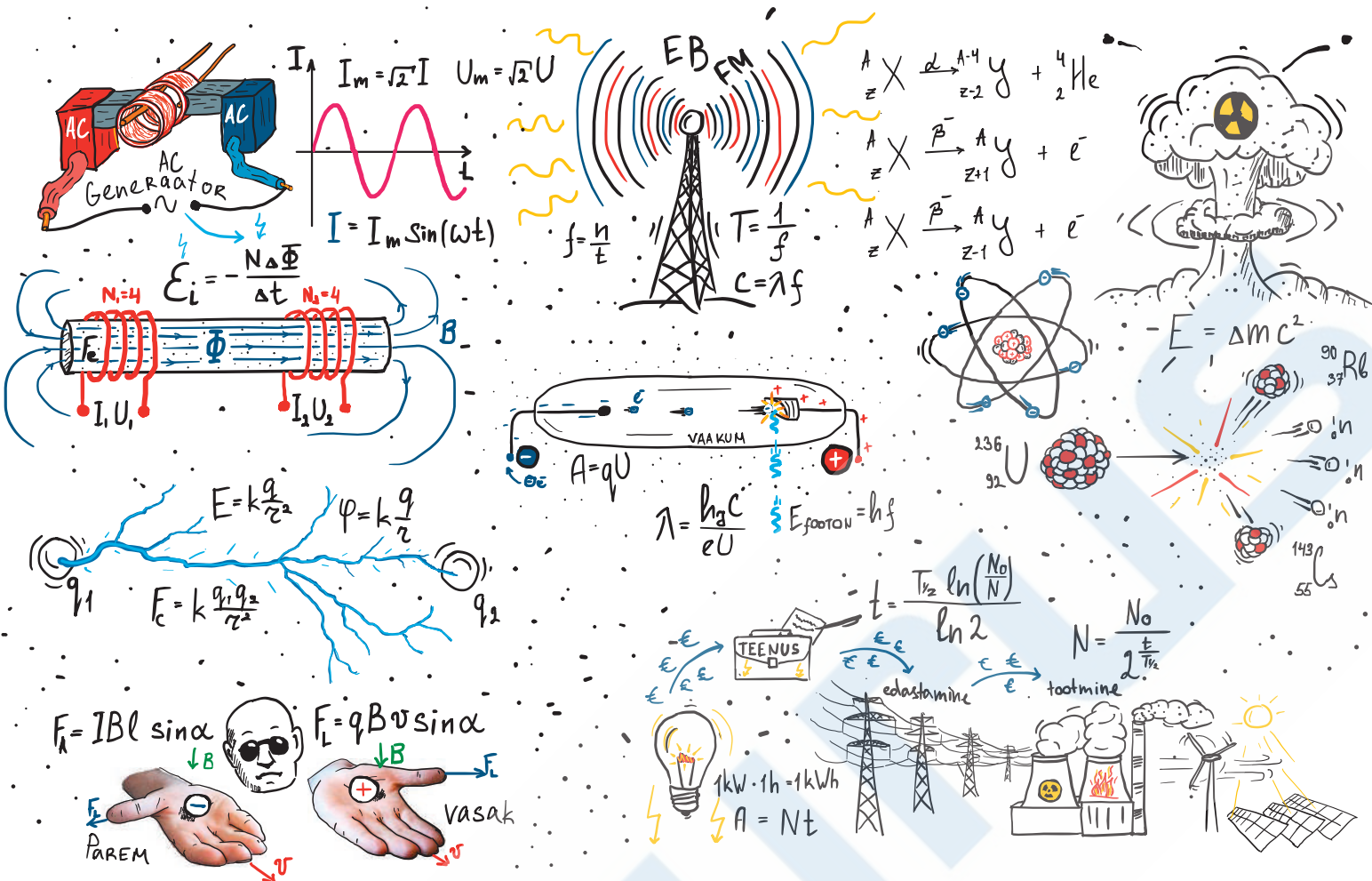


**Anton Leppik**

# Füüsika töövihik gümnaasiumile, II osa

Elektromagnetism, mikro- ja megamaailma füüsika



Tere! Olen füüsika töövihiku teine osa ning olen mõeldud 11. – 12. klassi õpilastele ja õpetajatele. Selles töövihikus on koondatud gümnaasiumi õppekava keerulisemad teemad, mis nõuavad suuremat pingutust mõistmisel. Suur tänu Sulle, et otsustasid minu kasuks. Tõesti, aitäh! Ma südamest üritan toetada sinu õppimist sellel õppeaastal, pakkudes erinevaid elektromagnetismi, aineehituse, mega- ja mikromaailma ülesandeid ja ka käsitsi tehtud jooniseid. Igas peatükis leiad nii lihtsamaid kui ka keerukamaid ülesandeid – kindlasti leiad enda jaoks midagi igas peatükis!

Mind on kirjutanud üks gümnaasiumi füüsika õpetaja, kes otsustas mitmete aastate jooksul kogunenud 11. – 12. klassi füüsika materjalid kokku panna ühte töövihikusse.

Julgen Sulle midagi soovitada:

- Kasuta kirjutamiseks igal leheküljel iga vaba ruumi ning kirjuta väiksema käekirjaga. Uut ülesannet lahendades teed esimesel korral kindlasti mõne vea. Kasuta teravat pliiatsit ja kustukummi, et kergemini parandusi teha ning et vihikut mitte täis sodida. Hoiame kokku paberit!
- Kindlasti lahenda kõik praktilised ülesanded! Näputöö kiirendab füüsika teadmiste omandamist mitmekordselt! Ülesannete jaoks on vaja lihtsaid vahendeid ning saad neid teha ka kodus. Loodusteadustega seotud karjäärid nõuavad käelisi oskusi – lase kätel oma pead aidata!
- Osades ülesannetes ei ole ette antud mõnda füüsikalist suurust, näiteks raskuskiirendust, materjali tihedust, planeedi raadiust, hõõrdetegurit või muud. Sellisel juhul pead suuruse ise leidma kas eelmistest ülesannetest, peatüki algusest, tabelitest või internetist.
- Ära õpi kõiki valemiteid pähe! Jäta meelde ainult põhivalemid ning harjuta-harjuta-harjuta valemite teisendamist ja tuletamist. Kui oskad valemiteid tuletada, siis näiteks kineetilise energia ja mehaanilise töö valemist saad tuletada veel neli valemist neid pähe tuupimata. Kui tuletamist ei harjuta, siis reostad enda mälu tuubitud teadmistega.
- Õpi nautima arusaamise tunnet – seda, kui saad aru, kuidas miski töötab! Kui oled vähemalt üks kord mõistnud, et arusaamine on sinuni jõudnud, siis hakka ka edaspidi seda olekut jahtima. Arusaamise tunne on sinu elus üks tugevamaid tundeid ning selle otsimine viib sind loodusteaduste tippu.

