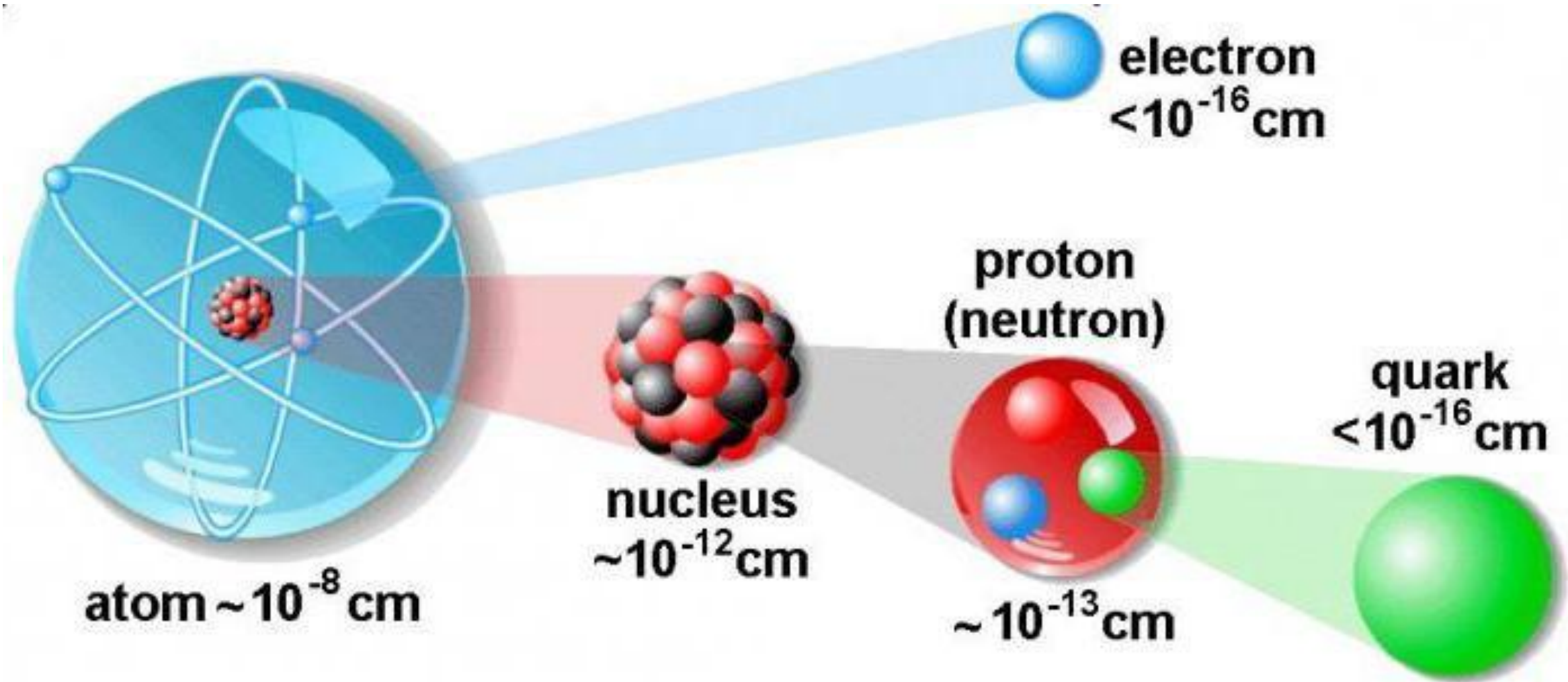
Uus-Meremaa päritoluga Briti füüsik **Ernest Rutherford**, keda tema kaasaegsed pidasid parimaks eksperimenteerijaks pärast Michael Faraday aega, püüdis 1909. aastal kontrollida Thomsoni aatomimudeli paikapidavust. Katse tulemusena esitas Rutherford uue niinimetatud **õhupallimudeli**, mille kohaselt: enamus aatomist läbimõõduga 100pm on tühi, aatomi keskel asub väike (umbes aatomi mõõtudest 10 tuhat korda väiksem) massiivne tuum, millesse on koondunud positiivne elektrilaeng, tuuma mass on ligikaudu võrdne aatomi kogumassiga ning elektronid “hõljuvad” tuumalähedases ruumis nagu õhupallid.

