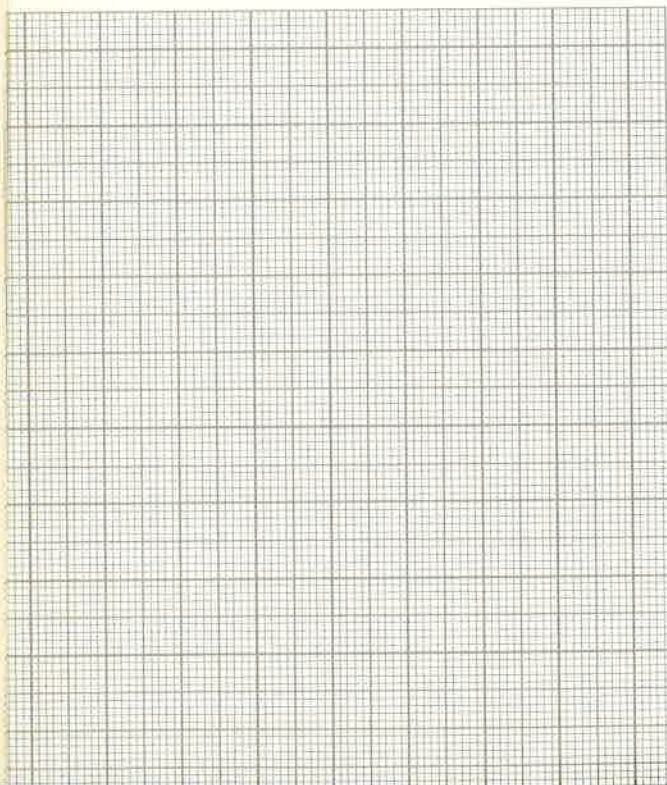


Energian säilyminen

Edellisissä tutkimustöissä nähtiin, että laitteen käyttämästä sähköenergiasta muuttui hyödylliseksi energiaksi vain pieni osa. Koko energia-käsitteen merkitys kiteytyy kuitenkin käsityksessä, että missään tapahtumassa kokonaisenergian määrä ei muutu. Jos esimerkiksi lego-nostolaitetyössäkin mitattaisiin ja laskettaisiin yhteen syntyneen lämpöenergian määrä ja potentiaalienergian määrä, olisi summa yhtä suuri kuin käytetyn sähköenergian määrä. Tätä lakia ei tietenkään voida osoittaa oikeaksi kaikissa mahdollisissa erilaisissa tapahtumissa, koska niitä on rajaton määrä, mutta eipä toisaalta kukaan ole vielä löytänyt yhtään tapahtumaa, jossa kokonaisenergia ei säilyisi. Ikiliikkujan keksiminen on osoittautunut mahdottomaksi.

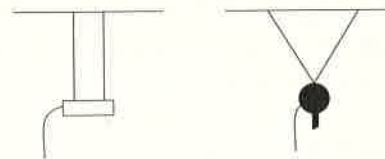
Tutkimus 4. Energian muutokset heilurissa. Työssä tutkitaan potentiaalienergian muuttumista liike-energiaksi heilurissa.



Jos käytössä on ultraäänellä toimiva paikkaanturi ja lähetin, käytä lähetintä heiluripunnuksena. Ripusta lähetin kuvan mukaisesti kahteen lankaan niin, että se pysyy oikeassa suunnassa.

Jos käytät nopeuden mittaamiseen valoporttia, käytä kuvan mukaisesti kahta ripustuslankaa ja valitse heilurin punnukseksi melko isomassainen metallipallo, jotta ilmanvastuksen lämmöksi muuttaman energian osuus potentiaalienergiasta olisi mahdollisimman vähäinen. Kiinnitä pallon alapuolelle 2,00 cm leveä, mustattu pahviliuska, joka kulkee valoportin kautta punnuksen ollessa alimmassa asemassaan.

Kiinnitä mm-jaolla varustettu viivain telineeseen niin, että sitä on helppo siirtää paikasta toiseen ja heiluripunnuksen korkeuskoordinaatti h voidaan lukea.



Tutkitaan energian muutoksia heilurissa. Potentiaalienergiasta ja liike-energiasta käytetään yhteisnimitystä *mekaaninen energia*. Sovitaan, että potentiaalienergia on nolla punnuksen ollessa alimmalla tasollaan.

- Kiinnitä punnuksen taakse keskelle langanpätkä, josta punnusta on helppo vetää taaksepäin.
- Vedä heilurin punnusta langanpätkästä taaksepäin niin, että punnuksen painopiste nousee alimmasta kohdastaan pystysuorassa suunnassa mitattuna tarkalleen 4,0 cm.
- Kun punnus on tällä korkeudella, päästä nopeasti irti narusta ja mittaa punnuksen saama nopeus radan alimmassa kohdassa. Toista mittaus vähintään 10 kertaa.
- Missä muodossa punnuksen mekaaninen energia oli aloituskohdassa?

- Mitä mekaanista energiaa sillä on alimassa kohdassa?
- Laske potentiaalienergian muutos ja liike-energia alimassa kohdassa. Jos mahdollista, mittaa nopeus uudelleen, kun punnus palaa taas alimpaan kohtaansa.
- Vertaa tuloksia.

Johtopäätös: Energian säilymislain nojalla voidaan kirjoittaa suureyhtälöitä, joissa merkitään eri muodoissa esiintyviä energiamääriä yhtäsuuriksi. Jos riittävän monen muuttujan arvo tunnetaan, yhtälöstä voidaan ratkaista jokin tuntematon suure ja sen arvo voidaan laskea. Menetelmää sanotaan *energiaperiaatteeksi*. Usein energiaperiaatteeksi sanotaan myös energian säilymislakia. Energia-käsitteen ylivoimainen käyttökelpoisuus johtuu sen monipuolisuudesta. Energiaperiaatteella voidaan ratkaista lähes minkä tahansa fysiikan alueen ongelmia mekaniikasta ydinfyysiikkaan, ja kaikkea siltä väliltä. Seuraavassa työssäkin käytetään energiaperiaatetta.

Tutkimus 5. Miten mopon jarrutusmatka riippuu nopeudesta?

Välineet: Mopo, metrimitta ja sekuntikello.

- Tehkää mittaukset tasaisella, pehmeällä alustalla.
- Merkitse maahan kaksi viivaa kymmenen metrin päähän toisistaan.
- Lähetä mopo liikkeelle niin kaukaa, että se on varmasti saanut tasaisen nopeuden tullessaan ensimmäiselle viivalle.
- Anna mopon tulla ensin tasaisella nopeudella, joka on nopeusmittarin mukaan noin 5 km/h. Mittaa ja merkitse muistiin nopeuden tarkempaa määrittämistä varten aika, jonka mopo käyttää 10 metrin matkaan juuri ennen jarrutusta.
- Mittaa ja merkitse muistiin jarrutusmatka, kun ajaja tekee lukkojarrutuksen jälkimmäisen viivan kohdalla. Toista mittaus

muutamia kertoja.

- Mittaa 10 metrin matkaan kulunut aika ja jarrutusmatka samalla tavalla nopeuden ollessa noin 10 km/h, 15 km/h ja 20 km/h.
- Laske kussakin tapauksessa sekuntikellon lukemista mopon nopeus metreinä sekunnissa jarrutuksen alkaessa.
- Piirrä käsin tai tietokoneella graafinen esitys, jossa on vaaka-akselilla nopeus v ja pystyakselilla jarrutusmatka s . Millainen näyttää olevan s :n ja v :n välinen verrannollisuus?

Kun jarrutus alkaa, mopon liike-energian määrä on $1/2 mv^2$. Jarrutuksen päättyessä mopolla ei ole liike- eikä lisääntynyttä potentiaalienergiaa, jos alusta oli tasainen. Mihin muotoon kitkavoima muutti liike-energian?

Kitkavoiman tekemän työn määrä on kitkavoiman ja jarrutusmatkan tulo: $W = Fs$. Kitkavoiman suuruus F on suoraan verrannollinen alustan tukivoimaan mg : $F = \mu mg$, missä μ on niin sanottu kitkakerroin.

Koska tehdyn työn määrä on yhtäsuuri kuin muuttuneen energian määrä, on $Fs = 1/2 mv^2$ eli $\mu mgs = 1/2 mv^2$. Ratkaise tästä yhtälöstä s . Saatu suureyhtälö on muotoa $s = kv^2$. Siten teorian mukaan jarrutusmatka s on suoraan verrannollinen nopeuden neliöön v^2 .

- Piirrä mittaustuloksistasi vielä kuvaaja, jossa on vaaka-akselilla nopeuksien neliöt v^2 ja pystyakselilla jarrutusmatkat s . Millainen on kuvaajan muoto? Määritä kuvaajasta kerroin k . Määritä kertoimen k avulla mopon renkaiden ja alustan välisen kitkan kitkakerroin.

Poliisit käyttävät äsken johdettua tietoa hyväksi tutkiessaan kolaripaikkoja: jos kitkakerroin tunnetaan, niin mitä voidaan laskea jarrutusjäljen pituudesta.

Koska säteen suuntaisen kokonaisvoiman suunta on kohti ympyrän keskipistettä, tätä summavoimaa sanotaan joskus keskihakuvoimaksi. Tätäkin termiä on syytä välttää, koska sen käyttäminen johtaa helposti harhakäsitykseen, että keskihakuvoima aiheutuisi ympyräliikkeestä. Asiahan on täsmälleen päin vastoin: ympyräliike aiheutuu mistä tahansa keskipistettä kohti suuntautuvasta voimasta. Erityisesti edellisistä tutkimuksista näkyy, että mitään *keskipakovoimaa ei ole olemassa*. Jos esineeseen vaikuttaisi keskipistettä kohti vaikuttavan kokonaisvoiman lisäksi keskipisteestä poispäin vaikuttava, yhtäsuuri "keskipakovoima", niin millaisessa liiketilassa esine olisi?

Tehtävä 2.1. Keskipistettä kohti suuntautuva kokonaisvoima voi aiheutua yhdestä tai useammasta vuorovaikutuksesta.

- Mistä vuorovaikutuksesta aiheutuva voima pitää Kuun kiertoradallaan? Miksi Kuu kiertää Maata eikä Maa Kuuta?
- Mistä Kuu on alun perin saanut liike-

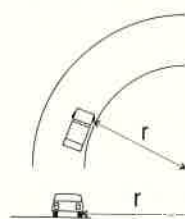
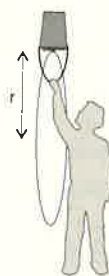
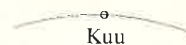
energiansa? Saako se jostain lisää liike-energiaa, vai miten selität, että se ei putoa Maahan?

- Jos avaruusasemasta, joka on monta vuotta kiertänyt Maata ympyräradalla ilmakehän yläpuolella, loppuu rakettimoottoreiden polttoaine, niin mitä sen liikeradalle tapahtuu?

- Mistä vuorovaikutuksista aiheutuu pystytasossa pyörittämässäsi marjasangossa päällimmäistä marjaa ympyräradalla pitävä kokonaisvoima?

- Mikä voima pitää auton ympyräradalla auton kääntyessä kadunkulmassa?

- Entä kun auto liikkuu kallistetussa tienkaarteessa?



Pyörimisliikkeen suureita

Tutkimus 3. Sähkömoottorin kierrostaajuuden mittaaminen stroboskoopin avulla.

Työohje:

- Tutki aluksi, käyttääkö stroboskoopin näyttölaite yksikkönä kierr./s vai kierr./min eli RPM.
- Kiinnitä sitten sähkömoottorin akseliin pahvilevy, johon on piirretty viiva (= ympyrän säde).
- Käynnistä moottori ja säädä sen pyörimistaajuus halutuksi. Älä koske sen jälkeen moottoriin.
- Etsi stroboskoopilla ensin suurin taajuus, jolla viiva näkyy kahtena vastakkaissuuntaisena säteenä.

- Pienennä sitten taajuutta hitaasti, kunnes näet ensimmäisen kerran säteen pysähtyneenä, ja lue stroboskoopin taajuus.
- Nyt stroboskooppi välähtää täsmälleen kerran joka kierroksella, joten moottorin kierrostaajuus on sama kuin stroboskoopin taajuus.
- Pienennä stroboskoopin taajuutta edelleen. Millä taajuudella näet säteen seuraavan kerran pysähtyvän?
- Montako kierrosta moottori nyt pyörittää stroboskoopin välähdysten välisenä aikana?

Ympyräliikkeessä olevan esineen, kuten äänilevyn, pyörimisen etenemistä on kätevää mitata *kiertymiskulmalla* φ .

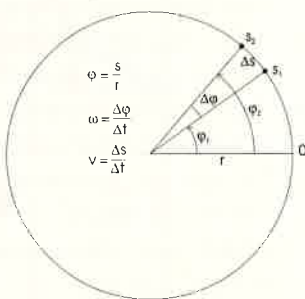
Pyörimisnopeus on käytännöllistä ilmoittaa esimerkiksi *kierrostaajuuden* n avulla.

Toinen mahdollisuus on ilmoittaa, kuinka suuren kulman levy kiertyy sekunnissa. Tätä suuretta sanotaan *kulmanopeudeksi* ω .

Pyörimisen kiihtyvyyttä kuvaa hyvin *kulmakihtyvyys* α , joka kertoo kulmanopeuden muutoksen aikayksikköä kohti.

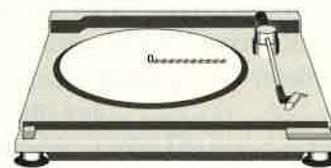
Alla on muutamia pyörimisliikkeen suureita sitovia suureyhtälöitä. Jos kaipaavat tarkempaa esittelyä, tutki oppikirjaasi!

- kulma $\varphi = s/r$
- kulmanopeus $\omega = \Delta\varphi/\Delta t$
- kierrostaajuus n : Koska yksi kierros eli täysi kulma on 2π radiaania, on $\omega = 2\pi n$.
- kierrosaika $T = 1/n$
- ratanopeus v : Koska yhden rata kierroksen pituus $= 2\pi r$, niin $v = 2\pi r/T = 2\pi r n = \omega r$.
- kulmakihtyvyys $a = \Delta\omega / \Delta t$
- ratakihtyvyys $a = \Delta v / \Delta t = r \Delta\omega / \Delta t = r\alpha$

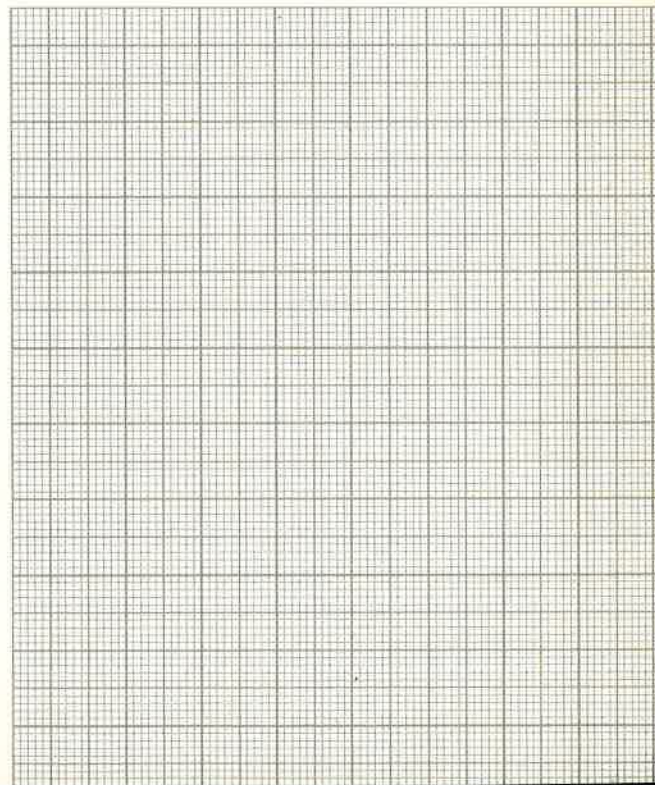


Tutkimus 4. Levysoittimen kierrostaajuuden mittaaminen. Kolikkoa ympyräradalla pitävän voiman mittaaminen.

Välineet: levysoitin, pahvia, perunajauhoja, kymmenpennisiä, sekuntikello, omatekoisen kiihtyvyyssmittari.



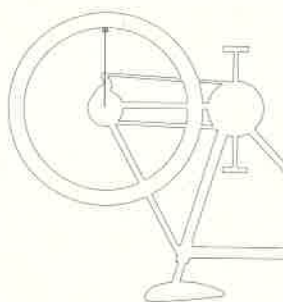
- Mittaa sekuntikellon avulla levysoittimen levylautasen suurin mahdollinen kierrostaajuus ja laske sitä vastaava kulmanopeus.
- Lado kymmenpennisiä jonoon säteen suuntaisesti (keskitapista alkaen) pahvilevyille, joka on laitettu levylautasen päälle. Pahvin on oltava hyvin liukas. Liukasta sitä tarvittaessa perunajauholla.
- Määritä suurin ratanopeus, joka kymmenpennisellä voi olla nopeasti pyörivällä levylautasella. Tee määrittäminen lisäämällä kymmenpennisiä jonoon yksi kerrallaan.



- Millainen on uloimman vielä paikallaan pysyvän rahan liikeyhtälö, kun raha on ympyräradalla? Mikä tähän rahaan kohdistuva voima suuntautuu kohti keskitäpiä? Laske kyseisen voiman suuruus.
- Kuvaa piirroksella, mihin päin seuraava raha irtoamishetkellä lähti. Näet radan perunajauhopolystä. Piirrä kuvaan tähän rahaan vaikuttaneet voimat.
- Tutki kiihtyvyyksmittarilla (esimerkiksi läpinäkyvässä rasiassa olevalla, lankaan kiinnitetyllä punnuksella), onko levyllä 1) ratakiihtyvyyttä eli tangentiaalista kiihtyvyyttä ja 2) normaalikiihtyvyyttä eli säteen suuntaista kiihtyvyyttä. Jos on, onko kiihtyvyyden suunta kohti keskipistettä vai siitä pois?
- Miten normaalikiihtyvyys muuttuu säteen kasvaessa, jos kulmanopeus pysyy samana? Miten selität tuloksen?

Tutkimus 5. Kuinka suuri kulmanopeus ja ratanopeus pystytasossa pyörivällä polkupyörän pyörällä on oltava, että pinnan ympärille pantu pieni, sileä metallirengas pysyy juuri ja juuri vanteen vieressä?

Välineet: Polkupyörä, sekuntikello, viivoitin sekä pieni, sileäpintainen metallirengas, joka on poikki niin, että sen saa pujotetuksi pyörän pinnaan.



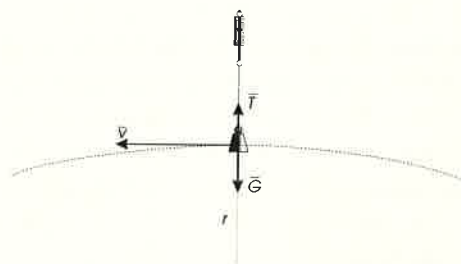
- Mittaa kierrosaika, kun metallirengas juuri ja juuri pysyy ylimmässä radan kohdassa putoamatta. Laske kulmanopeus ω ja ratanopeus v .

- Laske ratanopeus lähtien liikeyhtälöstä $|\Sigma \vec{F}_n| = m v^2/r$. Vertaa tuloksia.

