

Natuurkunde Klas 5 2008 Na1 en Na12: examen 12%

Open onderzoek 2-tallen 20 sbu: Na1 en 25 à 30: Na12

Gefaseerde beoordeling

eindproduct: paper

- **Inleiding**

Onderzoek is meer dan het uitvoeren van een practicumhandleiding. Wat ga je onderzoeken en hoe ga je dat doen horen normaal gesproken ook bij het onderzoek. Je gaat kennismaken met deze aspecten van onderzoek; van kookboek naar improviseren.

Werkwijze

Per groepje wordt steeds één stuk ingeleverd. De paper is een stuk van maximaal 2 kantjes A4 tekst aangevuld met relevante tabellen en grafieken, zodat de lezer van jullie paper zich een beeld kan vormen van de resultaten.

Eerst wordt een onderwerp gekozen en daarover relevante informatie verzameld (bibliotheek, internet, vragen aan bekenden die er meer van weten etc.).

De verschillende onderdelen die je inlevert moeten er verzorgd en netjes uitzien. Er moet uit blijken hoe eraan is gewerkt en hoeveel tijd door de individuele leden van het groepje (2 personen, eventueel 3 als het niet anders uitkomt) erin is geïnvesteerd.

Voeg steeds per persoon een overzicht van gemaakte uren toe (ook als dit onder schooltijd gebeurt en als je er samen aan hebt gewerkt).

Een groepje van 3 kan dus ook meer materiaal gebruiken voor het beschrijven van hun onderzoek.

Op de volgende tijdstippen onderstaande rapportages inleveren:

- 1 Keuze van het onderwerp, bijbehorende theorie, relevante bronvermelding en de onderzoeksvragen die je daaruit hebt gehaald.
Je hebt uit het verzamelde materiaal kunnen bepalen of je onderzoeksvraag haalbaar is als onderzoek. Zet hier ook de samenstelling van het groepje bij en de per persoon geïnvesteerde uren.
Dit moet uiterlijk week donderdag 14 februari via de ELO worden ingeleverd worden.
Cursusleutel via je docent.

Voorjaarsvakantie 23 februari - 2 maart

- 2 Opzet van het onderzoek: de experimentele opstelling (en geen algemene opzet ervan!) zoals die volgt uit de ingeleverde onderzoeksvraag. Hier moet ook worden aangegeven of er eerst deelvragen moeten worden beantwoord en op welke wijze dat gebeurt. Een overzicht van de te gebruiken apparatuur moet worden bijgeleverd. Noteer de per persoon geïnvesteerde uren.
Dit moet uiterlijk dinsdag 13 maart worden ingeleverd.
- 3 Lever al je metingen in, indien mogelijk in grafiekvorm met individuele metingen/tabellen als bijlage. Geef uitleg bij je resultaten en de verwerking tot grafiek. Noteer opnieuw de gebruikte sbu's per persoon.
Dit moet uiterlijk donderdag 27 maart worden ingeleverd.
- 4 Beschrijf kort je onderzoek, je onderzoeksvraag en de gevonden (relevante!) resultaten en de conclusies. Baseer de conclusies op, in deze paper, beschreven theorie met verwijzing naar je onderzoeksvraag.
De paper is niet groter dan 2 kantjes A4 tekst (Times New Roman 12 punts) en als bijlagen de (gekozen) grafieken en afbeeldingen op maximaal 1 pagina A4.
Dit moet uiterlijk donderdag 10 april worden ingeleverd.