Bohr'i planetaarmudel



Taani füüsikut **Niels Bohr**'i häiris Rutherfordi elektronide “õhupallikäsitus” – negatiivse laenguga elektronid peaksid langema tuumale, mille tulemusena aatom häviks.

Võrrelnud massijaotust aatomis massi jaotumisega Päikesesüsteemis, täiendas Bohr Rutherfordi mudelit, pannes elektronid tiirlema ümber tuuma nagu tiirlevad planeedid ümber Päikese – sündis **Rutherfordi-Bohr'i planetaarmudel**.



Elektrilaeng

Elektrilaeng näitab, kui tugevasti osalevad laetud kehad elektrilises vastastikmõjus.

Elektrilaenguid on kahte liiki:

- positiivne laeng prootonil;
- negatiivne laeng elektronil.

Elektrilaengu ühik on kulon (tähis C).

Elementaarlaeng

Elektron ja prooton on osakesed, millel on elektrilaeng. Nende laengu suurust nimetatakse elementaarlaenguks ning see on kõigil elektronidel ja prootonitel ühesugune.

$$e = 1,6 \times 10^{-19} C$$

Elementaarlaeng

Elektron ja prooton on osakesed, millel on elektrilaeng. Nende laengu suurust nimetatakse elementaarlaenguks ning see on kõigil elektronidel ja prootonitel ühesugune.

$$e = 1,6 \times 10^{-19} C$$

$$+e = +1,6 \times 10^{-19} C$$

positiivne laeng prootonil

$$-e = -1,6 \times 10^{-19} C$$

negatiivne laeng elektronil

Aatomilaeng

Kui prootoneid ja elektrone on võrdselt siis aatom on neutraalne.

Kui prootoneid on elektronidest rohkem siis aatom on positiivse laenguga.

Kui prootoneid on elektronidest vähem siis aatom on negatiivse laenguga.

Laeng muutub ainult elektronide arvu
muutumise tõttu, sest prootonid on tuumas kinni.

Aatomilaeng

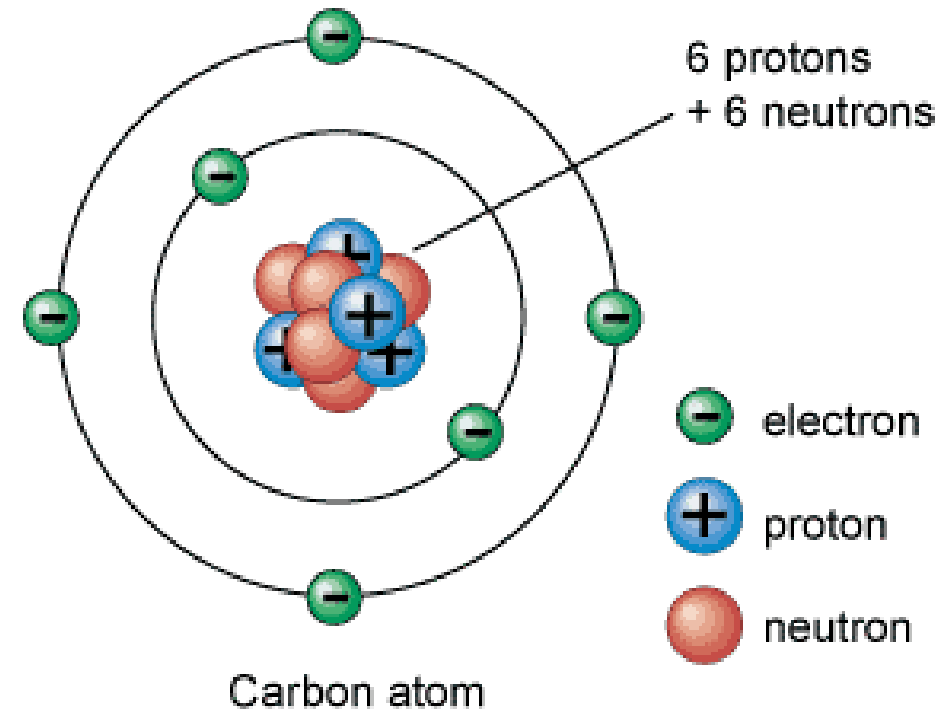
Kui prootoneid ja elektrone on võrdselt siis aatom on neutraalne.