# Sisukord

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Elektrilaeng. Kehade elektriseerumine. Elektriline jõud       | 4   |
| 2. Elektriväli. Elektrivälja tugevus. Laetud kehad elektriväljas | 7   |
| 3. Püsimagnet ja elektromagnet. Magnetväljaga tutvumine          | 13  |
| 4. Magnetinduktsioon ja Lorentzi jõud                            | 16  |
| 5. Juhe magnetväljas. Ampère'i seadus                            | 20  |
| 6. Magnetvoog. Induktsioon. Trafo                                | 25  |
| 7. Vahelduvvool                                                  | 28  |
| 8. Elektromagnetlaine                                            | 31  |
| 9. Elektromagnetkiirguse lainepikkus. Nähtav valgus              | 34  |
| 10. Värvustest lihtsustatult. RGB                                | 37  |
| 11. Valgus ja aine                                               | 38  |
| 12. Valguse levimine. Valguse kiirus                             | 42  |
| 13. Valguse murdomine                                            | 46  |
| 14. Läätsed                                                      | 51  |
| 15. Õhuniiskus                                                   | 56  |
| 16. Pindpinevus                                                  | 60  |
| 17. Aine faasidiagramm                                           | 64  |
| 18. Fotoefekt                                                    | 67  |
| 19. Aatomimudel                                                  | 70  |
| 20. Tuumareaktsioonid                                            | 73  |
| 21. Aine poolestusaeg                                            | 76  |
| 22. Ioniseeriva kiirguse doos                                    | 80  |
| 23. Massidefekt                                                  | 83  |
| 24. Tähistaevas                                                  | 86  |
| 25. Päikesesüsteem                                               | 91  |
| 26. Orbitaalmehaanika                                            | 96  |
| 27. Tähed                                                        | 100 |
| Vastused                                                         | 104 |
| Füüsikalised suurused, tähised, ühikud ja valemid                | 109 |
| Keemiliste elementide perioodilisussüsteem                       | 113 |