De beoordeling van de onderdelen vindt als volgt plaats:

| | | |
|----------|--|------------------|
| 1 | Keuze onderwerp + theorie: | |
| | Voor de keuze en formuleren onderzoeksvraag: | 5 punten |
| | Theorie en bronnen: | 10 punten |
| 2 | Opzet onderzoek: | |
| | Beschrijving opstelling: | 7 punten |
| | Benodigde practicummateriaal: | 3 punten |
| 3 | Totale verzameling metingen: | |
| | Overzicht van de metingen (ook nauwkeurigheid): | 7 punten |
| | Verwerking tot grafieken (geen berekeningen!): | 8 punten |
| 4 | Paper: | |
| | Netheid: | 4 punten |
| | Volledigheid: | 4 punten |
| | Theorie: | 6 punten |
| | Resultaten (verwerking van de metingen tot grafiek): | 8 punten |
| | Conclusies (samenhang tussen grafiek en onderzoeksvraag): | 15 punten |
| | Nauwkeurigheid (meetonnauwkeurigheid, foutenanalyse, evaluatie): | 8 punten |
| | Leesbaarheid: | 5 punten |
| | TOTAAL: | 90 punten |
| | Cadeau: | 10 punten |

experimenteel onderzoek

Het zal je niet ontgaan zijn dat het experiment in de natuurkunde een belangrijke rol speelt. Er zijn verschillende redenen waarom experimenten worden uitgevoerd. Enkele voorbeelden maken dat duidelijk.

„ZETA” PLAATST THEORETICI VOOR RAADSEL Natuurkundigen ontdekken „niet bestaand” deeltje

Van onze wetenschapsredactie
AMSTERDAM – Fysici van het onderzoekscentrum DESY in de buurt van Hamburg hebben een nieuw fundamenteel deeltje ontdekt. Dit deeltje wordt niet voorspeld door de theorie. Het is een deeltje dat er volgens de theoretici eigenlijk niet kan zijn. De onderzoeksgroep, bestaande uit 78 natuur-

een elektronen- en positronenbundel. Een elektron heeft een negatieve lading. Een positron is het antideeltje daarvan en heeft een positieve lading. Bij de experimenten, waarbij de bundels met enorme snelheden op elkaar botsen, komt een grote hoeveelheid energie vrij in de vorm van

- In 1988 werd door fysici van het onderzoekscentrum DESY in Hamburg een nieuw fundamenteel deeltje ontdekt. Dit ‘zeta-deeltje’ werd niet door een theorie voorspeld en zou volgens de theoretici helemaal niet mogen bestaan. In Genève werd in hetzelfde jaar het theoretisch wel voorspelde ‘top-quark’ gevonden.

Een experiment kan dienen om een bepaalde theorie te bewijzen of juist aan te passen.

- Twee Japanse natuurkundigen slaagden er in 1990 in met een magnetron kleine lichtgevende zwevende bollen op te wekken. Deze verplaatsen zich door keramisch materiaal zonder van vorm te veranderen of het materiaal aan te tasten. Daarin lijken ze sterk op bolbliksems, een verschijnsel dat nog maar nauwelijks wordt begrepen.

Een experiment kan uitgevoerd worden om verschijnselen na te bootsen op laboratoriumschaal en zodoende beter te begrijpen.

- Er is een vereniging van amateurastronomen. Leden zijn mensen die uit liefde voor de hemel afspelen naar nieuwe sterren, planeten en meteorieten.

Soms worden experimenten gewoon uitgevoerd uit nieuwsgierigheid, om nieuwe verschijnselen of eigenschappen te ontdekken.

- Einde jaren '80 ontstond een ware run op het onderzoek naar supergeleiding. Fysici en technici bakten en braadden dat het een lieve lust was. Steeds nieuwe materialen werden gemaakt, waarbij de supergeleidingstemperatuur steeds hoger kwam te liggen.

Er kan heel doelgericht worden gezocht naar een verbetering van een bepaalde eigenschap van een stof of apparaat.

- De oogarts voert met allerlei apparatuur een meting uit om de sterkte van je ooglenzen en eventuele oogafwijkingen te bepalen.

Een experiment kan worden uitgevoerd om de waarde van een bepaalde grootte nauwkeurig te bepalen.

In dit hoofdstuk kun je een experiment kiezen. Er zijn steeds een aantal algemene vragen die bij ieder experiment beantwoord kunnen worden. Verder zijn er ook vragen die je een handvat geven om het experiment op te zetten, uit te voeren en, de meetresultaten te verwerken. Antwoorden op de hulpvragen verwerk je in je verslag.