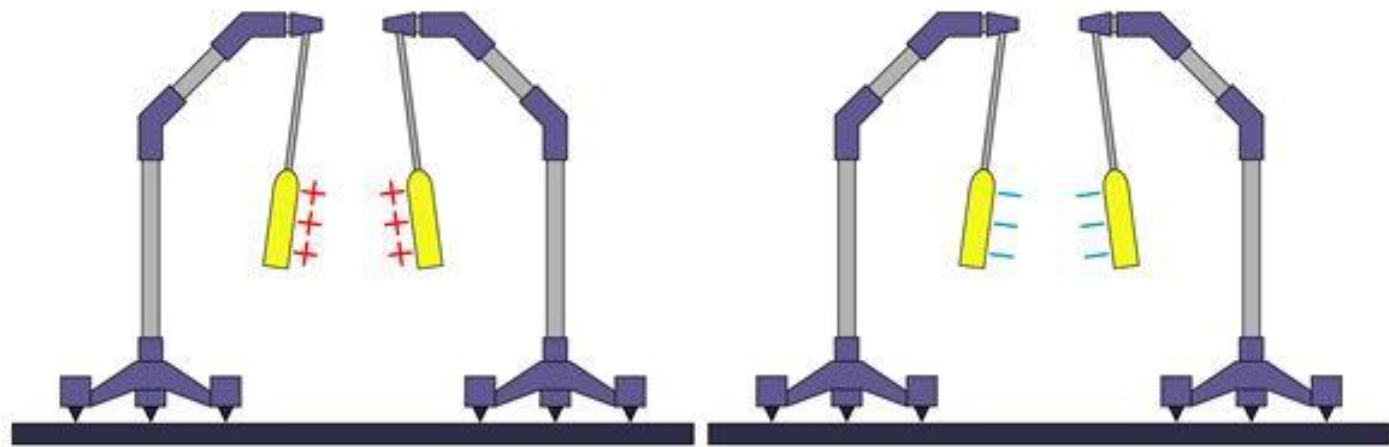
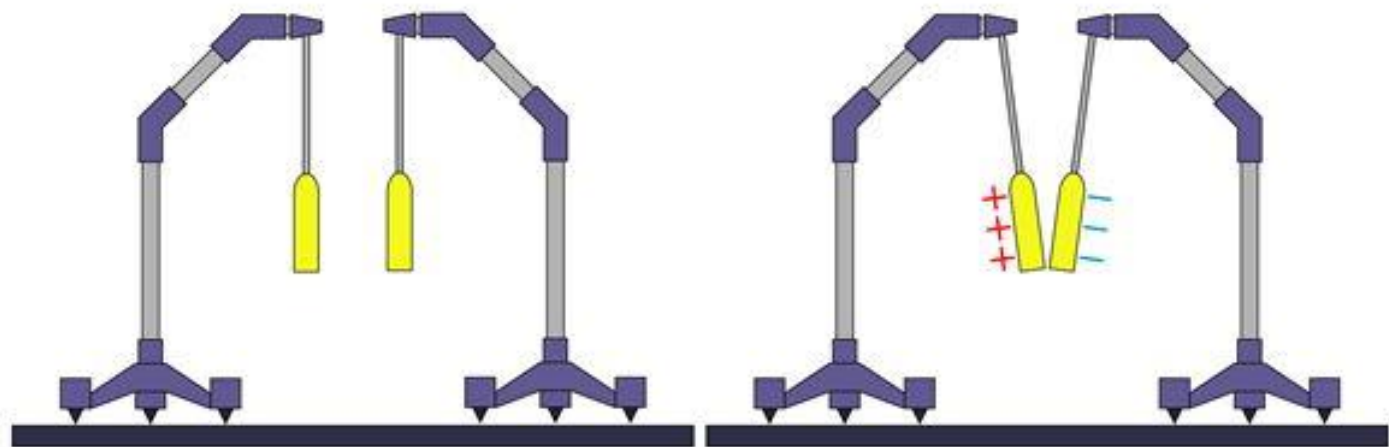
Kui prootoneid on elektronidest rohkem siis aatom on positiivse laenguga.