⊖ -  $n > 0$  Negatiivselt laetud kehas on elektrone üle, ehk  $n$  on valemis positiivne

⊕ -  $n < 0$  Positiivselt laetud kehas on elektrone puudu, ehk  $n$  on valemis negatiivne

$$F_c = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_e = -e \quad q_p = +e$$

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

$$q = n q_e$$

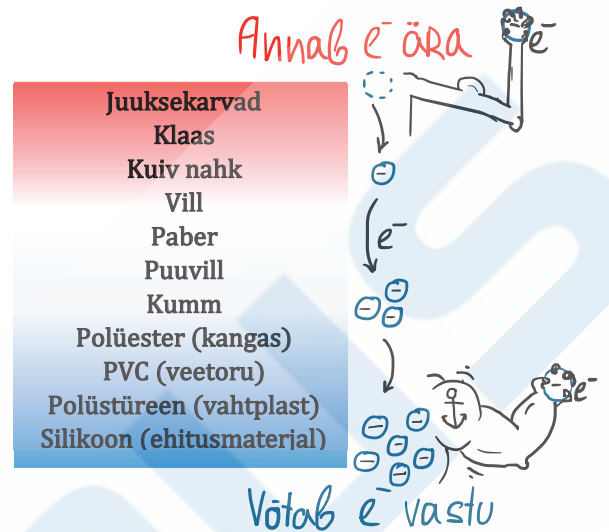
## 1. Elektrilaeng. Kehade elektriseerumine. Elektriline jõud

1.1. Vali õige sõna ning tõmba sellele joon alla.

Keha elektrilaeng muutub, kui keha materjalis muutub *elektronide/prootonite* koguarv. Positiivse elektrilaengu saab see keha, mis elektrone *vastu võtab* / *ära annab*. Negatiivse elektrilaengu saab see keha, mis elektrone *vastu võtab* / *ära annab*. Keha elektrilaengu arvutamisel on vaja teada, mitme võrra on elektrone kehas rohkem või vähem kui prootoneid.

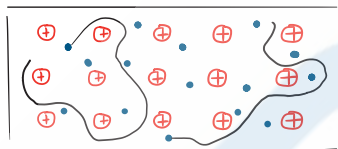
Vaata tabelit. Millise elektrilaengu saavad need materjalid, kui neid omavahel hõõruda?

| Laeng 1 (+/-) | Materjal 1     | $e^-$ liikumise suund $\leftarrow/\rightarrow$ | Materjal 2 | Laeng 2 (+/-) |
|---------------|----------------|------------------------------------------------|------------|---------------|
| +             | Klaas          | $\rightarrow$                                  | Paber      | -             |
|               | PVC-toru       |                                                | Vill       |               |
|               | Juuksekarvad   |                                                | Vahtplast  |               |
|               | Polüester-särk |                                                | Kuiv nahk  |               |