Vihje: Kun metallirengas on ratansa ylimmässä kohdassa, metallirenkaaseen vaikuttavat, pyörän keskipistettä kohti suuntautuvat normaalivoimat ovat *painovoima* ja *vanteen tukivoima*. Lisäksi metallirenkaaseen voi vaikuttaa metallirenkaan ja pinnan välinen *kitkavoima*. Kun rengas pysyy radallaan juuri ja juuri, vanteen siihen kohdistaman tukivoiman suuruus on nolla. Kitkavoiman suuruutta voidaan myös pitää vähäisenä, jos tutkimasi metallirengas on sileäpintainen.

Tehtävä 2.2. Selitä seuraavat pyörimisilmiöt mekaniikan peruslakien mukaisesti (siis ilman ”keskipakovoimaa”, jota ei todellakaan ole olemassa).

- Miksi tunnet istuessasi autossa painautuvaksi kaarteessa ulkokaarteeseen puolelle?
- Miksi Maa pysyy Aurinkoa kiertävällä radalla putoamatta Aurinkoon?
- Kun punnitset samalla jousivaa’alla samaa punnusta pohjoisnavalla ja päiväntasaajalla, saat eri tuloksen. Millä lailla tulokset eroavat ja miksi?
- Miksi vesi irtoaa vaatteista pesukoneen niitä lingotessa?
- Miksi isompimassaiset hiukkaset asettuvat sentrifugissa pyörivän koeputken pohjalle?



Tutkimus 2. Kuuloalueen testaaminen.

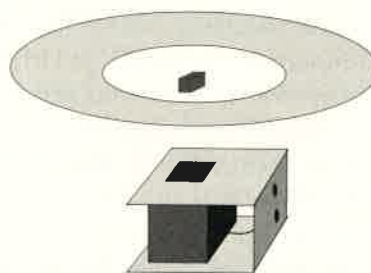
Äänigeneraattori tuottaa jatkuvaa, säännöllistä sähkövärähtelyä. Värähtelyn taajuutta voidaan muuttaa säätönupista kiertämällä. Värähtelyä vastaava ääni saadaan kuulumaan kaiuttimesta. Kuuloaisti tajuaa eritaajuiset äänet eri korkeina. Tutki äänigeneraattoria käyttäen, kuinka korkeita ja kuinka matalia ääniä voit kuulla. Mikä on korkeimman ja matalimman säveleksi aistimasi äänen taajuus?

Kaiutin äänilähteenä

Tutkimus 3. Kaiuttimen toimintaperiaatteen tutkiminen.

Välineet: Kertakäyttölautanen, voimakas, pienikokoinen kestopagneetti, käämi ja sähköisen signaalin lähde kuten radionauhuri tai äänigeneraattori. Purettu kaiutin, ehjä, koteloimaton kaiutin ja 1,5 V:n sähköpari.

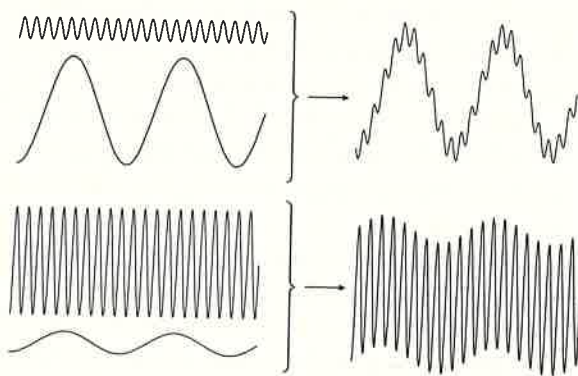
Kovaääninen eli kaiutin on nykyään niin yleinen äänentuottaja, että sen toimintaan kannattaa tutustua. Kun äänigeneraattori tai muu sähkövärähtelyn lähde kytketään kaiuttimeen, sen kalvo alkaa värähdellä syötetyn värähtelyn taajuudella. Edestakaisin värähtelevä kalvo aiheuttaa ilmassa tihentymiä ja harventumia, siis pitkittäistä aaltoliikettä eli painevaihtelua, jonka kuuloaisti tulkitsee ääneksi, jos sen taajuus on kuuloalueella. Mutta miten kovaääninen oikein toimii? Toimintaperiaate selviää, kun rakennat kaiuttimen mallin kertakäyttölautasesta tai mukista, magneetista ja käämistä Mallikaiutin toimii sitä paremmin, mitä joustavampi lautasen tai mukan pohja on.



- Kiinnitä magneetti pahvi- tai muovilautasen taakse keskelle esimerkiksi teipillä tai sinitarralla. Aseta pöydälle käämi, jossa on noin 300 lankakierrosta. Aseta lautanen käämin päälle niin, että magneetti on käämin aukon kohdalla, sen sisällä. Kytke käämin päät esimerkiksi radion lisäkaiuttimiliitäntään tai äänigeneraattoriin. Pitele käämiä pöytää vasten. Miksi kaiutin alkaa tuottaa ääntä?
- Tutki käytöstä poistettua, purettua kaiutinta. Ääntä tuottavan pahvikartion takaosaan kiinnitetty äänikela on kahden pyöreän kestopagneetin välissä. Kun äänikelaan johdetaan sähköä, se muuttuu sähkömagneetiksi. Kuten tiedät, magneetit hylkivät ja vetävät toisiaan puoleensa. Kalvon värähtelyn aiheuttaa siis kaiuttimen runkoon kiinnitetyn kestopagneetin ja joustavaan äänikartioon kiinnitetyn äänikelan sähkömagneetin vuorovaikutus.

Tutkimus 4. Miten kaiutin voi toistaa samanaikaisesti erikorkuisia säveliä?

Vastaus on oikeastaan hyvin yksinkertainen: samalla tavalla kuin muutkin äänilähteet. Yksi ja sama äänilähddehän voi synnyttää samanaikaisesti monta eritaajuista ääntä. Ajattele vaikka kitaraa tai pianoa. Jokainen näistä äänistä erikseen soitettuna saisi ilmamolekyylit värähtelemään omalla taajuudellaan. Koska ilmahiuksaset eivät voi samanaikaisesti olla monessa eri paikassa, monentaajuisista aalloista koostuvaa ääntä vastaa niiden yhdistelmä, *interferenssiaalto*, jonka tahdissa ilmamolekyylit värähtelevät.



Jos kaiuttimeen syötetään matalataajuinen värähtely, kalvo värähtelee sen tahdissa hitaasti.

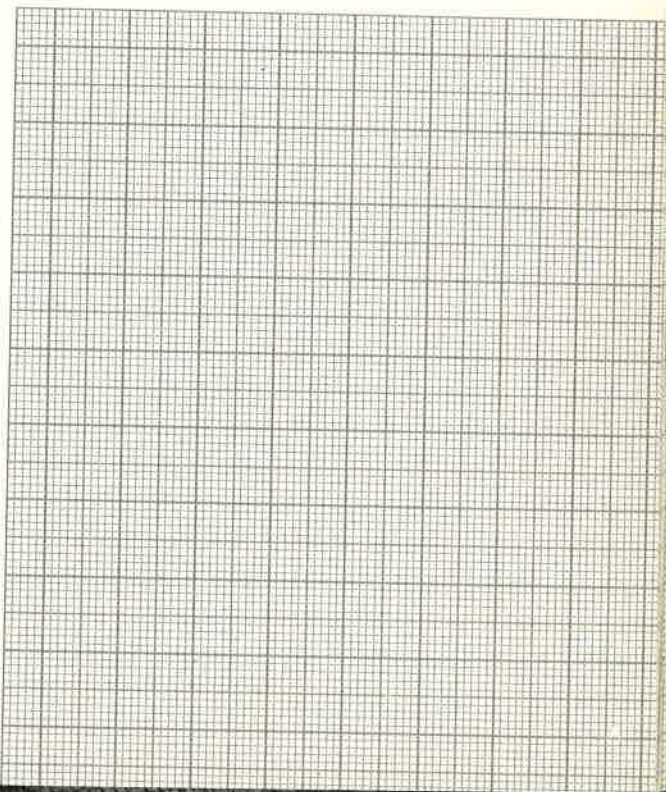
- Kokeile tätä kytkemällä koteloimaton kaiutin äänigeneraattoriin. Säädä värähtelytaajuudeksi 2 – 10 Hz ja seuraa kalvon värähtelyä. Jos äänigeneraattori ei tuota niin matalataajuisia värähtelyjä, kytke kaiuttimen napojen välille 1,5 V:n sähköpari. Kun kytket virran säännöllisesti päälle ja pois, näet kalvon värähtelevän kytkemistahdissa. Käännä sähköparin napaisuus ja kokeile uudelleen.
- Säädä sitten äänigeneraattorin taajuutta suuremmaksi ja tunnustele käsin, miten kalvo värähtelee.
- Jos kaiuttimeen johdetaan sekä matalan että korkean taajuuden sisältävä interferenssiaalto, kaiutin värähtelee samanaikaisesti edestakaisin korkealla taajuudella ja matalal-

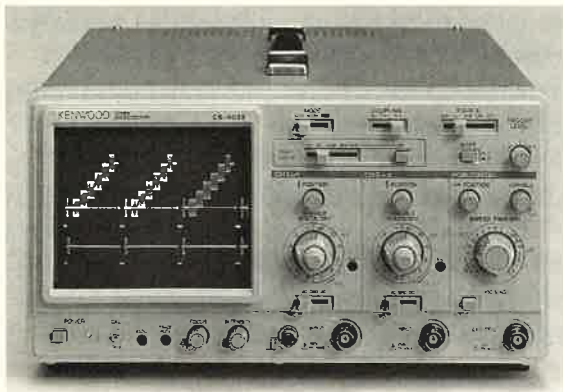
la taajuudella saaden ympäröivän ilman värähtelemään samalla tavalla.

- Kokeile esimerkiksi syntesiojalla, kahdella äänigeneraattorilla tai äänigeneraattorilla, ääniraudalla ja mikrofoniilla. Miksaa eli yhdistä signaalit ennen kaiuttimeen kytkemistä!
- Voit jäljitellä kaiuttimen kalvon liikettä kädelläsi: liikuta rannetta nopeasti edestakaisin ja kyynärvartta samanaikaisesti hitaammassa tahdissa edestakaisin.

Oskilloskooppi

Ääniaallot ovat pitkittäistä aaltoliikettä, eli ne koostuvat äänilähteestä joka suuntaan etenevistä painevaihteluista eli perättäisistä ilman tihentymistä ja harventumista. Mikrofonin muuttaa äänivärähtelyn sähköiseksi signaaliksi, jonka jännite vaihtelee äänenvoimakkuuden mukana; jännite on suurimmillaan niillä ajanhetkillä, joilla äänenpaine on suurimmillaan.





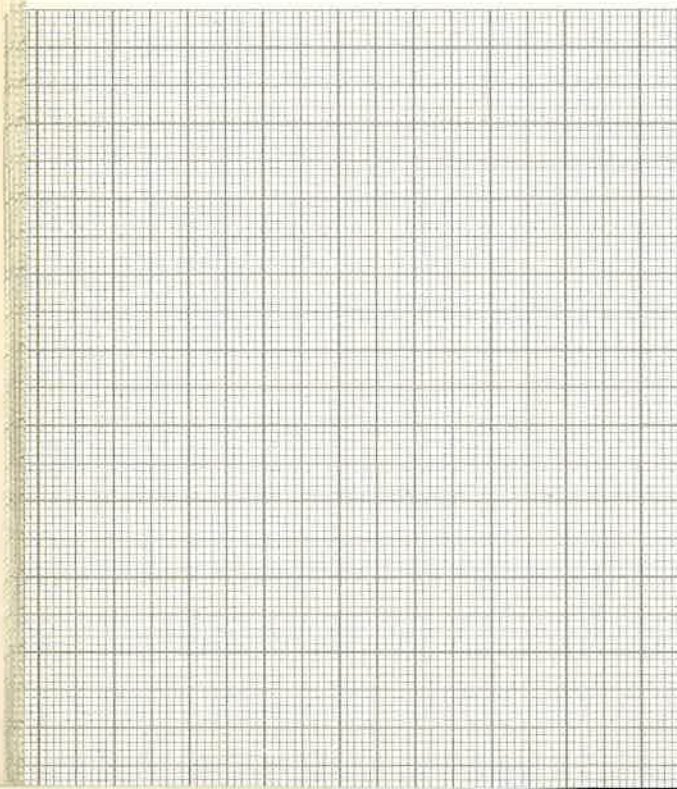
Oskilloskooppi on laite, joka näyttää sähköisen signaalin jännitteenmuutokset kuvaputkella. Siinä pannaan elektronisuihku kulkemaan halutussa ajassa näyttöruudussa vasemmalta oikealle ja aloittamaan taas sama liike alusta. Elektronisäteen jälki näkyy ruudulla valoisana pisteenä. Koska piirtäminen tapahtuu vaakasuunnassa tunnetulla vakionopeudella, vaaka-akseli voidaan ajatella aika-akseliksi. Jos oskilloskooppiin ei tule mitään tutkittavaa jännitettä, elektronisäteen jälki näkyy vaakasuorana. Kun skooppiin

kytketään tutkittava jännite, se poikkeuttaa kuvapistettä pystysuunnassa sitä enemmän, mitä suurempi jännite on. Siten oskilloskooppi näyttää mikrofoniin tulevan ääniaallon voimakkuuden ajan funktiona, ikään kuin poikittaisina aaltolina. Muistioskilloskoopin kuva voidaan tallentaa ja jättää ruutuun näkymään. Kaksikanavainen oskilloskooppi pystyy näyttämään kaksi kuvaajaa yhtä aikaa. Sillä pysytään myös näyttämään kuvaajien summakäyrä, joka vastaa yhdistyneiden aaltojen eli interferenssiaallon kuvaajaa. Sivulla 121 on kuvaus oskilloskoopin säätimien toiminnasta.

Tietokone ja siihen liitetty mittauskortti ja graafinen mittausohjelma, tai äänikortti ja sitä käyttävä musiikkiohjelma (esimerkiksi sampleri-samplemuokkausohjelma) vastaa toiminnaltaan muistioskilloskooppiä. Tavallisen oskilloskoopin toimintaperiaate on analoginen. Se tarkoittaa, että kuvaa piirtävää elektronisuihkuä ohjataan suoraan tutkittavalla signaalilla. Välissä voi tietenkin olla vahvistin tai vaimennin.

Tietokoneen toiminta on numeerista eli digitaalista. Digitaalinen oskilloskooppi, tietokoneen mittauskortti tai äänikortti ottaa sille syötetyn signaalin jännitteestä näytteitä säännöllisin aikaväleihin ja piirtää niiden perusteella kuvaajan. Äänen tutkimista varten näytejännite on pystyttävä mittaamaan hyvin tarkasti ja lyhyin aikaväleihin. Erottelukyky eli resoluutio riippuu siitä, miten monella bitillä jännitetaso ilmoitetaan. Kahdeksan bitin resoluutio eli erottelukyky mahdollistaa 2^8 eli 256 jännitetasoa, mikä ei yleensä ole riittävä määrä. Vasta 12 bitin erottelukyky eli $2^{12} = 4\,096$ eri jännitetasoa antaa kohtalaisen hyvän kuvan ääniaallosta, mikäli näytteenottotaajuus on riittävän suuri.

Tehtävä 5.1. a) Musiikki tallennetaan CD-levylle numeerisesti. Ota selvää, kuinka suurta näytteenottotaajuutta ja monenko bitin erottelukykyä CD-tallenteissa käytetään.



- b) Selvitä käyttämäsi äänikortin tai mittauskortin erottelukyky ja mahdolliset näytteenottotaajuudet.

Äänten erilaisuus

Tutkimus 5. Erilaisten äänten aaltomuotojen tutkiminen.

Välineet: Oskilloskooppi ja mikrofoni vahvistamiseen tai tietokone, äänikortti ja musiikkiohjelma tai mittauskortti ja mittausohjelma. Elektroninen kosketinsoitin, sampleri tai akustisia soittimia tai muita äänilähteitä, kuten urkupilli, äänirauta ja kahdella silmukkaruuvilla laudanpätkään kiinnitetty, kiristetty metallilanka tai kitaran kieli. Viimeksimainittu soitin tuntee kansanomaisen nimen sippiviulu.

Oskilloskoopilla tai tietokoneen näytöllä näkyvää äänen aaltomuodon kuvaajaa sanotaan usein äänen *oskillogrammiksi*.

- Tutki eri soitinäänten ja lauluäänen oskillogrammeja ja piirrä kuvaajat.
- Muuttuuko soittimen (esim. huilun) äänen oskillogrammikäyrän muoto, jos muutat 1) äänen voimakkuutta tai 2) korkeutta?
- Kun kuuntelet musiikkia, pystyt erottamaan äänimassasta lauluäänen ja ainakin joi-takin soittimia. Miten eri tavoin tuotetut, samankorkuiset sävelet sitten poikkeavat toisistaan? Yhden eron tiedät edellisen tutkimuksen perusteella: eri tavoin tuotetuilla äänillä on erilaiset oskillogrammit.

Äänelle, jonka kuvaaja on jatkuva sinikäyrä, on annettu nimi *äänes*.

Lähes kaikki perinteiset soittimet synnyttävät sinimuotoisen perusäänksen, mutta sen lisäksi niissä syntyy *harmonisia ylä-ääneksiä*, jotka soittimen rakenteen ja soittotavan mukaan ovat voimakkuudeltaan erilaisia ja antavat soittimen äänelle tunnusomaisen *äänensävyyn* eli *-värin*. Äänelle, jolla on tun-

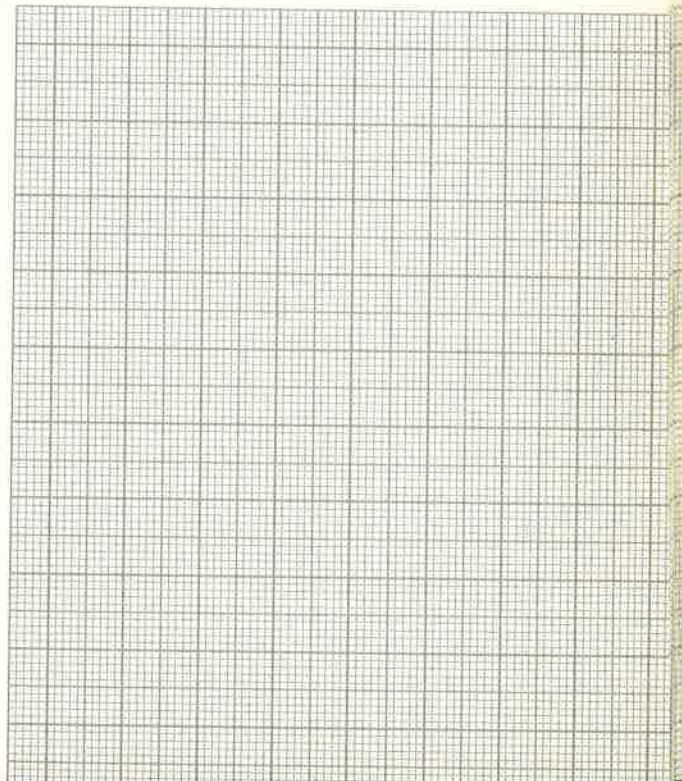
nusomainen äänenväri, on annettu nimi *sävel*.

Harmonisten ylä-äänesten taajuudet ovat perustaajuuden monikertoja. Jos perusäänksen taajuus on esimerkiksi 400 Hz, harmonisten ylä-äänesten taajuudet ovat 800 Hz, 1 200 Hz, 1 600 Hz, 2 000 Hz ja niin edelleen. On havaittu, että yleensä yhdellätoista ensimmäisellä ylä-ääneksellä on ratkaiseva vaikutus äänen sointiväriin.