Kui prootoneid on elektronidest vähem siis aatom on negatiivse laenguga.

Laeng muutub ainult elektronide arvu muutumise tõttu, sest prootonid on tuumas kinni.

Milline on joonisel kujutatud aatomilaeng?





Aste	Nimetus	Tähis	Aste	Nimetus	Tähis
10^{24}	jotta-	Y	10^{-24}	jokto-	y
10^{21}	zetta-	Z	10^{-21}	zepto-	z
10^{18}	eksa-	E	10^{-18}	atto-	a
10^{15}	peta-	P	10^{-15}	femto-	f
10^{12}	tera-	T	10^{-12}	piko-	p
10^9	giga-	G	10^{-9}	nano-	n
10^6	mega-	M	10^{-6}	mikro-	μ
10^3	kilo-	k	10^{-3}	milli-	m
10^2	hekto-	h	10^{-2}	senti-	c
10^1	deka-	da	10^{-1}	detsi-	d

Ülesanne 1

Milline laeng on juukseharjalpeale elektronide loovutamist. Juuksehari loovutab kammimise käigus loovutab 3 miljardit elektroni?

Ülesanne 2

Mitu elektroni moodustavad laengu -320 nC ?

Ülesanne 3

Keha alglaeng on 0 C. Keha saab juurde 5×10^{11} elektroni. Kui suur on keha laeng pärast seda? Kas keha on positiivselt või negatiivselt laetud?

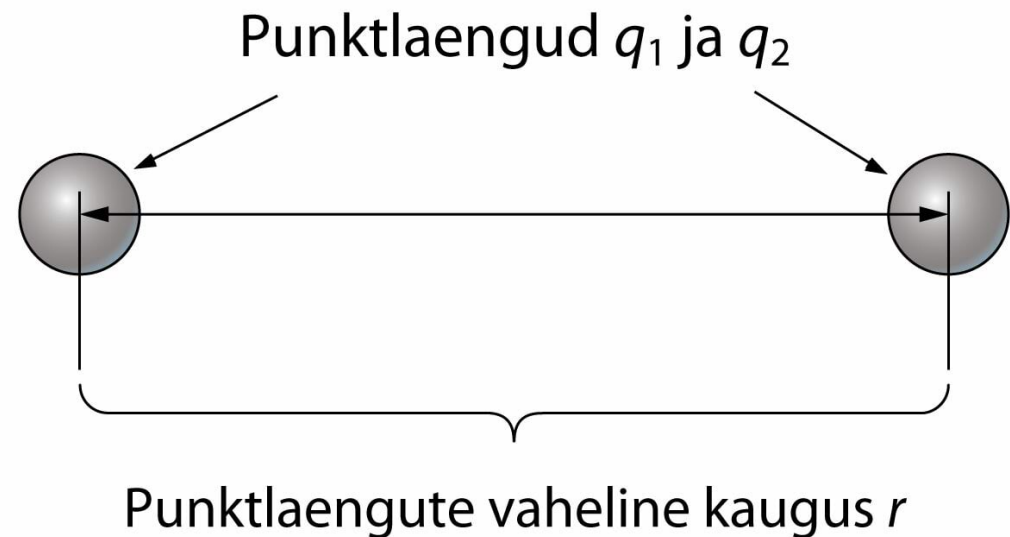
Coulombi seadus vaakumis

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

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

k on konstant, mis määrab elektrijõu tugevuse vaakumis.