1.2. Miks saab kehas elektronide arv muutuda? Mis tähtsus on siin väliselektronkihtidel?

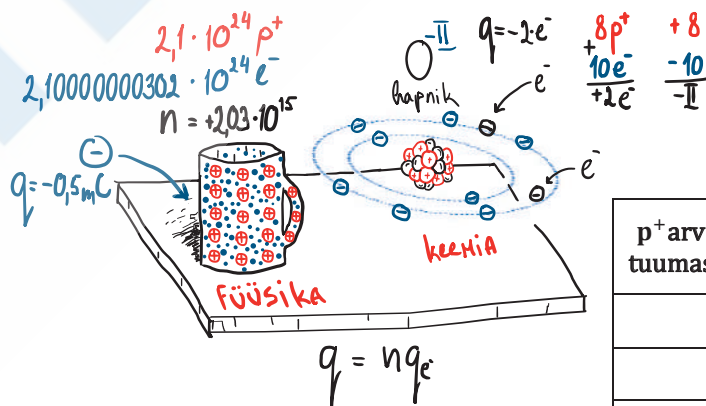
1.3. Miks ei saa keha sees olevate prootonite arv muutuda?



1.4. Miks ei hoia laua peal olev metallist lusikas elektrilaengut kaua, kuid plastist kamm hoiab? Milline joonis kirjeldab metall-lusikat, milline plastkammi?

1.5. Täida tabelid.

| Keha elektrilaeng $q$ (C) | Puudu/üle $e^-$ arv $n$ |
|---------------------------|-------------------------|
| $7 \mu\text{C}$           |                         |
|                           | $-2 \cdot 10^{20}$      |
| $-5 \text{ mC}$           |                         |
|                           | $6 \cdot 10^{11}$       |
| $9 \text{ nC}$            |                         |



$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ühe elektroni laeng}$$

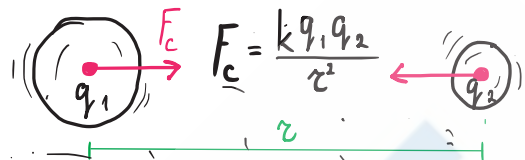
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Elementaarlaeng}$$

| $p^+$ arv tuumas | $e^-$ arv elektronkattes | Oksüdatsiooniaste | Element |
|------------------|--------------------------|-------------------|---------|
|                  |                          | -II               | S       |
|                  | 28                       | II                |         |
|                  | 18                       |                   | Cl      |
| 24               | 18                       |                   |         |

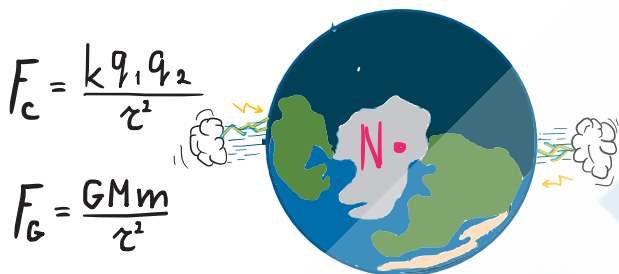
Keemias on aatomi oksüdatsiooniaste mõiste, mis sarnaneb elektrilaengule, sest see näitab, mitu elektroni on aatomilt eemale tiritud või sellele lähemale lükatud. Füüsikas aga näitab elektrilaeng, mitu elektroni on terve keha ära andnud või juurde võtnud.

### 1.6. Joonas kammis kuivi juukseid plastkammiga.

- a) Kui suur elektriline jõud mõjub kammi ja juuste vahel, kui nad said erinimelist elektrilaengut väärtusega  $\pm 1,1 \mu\text{C}$  ning nende vaheline kaugus on 10 cm?
- b) Kui kaugule peaks kamm juustest liikuma, et jõud nende vahel väheneks 100 korda?