Perusäänes eli ensimmäinen osäänes on voimakkain usein, mutta ei aina. Kuitenkin perusäänksen taajuus määrää, minkä korkeuisena kuuloaisti äänen hahmottaa. Kuuloaisti siis tunnistaa, minkä taajuiseen perusäänkseen mikin ylä-äänessarja liittyy, vaikka perusäänestä ei kuuluisikaan.

Harmonisten ylä-äänesten ja perusäänksen lisäksi monissa soittimissa syntyy myös kohinaa.

Oskillogrammi kuvaa summa-aaltoa, joka syntyy soittimessa syntyvien osäänenesten (perusäänksen ja sen harmonisten ylä-äänesten) ja kohinan yhdistyessä eli interferoitessa.



spektriä aluksi, kun lamppu on melko himmeä, punertava, ja sitten kirkkaan lampun spektriä. Varo kuitenkin ylijännitettä, ettei polttimon hehkulanka sula poikki!

– Miten lämpötila vaikuttaa spektrin paikkaan?

– Määritä lyhin ja pisin aallonpituus, joiden välissä kirkkaan lampun spektri on.

– Koska valolla nähtävästi on aaltoliikkeen ominaisuuksia, se toteuttaa aaltopin perusyhtälön, jonka mukaan aaltojen etenemisnopeus on aallonpituuden ja taajuuden tulo: $v = \lambda f$. Valon nopeutta merkitään yleensä c -kirjaimella. Siis $c = \lambda f$. Laske edellä mittaamiesi aallonpituuksien avulla likiarvot rajataajuuksille, joiden välissä näkyvän valon taajuudet ovat. Valon nopeus ilmassa on lähes sama kuin tyhjiössä: $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s likimäärin.

• Loistelampun viivaspektri

– Millainen on loistelampun spektri? Mittaa lukulampun loisteputken spektriviivojen aallonpituudet samaan tapaan kuin LEDistä. Viivat terävöityvät, kun panet välittömästi pystysuorassa olevan loiste-

putken eteen esim. pahvista leikatun rako-himmentimen.

Tehtävä 6.2. Loistelampussa valon synnyttää pienipaineinen elohopeahöyry. Koska elohopean säteilemä valo on silmälle epämiellyttävän sinistä ja siinä on mukana paljon silmälle näkymätöntä ultraviolettivaloa, sitä muunnetaan loisteputken sisäpinnan *loisteaineilla* näkyväksi ja miellyttävämmän väriseksi.

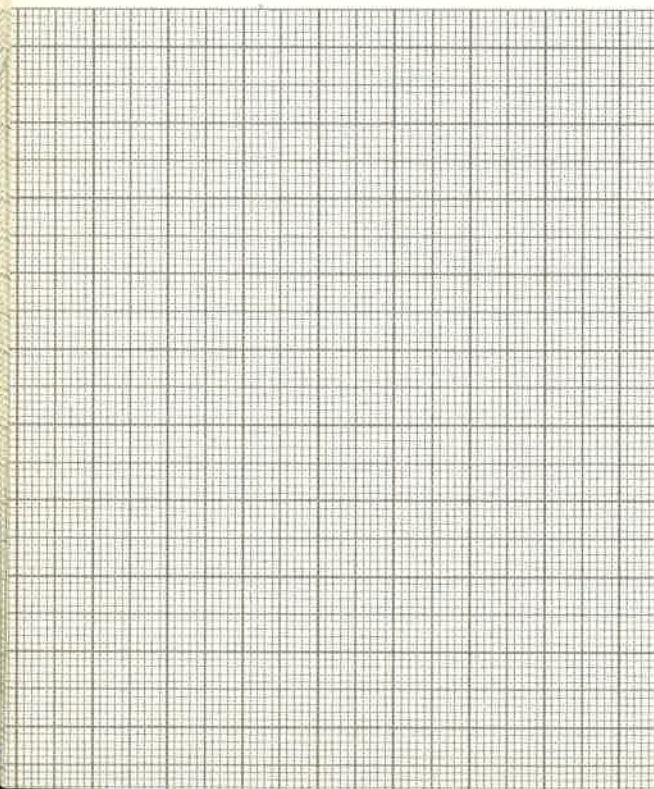
a) Etsi kirjallisuudesta tietoja loistevaloilmioista. Kirjoita vihkoosi lyhyt selostus siitä, miten loisteputkessa sininen ja ultraviolettivalo muunnetaan näkyväksi ja punertavammaksi.

b) Tutki taulukkokirjasta, minkä aineen aiheuttamia loistelampun spektriviivat voisivat olla. Löydätkö elohopean spektriviivoja?

Tutkimus 4. CD-levyn raitojen välin mittaaminen.

CD-levyn pintaan on tallennettu informaatiota valoa heijastavina ja heijastamattomina täplinä. Täpläjuova on levyllä spiraalinmuotoisena raitana. Seuraavaksi saat mitata, mikä on spiraalin kierrosten välimatka CD-levyllä. Etsi sitten hakuteoksista tämä tieto ja vertaa sitä mittaamalla saatua arvoon. Muutkin tiheäraitaiset esineet heijastavat valoa CD-levyn pinnan tapaan väreihin jakautuneena. Monet eläimetkin käyttävät hilavii-voitusta. Muistuuko mieleen yhtään? Voit tutkia käytöstä poistetun CD-levyn sijaan muitakin hiloja, voit esimerkiksi määrittää silkkikankaan lankojen välimatkan.

VAROITUS: Laservalo voi vahingoittaa silmää, jos se vaikuttaa pidempään verkkokalvon yhteen kohtaan. Siksi mittaus-huonetta ei pidä pimentää enempää kuin on välttämätöntä. Käännä katseesi heti pois, jos silmään osuu laserista suoraan lähtenyt tai heijastunut säde.



CD-levyä voidaan pitää valoa heijastavana hilana. Valo voi siis heijastua vain sellaisissa kulmissa α , joissa valoaallot, jotka ovat lähteneet kahdesta vierekkäisestä heijastavasta kohdasta, ovat samassa vaiheessa. Siis heijastavalle hilalle pätee sama hilayhtälö $d \sin \alpha = k\lambda$ kuin läpäisyhilalle, kun tarkastellaan kohtisuorasti hilaan tulevaa valoa.

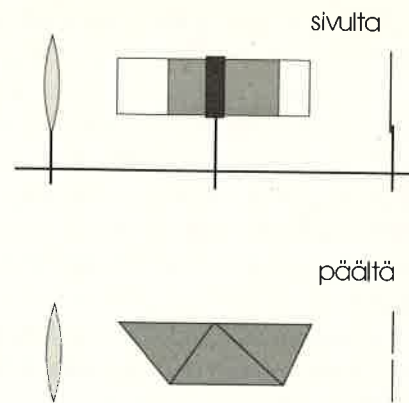
Kun valonlähteenä käytetään laseria, jonka monokromaattisen valon aallonpituus tunnetaan (He-Ne-laser: 632,8 nm), voidaan hilavakio eli heijastavien raitojen välimatka laskea. Suunnittele itse koejärjestely, tee tarvittavat mittaukset ja laske CD-levyn hilavakio. Tutki, pysyykö se samana levyn ulkoreunan ja sisäreunan lähellä.

Tutkimus 5. Spektrianalyysi liekkikoetta käyttäen.

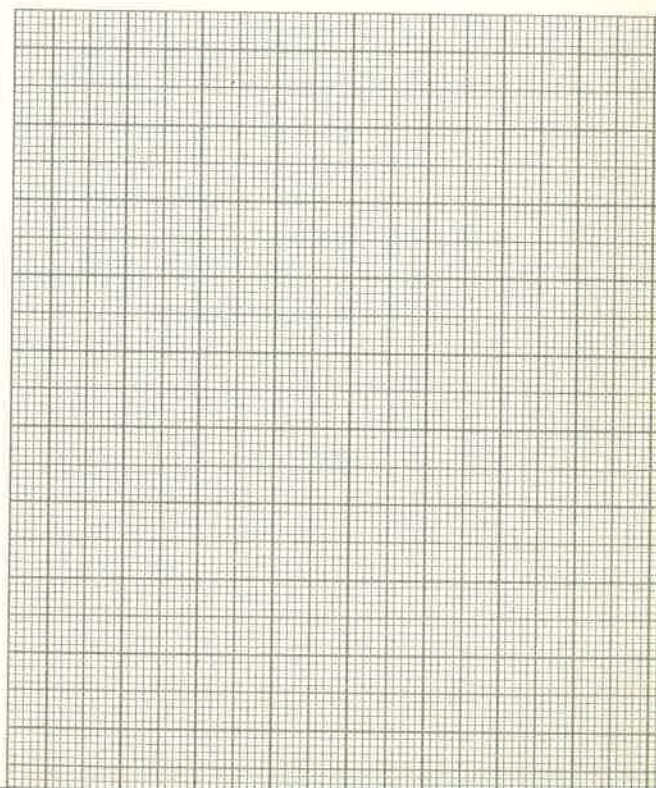
Liekkikoe on yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan tunnistaa monia aineita.

Jokaisella kaasumaisessa olomuodossa olevalla aineella on sille ominainen viivapektri. Tämä on seurausta eri aineiden atomien ja molekyylien elektroniverhojen erilaisuudesta. Koska spektri on aineelle ominainen sormenjälki, sitä voidaan käyttää aineiden tunnistamiseen, siis kemialliseen analyysiin.

Välineiksi tarvitset kaasupolttimen, lasiputken pätkiin kiinnisulatettuja krominikkelilangan pätkiä, laimeaa suolahappoa ja tutkittavia suoloja. Tutki esimerkiksi natriumkloridia ja kaliumkloridia. Tietysti tarvitset myös spektroskoopin tai spektrometrin. Voit käyttää valmista spektroskooppia tai tehdä sellaisen itse rakohimentimestä ja hilasta tai prismasta. Monilla kouluilla on kolmesta prismasta yhteen liimattu ns. suoraan hajottava prisma. Siitä saat oheisen kuvan mukaisesti erinomaisen spektroskoopin.



- Tee työ vetokaapissa tai avaa ikkunoita. Kiinnitä spektroskooppi stativiin ja suuntaa spektroskooppi kohti kaasupolttimen liekkiä. Kaada pienet määrät tutkittavia suoloja paperinpaloille. Varaa kullekin suolalle oma CrNi-lankapaukko.
- Sytytä kaasupoltin, kastele CrNi-lanka suolahapossa ja vie lanka liekkiin. Kuumenna sitä, kunnes liekki on väritön. Puhdista kaikki puikot tällä tavalla ennen aloittamista.
- Kasta sitten lankaa tutkittavassa suolassa.



Älä ota suolaa niin paljon, että sitä tippuu polttimelle!

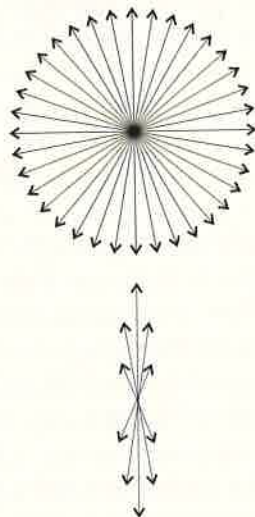
- Vie lanka liekkiin. Kirjoita muistiin liekin väri.
- Katso sitten värillistä liekkiä spektroskoopilla. Kirjoita muistiin spektriviivojen värit. Jos käytössäsi on asteikolla varustettu spektrometri, lue myös viivoja vastaavat aallonpituudet.
- Vertaa tulosta taulukkokirjassa ilmoitettuihin, kyseisen alkuaineen emissioviivojen aallonpituuksiin.
- Mikä taulukon aallonpituus vastaa natriumin keltaista viivaa? Entä kaliumin punaista?

Valon polaroituminen

Kiista valon aalto- ja hiukkasluonteesta näytti kallistuvan aaltomallin puolelle 1800-luvun alussa Thomas Youngin kaksoisrakokokeen ansiosta, valon interferenssi-ilmiöiden löydyttyä. Silloin heräsi kysymys, onko valo siten *pitkittäistä* vai *poikittaista aaltoliikettä*. Kaikki silloin tunnetut valoilmiot, kuten heijastuminen ja taittuminen rajapinnassa sekä taipuminen hilassa, voitiin selittää niin pitkittäisen kuin poikittaisenkin aaltoliikemallin avulla. Vaaka oli kuitenkin pitkittäisen aaltoliikkeen puolella, koska valon oletettiin etenevän kaikkialla läsnäolevassa, vaikkakin muuten huomaamattomassa aineessa, eetterissä. Nimittäin poikittaisen mekaanisen aallon eteneminen edellyttää väliaineelta kimmoisuutta, jota oli havaittu vain kiinteissä aineissa ja nesteiden pinnassa. Eetteriä ei voitu nähdä eikä tuntea, se oli hajutonta ja mautonta. (Tällä eetterillä ei ole mitään tekemistä niiden yhdisteiden kanssa, joita kemistit nimittävät eettereiksi!) Jos valo olisi poikittaista aaltoliikettä, oletetun eetterin tulisi silti olla niin kimmoisaa, että poikittaiset aallot voisivat edetä siinä.

Kuitenkin 1800-luvun alussa ranskalainen Etienne Malus huomasi Pariisin illassa katsellessaan valon heijastumista ikkunalaseista ilmiön, joka väistämättä tuli osoittamaan, että *valon aaltoliikkeen täytyy olla poikittaista*. Tätä ilmiötä kutsutaan *polaroitumiseksi*. Täydellisesti lineaarisesti polaroitunut poikittainen aalto värähtelee vain yhdessä tasossa. Siitä saat hyvän mielikuvan, kun ajattelet pitkää kierrejousta tai köyttä, joka on kiinnitetty seinään toisesta päästä ja jonka toista päätä heilutetaan esimerkiksi pystytasossa. Tätä tasoa sanotaan *polaroitumistasoksi*. Jousi voi tietenkin värähdellä myös vaakatasossa, esimerkiksi lattialla. Se voi samanaikaisesti värähdellä monessa tasossa. Jos värähtelyä tapahtuu lähes kaikissa mahdollisissa etenemissuoran kautta käyvissä tasoissa samalla

amplitudilla, poikittainen aaltoliike ei ole lainkaan lineaarisesti polaroitunutta. Jos värähtely on jossain tasossa voimakkaampaa kuin muissa, aaltoliike on polaroitunutta. Koska pitkittäisellä aaltoliikkeellä ei ole mitään värähtelytasoa, sen yhteydessä ei voida puhua polaroitumisesta lainkaan.

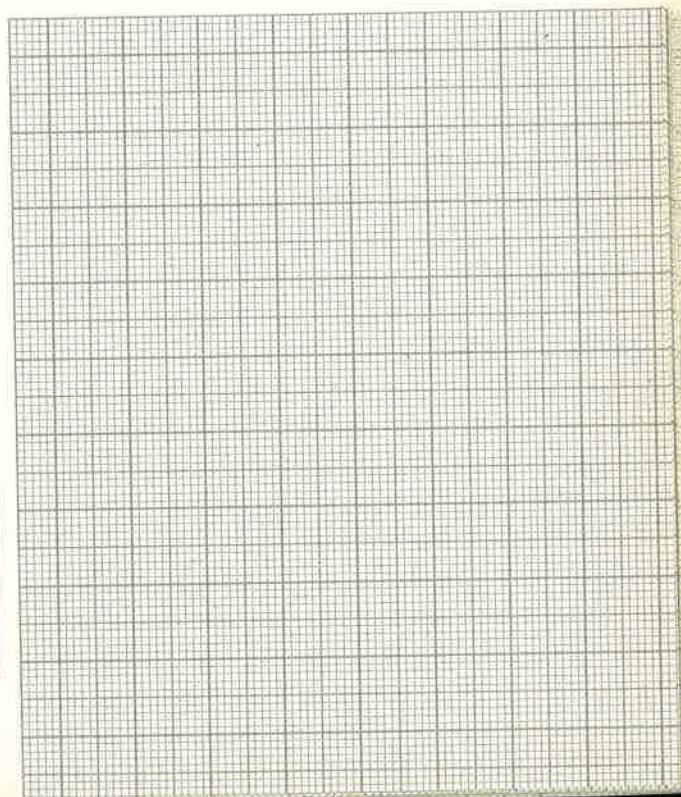
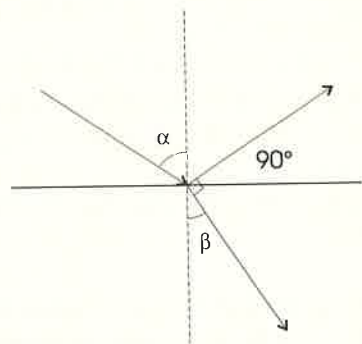


Malus'n havainto oli seuraavantapainen: kun valo heijastui pystytasossa olevasta ikkunalasista ja näin heijastunut valo vielä toisen kerran vaakasuorasta reunasta saranoidusta lasista, niin joissakin tapauksissa toisen kerran heijastuva valo hävisi kokonaan näkyvistä. Tavallinen pariisilainen ei mokomasta piittäisi, mutta Malus kiinnostui asiasta niin, että jatkoi tutkimuksia laboratoriossa. Hän totesi, että ilmiö on selitettävissä, jos oletetaan, että Auringon ja lampun valo on polaroitumaton poikittaista aaltoliikettä.

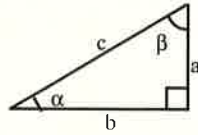
Kun valo tulee lasin pintaan, pinnasta heijastunut valo onkin osittain lineaarisesti polaroitunutta. Lasipinta heijastaa täydellisesti yhdessä tasossa värähtelevän valon. Sitä suoraan kohtisuorassa tasossa värähtelevää valoa ei heijastu lainkaan, mikäli valon tulokulma on sopiva. Muissa tasoissa värähtelevä valo heijastuu osittain. Loppuosa valosta etenee lasin sisään. Jos valo, joka polaroitui

heijastuessaan, kohtaa uuden lasipinnan sopivassa kulmassa, valoa ei heijastu juuri lainkaan.

Myöhemmin tutkimuksia jatkettaessa todettiin, että polaroituminen on voimakkainta, jos tulokulma on sellainen, että pinnasta heijastunut ja pinnan läpi menevä taittunut säde muodostavat suoran kulman. Tämä tunnetaan keksijänsä mukaan Brewsterin lakina. Myös muissa kulmissa tuleva valo polaroituu heijastuessaan, mutta vähemmän.



Tehtävä 6.3. a) Osoita taittumislakia $n_i \sin \alpha = n_t \sin \beta$ ja Brewsterin lakia käyttäen, että heijastunut valo on mahdollisimman täydellisesti lineaarisesti polaroitunutta, kun tulo- kulma α toteuttaa ehdon $\tan \alpha = n_t/n_i$. Vihje: Muistatko, että kun kahden kulman α ja β summa on 90 astetta, niitä sanotaan toistensa komplementtikulmiksi? *Komplementtikulman* sini on lyhemmin kirjoitettuna *kosini*. Siis $\sin \beta = \cos \alpha$, kun α ja β ovat toistensa komplementtikulmia.



b) Laske, missä kulmassa 1) veden pintaan ja 2) lasin pintaan tuleva valo polaroituu voimakkaimmin heijastuessaan.

Tutkimus 6. Valon polaroiminen polaroivalla suotimella.