Kahe punktlaengu vahel mõjuv jõud on võrdeline laengute suurustega ja pöördvõrdeline laengute vahelise kauguse ruuduga.



Coulombi seadus vaakumis

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

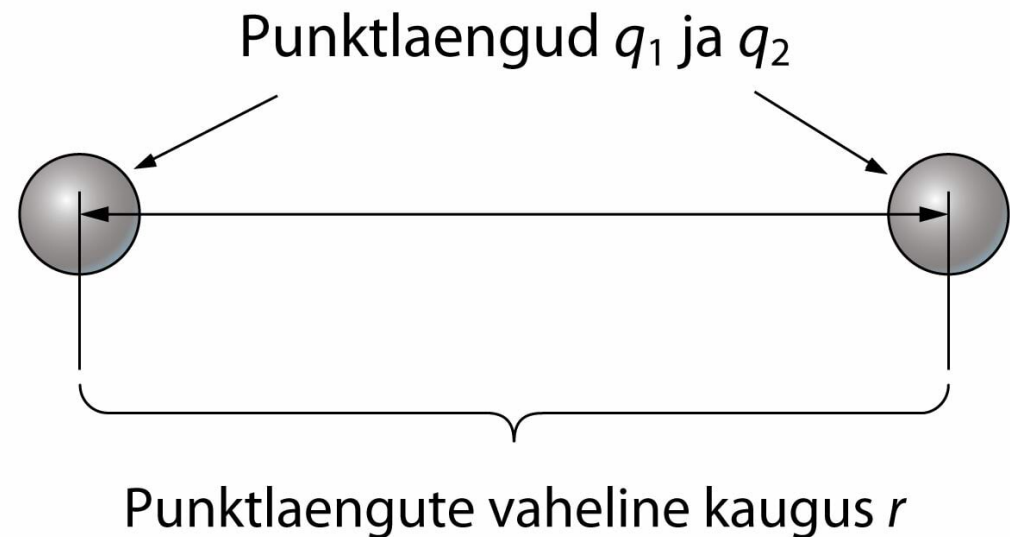
$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2}$$

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

$$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

Vaakumi dielektriline läbitavus

Kahe punktlaengu vahel mõjuv jõud on võrdeline laengute suurustega ja pöördvõrdeline laengute vahelise kauguse ruuduga.



Eeldused Coulombi seaduse kehtivuseks:

Punktlaengud: Laengud peavad olema punktmassideks idealiseeritud (või paiknema kaugel, et nende mõõtmeid saaks eirata).

Elektrostaatiline süsteem: Laengud on paigal (liikuvate laengute puhul tuleks kasutada Lorentzi jõudu).

Homogeenne keskkond: Laengud paiknevad ühesuguse omadusega keskkonnas (või vaakumis).

Ülesanne 4

Kui suure jõuga mõjutavad teineteist kaks laengut, kumbki 10 nC , mis asetsevad teineteisest 3 cm kaugusel?

Ülesanne 5

Kui suurel kaugusel mõjutavad laengud 1000 nC ja 10 nC teineteist jõuga 9 mN ?

Ülesanne 6

Kui kaugel teineteisest asuvad kaks laengut, kui teame et nende vaheline jõud on 5N. Laengute suurused on 10C ja 20C.