Overleg met je docent(e) uit welke experimenten je kunt kiezen, hoeveel tijd je er voor krijgt en op welke manier je verslag moet uitbrengen.

De antwoorden op algemene vragen krijgen in de verslaggeving een plaats in de inleiding.

Algemene vragen

- Wat is de onderzoeksvraag die met het experiment beantwoord moet worden?
- Wat is de theorie achter het experiment?
- Welke hypothesen wil je met het experiment toetsen?
- Wat was of is de reden om het experiment of dit soort experimenten uit te voeren? Kijk daarbij naar de voorbeelden uit de inleiding.

1 Het koppel, toerental-diagram van een elektromotor

Het is voor het toepassen van een elektromotor van belang hoe groot het koppel is dat hij kan leveren. Het koppel is de door de motor uitgeoefende kracht maal de diameter van de motoras.

Als de motor in een bepaalde situatie een zodanig koppel moet leveren, dat het toerental sterk terugloopt, zal voor een ander type motor gekozen moeten worden.

Een motor wordt daarom ook wel gekarakteriseerd door een diagram waarin het uitgeoefende koppel staat uitgezet tegen het toerental.

In de figuur hiernaast zie je een opstelling waarmee het te leveren koppel is in te stellen en het toerental is te meten.

Hulpvragen

- Hoe kun je uit de aanwijzing van de veerunsters het uitgeoefende koppel berekenen?
- Waarom moet je de hoogste stroboscoopfrequentie bepalen, waarbij het zwart-witte schijfje op de motor stil lijkt te staan?
- Waarom is het rendement van de motor nul als de motor zo zwaar belast wordt, dat hij stil staat?
- Waarom is het rendement ook bij een onbelaste motor gelijk aan nul?
- Kun je aan de hand van het koppel, toerental-diagram aangeven bij welke belasting deze motor het beste functioneert?
- Bepaal het rendement van de motor bij verschillende toerentalen en teken een rendement, toerental-diagram. Kun je nu aangeven bij welke belasting deze motor het beste functioneert?

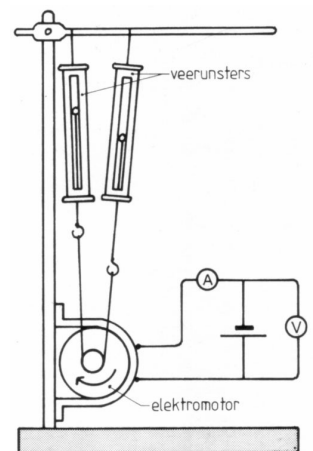


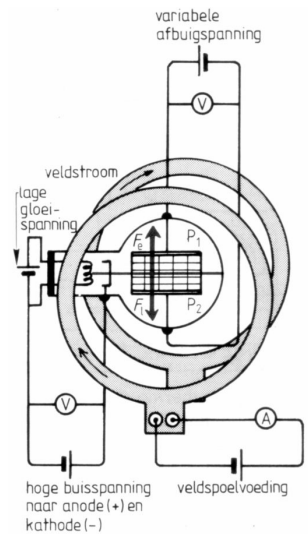
Fig. 1 In deze opstelling wordt de slipmethode gebruikt. Het verschil in aanwijzing van de twee unsters is de door het wielte uitgeoefende kracht. Het zwart-witte schijfje wordt belicht met een stroboscopische lamp. Het door de motor geleverde vermogen is gelijk aan het product van omtrek, toerental en uitgeoefende kracht.

2 Bepaling van de verhouding q/m van elektronen

In een zogenaamde Thomsonbuis worden elektronen door een anode/kathodesysteem versneld. Vervolgens komen de deeltjes in een ruimte waar zowel een elektrisch als een magnetisch veld aanwezig is. De richtingen daarvan zijn zodanig dat de elektrische kracht F_e , en de lorentzkracht F_l , een tegengestelde richting hebben. Bij een bepaalde instelling van de spanningen is dan de verhouding q/m van de elektronen te bepalen.