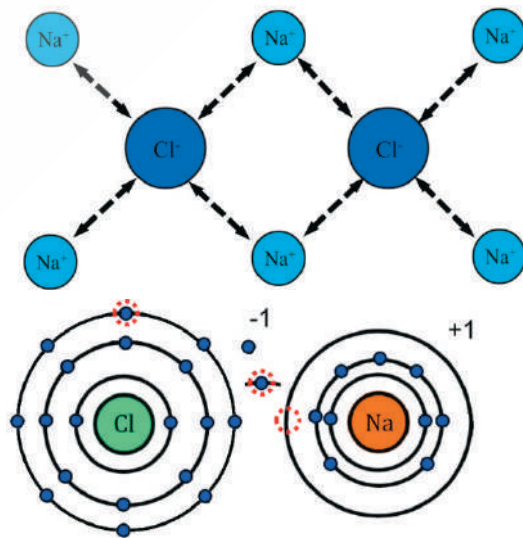


1.7. Keskmise välg edastab maapinnale elektrilaengu 15 C. Teisisõnu, enne või pärast välgulööki on pilves salvestunud elektrilaeng  $\pm 15 \text{ C}$ . Kujutle, et maakera vastaspooltel on kaks keskmist pilve. Kui suur gravitatsiooniline ja elektriline jõud mõjub pilvede vahel, kui kummagi pilve mass on 500 t ja elektrilaeng  $+15 \text{ C}$ ? Maa raadius on 6400 km ning pilve kõrgus maapinnast on võrdlemisi väike.



1.8. Iooniline side tekib kahe aatomi vahele juhul, kui vähemalt üks elektron „hüppab“ täielikult üle teise aatomi elektronihile.

Naatriumi katiooni ja kloriidi aniooni hoiab soolakristallis koos iooniline side, mis põhineb elektrilistel jõududel. Kui suur jõud hoiab  $\text{Na}^+$  ja  $\text{Cl}^-$  ioone koos, kui nende vaheline kaugus on 0,236 nm?



1.9. Harjuta valemi tületamist. Vaata ka videojuhendit (QR-kood 1.1).

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

$$\frac{F_c}{1} = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$$

$$q_1 =$$

$$k =$$

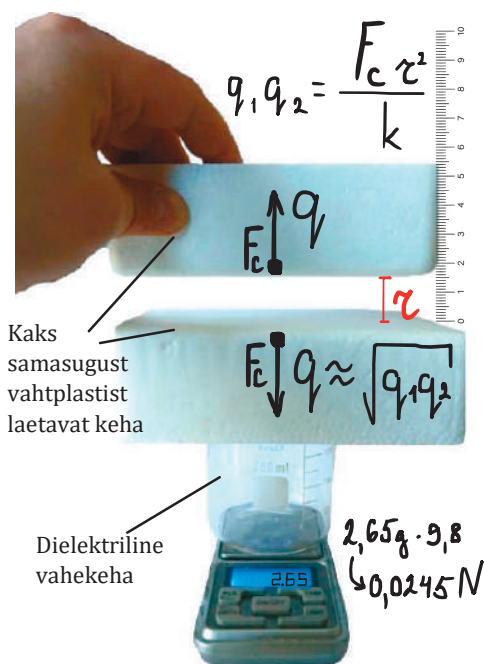
$$r^2 =$$

$$r =$$



QR-kood 1.1.  
Valemi  
tületamise  
videojuhend

## 1.10. Praktiline töö. Laetud kehade vastastikmõju uurimine ning elektrilaengu suuruste määramine



Vahendid: kaks samasugust vahtplastist kaant (nt kooli vltmeetrise karbid), 0,01 g kaal, midagi dielektrilist (nt keeduklaas), püsti seisev plastmassist joonlaud või statiiv joonlauaga, vill kaante laadimiseks (sobivad ka enda juuksed või naturaalsest villast kampsun)