Selgitus Coulombi seaduse jaoks dielektrilises keskkonnas:

Coulombi seadus dielektrilises keskkonnas arvestab keskkonna dielektrilist läbitavust ϵ_r , mis vähendab kahe laengu vahel mõjuvat jõudu:

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

- $\epsilon_r = 1$ – mõju puudub, vaakum.
- $\epsilon_r > 1$ – keskkond vähendab elektrivälja ja jõudu võrreldes vaakumiga.

Materjal	Dielektriline läbitavus (ϵ_r)	Mõju Coulombi seadusele
Vaakum	1	Jõudu arvutatakse tavalise Coulombi seaduse alusel ($F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$).
Õhk	1,0006	Väike mõju; jõud on peaaegu sama mis vaakumis.
Paber	3–4	Elektriväli ja jõud vähenevad $\frac{1}{\epsilon_r}$ -kordselt.
Klaas	4–10	Laengute vaheline jõud väheneb märgatavalt.
Vesi (toatemperatuuril)	80	Väga tugev mõju; laengute vaheline jõud väheneb 80 korda võrreldes vaakumiga.
Piiritus	25	Laengute vaheline jõud väheneb 25 korda võrreldes vaakumiga.

Materjal	Dielektriline läbitavus (ϵ_r)	Mõju Coulombi seadusele
Mica	6–7	Mõõdukas mõju; jõud väheneb võrreldes õhu või vaakumiga.
Plastmaterjalid	2–5	Kasutatakse elektriliste isolaatoritena; mõju sõltub konkreetsest plastikust.
Portselan	6	Dielektrik, mida kasutatakse suure pingetaluvuse jaoks, jõud väheneb $\frac{1}{6}$ -kordselt.
Õli	2–5	Laengute vaheline jõud väheneb $\frac{1}{\epsilon_r}$ -kordselt.

Ülesanne 7

Kaks võrdset laengut mõjutavad teineteist õlis 6 cm kaugusel jõuga 0,4 mN. Leia laengute suurus.

Eeldused Coulombi seaduse kehtivuseks – vaakumis ja dielektrikus:

Punktlaengud: Laengud peavad olema punktmassideks idealiseeritud (või paiknema kaugel, et nende mõõtmeid saaks eirata).

Elektrostaatiline süsteem: Laengud on paigal (liikuvate laengute puhul tuleks kasutada Lorentzi jõudu).

Homogeenne keskkond: Laengud paiknevad ühesuguse omadusega keskkonnas (või vaakumis).

Miks ei kehti Coulombi seadus elektrijuhtis

Coulombi seadust ei saa kasutada elektrijuhtides (nt vases), sest juhtides liiguvad laengud vabalt ega püsi paigal ning elektrijuhtidele ei ole võimalik määrata dielektrilist läbitavust. Coulombi seadus kehtib ainult elektrostaatilistes olukordades, kus laengud on paigal ja keskkond on dielektriline või vaakum.

Kas laengud tõmbuvad või tõukuvad?

- Kui laengud on samamärgilised ($q_1 > 0$ ja $q_2 > 0$ või $q_1 < 0$ ja $q_2 < 0$):
 - Jõud on **tõukav**.
- Kui laengud on vastasmärgilised ($q_1 > 0$ ja $q_2 < 0$ või $q_1 < 0$ ja $q_2 > 0$):
 - Jõud on **tõmbav**.

Kas laengud tõmbuvad või tõukuvad?

$$q_1 = +10 \mu\text{C}$$

$$q_2 = +7 \mu\text{C}$$

Kas laengud tõmbuvad või tõukuvad?

Kui $q_1 = +5 \mu C$ ja $q_2 = -3 \mu C$:

Kas laengud tõmbuvad või tõukuvad?

Kui $q_1 = -4 \mu C$ ja $q_2 = -2 \mu C$:

Elektri laengu jäävuse seadus

Elektri laengu jäävuse seadus

Elektrilaengu jäävuse seadus ütleb, et suletud süsteemis on elektrilaengu kogusumma alati sama. Elektrilaeng ei teki ega kao vaid liigub ühelt kehalt teisele.