Hulpvragen

- Hoe kun je de elektronen 'zien' in de Thomsonbuis?
- Hoe kun je constateren dat de krachten op een elektron elkaar opheffen?
- Stel een formule op voor elektronen waarvoor de elektrische kracht en de lorentzkracht elkaar opheffen.
- Op welke manier kan je de snelheid van de elektronen bepalen?
- Hangt de waarde q/m van de elektronen af van de snelheid die ze hebben?



3 Het rendement van zonnecellen

Met een zonnecel wordt stralingsenergie direct omgezet in elektrische energie. Het rendement daarvan is vrij laag. Dat is op zich niet zo bezwaarlijk omdat de stralingsenergie geen geld kost. Maar zonnecellen zelf zijn wel duur, zodat een verhoging van het rendement toch nodig is om ze rendabel te kunnen exploiteren. Een van de manieren daarvoor is nauwkeurig de juiste combinatie van opgewekte spanning en te leveren stroom te kiezen omdat het rendement daar erg van afhangt. Die relatie tussen rendement en geleverd vermogen kun je meten met de schakeling van de figuur hiernaast.

Hulpvragen

- Waarom is het handiger dit experiment met een gloeilamp dan met zonnestraling uit te voeren? Wat kan het nadeel zijn van die methode?
- Waarom en hoe moet je het oppervlak van de zonnecel bepalen?
- Wat voor conclusie trek je uit de rendementskromme voor mogelijk gebruik van zonnecellen?
- Hoe groot is de gemiddelde stralingsenergie die de zon geeft in Nederland op verschillende tijdstippen van de dag en op verschillende momenten in het jaar?
- Op welke manier worden met zonnecellen grotere vermogens opgewekt?

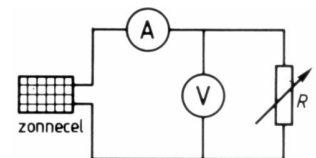


Fig. 3 Om het rendement te bepalen moet je de geleverde, nuttige energie bepalen:

$$V \cdot I \cdot \Delta t$$

en de opvallende stralingsenergie, waarvoor je een gloeilamp kunt gebruiken. Gebruik het gegeven dat een gewone 60 W gloeilamp op 2,0 cm afstand ongeveer 0,8 kW/m² vermogen uitstraalt. Denk om correctie voor omgevingslicht.

4 De gehoordrempel

De gehoordrempel is het laagste geluidsniveau dat je van een toon van een bepaalde frequentie nog net hoort. De gehoordrempel is afhankelijk van de frequentie: lagere en heel hoge tonen hoor je minder goed dan tonen in het middengebied. Daarnaast hangt de gehoordrempel af van de persoon en diens leeftijd. Je kunt experimenteel je eigen gehoordrempel bepalen met de meetmethode die in figuur 4 is weergegeven.

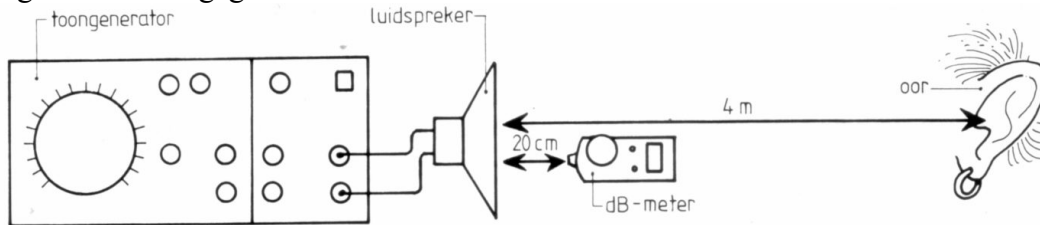


Fig. 4 De meeste decibelmeters kunnen niet beneden de 60 dB meten. Daarom moet je zachte geluiden dichterbij meten en corrigeren voor het verschil in afstand tussen oor en plaats van de decibelmeter. Dat verschil is onafhankelijk van het geluidsniveau!