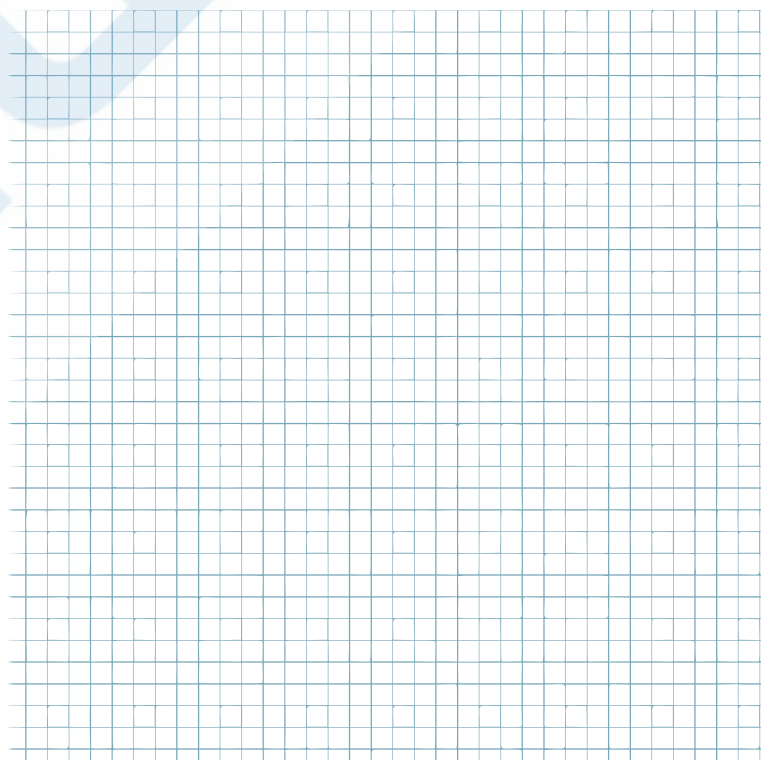
Töö käik

- 1) Aseta kaalule midagi dielektrilist, mis jääb kaalu ja laetava eseme vahele, ning vaata, et vahtplastist laetav ese püsiks paigal ning ei kukuks selle pealt maha.
- 2) Lae korraga mõlemad samasugused esemed (hõõru neid käes vastu villa või oma juukseid sama kaua ja sama tugevusega).
- 3) Aseta üks laetud ese kaalule dielektrilise eseme peale ning nulli kaal (peale nullimist ei tohi alumine ese liikuda, ainult ülemine ese võib).
- 4) Hoia teist laetud eset käes nii, et ei katsu hõõrutud pinda.
- 5) Mõõda erinevatel kaugustel tõukejõudu, mis tekib kahe laetud eseme vahele.

NB! Esemetelt vabaneb pidevalt elektrilaengut. Lae iga mõõtmise vahel kehad maksimaalselt ning sama aja jooksul (u 10–20 sekundit), hõõrudes neid  $e^-$  allika vastu, et igal mõõtmisel oleks kaante laeng võimalikult sarnane. Oluline on, et laeng oleks alati võimalikult sarnane.

6) Koosta graafik  $F_c = f(r)$ .

| Pindade-<br>vaheline<br>kaugus<br>$r$ (m) | Kaalu<br>näit<br>$m$ (g) | Elektriline<br>jõud<br>$F_c$ (N) | Laengute<br>korrutised<br>$q_1q_2$ (C <sup>2</sup> ) | Ühe kaane<br>ligikaudne<br>laeng<br>$q$ (C) |
|-------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0,45                                      |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,4                                       |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,35                                      |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,3                                       |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,25                                      |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,2                                       |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,15                                      |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,1                                       |                          |                                  |                                                      |                                             |
| 0,05                                      |                          |                                  |                                                      |                                             |



a) Kas esimes mõõtevigu? Mis neid põhjustas?