Kui üks keha saab positiivse laengu, peab kuskil teine keha saama sama suure negatiivse laengu.

Kui elektronid liiguvad ühelt kehalt ära, ei kao nad vaid lähevad teisele kehale.

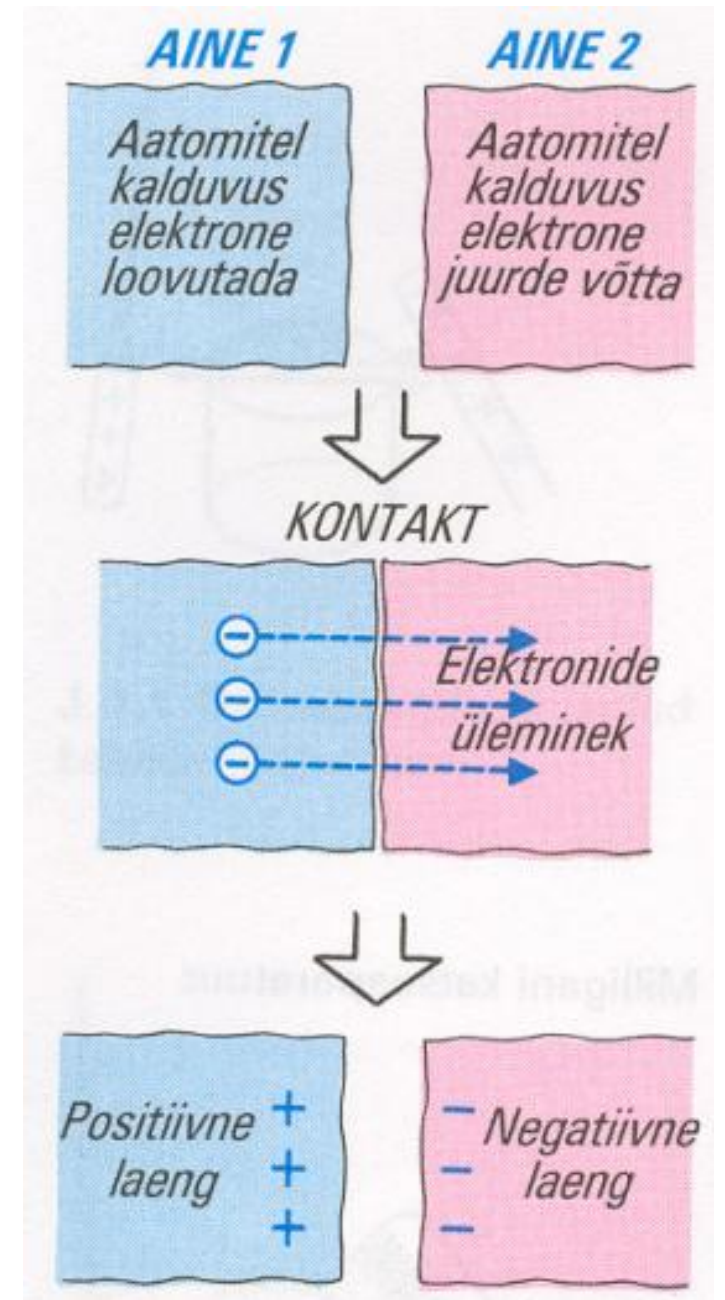
Elektri laengu jäävuse seadus

Kaks algselt neutraalset keha (keha on neutraalne kui tal on sama arv prootoneid ja elektrone) hõõrutakse kokku.

Keha 1 loovutab elektrone muutudes seeläbi positiivseks.

Keha 2 saab elektrone muutudes seeläbi negatiivseks.

Laengud on vastasmärgilised, kuid suuruselt võrdsed – tähendab kogulaeng on null (nagu enne). Laengute summa ei muutu.