Hulpvragen

- Waarom is het verschil in geluidsniveau tussen de plaats van het oor en van de decibelmeter bij elke geluidsterkte gelijk?
- Waarom kun je voor dit verschil in geluidsniveau de kwadratenwet niet gebruiken?
- Bij welke frequenties zul je in ieder geval moeten meten?
- In wat voor diagram wordt een gehoordrempelkromme getekend?
- Vergelijk jouw gehoordrempel met die van anderen en met de standaarddrempel.

5 Thermo-elementen

Als je twee verschillende metalen tegen elkaar bevestigt, ontstaat er over de grenslaag een kleine spanning, de zogenaamde thermospanning, die onder andere afhangt van de temperatuur. Je merkt pas iets van die spanning als in een stroomkring twee van die contactplaatsen zitten die een verschillende temperatuur hebben. We spreken wel van de koude en de warme las.

Hulpvragen

- Waarom heb je normaal gesproken geen last van verbindingen in schakelingen tussen verschillende metalen?
- Onderzoek de waarden van thermospanningen van verschillende combinaties van metalen en bij verschillende temperaturen voor de warme las.
- Vergelijk de gevonden waarden met bekende waarden uit een tabellenboek.
- Wat is een thermozuïl?
- Wat is een thermokoppel en hoe kun je er temperaturen mee meten?

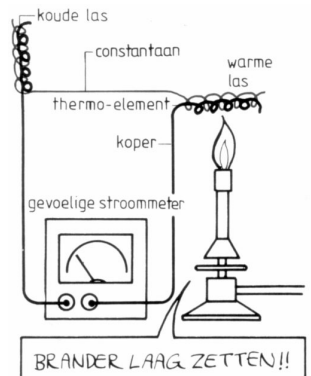


Fig. 5 Een thermo-element van twee verschillende metalen.

6 De compensatieschakeling, een ideale spanningsmeter

Een normale spanningsmeter heeft een inwendige weerstand in de orde van $10^3 \Omega$ tot $10^6 \Omega$. Als je daarmee een spanning meet, maak je een meetfout. Vooral bij het meten van spanningen over grote weerstanden kan die fout aardig oplopen. Een wat dit betreft ideale spanningsmeting kun je uitvoeren met de zogenaamde compensatieschakeling. Zie figuur 6.

Hulpvragen

- Hoe kun je verklaren dat een spanningsmeter een grote meetfout maakt bij het meten van spanning over een grote weerstand?
- Waarom moet de stroommeter in de compensatieschakeling nul aanwijzen?
- Waarom is deze spanningsmeting 'ideaal', dat wil zeggen dat hij de te meten spanning niet beïnvloedt?
- Wat zijn de belangrijkste foutenbronnen bij de compensatieschakeling?
- Gebruik deze meetmethode bij het meten van de klemspanning van een oude batterij terwijl deze stroom levert.

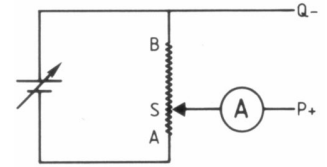


Fig. 6 Je sluit de te meten spanning aan op de punten P en Q van de compensatieschakeling. V_{PO} is dan gelijk aan de spanning tussen B en schuifcontact S, als er geen stroom loopt. De spanning over de weerstandsdraad AB wordt geïjkt door tussen P en Q eerst een nauwkeurig bekende spanning aan te sluiten (bijvoorbeeld één accu-element van 2,00 V).