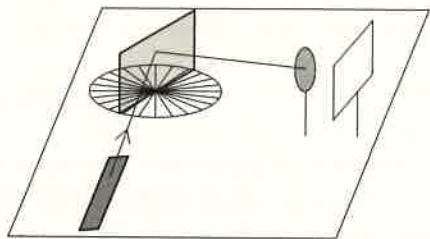
Myöhemmin on keksitty, että valoa voidaan polaroida paitsi heijastamalla lasipinnasta tai muusta eristepinnasta, myös nk. *polaroivilla suotimilla*, joiden pinnalla on ohut kerros

sopivanmuotoisia orgaanisia molekyylejä. Polaroiava suodin päästää lävitseen täydellisesti vain yhdessä tasossa värähtelevän valon. Sitä suoraan kohtisuorassa tasossa värähtelevä valo ei läpäise suodinta lainkaan. Muissa tasoissa värähtelevä valo läpäisee suotimen osittain. Suodin siis polaroi valon aivan samalla tavalla kuin heijastava lasipinta silloin, kun valo osuu lasin pintaan Brewsterin lain mukaisessa kulmassa. Näitä suotimia käytetään mm. aurinkolasien ”linssinä”.

- Irrota polaroivien aurinkolasien ”linssit”. Näin saat kaksi polaroivaa suodinta.
- Katso suotimen läpi kohti lamppua tai ulos, mutta ei suoraan kohti Aurinkoa. Kierrä suodinta eri asentoihin. Onko siniseltä taivaalta tuleva valo ja lampun valo polaroitunutta vai polaroitumatonta?
- Pane suotimet peräkkäin. Ensimmäisen suotimen läpäissyt valo on osittain lineaarisesti polaroitunutta. Mitä tapahtuu, kun kierrät suotimen eri asentoihin?
- Katso suotimen läpi esim. vaakasuorasta pulpetin pinnasta heijastunutta valoa. Kierrä suodinta eri asentoihin. Mitä havaitset? Miten selität ilmiön?
- Katso suotimen läpi pystytasossa olevasta kaapinovesta tai lasilevystä heijastunutta valoa. Kierrä taas suodinta. Missä asennossa suodin nyt hävittää heijastuneen valon parhaiten?
- Autolla ajaessa märästä tai jäisestä tienpinnasta silmiin heijastunut valo on hyvin kiu-sallista ja vaarallista. Selitä, miksi polaroivat aurinkolasit ovat sellaisessa tapauksessa paremmat kuin pelkät tummennetut lasit.
- Selitä, miksi polaroivilla aurinkolaseilla varustettuna näkee uima-altaan tai järven pinnan alle paremmin kuin tummennetuilla laseilla.
- Katso laskimesi näyttöä, numeronäyttöistä kelloa tai muuta nk. nestekidenäyttöä polaroivan suotimen läpi. Mitä huomaat?
- * Miten nestekidenäyttö toimii?

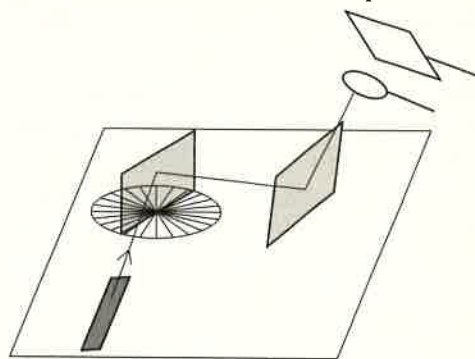
Tutkimus 7. Lasista heijastuneen valon polaroituminen.

Tutkitaan vähän tarkemmin lasipinnasta heijastuneen valon polaroitumista.

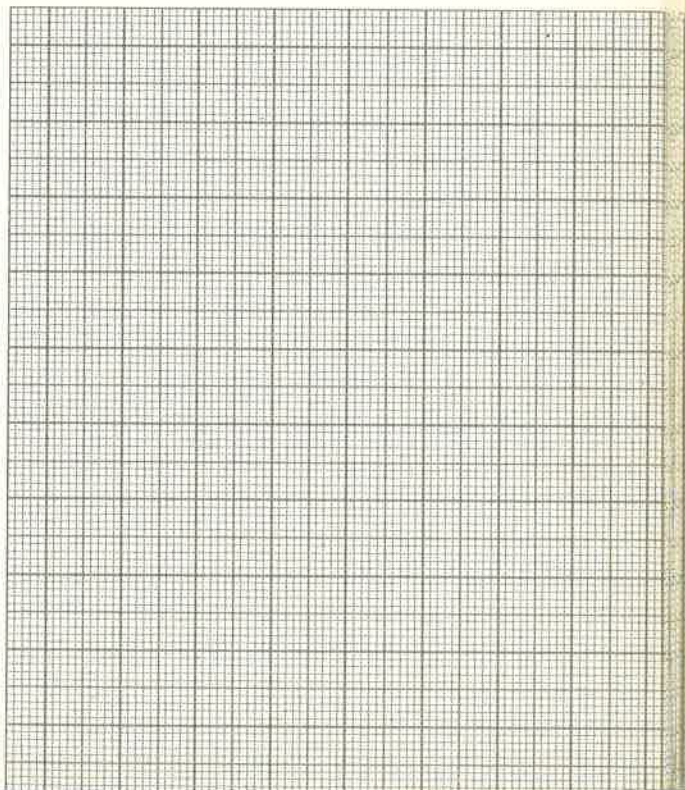


- Aseta kuvan mukaisesti lasilevy pystytasoon, mielellään astejaotuksella varustetun ympyrälevyn tai pahvin päälle.
 - Suuntaa siihen yhdensuuntainen valokeila. Pane heijastuneen valokeilan tielle polaroiva suodin, esimerkiksi polaroivien aurinkolasien "linssi".
 - Kierrä suodin sellaiseen asentoon, että suotimen läpi mennyt valo on himmeimmillään.
 - Pane tämän valokeilan tielle pieni valkoinen varjostin. Etsi sitten kääntämällä lasilevyä ja siirtämällä suodinta ja varjostinta sellainen valon tulokulma, että lasista heijastunut valo ei lankaan läpäise polaroivaa suodinta.
 - Millaista heijastunut valo silloin on?
 - Katso astelevystä valon tulokulma. Laske lasin taitekerroin Brewsterin lain avulla.
 - Tutki suotimella, onko lasin läpi mennyt osa valosta lainkaan polaroitunutta.
- b) Toistetaan nyt tilanne, jonka perusteella Malus keksi valon polaroitumisen.
- Anna äskeisen systeemin olla paikallaan niin, että pystytasossa olevasta lasista heijastunut valo on voimakkaimmin polaroitunutta.
 - Pane heijastuneen valokimpun tielle toinen lasilevy niin, että se on aluksi kohti-

suorassa tulevaa valokeilaa vastaan. Tuen alareuna pöytään tai esim. säädettävän tukitelineen päälle sinitarran palalla.

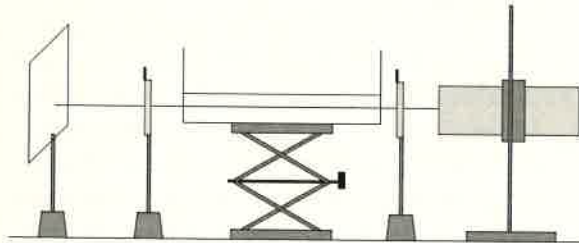


- Tutkikaa kääntämällä toista lasia vaakasuoran särmän ympäri ja siirtämällä samalla käsin suodinta ja valkoista varjostinta tai pahvikappaletta, missä asennoissa toinen lasilevy heijastaa valoa edelleen ja missä ei.
- Onnistuvatko kokeet, jos vaihdat lasilevyjen tilalle tavalliset peilit?



Tutkimus 8. Mitä polaroituneelle valolle tapahtuu, kun se kulkee sokeriliuoksen läpi?

- Tutki ensin polaroivalla suotimella, onko He-Ne-laserin valo polaroitunutta. Jos käytössä ei ole laseria, muukin yhden-suuntaisen valokeilan antava lamppu kelpaa.
- Liuota dekantterilasissa veteen muutama ruokalusikallinen tavallista hienoa soke-ria.



- Kaada liuosta suorakulmaisen, läpinäkyvän astian pohjalle n. senttimetrin paksuinen kerros. Jos käytät muuta valonlähdettä kuin laseria, liuosta tarvitaan enemmän. Pane astia säädettävälle alustalle.
- Asenna laserlaite tai lamppu niin, että säde kulkee astian koko pituudelta liuoksen läpi.
- Pane polaroiva suodin valon tielle ennen astiaa.
- Jos koululla on polaroiva suodin, joka on varustettu kiertymäkulman näyttävällä asteikolla, laita sellainen säteen tielle astian toiselle puolelle. Jos sellaista ei ole, improvisoi aurinkolasin "linssille" esim. pahvista ja sinitarraa pidin, josta näkee kiertymäkulman.
- Ota liuosastia pois. Kierrä asteikolla varustettu suodin sellaiseen asentoon, että se ei läpäise ensimmäisessä suotimessa polaroitunutta valoa lainkaan.
- Pane liuosastia paikalleen. Mitä huomaat nyt valosta?
- Kierrä asteikkosuodinta jälleen niin, että säde ei läpäise sitä.
- Mitä liuos näyttää tekevän valon polaroitumistasolle?
- Liuosta, jolla on mainittu ominaisuus, sanotaan *optisesti aktiiviseksi*. Mihin tarkoitukseen rakentamaasi laitetta voisi käyttää?

7. Todellinen kuva ja valekuva. Linssit ja optiset laitteet

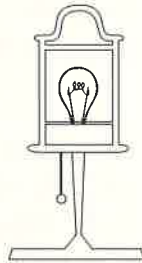
Todellinen kuva

Optinen laite muodostaa esineestä *todellisen kuvan* valkoiselle varjostimelle, jos kustakin esineen pisteestä lähtenyt, laitteen kautta kulkenut valo pääsee varjostimelle vain (lähes) yhteen pisteeseen.

Tutkimus 1. Reikähimmentimen muodostama kuva, "camera obscura".

Välineet: Suojaeristetty pöytävalaisin, jossa on kirkas (ei himmeä- tai opaalipintainen) 60 W:n hehkulamppu taikka kynttilä. Valkoista ja mattamustaa pahvia sekä isohko kynttiläläyty. Iirishimmennin tai mustia pahvikappaleita, joissa on erikokoisia reikiä.

Käytetään esineenä, josta kuva muodostuu, tavallisen kirkkaan hehkulampun hehkulankaa. Pane lamppu reiälliseen koteloon tai tavalliseen kynttilälälytyyn ja peitä sen sivut ja takalasi lyhdyn sisäpuolelta mattamustalla pahvilla, jotta hajavalon ei häiritse kokeita. Ota etulasi pois.



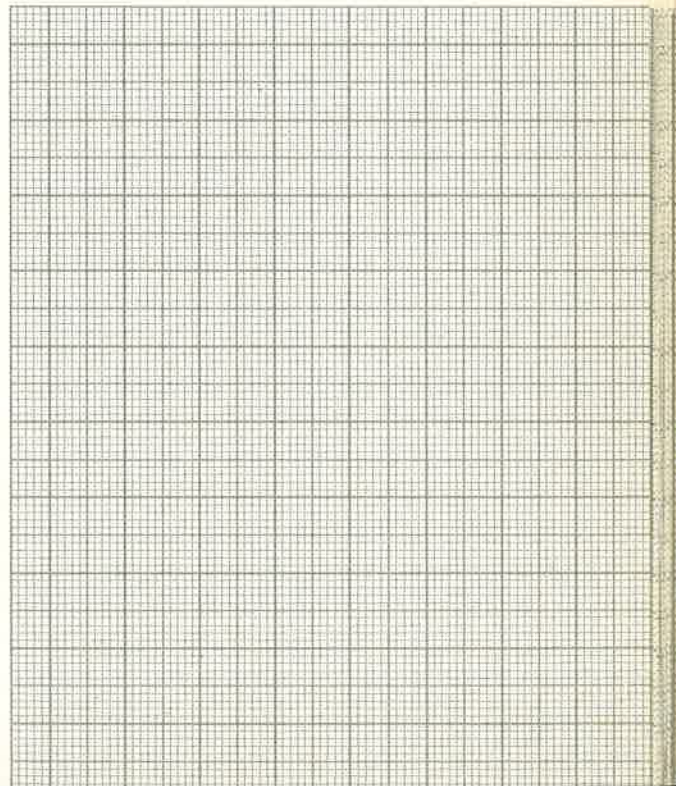
VAROITUS: Lampussa tulee olla asianmukainen liitäntäjohto ja pistoke. Et saa koskaan työntää pistorasiaan banaani-koskettimia. Niitä käytettäessä on hengenvaara ilmeinen! Katso, että ilma vaihtuu lampun ympäristössä, ettei se kuume-ne liikaa.

- Esineenä voi käyttää myös kynttilän liekkiä, mutta sen valoteho on niin paljon heikompi, että huoneen pimennyksen on oltava hyvä, jotta syntyvä kuva näkyisi selvästi.
- Pane pimennetyssä huoneessa valkoinen varjostin eri etäisyyksille valaisevasta esineestä eli lyhdyssä olevan lampun hehku-langasta.

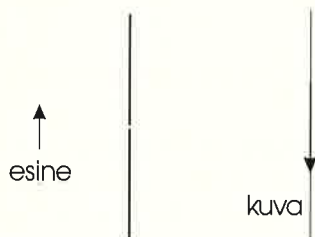
esine

varjostin

- Miksi varjostimelle ei muodostu esineestä kuvaa?
- Pane esineen ja varjostimen väliin iirishimmennin tai musta pahvi, jossa on pyöreä reikä, läpimitaltaan noin 2 cm.



- Miten päin on kuva, joka nyt muodostuu esineestä varjostimelle?
- Miten kuva muuttuu, kun pienennät reikää?
- Miten kuvan koko muuttuu, jos siirrät valkoista varjostinta ensin lähemmäs reikää ja sitten kauemmas siitä?
- Millä ehdolla kuva on yhtä korkea ja leveä kuin esine?
- Milloin kuva on suurentunut ja milloin pienentynyt?
- Muodosta oheista kuvaa hyväksikäyttäen verranto, joka sitoo esineen etäisyyttä reikähimmentimestä (a), kuvan etäisyyttä himmentimestä (b), esineen korkeutta (e) ja kuvan korkeutta (k).



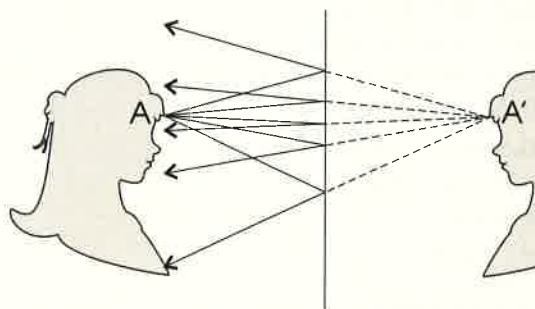
Tutkimus 2. Mitkä optiset laitteet voivat muodostaa esineestä todellisen kuvan?

Kokeile siirtelemällä linssiä ja peiliä, saatko

- a) kuperan eli keskeltä paksumman linssin
- b) koveran eli keskeltä ohuemman linssin
- c) kuperan peilin
- d) koveran peilin ja
- e) tasopeilin muodostamaan esineestä todellisen kuvan valkoiselle varjostimelle. Käytä esineenä 1) lamppua tai palavaa kynttilää ja 2) muuten pimennetyn luokan yhtä pimentämätöntä ikkunaa. Kirjoita muistiin havaintosi.

Valekuva

Optinen laite muodostaa esineestä *valekuvan*, jos kustakin esineen pisteestä A lähteneet, laitteen kautta kulkeneet valonsäteet laitteeseen katsottaessa näyttävät tulevan tietyistä pisteistä A', vaikka eivät sieltä tulekaan. Toisin sanottuna laite muodostaa esineestä valekuvan, jos esineen kuva näkyy laitteeseen katsottaessa, mutta ei muodostu varjostimelle.



Tutkimus 3. Valekuvan muodostuminen.

Kokeile, voivatko seuraavat laitteet muodostaa sormestasi tai nenästäsi valekuvan. Huomaa, että sama laite voi muodostaa sekä todellisen kuvan että valekuvan. Kuvan laatu

(ts. onko kuva todellinen vai valekuva, oikein päin vai ylösalaisin) riippuu siitä, mille etäisyydelle laitteesta esine asetetaan.

- 1 kupera linssi
- 2 kovera linssi
- 3 kupera peili
- 4 kovera peili
- 5 tasopeili

Tehtävä 7.1. Olkoon esineenä kehystetty diaposiivi. Millä seuraavista laitteista saat tästä esineestä todellisen kuvan ja millä valekuvan, kun laitetta käytetään sen normaaliin käyttötarkoitukseen: suurenneuslasi, kiikari, diaheitin, piirtoheitin, kaukoputki, episkooppi, mikroskooppi, periskooppi, stetoskooppi.

Linssin polttopiste

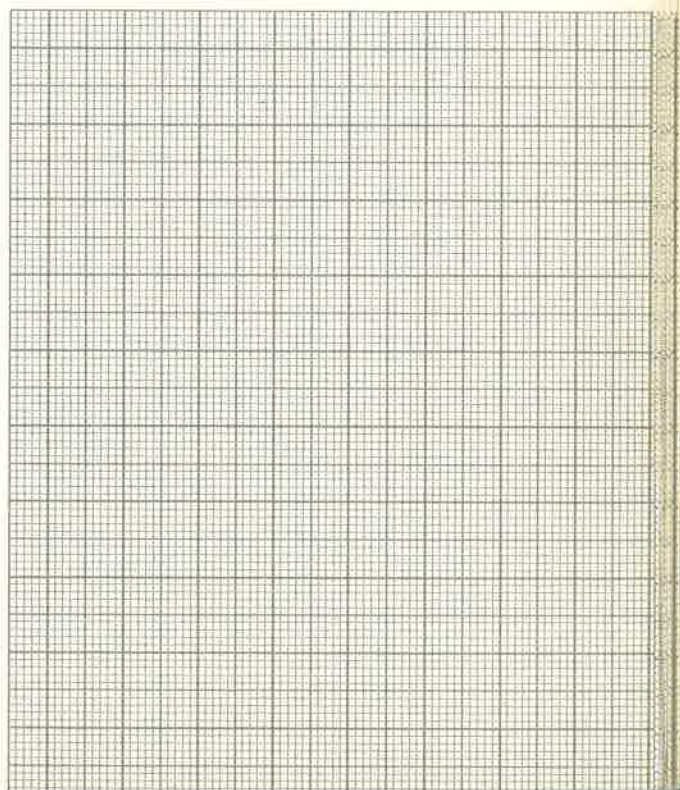
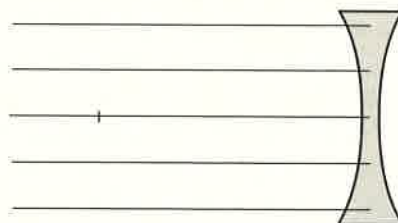
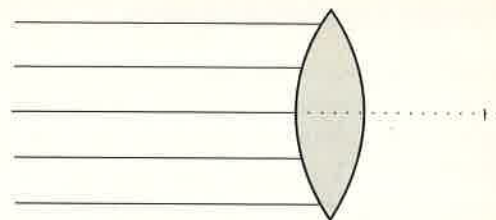
Tutkimus 4. Linssin polttopisteen ja valepolttopisteen määrittäminen.

Välineet: Lamppu, joka antaa yhdensuuntaisen valokeilan, noin 5-rakoinen himmennin, linssin malli sekä astelevy tai He-Ne-laser, hajotuslinssi ja savulaatikko sekä tutkittavat linssit.

Tutki, miten yhdensuuntainen, pääakselin suuntainen sädekimppu käyttäytyy läpäistyään kuperan eli keskeltä paksumman linssin sekä läpäistyään koveran eli keskeltä ohuemman linssin. Piirrä tulos oheisiin kuviin.

Kuperan linssin pääakselin suuntaiset säteet kulkevat suunnilleen tietyn pisteen, polttopisteen F kautta.