Elektri laengu jäävuse seadus

Enne kokkupuudet on kaks eraldi keha, kummalgi oma laeng. Kokkupuute ajal moodustavad kehad ühe suletud süsteemi, milles laengud saavad ümber jaotuda. Elektrilaengu jäävuse seaduse järgi jääb süsteemi kogulaeng samaks, mistõttu enne ja pärast kokkupuudet kehtib

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Ülesanne

Kaks erineva laenguga keha tõmmatakse kokku. Kas pärast seda on laengute summa:

- ❖ suurem
- ❖ väiksem
- ❖ sama

Ülesanne

Kaks erineva laenguga keha tõmmatakse kokku. Kas pärast seda on laengute summa:

- ❖ suurem
- ❖ väiksem
- ❖ sama

Vastus:

Sama

Ülesanne

Keha A on laenguta $Q_A = 0 \text{ nC}$. Keha B on laenguga $Q_B = -6 \text{ nC}$. Kehad puudutavad teineteist ja eraldatakse.

Kui suur on kogu elektrilaeng pärast kokkupuudet?

Ülesanne

Keha A on laenguta $Q_A = 0 \text{ nC}$. Keha B on laenguga $Q_B = -6 \text{ nC}$. Kehad puudutavad teineteist ja eraldatakse.

Kui suur on kogu elektrilaeng pärast kokkupuudet?

$$Q_{\text{kogu}} = Q_A + Q_B$$

$$Q_{\text{kogu}} = 0 \text{ nC} + (-6 \text{ nC}) = -6 \text{ nC}$$

Vastus:

-6 nC (laeng säilib)

Ülesanne

Kaks ühesugust metallkera on laengutega $+8 \text{ nC}$ ja -2 nC .
Kerasid puudutatakse ja eraldatakse.
Kui suur on kummagi kera laeng pärast kokkupuudet?

Ülesanne

Kaks ühesugust metallkera on laengutega $+8 \text{ nC}$ ja -2 nC .
Kerasid puudutatakse ja eraldatakse.
Kui suur on kummagi kera laeng pärast kokkupuudet?

Lahendus:

Kogulaeng:

$$Q = +8 - 2 = +6 \text{ nC}$$

Jaguneb võrdselt:

$+3 \text{ nC}$ ja $+3 \text{ nC}$

Mis toimub kokkupuute ajal?

Kerad on metallist → vabad elektronid saavad liikuda

Kerad on kontaktis → nad käituvad elektriliselt ühe juhtiva kehana

Oluline

Mitte „üks keha“, vaid üks juhtiv süsteem

Mis sunnib laengut liikuma?

Kui ühel keral oleks rohkem laengut kui teisel siis nende vahel oleks potentsiaalide erinevus see tähendaks elektronide liikumine jätkuks

Aga ülesandes on öeldud: *puudutatakse ja eraldatakse* enne eraldamist peab süsteem jõudma tasakaalu

Ülesanne

Keha loovutab $5 \cdot 10^9$ elektroni.

- a) Kas keha muutub positiivseks või negatiivseks?
- b) Kas elektrilaeng süsteemis muutub?

Ülesanne

Keha loovutab $5 \cdot 10^9$ elektroni.

- a) Kas keha muutub positiivseks või negatiivseks?
- b) Kas elektrilaeng süsteemis muutub?

Vastus:

- a) Positiivseks
- b) Ei muutu – elektronid liiguvad teisele kehale

Ülesanne

Kaks keha on algselt laenguta. Üks keha saab -3 nC laengu.
Milline on teise keha laeng?

Ülesanne

Kaks keha on algselt laenguta. Üks keha saab -3 nC laengu.
Milline on teise keha laeng?

Vastus: $+3 \text{ nC}$
(kuna kogulaeng pidi jääma 0)

Oluline!

- Elektrilaengu kandjad on elektronid (negatiivne) ja prootonid (positiivne).
- Tavaliselt liiguvad elektronid, mitte prootonid. Prootonid ei saa liikuda sest nad on tuumas kinni.
- Seepärast näeme igapäevaselt just negatiivse laengu liikumist.