7 Eigenfrequenties en spankracht bij een snaar

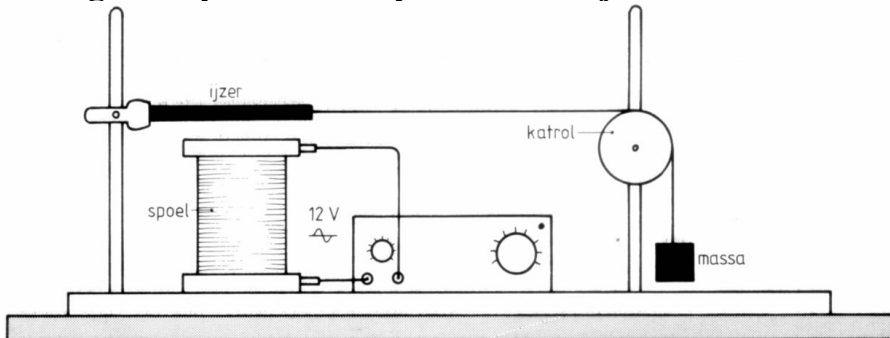


Fig. 8 De zogenaamde proef van Melde. De toongenerator zet een wisselspanning op de spoel. Daardoor komt een verend plaatje in trilling. De spankracht wordt bepaald door de gewichtskracht van de massa's rechts. Bepaal de golfsnelheid door bij verschillende spankrachten één bepaalde eigenfrequentie op te zoeken, bijvoorbeeld steeds van de tweede boventoon.

De eigenfrequenties van een snaar hangen af van de lengte van de snaar en van de voortplantingssnelheid van golven in de snaar. Die laatste hangt weer af van het materiaal en van de spankracht die op de snaar werkt.

Een opstelling waarmee het verband tussen snaarspanning en golfsnelheid kan worden bepaald, is getekend in figuur 8.

Hulpvragen

- Leg uit hoe het plaatje in de spoel precies in trilling komt.
- Wat is de relatie tussen een bepaalde eigenfrequentie en de golfsnelheid?
- Op welke manier moet je je meetresultaten uitzetten om een zo goed mogelijke conclusie te trekken?
- Op welke manier hangt de golfsnelheid af van het materiaal?
- Bepaal met behulp van de steilheid in het diagram het materiaal waar de snaar van is gemaakt.

8 De karakteristiek van een transistor

Je hebt de transistor leren kennen als een schakelement in elektronische schakelingen. Daarnaast speelt hij ook een rol als versterker van elektrische signalen. Een kleine wisselspanning komt bijvoorbeeld van een grammofoonelement of van de magnetische koppen van je cassetterecorder. Deze spanning moet versterkt worden voor aansturing van de luidspreker, zonder dat het patroon van de wisselspanning verstoord wordt. Daarin zit immers de informatie van de opgenomen geluidstrilling. Je kunt de versterking van een transistor bepalen met de schakeling van de figuur hiernaast.

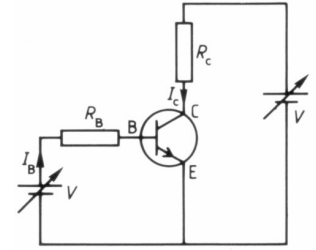


Fig. 4 De versterkingsfactor van een bipolaire transistor is de verhouding tussen ΔI_C en ΔI_B . Die kun je meten door stroommeters op de juiste plaats te zetten. Doe dat bij verschillende waarden van I_B , instelbaar met de potentiometer. Evenzo kan het verband tussen V_{CE} en V_{BE} bepaald worden.

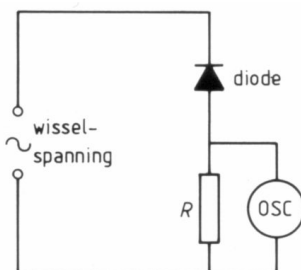
Hulpvragen

- Beschrijf de karakteristieken die je vindt.
- Is de versterkingsfactor afhankelijk van de grootte van I_B ?
- Leg uit hoe een wisselspanning tussen basis en emitter versterkt wordt tot een wisselspanning tussen collector en emitter.
- Verklaar de versterkingseigenschappen van de transistor.
- Ga na hoe de versterkingseigenschappen van een FET worden gekarakteriseerd.