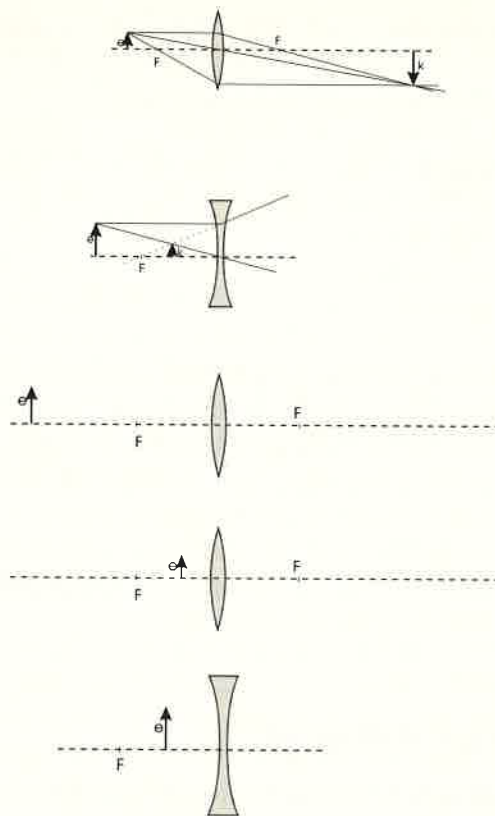
Koveran linssin pääakselin suuntaiset säteet hajaantuvat niin, että ne näyttävät tulevan yhdestä pisteestä, valepolttopisteestä F.



Linssin muodostama kuva

Edellisissä tutkimuksissa huomasit, että kun laite muodostaa esineestä todellisen kuvan, niin kaikki esinepisteestä A lähteneet, laitteen kautta kulkenet säteet päätyvät lähes samaan kuvapisteeseen A'. Jos tähän kohtaan pannaan valkoinen varjostin, saadaan enemmän tai vähemmän terävä todellinen kuva. Siten linssin esineestä muodostama kuva saadaan piirretyksi, jos tunnetaan vähintään kahden esinepisteestä A lähtevän, linssiin osuvan säteen reitti kuvapisteeseen A'.

Jos säteet eivät leikkaa, todellista kuvaa ei muodostu. Silloin pitää tutkia, muodostuuko valekuva eli näyttävätkö esinepisteestä A lähteneet, laitteen kautta kulkenet säteet tulevan jostain pisteestä A'. Toisin sanoen *piirretään linssissä taittuneiden säteenosien näennäiset jatkeet linssin taakse*. Jos jatkeet leikkaavat toisensa tai jonkin todellisen säteen, leikkauskohta on A:n valekuvapiste A'. Koska todellisuudessa valo ei tule sieltä, jatkeet kannattaa selvyyden vuoksi piirtää katkoviivalla.

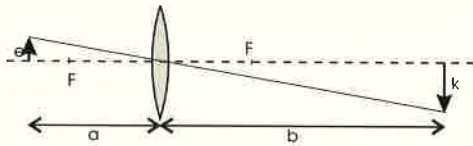


Tehtävä 7.2. Kuperan linssin muodostama kuva voidaan paikantaa seuraavien säteiden avulla:

- Pääakselin suuntainen säde taittuu niin, että se kulkee linssin takana olevan polttopisteen kautta.
 - Linssin edessä olevan polttopisteen kautta kulkeva säde taittuu pääakselin suuntaiseksi. (Perustele!)
 - Linssin keskipisteeseen suuntautuva säde kulkee läpi suuntaa muuttamatta (jos pientä yhdensuuntaissiirtymää ei oteta huomioon)
- Mitkä kaksi sädettä ovat käytettävissä, kun piirrät koveran linssin muodostamaa kuvaa?

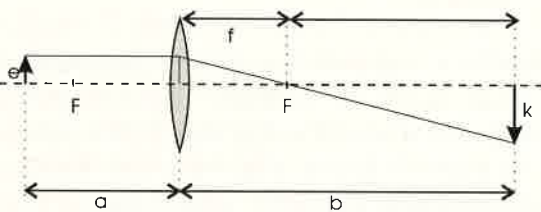
Tehtävä 7.3. Tutki piirtämällä, mihin ja millainen kuva esineestä e muodostuu tapauksissa, joita seuraavat piirroksot esittävät. Ilmoita jokaisessa tapauksessa, onko kuva oikein päin vai ylösalaisin, suurentunut vai pienentynyt, ja onko se todellinen vai valekuva.

Viivasuurennus



Tehtävä 7.4. Edellisistä tutkimuksista olet huomannut, että kuvan korkeuden k suhde esineen korkeuteen e riippuu siitä, kuinka kaukana kuva ja esine ovat kuvan muodostavasta laitteesta. Suhdetta $m = k/e$ sanotaan *viivasuurennukseksi*. Päätele kuvan yhdenmuotoisista kolmioista, millainen verranto $k:n$, $e:n$, $b:n$ ja $a:n$ välillä vallitsee.

Linssin kuvausyhtälö



Tehtävä 7.5. Kuvausyhtälö sitoo toisiinsa polttovälin f , esineen etäisyyden linssistä a ja kuvan etäisyyden linssistä b . Se voidaan johtaa yhdenmuotoisista kolmioista. Muodosta oheisen kuvan yhdenmuotoisten kolmioiden sivuille lausekkeet, joissa ne on lausuttu käyttäen vain symboleja e (esineen korkeus), k (kuvan korkeus), a (esineen etäisyys linssistä), b (kuvan etäisyys linssistä) ja f (polttoväli).

Yhdenmuotoisissa kolmioissa vastinosien suhteet ovat yhtäsuuret. Muodosta sivunpituuksille verranto, jonka vasempana puolena on k/e . Korvaa k/e suhteella b/a . Miksi näin voi tehdä? Olet saanut kuvausyhtälön! Tässä muodossa se on hankala muistaa ja käyttää. Sievennä se muotoon $1/f = 1/a + 1/b$.

Vihje: Kerro ristiin. Kerro puolittain tulolla abf .

Jos linssi muodostaa valediagramin, kuvausyhtälöä käytettäessä on muistettava helpot merkkisäännöt: *valepolttoväli* ja *valediagramin etäisyys varustetaan miinusmerkillä*.

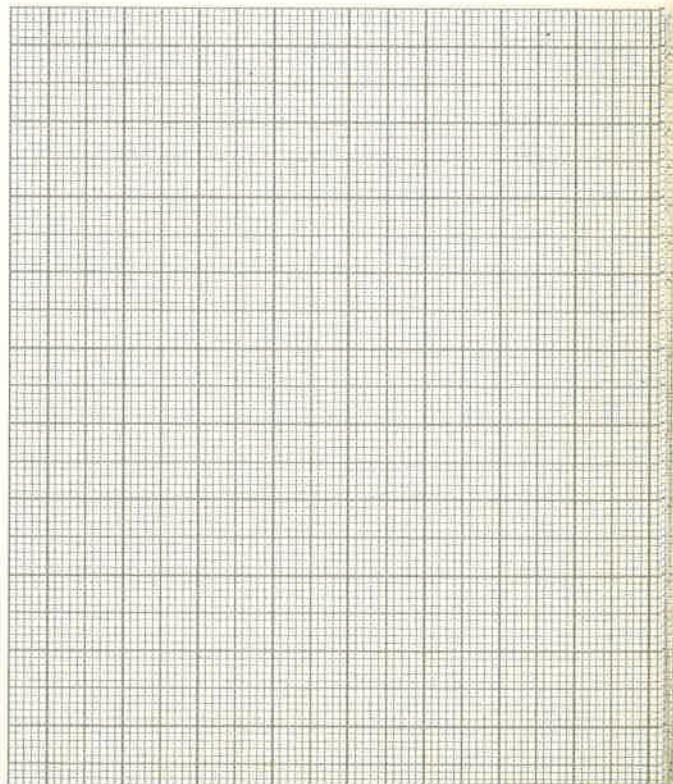
Muista vielä, että linssitehtävissä tarvitaan usein kuvausyhtälön lisäksi viivasuurennuksen m yhtälöä $m = k/e = b/a$.

Tutkimus 5. Kuperan linssin polttovälin ja taittokyvyn määrittäminen.

Välineet: Kuperan linssi, kynttilä, viivoitin ja valkoinen paperi- tai pahviarkki.

Kuperan linssin polttoväli f voidaan määrittää käyttämällä kuvausyhtälöä $1/f = 1/a + 1/b$, missä a on esineen etäisyys linssistä ja b kuvan etäisyys linssistä.

Jos linssin polttoväli on hyvin pitkä eli *taittokyky* $D = 1/f$ pieni, tämä menetelmä ei toimi.



- Pimennä huone. Käytä esineenä palavaa kynttilää. Anna kuvan muodostua valkoiselle paperille tai pahville.
- Aseta paperi niin kauas kynttilästä, että saat siirtämällä linssiä paperin läheltä koh- ti kynttilää paperille ensin pienentyneen, terävän kuvan liekistä ja edelleen siirtä- mällä suurentuneen, terävän kuvan. Miten päin kuva on?
- Mittaa a ja b sekä pienentyneen että suurentuneen kuvan tapauksessa. Mitä huomaat?
- Muuta a ja b metreiksi. Laske kuvausyhtälöä käyttäen laskimella ensin taittoky- ky $D = 1/f$, ja sitten polttoväli f . Huomaa, että sinun ei välttämättä tarvitse ratkais- ta kuvausyhtälöä $f:n$ suhteen.
- Piirrä molemmissa tapauksissa sädekaa- vio, josta näkyy, miten kuva muodostuu.

Tutkimus 6. Koveran linssin polttovälin ja taittokyvyn määrittäminen.

Välineet: Kohtalaisen voimakkaasti taittava kupera linssi, jonka polttoväli tunnetaan, tutkittava kovera linssi, kynttilä ja valkoi- nen paperi- tai pahvivarjostin.

- Aseta kupera ja kovera linssi kiinni toisiin- sa ja määritä linssiyhdistelmän polttoväli aivan samoin kuin edellä määritettiin pel- kän kuperan linssin polttoväli.
- Kun linssit ovat ohuita, yhdistelmän polt- toväli f toteuttaa yhtälön $1/f = 1/f_1 + 1/f_2$, missä f_1 ja f_2 ovat yhdistelmän linssien polttovälit. Laske laskimella tuntematon taittokyky ja polttoväli tätä yhtälöä käyt- täen.

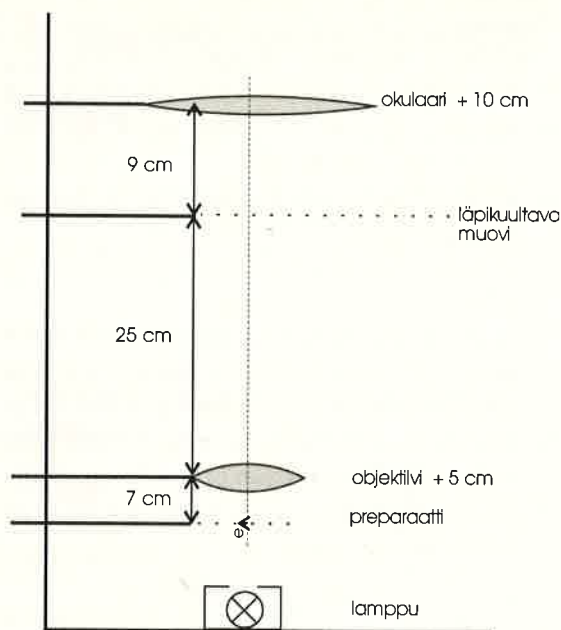
Tutkimus 7. Optisten laitteiden mallien ra- kentaminen.

Rakenna oheisten, opettajalta saamiesi tai kirjallisuudesta löytämiesi ohjeiden perus- teella mallit joistakin alla mainituista optisis- ta laitteista. Selitä mikroskoopin, Galilein kaukoputken, Keplerin kaukoputken, maa- kaukoputken ja Newtonin peilikaukoputken toiminta.

Mikroskooppi

Sekä mikroskoopissa että linssillä toimivissa kaukoputkissa on kaksi linssiä tai linssiryh- mää. Tarkasteltavan kohteen eli objektin puoleista linssiä sanotaan *objektiiviksi* ja sil- män puoleista linssiä *okulaariksi* (latinan kie- len oculus = silmä).

Mikroskoopissa on lyhytpolttovälinen ob- jektiivi, joka muodostaa todellisen kuvan lä- pikuultavasta esineestä, esimerkiksi kasvin- osasta valmistetusta preparaattista. Tätä ku- vaa katsotaan suurennuslasina toimivalla pi- tempolttovälisellä okulaarilla.



Työohje:

Välineet: Lyhytpolttovälinen kupera linssi (f esimerkiksi 5 cm), pitempipolttovälinen kupera linssi (f esimerkiksi 10 tai 15 cm), pala läpikuultavaa, valkoista muovia, opaalilasiasia tai paperia, tutkittava preparaatti lasilevyjen välissä (pyydä esim. biologian opettajalta), valaisin, esimerkiksi taskulamppu, linssin pitimiä ja stativi.

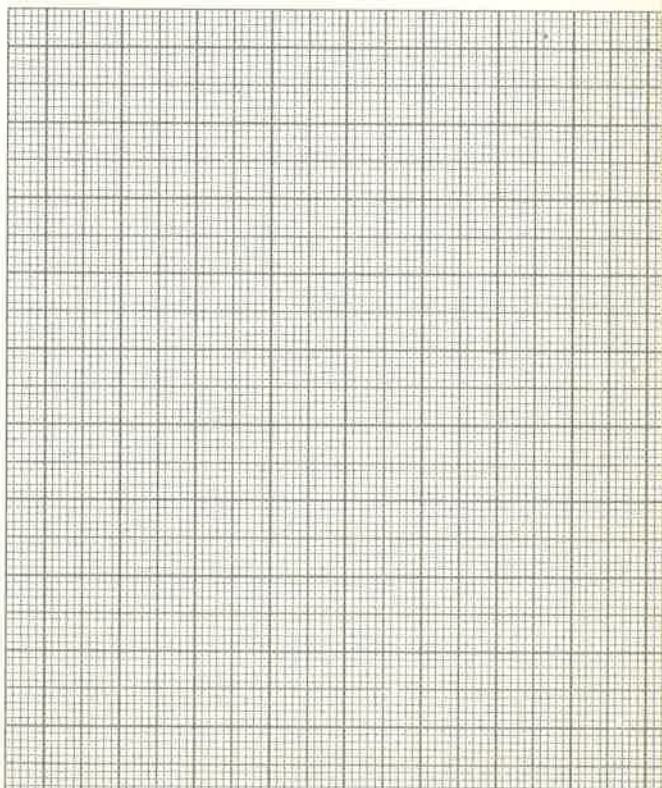
- Asenna hämärässä huoneessa kuvan mukaisesti alhaalta lukien: lamppu valaisemaan preparaattia alhaalta päin, preparaatti, objektiivilinssi ja valkoinen muovi.
- Kuvassa esitetyt etäisyydet eivät ole tarkkoja. Asenna ensin objektiivilinssi ja muovi tarkemmin niin, että linssi muodostaa muoville preparaatista mahdollisimman terävän, suurentuneen kuvan.
- Asenna sitten okulaarilinssi niin, että näet muoville muodostuneen kuvan mahdollisimman suurena ja terävänä. Silloin objektiivin muodostama todellinen kuva on okulaarilinssille esineenä, josta okulaari muodostaa suurentuneen valekuvan.

- Mieti, näkykö kuva okulaarin läpi katsottaessa, jos poistat valkoisen muovin.
- Kokeile, mutta peitä ensin lamppu valkoisella muovilla tai käännä lamppu häikäisyn välttämiseksi kohti pöytää niin, että vain pöytä heijastaa valoa ylöspäin.
- Piirrä sädekaavio, josta näkyy kuvan muodostuminen mikroskoopissa.

Galilein kaukoputki

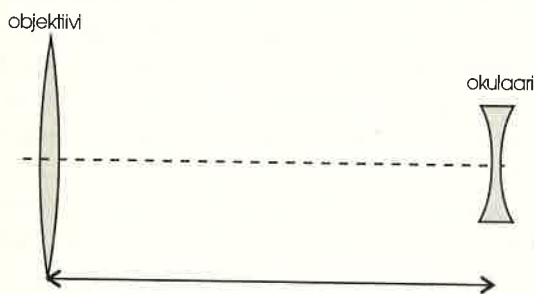
Galilein kaukoputkessa kuperan objektiivilinssin (f esimerkiksi +25 cm) muodostama todellinen kuva on esineenä koveralle okulaarilinssille (f esimerkiksi -10 cm), joka puolestaan muodostaa tästä oikeinpäin olevan valekuvan. Rakennettava malli on oikeastaan pelkkä kauko, linsejä suojaavaa putkea prototyypissä ei tarvita.

Galilein kaukoputkella ei saavuteta kovin mahtavaa suurennusta. Nykyään sellaisia käytetäänkin yleensä vain teatterikiikareina. Suurennusta tärkeämpi tähtikaukoputken



ominaisuus on se, että suurikokoinen objektiivilinssi kerää paljon valoa silmän pupilliin, jolloin laitteella on mahdollista nähdä heikkovaloisia kohteita, joita ei pelkkä silmä näe. Tätä voit kokeilla pimeänä iltana tavallisella kiikarilla. Sillä näet selvästi esimerkiksi metsään, joka pelkällä silmällä näyttää aivan mustalta.

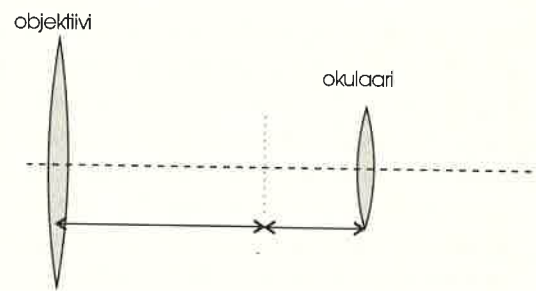
Kun Jupiter-planeetta on näkyvissä, tavallisella kiikarilla on mahdollista nähdä sen neljä suurinta kuuta. Ne näkyvät kirkkaina pisteinä planeetan päiväntasaajan tasossa. Kokeile!



Työohje:

- Kiinnitä statiivitankoon kaksi linssinpidintä.
- Kiinnitä tanko tukevaan stativiin niin, että sitä voi käännettä.
- Kiinnitä vasta sitten objektiivi ja okulaari pidikkeisiinsä.
- Varmista linssien kiinnitys esimerkiksi teipillä.
- Aseta linssit sellaiselle etäisyydelle toisistaan, että näet terävästi esimerkiksi vastakkaiselle seinälle kiinnitetyn tekstisivun.
- Arvioi suurennusta. Kokeile, saatko paremman suurennuksen erilaisilla linseillä.
- Piirrä sädekaavio, josta näkyy kuvan muodostuminen.

Keplerin kaukoputki



Keplerin kaukoputki rakennetaan edellisen ohjeen mukaisesti muuten, mutta objektiivina on pitkäpolttovälinen, kupera linssi (f esimerkiksi +30 cm) ja okulaarina lyhytpolttovälinen, kupera linssi (f esimerkiksi +5 cm). Linssit asetetaan kuvan mukaisesti aluksi niin, että niiden polttotasot yhtyvät. Silloin objektiivi muodostaa kaukaisesta esineestä todellisen, ylösalaisin olevan kuvan suunnilleen polttotasoon. Tätä tarkastellaan suurennuslasina toimivalla okulaarilla aivan kuin mikroskoopissa.

Piirrä sädekaavio, josta näkyy kuvan muodostuminen.