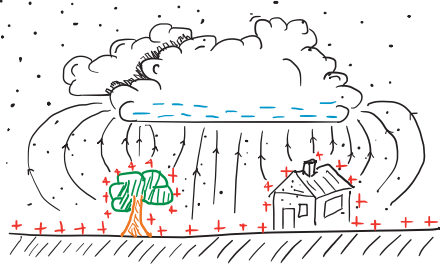
b) Hinda plaadi laengu tulemusi. Mis on tulemustes sarnane ja mis on erinev?

$$E = \frac{U}{d} = \frac{F}{q} = \frac{kq}{r^2} \quad \varphi = \frac{kq}{r}$$

$$I = \frac{q}{t} \quad U = \varphi_2 - \varphi_1 \quad A = qU$$

## 2. Elektriväli. Elektrivälja tugevus. Laetud kehad elektriväljas

**2.1.** Selleks et õhus toimuks sädelahendus, on vaja saavutada elektrivälja tugevus umbes  $3 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$ . See tähendab, et ühe meetri ületamiseks on vaja elektriväljal moodustada 3 000 000 V pinget!



Bensiinimootoris süütab kütuse elektriline säde. Sädeme kanalis tõuseb temperatuur kuni 60 000 K. Süüteküünla kontaktide vaheline kaugus on 0,6 cm. Kui suur peab olema pinge küünla kontaktidel?  $U_{\text{küünal}} = \dots$ . Võta lahti elektritulemasin ja otsi sealt piesoelement, mõõda sädeme maksimaalne pikkus ning arvuta pinge.  $U_{\text{piesoelement}} = \dots$

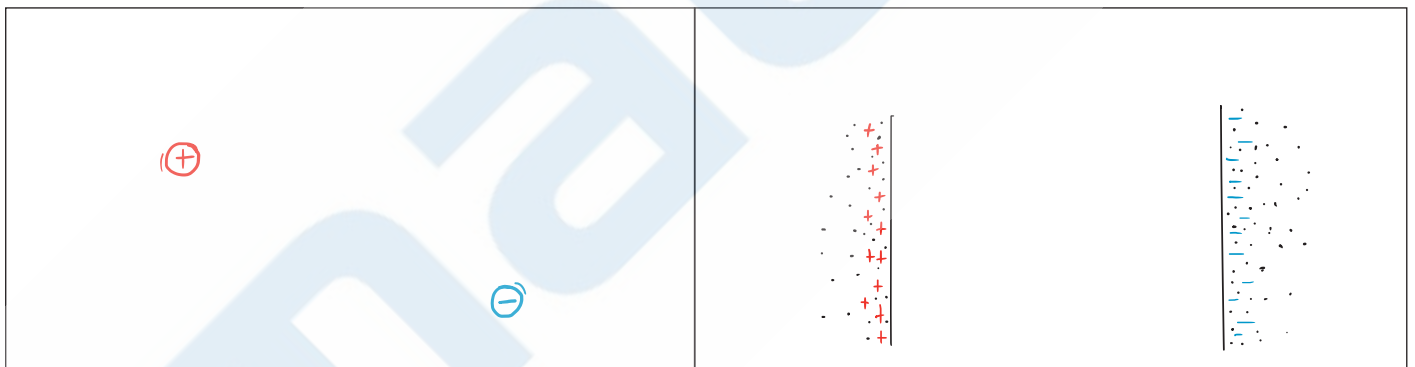
Välgu keskmine vahemaa on 1–2 km, milleks tal on vaja 3–6 GV suurust pinget. Nii suure elektrivälja tugevuse moodustavad laetud maa ja pilv. Piirkonnas, kus hakkab välku lööma, on elektrivälja tugevus alati suur ja sel ajal võivad erinevad kehad elektriseeruda. Eriti hästi saab elektrivälja tugevust jälgida n-ö kuiva välgu ehk vihmata välgu eel. Enamasti pole aga elektrivälja märgata, sest vihm ei lase kehal elektrilaengut pikema aja jooksul hoida.

Kuhu tuleb varjuda, kui oled välgulöögi piirkonnas? Miks?