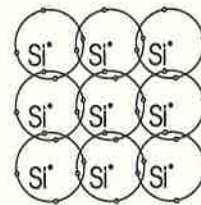
10. Erilaiset diodit

Diodit, transistorit ja muut sovelletun elektronikan keksinnöt mullistavat maailmaamme koko ajan. Lukiolaisen työvarustukseen kuuluu laskin, jonka suorituskyky on kokoon nähden hämmästyttävä. Jos sellainen olisi löytynyt 1960-luvulla, sitä olisi pidetty ulkoavaruuden olentojen ihmeellisen kehittyneen kulttuurin tuotteena. Tietokoneita on kaikkialla. Viihde-elektronikan laitteet pienenevät ja paranevat koko ajan. Kaiken tämän mullistuksen takana ovat pienenpienet, usein piisirulle tehdyt niin sanotut mikropiirit, jotka puolestaan rakentuvat jopa miljoonista puolijohdekomponenteista. Tärkeimmät komponentit ovat *diodi* ja *transistori*. Jos haluat ymmärtää elektronisten laitteiden toimintaa, sinun on tunnettava peruskomponenttien rakenne ja toiminta. Pääset tutustumaan niihin parissa seuraavassa työssä.

Puolijohde

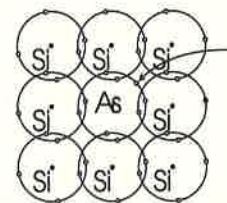
Diodin ja transistorin toiminnan ymmärtämiseksi on aluksi tutustuttava *puolijohdeiden* ominaisuuksiin.

Tavallisimmin elektronisissa komponenteissa käytetyt puolijohdeet ovat alkuaineiden jaksollisen järjestelmän IVB-ryhmään kuuluvat pii (Si) ja germanium (Ge). Niiden atomien elektroniverhon uloimmalla kuorella on siis 4 elektronia. Kiinteässä olomuodossa niiden kolmiulotteisessa, tetraedrimaisessa kiderakenteessa kukin atomi on sitoutunut neljään naapuriatomiin kovalenttisisidoksilla (vrt. hiili!). Oheinen kaksikulotteinen piirros havainnollistaa tilannetta.



Puolijohdeaineen kuumentaminen tai muu ulkopuolinen energia, kuten valo tai muu sähkömagneettinen säteily, voi irrottaa sidoksista elektroneja. Nämä elektronit voivat kuljettaa aineessa sähkövarausta. Näin ollen puhtaiden puolijohdeiden sähköjohtokyky on huoneenlämpötilassa parempi kuin eristeiden.

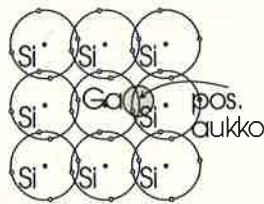
n-johtavuus



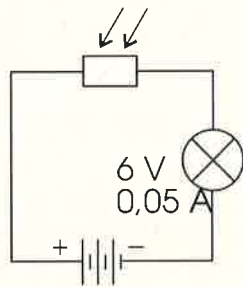
Sähköjohtokyky paranee vielä ratkaisevasti, kun puhtaan puolijohdeiden kiderakenteeseen joutuu pieni määrä (esim. suhteessa

1:10⁶) V B -ryhmän alkuaineen (esim. P tai As) atomeja. Koska niillä on 5 ulkoelektronia, epäpuhtausatomien ulkokuoren elektroneista yksi ei "mahdu" kovalenttisiidoksiin, vaan sitoutuu hyvin heikosti. Siksi vähäinenkin ulkopuolinen energia tekee aineesta hyvin sähköä johtavan. Tällainen n-johtava puolijohde johtaa sähköä hyvin jo huoneenlämmössä. Lämpötilan nostaminen tai valaiseminen lisää yleensä sen johtavuutta eli pienentää resistanssia merkittävästi. Nimitys *n-johtava* tulee siitä, että varauksenkuljettajina toimivat negatiiviset elektronit.

p-johtavuus

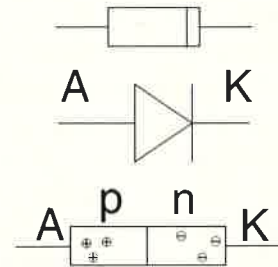


Sähkönjohtokyky paranee merkittävästi myös, kun puhtaan puolijohteen joukkoon seostetaan pieni määrä III B -ryhmän alkuaineen (esim. Ga tai In) atomeja. Silloin epäpuhtausatomissa on vain kolme elektronia ulkokuorella, joten yhden kovalenttisiidoksen paikalla on *elektronin vaja*us eli *positiivinen aukko*. Aukko pyrkii täyttymään sieppaamalla elektronin naapuriatomilta. Näin voimme ajatella, että *p-johtavassa* puolijohhteessa sähkövirtaa kuljettavat positiiviset aukot.

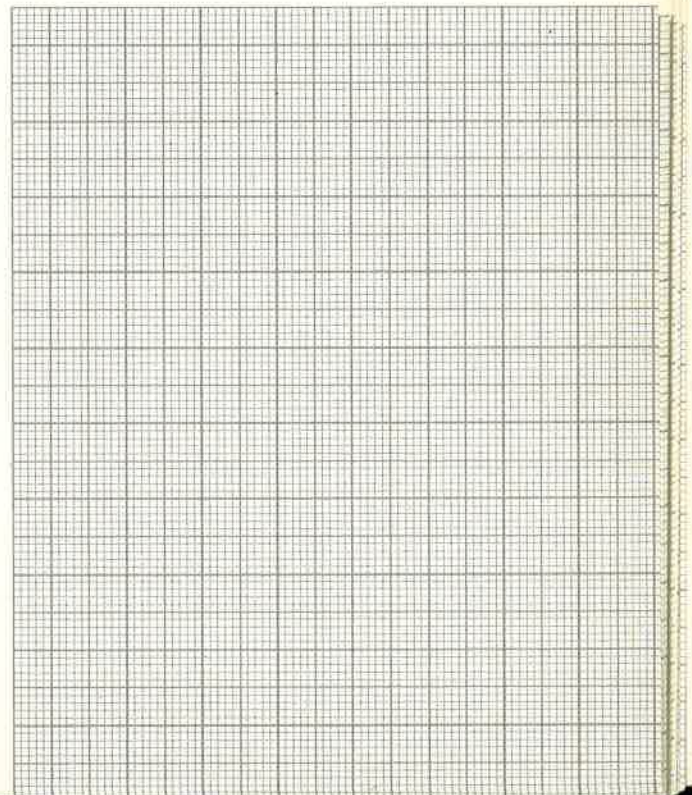


- Kokeile oheista virtapiiriä. Siinä oleva valovastus (LDR = Light Dependent Resistor) on valmistettu seospuolijohhteesta. Tutki, miten valo vaikuttaa sen sähkövirran "vastustuskykyyn", resistanssiin. Kirjoita tulos työkirjaasi.

Puolijohdediodi



Kun kiinnitetään toisiinsa hitunen p-johtavaa ja n-johtavaa puolijohdetta, varauksenkuljettajia liikkuu lämpöenergiansa turvin rajapinnan yli, jolloin aukot täyttyvät eli rekombinoituvat. Näin rajapinnan ympärille syntyy varauksenkuljettajista vapaa tyhjennysalue. Kauempana olevat aukot ja elektronit eivät

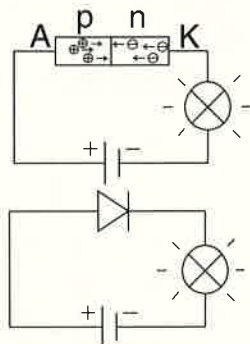


enää pääse rajapinnan yli, koska positiivisen ja negatiivisen varauksen väliin muodostuva sähkökenttä estää liikkeen.

Tutkimus 2. Diodi päästösuuntaan kytkettynä.

Kun diodi kytketään virtapiiriin oheisen kuvan mukaisesti ja diodin päiden välinen jännite ylittää niin sanotun *kynnysjännitteen*, aukot ja elektronit alkavat päästä rajapinnan yli ja *rekombinoidaan* rajavyöhykkeellä.

Kynnysjännitteen suuruus riippuu diodin materiaalista. Koska jännitelähde tuo diodin miinusnapaan eli katodiin aina lisää elektroneja ja imee niitä diodin plusnavasta eli anodista, aukkoja ja elektroneja tulee diodin päihin koko ajan lisää, joten diodin läpi kulkee jatkuva sähkövirta.

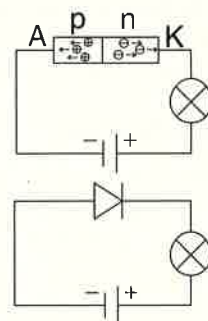


Diodia **EI SAA** koskaan kytkeä suoraan jännitelähteen napoihin, vaan virtapiirissä on aina oltava virtaa rajoittava vastus, kuten oheisen kytkennän lamppu.

Nimittäin diodin oma resistanssi on niin pieni, että sen läpi kulkeva virta kasvaa ilman sarjavastusta helposti niin, että diodi kuumentuu ja tuhoutuu. Kokeile oheista kytkentää.

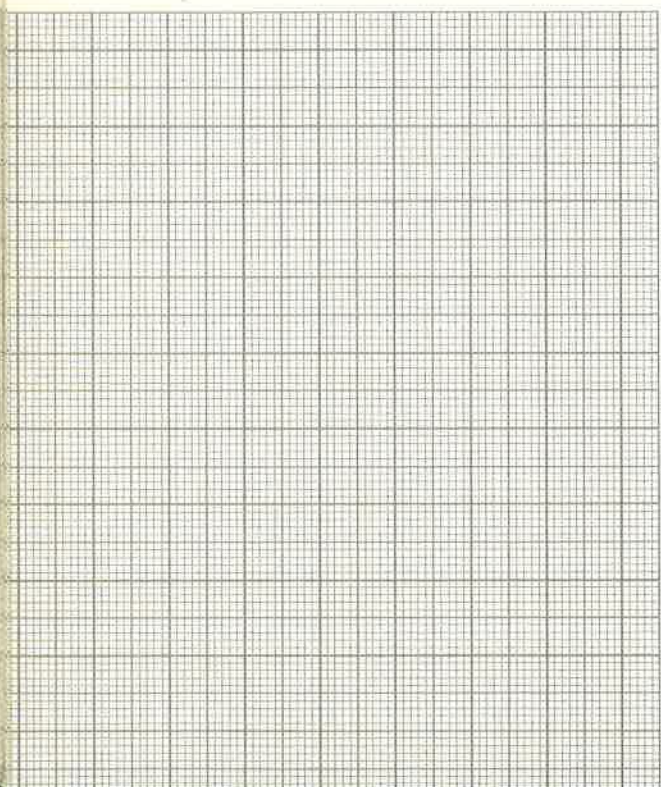
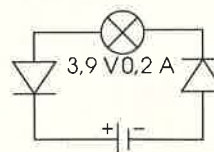
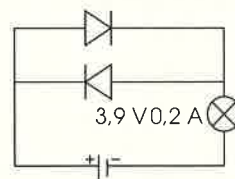
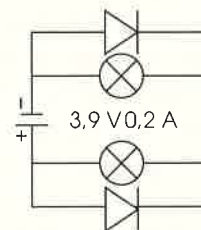
Tutkimus 3. Diodi estosuuntaan kytkettynä.

Jos diodi kytketään virtapiiriin toisin päin, tyhjenysalue vain levenee, eikä virta kulje. Kokeile!



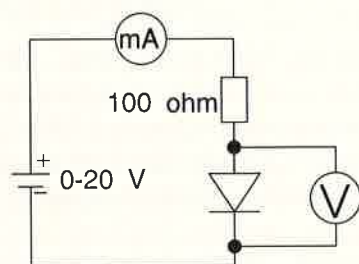
Tehtävä 10.1. Mitä diodin piirrossymboli (nuoli) oikein kuvaa?

- Tehtävä 10.2.** a) Millä kytkennöillä lamppu palaa ja miksi?
b) Vaihda jännitelähteen navat. Millä kytkennöillä lamppu nyt palaa?



Tutkimus 4. Diodin ominaiskäyrän määrittäminen.

Jos teet mittaukset tavallisella virta- ja jännitemittarilla, noudata ensimmäistä ohjetta. Jos käytössäsi on tietokoneeseen kytkettävä virran ja jännitteen mittausjärjestelmä, noudata allaolevaa toista ohjetta.

**Työohje 1**

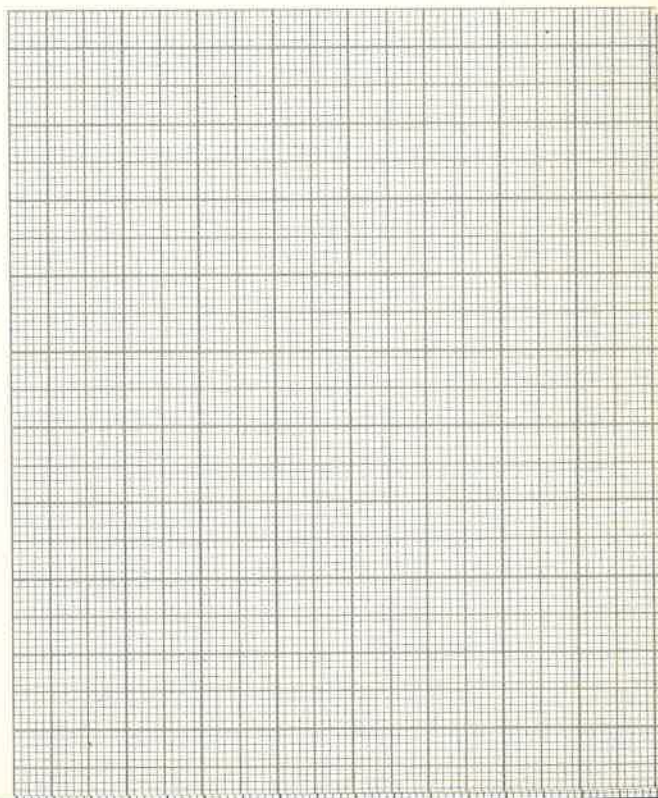
- Rakenna oheisen kaavion mukainen kytkentä. Älä kytke jännitettä, ennen kuin opettaja on tarkistanut kytkennän! Valitse jännitelähteeksi säädettävä jännitelähde. Käytä diodina piidiodia, virran ja jännitteen kestoaltaan noin 1 A, 200 V. Vastus (100 ohmia) rajoittaa piirissä kulkevaa virtaa ja tekee myös diodin päiden välisen jännitteen säätämisen helpommaksi.
- Nosta jännitettä lähtien nolasta esim. 0,1 V:n tai 0,2 V:n välein. Kirjaa muistiin virta kullakin jännitteen arvolla. Älä ylitä mittarien asteikkoja!
- Piirrä havaintoarvoista kuvaaja UI-koordinaatistoon. Tällaista kuvaajaa sanotaan *diodin ominaiskäyräksi*. Päätele kuvaajasta, mikä on käytetyn diodin kynnysjännite.
- Määritä piidiodin resistanssi määrittämällä kuvaajasta virta I , kun diodin päiden välinen jännite U on a) 0,65 V, b) 0,75 V.

Työohje 2

- Rakenna oheisen kaavion mukainen kytkentä. Älä kytke jännitettä, ennen kuin opettaja on tarkistanut kytkennän! Valitse jännitelähteeksi säädettävä jännitelähde. Käytä diodina piidiodia, virran ja jännitteen kestoaltaan noin 1 A, 200 V. Vastus

(100 ohmia) rajoittaa piirissä kulkevaa virtaa ja tekee myös diodin päiden välisen jännitteen säätämisen helpommaksi. Liitä voltti- ja ampeerimittarien tilalle jännite- ja virtalähtetin ja kiinnitä lähettimet tarvittaessa tietokoneen mittauskonsoliin. Käynnistä mittausohjelma (esimerkiksi NEMO tai Empirica) ja sieltä graafinen mittaus (Muistimittari).

- Mitä kytkennässä mittaa a) volttimittari tai jännitelähtetin, b) ampeerimittari tai virtalähtetin?
- Käynnistä mittaus ja nosta jännitettä 10 sekunnin aikana lähtien nolasta niin, että sekä virta- että jännitenäyttö pysyvät asetetuissa rajoissa.
- Päätele tI- ja tU-kuvaajista, mikä on tutkitun diodin kynnysjännite.
- Siirry näistä tY-kuvauksista XY-kuvaukseen. Valitse näyttöön kuvaaja, jossa näkyy diodin läpi kulkeva virta sen päiden välisen jännitteen funktiona, ts. vaaka-akselilla on jännite U ja pystyakselilla virta I (Siirry NEMO-ohjelmassa ensin päävalikon Coach kautta Prosessointi-ohjelmaan).



Tällaista kuvaajaa sanotaan *diodin ominaiskäyräksi*. Tulosta käyrä paperille. Jos ennätät, tee samat mittaukset myös Gediodille ottaen huomioon sen pienempi virrankesto.

- Määritä piidiodin resistanssi määrittämällä (Analysointi-valikon selaa-toiminnolla) virta I , kun diodin päiden välinen jännite U on a) 0,65 V , b) 0,75 V.

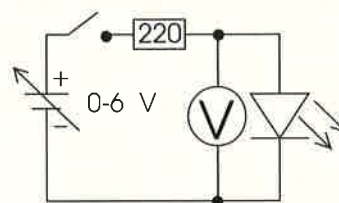
LED(Light Emitting Diode)

Jokainen tuntee nämä komponentit ulkonäöltä. Niitähän käytetään pienen energiankulutuksen ja kestävyys takia merkkivaloina elektronisissa laitteissa. Ne voivat olla pyöreitä tai litteitä. Litteistä LEDeistä voidaan rakentaa nk. *seitsensegmenttinäyttöjä*. Missä niitä käytetään? Missä olet nähnyt pyöreitä ja missä litteitä LEDejä?

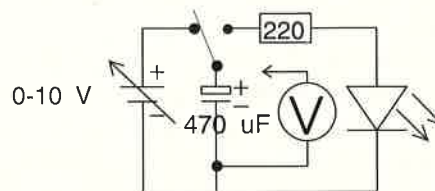
Joissakin puolijohdemateriaaleissa atomien elektronit jäävät aukko-elektroniparin rekombinoitumisen yhteydessä normaalia ulommalle "kiertoradalle", *viritystilaan*. Viri-

tystila purkautuu nopeasti, ja palatessaan alempaan energiatilaan elektroni poistaa ylimääräisen energiansa emittoimalla fotonin (valokvantin). Näin päästösuuntaan kytketty diodi säteilee valoa, kun sen kuori on tehty läpinäkyvästä muovista. HUOM! Kun LED kytketään virtapiiriin, se tarvitsee päittänsä välille sopivan käyttöjännitteen. Jos jännite on liian suuri, virta kasvaa, ja LED kuumentuu liikaa tuhoutuen aivan samoin kuin muutkin diodit. Jännitteen asettaminen sopivaksi tapahtuu tavallisesti LEDin kanssa sarjaan kytketyllä sopivalla etuvastuksella. Eri- väriset LEDit tarvitsevat erisuuret vastukset.

Tutkimus 5. LEDin kynnysjännitteen mittaaminen.



- Rakenna oheinen kytkentä. Nosta jännitettä varovasti, kunnes LED syttyy. Lue volttimittarista LEDin kynnysjännite.



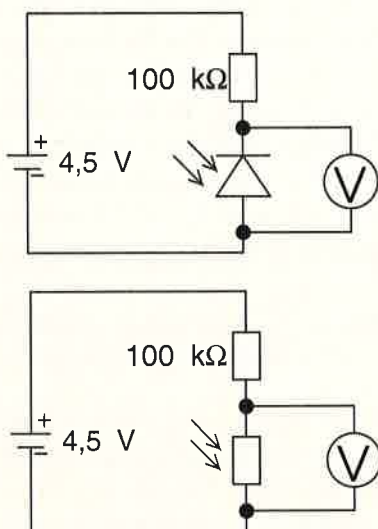
- Kondensaattori on kahdesta toisistaan eristetyistä metallilevystä rakennettu komponentti, johon voidaan varastoida pienen määrä sähkövarausta. Varaa 100 - 500 mikrofaradin elektrolyyttikondensaattori kytkemällä se hetkeksi n. 10 V:n jännitteeseen. Pura se sitten LEDin kautta. Tarkista LEDin välähdettyä, kuinka suuri jännite kondensaattoriin jäi.

Tehtävä 10.3. Erään punaisen LEDin käyttöjännite on 2,0 V, ja sen läpi saa kulkea 30 mA:n virta. Mikä pitää etuvastuksen resistanssin olla, kun LED kytketään 4,5 V:n jännitteeseen?

Fotodiodi eli valodiodi

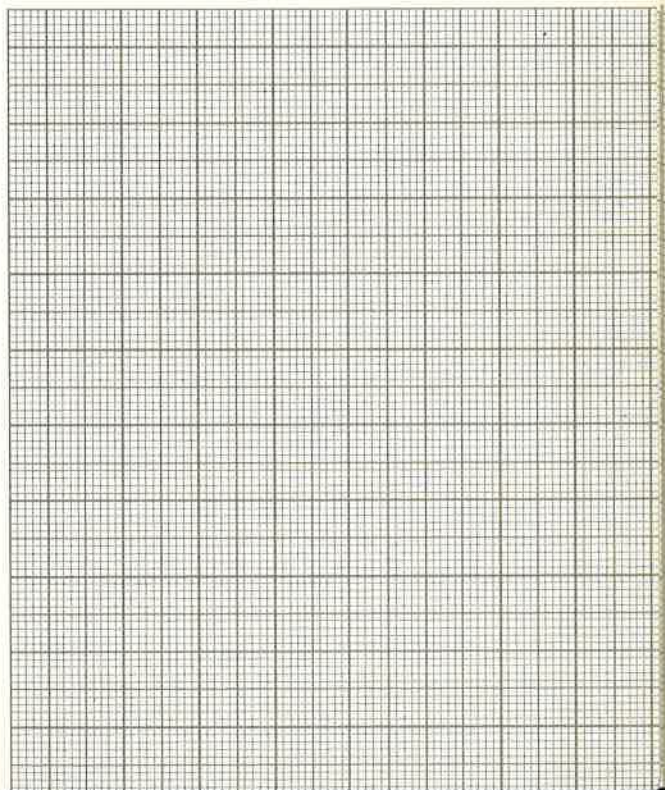
Fotodiodin kuori on tehty läpinäkyvästä muovista. Tavallinen diodi ei juuri päästä virtaa läpi estosuunnassa, mutta jos fotodiodia valaistaan (eli pommitetaan fotoneilla), n-p-rajapintaa ympäröivällä tyhjennysalueella syntyy elektroni-aukkopareja, joten se alkaa johtaa, jolloin sen resistanssi pienenee. Näin *estosuuntaan kytketty* fotodiodi käyttäytyy virtapiirissä samantapaisesti kuin valovastus (LDR). Erona on, että fotodiodi reagoi myös hyvin nopeisiin valonvaihteluihin (jopa 100 000 muutosta sekunnissa), kun taas valovastus ei siihen pysty. Toisaalta fotodiodin läpi estosuunnassa kulkeva virta on paljon pienempi kuin valovastuksen kautta kulkeva virta.

Tutkimus 6. Valoportin toimintaperiaatteen selvittäminen.



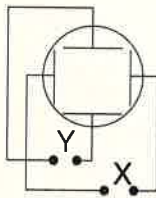
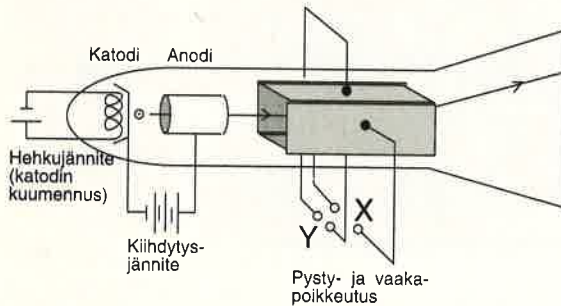
Rakenna oheisten kaavioiden mukaan valoportti 1) fotodiodista ja vastuksesta sekä 2) valovastuksesta ja vastuksesta.

- Mittaa diodin tai vastuksen päiden välistä jännitettä tavallisella jännitemittarilla tai tietokoneen graafisella muistimittarilla, kun valoherkkää komponenttia valaistaan ja pimennetään.
- Tutki tietokoneen mittausohjelmalla tai oskilloskoopilla, reagoiko kumpikaan valoportti loisteputken valon välkkymiseen. Käytä tietokoneella lyhyttä mittausaikaa!
- Kokeile, pystyvätkö rakentamasi valoportit käynnistämään ja pysäyttämään digitaalilaskurin.



12. Oskilloskooppi, vaihtojännite ja vaihtovirta

Ihminen ymmärtää mutkikkaita ilmiöitä parhaiten, jos ne saadaan näkyvään muotoon. Oskilloskooppi näyttää jännitetason ja nopeatkin jännitemuutokset näyttöruudullaan. Se on laboratorioden, korjaamoiden ja elektroniikkatuotannon perustyökalu. Oskilloskoppeja käytetään myös sairaaloissa näyttämään monien ihmiskehon osien toimintaa.



Rakenne ja toiminta

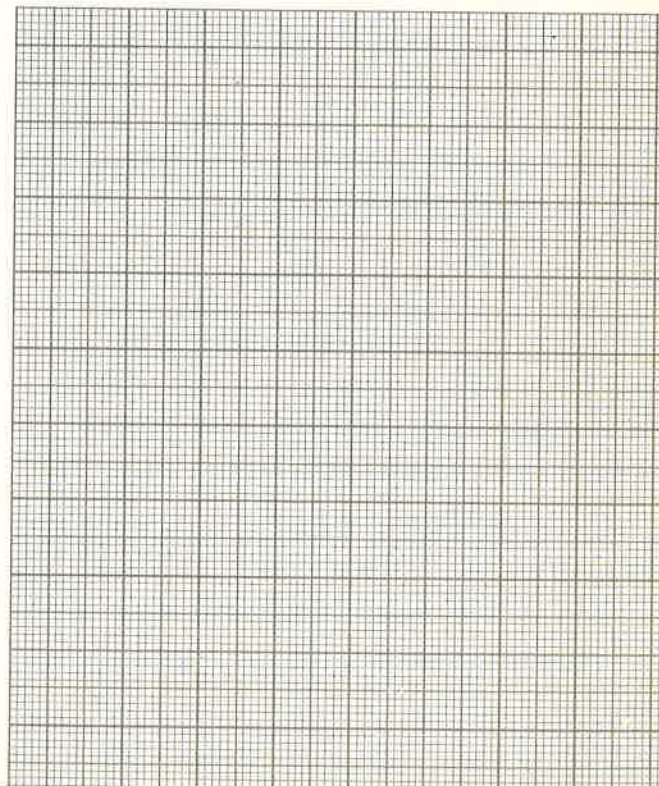
Tutki oheista kaaviota. Periaatteessa *oskilloskooppi on jännitemittari*, koska elektronisuihkun poikkeama eli valopisteen siirtymä näytöllä on suoraan verrannollinen poikkeutuslevyjen väliseen jännitteeseen. Kun säätimet on asetettu kalibroitu-asentoon, oskilloskoopin tuloliittimiin tuodun jännitteen suuruus voidaan lukea suoraan kuvaputkelta elektronisuihkun poikkeaman suuruudesta.

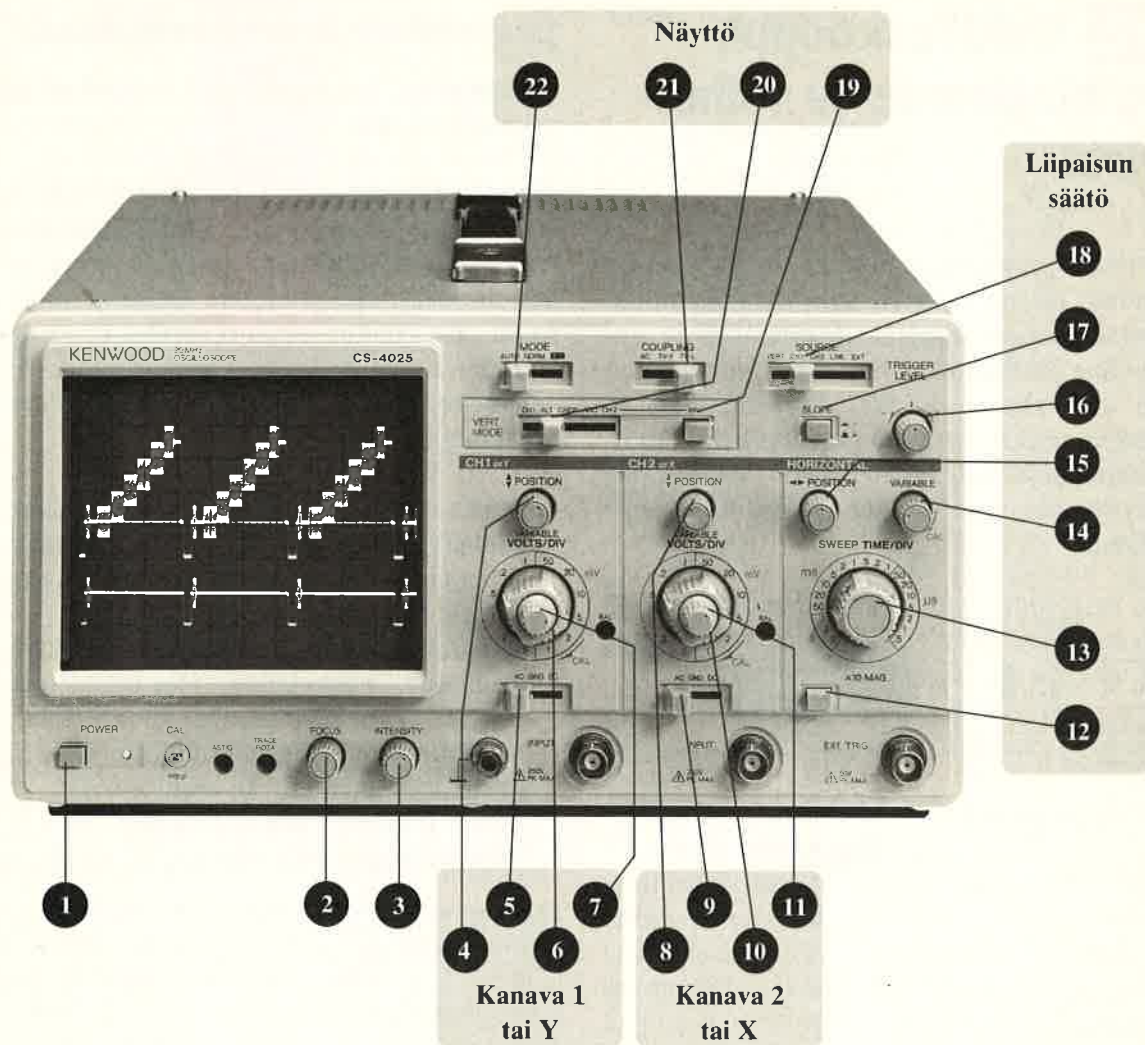
Tasajännitteen ja -virran mittaaminen

Tutkimus 11. Tasajännitteen U mittaaminen oskilloskoopilla.

Tutustu oskilloskoopin säätimiin ja kytkimiin sen käyttöoppaan avulla. Käytä kytkimien tunnistamiseen opettajan antamaa kuvaa, johon on tehty tätä työohjetta vastaava numeerointi. Jos koulun oskilloskoopissa ei ole X-Y-toimintatilaa tai jos se ei ole kaksikanavainen, et voi tehdä kaikkia myöhemmin annettuja mittaustehtäviä.

- Aseta oskilloskooppi X-Y-toimintatilaan: valitsin (22) asentoon [X-Y], joissakin skoopeissa lisäksi pystyakselin näyttötapavalitsin (20) asentoon [X-Y].
- Kuvaruudulla näkyy pistemäisenä elektronisuihkun osumakohta, jos intensiteetisäädin (3) on sopivassa asennossa. Käänä molempien kanavien tuloliittimien vieriset kytkimet (5, 9) asentoon DC (= Direct Current). Käänä vaimennusta tai vahvistusta säätävät nupit (6, 10) asentoon





PERUSASETUKSET

(22)	MODE	AUTO	(15)	◄► POSITION	KLO 12 ASENTO
(21)	COUPLING	AC	(14)	VARIABLE	CAL
(18)	SOURCE	VERT	(13)	SWEEP TIME/DIV	2 ns/jv
(20)	VERT MODE	CH 1	(12)	X 10 MAG	OFF
(19)	INV	OFF			
(17)	SLOPE	+			
(16)	TRIGGER LEVEL	KLO 12 ASENTO			

CH 1 (Y); CH 2 (X)

(4),(8)	◆ POSITION	KLO 12 ASENTO
(7),(11)	VARIABLE	CAL
(6),(10)	VOLTS/DIV	5 V/jv
(5),(9)	AC-GND-DC	GND

- Laita oskilloskooppi päälle POWER kytkimestä, lamppu syttyy ja säde tulee näkyviin n. 10...15 s kuluessa.
- Säädä kirkkaus ja terävyys sopiviksi INTENSITY ja FOCUS säätimillä (3), (2).

- (1) **POWER** Verkkokytkin
- (2) **FOCUS** Terävyyden säätö
- (3) **INTENSITY**: muuttaa säteen kirkkautta
- (4) **◆ POSITION** Säteen siirto pystysuunnassa. X-Y käytössä säätää Y-akselia.
- (5) **AC-GND-DC** kytkin
Kanavan CH 1 sisäänmenoalitsin
AC: Vain vaihtojännite pääsee mittaussiirtoon, tasajännitekomponentin pääsy on estetty kondensaattorilla.
GND: Y-vahvistimen maadoitusasento
DC: Tässä asennossa virtapiiriin pääsevät sekä vaihto- että tasajännitteet.
- (6) **VOLTS/DIV** Jännite/jakoväli
Kanavan CH1 alueen valinta. Jännitearvot ovat oikeat, kun **VARIABLE** säädin on asennossa CAL. X-Y-käytössä muuttaa Y-akselin herkkyyttä.
- (7) **VARIABLE** Jännitealueen hienosäätö.
Kanavan CH 1 vaimentimen hienosäätö.
- (8) **◆ POSITION** Säteen siirto pystysuunnassa. Kanavan CH 2 siirto. X-Y-käytössä säätää X-akselia.
- (9) **AC-GND-DC** kytkin
Kanavan CH 2 sisäänmenoalitsin. Toiminta kuten kohta 5.
- (10) **VOLTS/DIV** Jännite/jakoväli
Kanavan CH2 alueen valinta. Jännitearvot ovat oikeat, kun **VARIABLE** säädin on asennossa CAL. X-Y-käytössä muuttaa X-akselin herkkyyttä.
- (11) **VARIABLE** Jännitealueen hienosäätö.
Kanavan CH 2 vaimentimen hienosäätö.
- (12) **x 10 MAG** Säteen levitys.
Aika-akselin kymmenkertainen levitys.
- (13) **SWEEP TIME/DIV** Pyyhkäisyajan valinta
- (14) **VARIABLE** Pyyhkäisyajan hienosäätö.
CAL asennossa pyyhkäisy aika on kalibroitu.
- (15) **◀ POSITION** Säteen vaakasuunnan siirto
- (16) **TRIGGER LEVEL** Liipaisutason säätö.
Valitaan jännite, jolla pyyhkäisy alkaa.
- (17) **SLOPE** Liipaisureunan valinta
Yläasennossa jännitteen noustessa, alaspainettuna laskiessa.
- (18) **SOURCE** Liipaisulähteen valinta
VERT: Tässä asennossa tahdistus määrätään VERT MODE-kytkimellä. Kytkimen ollessa asennossa CH 1, ALT, CHOP tai ADD tulee kanavasta CH 1 liipaisulähde.
CH 1: Liipaisu kanavan 1 mukaisesti.
CH 2: Liipaisu kanavan 2 mukaisesti.
LINE: Liipaisu verkkojännitteen mukaisesti.
EXT: Liipaisu EXT TRIG-liittimeen tuodun signaalin mukaisesti.
- (19) **INV** Invertointikytkin
Kanavan CH 2 napaisuus saadaan vaihdettua.
- (20) **VERT MODE** Toimintatavan valinta
CH 1: Vain kanava CH 1 piiryy putkelle.
ALT: Vuorottaispyyhkäisy
CHOP: Hakkuripyhkyisy, kanavia piirretään vuorottaisesti n. 250 kHz:n taajuudella.
ADD: Kanavien summa, tai erotus, jos kanava CH 2 on asennossa INV.
- (21) **COUPLING** Liipaisusignaalin kytkentä
AC: Tahdistus on AC-kytketty. Poistaa tasajännitteen liipaisusignaalista. Yleisin liipaisuasento.
- (22) **MODE** Liipaisutavat
AUTO: Säde piiryy putkelle riippumatta siitä, onko se tahdistunut. Jos säde "juoksee" tarkista ensin TRIG LEVEL (16) ja sitten SOURCE (18) asento.
NORM: Säde piiryy putkelle vasta kun tahdistuminen on onnistunut.
X-Y -toiminta: Kanavasta CH 1 saadaan Y-akseli ja kanavasta CH 2 saadaan X-akseli.

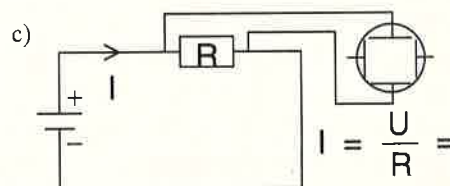
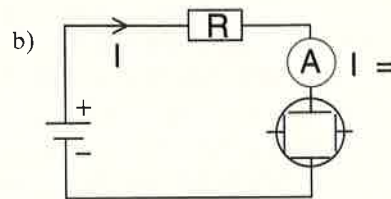
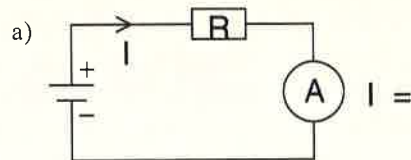
2 Volts/Div. Sääda valopiste keskelle ruutua säätimillä 4 ja 8.

- Kytke Y-sisääntuloon 4,5 voltin paristo. Lue jännite näytöltä. Vaihda pariston johdot toisin päin. Mitä tapahtuu?
- Vaihda paristo X-sisääntuloon. Lue taas jännite.

HUOM! Saat oikean tuloksen vain, jos molempien kanavien Variable-hienosäätimet (7 ja 11) ovat CAL-asennossa.

Tutkimus 2. Voidaanko oskilloskoopilla mitata tasavirtaa?

- Tee oheinen kytkentä a.
- Lue virtamittarista piirissä kulkeva virta.
- Kokeile sitten oskilloskooppia virtamittarina. Liitä virtamittarin kanssa sarjaan oskilloskoopin Y-sisääntulo. Mitä oskilloskooppi ja virtamittari näyttävät?