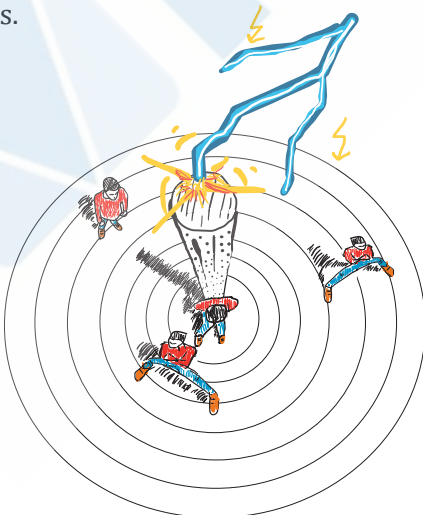


QR-kood 2.1. Vahetult enne välgulööki

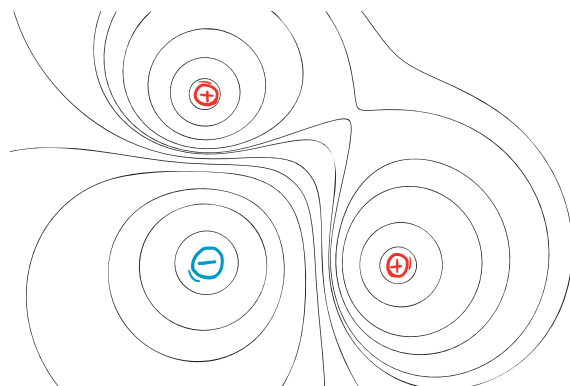
**2.2.** Kujuta laetud kehade ümber elektrivälja jõu- ja potentsiaaljooned. Tee need sujuvate ja sümmeetriliste eri värvi joontega.



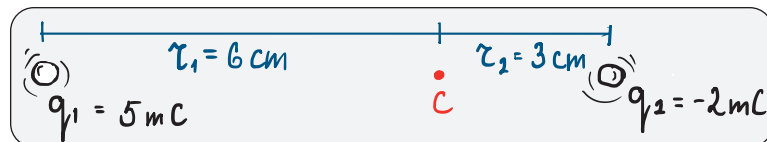
**2.3.** Välk lõi põllul asuvasse posti. Posti ümber seisab neli venda. Märgi numbritega, kes neist on kõige suuremas (1.) ja kes kõige väiksemas (4.) ohus.



**2.4.** Joonisel on antud potentsiaaljooned punktlaengute läheduses. Kujuta sujuvalt kaheksat jõujoont, teades, et need ristuvad potentsiaalijoontega  $90^\circ$  nurga all ning algavad ja lõpevad punktlaengutes.



2.5. Vaata joonist.  
Lahenda arvutusülesanded.



a) Kui suure elektrivälja tugevuse  $E_1$  tekitab laeng  $q_1$  punktis C?

b) Kui suure elektrivälja tugevuse  $E_2$  tekitab laeng  $q_2$  punktis C?

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2}$$

c) Elektrivälja tugevus on vektoriaalne suurus. Ühes ruumpunktis võib korraga mõjuda mitu elektrivälja, kuid oluline on nende vektorite summa. Kui vektorite mõjumise suund on paralleelne, siis võib vektorid lihtsalt liita, arvestades nende suunda (ehk pluss- või miinusmärki). Kui suur on summaarne elektrivälja tugevus  $E_k$  punktis C?

d) Tolmutükike sai hõõrumisest elektrilaengu  $+3 \text{ nC}$ . Kui suur jõud mõjutaks tükikest ja mis suunas, kui tolmutükike asuks punktis C?

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

$$\vec{E}_k = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$\vec{E}_k = \sqrt{\vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2}$$

2.6. Vaata joonist. Lahenda arvutusülesanded.



a) Kui suur on elektriline potentsiaal punktis A?

b) Kui suur on elektriline potentsiaal punktis C?

$$\varphi = \frac{kq}{r}$$

c) Kui suur pinge on punktide A ja C vahel?

d) Kui palju energiat saab elektron džaulides ja elektronvoltides, liikudes punktist A punkti C?

$$U = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$A = qU$$

e) Kui suure töö teeb ära elektron, mis liigub punktist A punkti B? Kuidas nimetatakse joont, millel punktid A ja C asuvad?