Johtopäätös:

Virtaa I ei voi mitata suoraan oskilloskoopilla. Koska oskilloskoopin sisäinen resistanssi on hyvin suuri, se katkaisee virrankulun lähes täydellisesti, jos kytket sen virtapiiriin tavallisen virtamittarin tapaan. Ainut tapa mitata virta oskilloskoopilla on seuraava:

- Kytke oskilloskooppi tunnetun vastuksen napoihin oheisen kuvan c mukaisesti. Silloin skooppi näyttää vastuksen päiden välisen jännitteen U . Kun vastuksen resistanssi R tiedetään, virta voidaan laskea yhtälön $U = RI$ avulla.

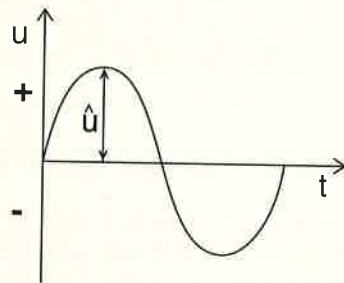
Tutkimus 3. Oskilloskooppi pyyhkäisy-toimintatilassa.

Pyyhkäisy-toimintatilassa skoopin sisäinen elektroniikka ohjaa elektronisuihkun liikettä vaakasuunnassa. Se kuljettaa kuvapistettä näyttöruudun vasemmasta reunasta oikeaan haluamallasi nopeudella. Silloin kaksikanavaisen oskilloskoopin molemmat sisääntulot ohjaavatkin kuvapisteen liikettä pystysuunnassa. Vaaka-akseli taas toimii tarkkana aika-

akselina, koska kuvapisteen **kulkunopeus** vaakasuorassa tunnetaan, ja nopeus voidaan säätää halutun suuruiseksi.

- Aseta pyyhkäisyajan hienosäädin (14) asentoon CAL, liipaisutavan valintakytkin (22) asentoon NORM (joissakin oskilloskoopeissa asentoon AUTO), liipaisusignaalin lähteen valintakytkin (18) asentoon VERT (joissakin oskilloskoopeissa INT tai LINE tai NORM) ja liipaisusignaalin tyyppin valintakytkin (21) asentoon DC (joissakin oskilloskoopeissa AC).
- Säädä pyyhkäisy aika TIME/DIV säätimellä (13) ensin suureksi ja sitten niin pieneksi, että näyttöön piiryy välkkymätön viiva. Kun kanavien sisäntuloliittimien viereiset kytkimet (5, 9) ovat GND-asennossa, säädä viiva keskelle näyttöä pystysuoran paikan säätimillä (4) tai (8). Käännä sitten kytkimet takaisin DC-asentoon.
- Mittaa pariston jännite pyyhkäisy-toimintatilassa.

Vaihtojännite



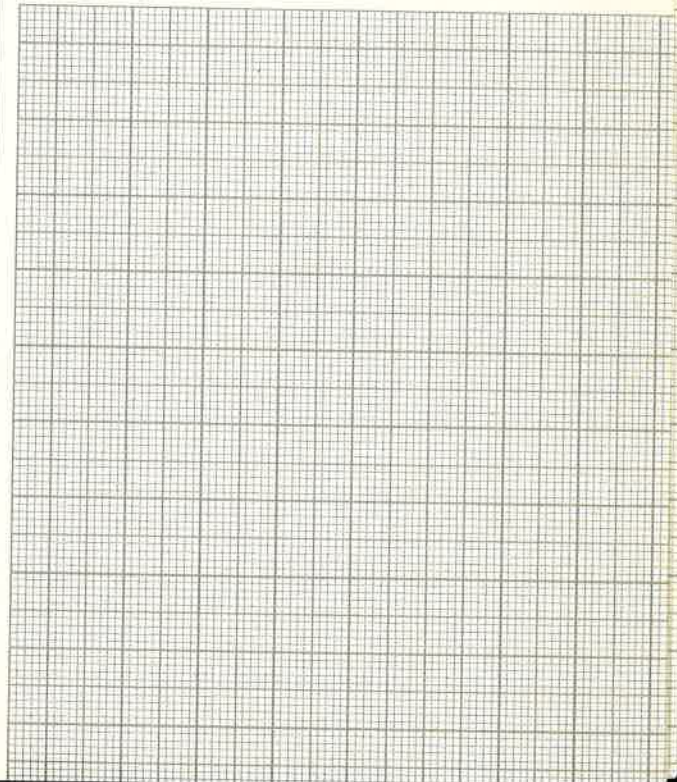
Jännitettä, jonka napaisuus ei vaihdu (siis ”+”- ja ”-”-navat eivät vaihda paikkaa), vaikka jännitteen arvo vaihtelisikin, sanotaan *tasajännitteeksi*.

Jos jännitteen napaisuus vaihtelee jaksollisesti, puhutaan *vaihtojännitteestä*. Kun vaihtojännite kytketään esimerkiksi vastuksen päiden välille, sen läpi kulkevan virran suun-

takin vaihtelee jaksollisesti. Virtakin on silloin *vaihtovirtaa*. Esimerkiksi käyttämämme verkkojännite on vaihtojännitettä. Sen suuruus vaihtelee **jaksollisesti** 50 Hz:n taajuudella sinikäyrän **muotoa** noudattaen. *Äänigeneraattori* eli *funktiogeneraattori* tuottaa vaihtojännitettä, jonka muoto ja taajuus ovat valittavissa.

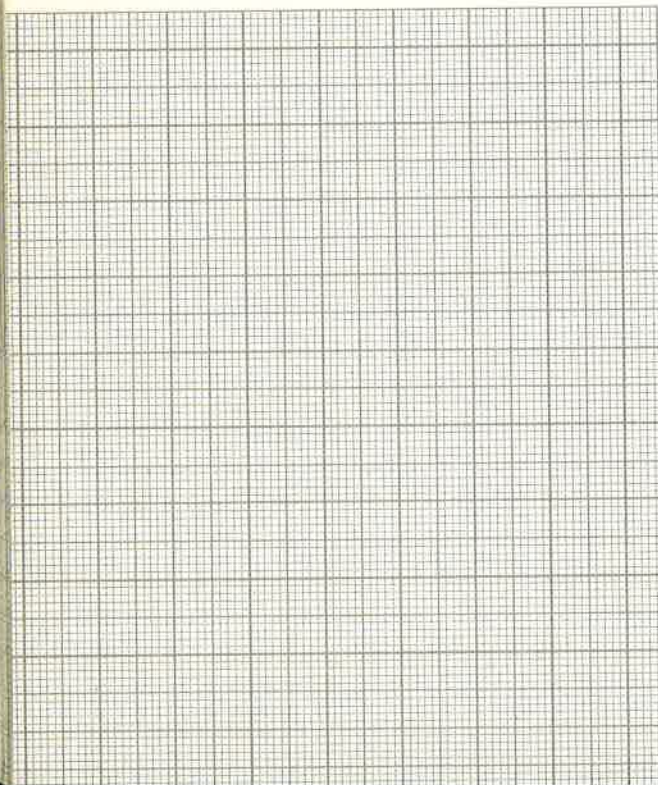
Tutkimus 4. Vaihtojännitteen huippuarvon ja tehollisen arvon **määrittäminen**.

- Katso, että skooppi on pyyhkäisy-toimintatilassa. Aseta pyyhkäisy-tavan valintakytkin (22) asentoon NORM (joissakin oskilloskoopeissa AUTO).
- Tutki oskilloskoopilla äänigeneraattorin tuottamien signaalien aaltomuotoja. Valitse taajuudeksi noin 1000 Hz. Siirrä aalto pystysuunnan paikan säätimellä (4, 8) keskelle ruutua.
- Vaihda jännitelähteeksi oppilasvirtalähde, josta saa noin 4 V:n vaihtojännitteen. Valitse

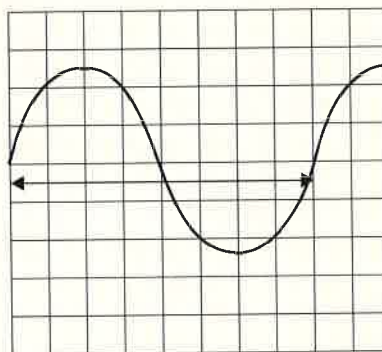


aluksi suurin pyyhkäisy aika (Time/Div). Miltä kuva näyttää? Lyhennä sitten pyyhkäisy aikaa askelittain niin, että näet lopulta näytössä 1 - 2 kokonaista aaltoa. Mittaa vaihtojännitteen huippuarvo (siis 0-tasolta eli keskeltä huippuun).

- Mittaa sama jännite yleismittarilla. Muista kääntää valintakytkin asentoon AC V. Miksi tulos on erisuuri? Kysy opettajalta tai tutki oppikirjasta, jos et tiedä!
- Vaikka elektronisuihku piirtää kuvan aina uudelleen ja uudelleen, kuva pysyy kohdallaan siksi, että skooppi aloittaa uuden pyyhkäisyn eli kuvan piirtämisen aina silloin, kun tutkittava jännite saa määrätyn arvon. Tätä sanotaan *liipaisuksi* (triggering). Liipaisujännite on asetettavissa säätimellä (16). Kaksikanava-oskilloskoopissa voidaan myös määrätä kytkimellä (18), kumman kanavan jännitteestä liipaisu tapahtuu. Kokeile, mitä liipaisutason muuttaminen vaikuttaa kuvaan.



Kun pyyhkäisyajan hienosäädin (14) on asennossa CAL, kuvapisteen liikkumisnopeus vaakasuunnassa on luettavissa pyyhkäisyajan säätimen TIME/DIV (13) asennosta. Se kertoo, kauanko kuvapiste viipyy kahden näytörüudun pystyviivan välissä.



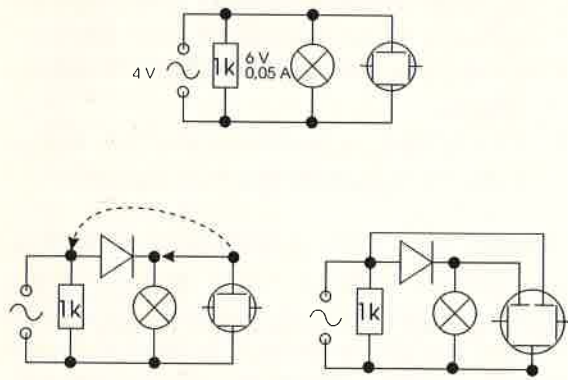
Tutkimus 5. Vaihtojännitteen jaksonajan ja taajuuden määrittäminen oskilloskoopilla

- Kytke äänigeneraattori oskilloskoopin kanavaan 1.
- Valitse siniaalto ja esimerkiksi 1 000 Hz:n taajuus.
- Mittaa näytöltä yhden aallon syntymiseen kulunut aika T.
- Taajuus f kertoo, montako aaltoa syntyy yhdessä sekunnissa, toisin sanoen $f = 1/T$.
- Vertaa saamaasi lukua äänigeneraattorin asteikolta luettuun taajuuteen.

Tasajännitettä vaihtojännitteestä

Suomessa käytetyn verkkojännitteen huippuarvo on noin 330 V ja tehollinen arvo 230 V. Sitä voidaan alentaa eri käyttötarkoituksiin ns. *muuntajilla*. Useimmat elektroniikkalaitteet tarvitsevat kuitenkin toimiakseen tasajännitettä. Sitä saadaan vaihtojännitteestä *tasasuuntaamalla*. Tasasuuntaamiseen käytetään diodeja. Niillähän on sellainen ominaisuus, että ne päästävät virtaa lävitseen vain yhteen suuntaan.

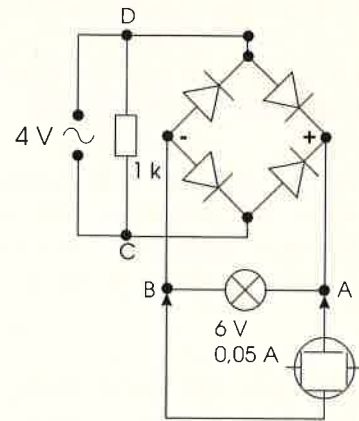
Tutkimus 6. Puoliaaltotasasuuntaus



- Kytke lamppu oppilasvirtalähteeseen noin 4 voltin vaihtojännitteeseen kuvan mukaisesti. Tarkastele lampun päiden välistä jännitettä oskilloskoopilla ja mittaa jännitteen huippuarvo.
- Kytke sitten virtapiiriin diodi kuvan mukaisesti. Mitä tapahtuu lampun kirkkautelle?
- Mittaa tasasuunnatun jännitteen huippuarvo.
- Jos käytössäsi on kaksikanavainen oskilloskooppi, kytke kuvan mukaisesti molemmat kanavat. Käännä pystyakselin näyttötavan kytkin (20) asentoon CHOP tai ALT. Kanava 2 näyttää alkuperäisen jännitteen, kanava 1 tasasuunnatun jännitteen.
- Siirrä kuvat sopiviin paikkoihin pystysuunnan paikkasäätimillä 4 ja 8 sekä vaakasuunnan säätimellä (15).
- Piirrä näytön kuva.

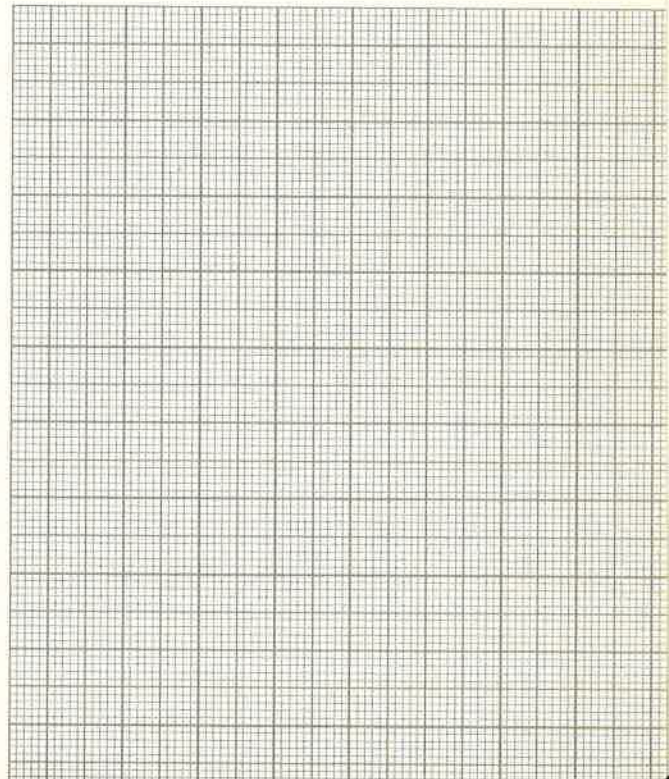
Puoliaaltotasasuuntaus leikkaa vaihtojännitteestä toisen puoliaallon kokonaan pois, ja toisestakin puoliaallosta diodin kynnysjännitteen verran. Kytkemällä neljä diodia ns. tasasuuntaussillaksi (Zener-silta), saadaan negatiivinen puoliaalto käännettyä positiiviseksi, jolloin saadun tykkivän tasajännitteen lampulle antama teho kaksinkertaistuu.

Tutkimus 7. Kokoaaltotasasuuntaus



- Tee oheinen kytkentä. Piirrä marginaaliin oskilloskoopin näyttämä kokoaaltotasasuunnattua jännitettä kuvaava käyrä.

Tasasuuntaamalla saatu tasajännite on kovin epätasaista, eikä se kelpaa sellaisenaan useimmille elektronisille laitteille. Sitä voidaan kuitenkin suodattaa kondensaattorilla



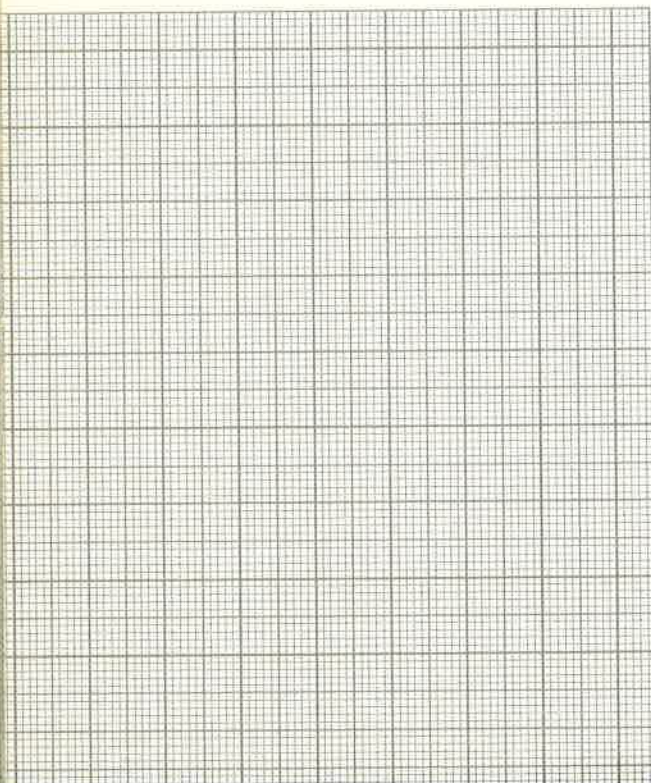
ja muilla jännitteentasaajilla, kuten *zenerdiodilla* tai ns. *jänniteregulaattorilla*, joka on elektronisen suotimen sisältävä mikropiiri.

Tutkimus 8. Tasasuuntaamalla saadun jännitteen suodattaminen tasaisemmaksi.

Kondensaattori on pieni sähkövarasto. Kun jännite nousee, kondensaattori varastoi sähköä ja jännitteen laskiessa se luovuttaa sähkövarausta, jolloin piirissä kulkeva virta tasoituu.

Varoitus! Elektrolyyttikondensaattori on ehdottomasti kytkettävä oikein päin: plusnapa plussaan, miinusnapa miinukseen. ELKOssa on yleensä plusnavan puoleisessa päässä kavennus. Väärä kytkentä aiheuttaa räjähdysvaaran.

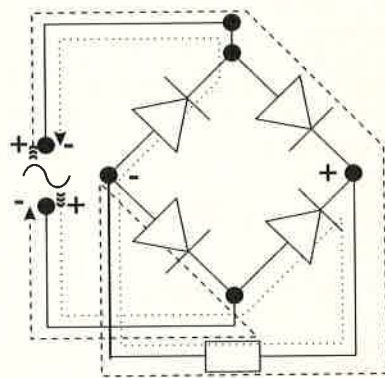
- Lisää edelliseen kytkentään tasasuuntaus sillan plus- ja miinusnapojen väliin eli lampun rinnalle erikokoisia kondensaattoreita ($C = 0,1 \mu\text{F} - 1000 \mu\text{F}$) ja tutki oskilloskoopilla niiden vaikutusta jännitteeseen.



muotoon. Nyt sisääntulojen kytkimien (5 ja 9) on oltava asennossa DC; samoin joissakin oskilloskoopeissa myös liipaisu-signaalin tyyppin valintakytkimen (21).

- Piirrä kuva, josta näkyy kondensaattorin vaikutus.
- Jos käytössä on jänniteregulaattori, kokeile myös sen vaikutusta jännitteeseen.

Tehtävä 12.1. Tutki virran kulkua diodisillassa oheisesta kuvasta. Mihin suuntaan virta kulkee siltaan kytketyn laitteen (tässä vastuksen) läpi a) positiivisen puolisaallan aikana b) negatiivisen puolisaallan aikana?



Tutkimus 9. Äänen tutkiminen oskilloskoopilla.

Jos aikaa on, etkä ole tehnyt luvun 5 oskilloskooppitutkimuksia, voit perehtyä nyt niihin.