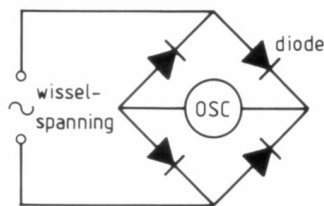
9 Gelijkrichting en afvlakking van wisselspanningen

Na2

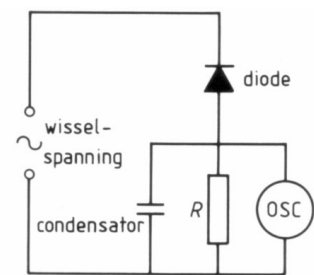
Veel elektrische signalen zijn wisselspanningen. Een voorbeeld is de netspanning. In veel elektronische schakelingen, zoals in de vorige proef, zijn gelijkspanningen nodig als voeding. Dat betekent dat een wisselspanning uit het stopcontact moet worden gelijkgericht en constant gemaakt om als voedingsspanning te kunnen werken. Voor het gelijkrichten heb je diodes nodig, voor het constant maken, het 'afvlakken', condensatoren. De effecten van deze beide componenten op een wisselspanning kun je het beste met een oscilloscoop en schakelingen zoals in de figuur hiernaast onderzoeken.



a Een enkelvoudige gelijkrichter



b Een Graetz-schakeling voor gelijkrichting



c Een gelijkricht- en afvlak-schakeling

Fig. 5

Hulpvragen

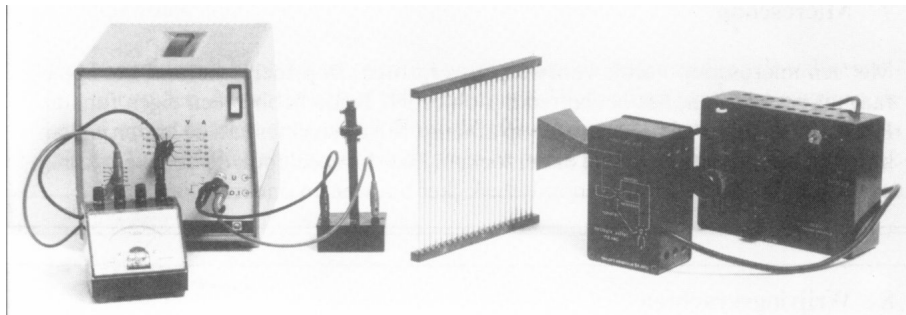
- Wat is de functie van de triggering op een oscilloscoop?
- Wat is het verschil tussen de enkelvoudige gelijkrichting en de Graetzschakeling?
- Welke verschillen zie je tussen het afvlakken van een gelijkgerichte sinusvormige wisselspanning en een gelijkgerichte blokspanning?
- Kun je de vorm van de spanning die na gelijkrichting en afvlakking ontstaat, precies verklaren?
- Kun je met een dynamisch model gelijkrichting en afvlakking van een sinusvormige wisselspanning simuleren?

10 Scherptediepte

Bij een foto toestel zal in theorie slechts dat voorwerp scherp op de foto komen, waarvan de voorwerpsafstand volgens de lenzenformule overeenkomt met de ingestelde beeldafstand. In de praktijk zijn ook voorwerpen rondom die bepaalde voorwerpsafstand scherp. We geven dat aan met de scherptediepte. Deze hangt ondermeer af van de voorwerpsafstand, de sterkte van de lens en het diafragma. Experimenteel is de scherptediepte te bepalen door foto's te nemen van voorwerpen op verschillende vastgestelde afstanden van de lens.

11 cm-golven

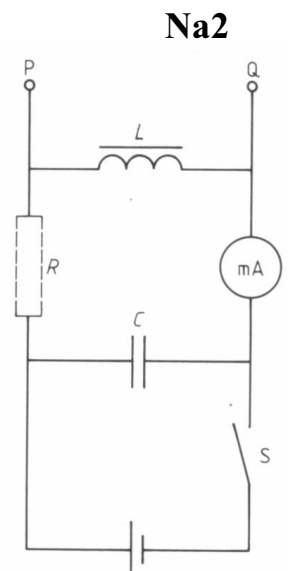
Elektromagnetische golven met een golflengte in de orde van grootte van 10^{-2} m worden cm-golven genoemd. Ze worden bijvoorbeeld in magnetronovens gebruikt. Met een klystron (zie de figuur hierna) kunnen ze worden opgewekt.



Heel veel eigenschappen van golven, zoals buiging, interferentie, terugkaatsing, resonantie, breking zijn met cm-golven in relatief eenvoudige opstellingen te onderzoeken.

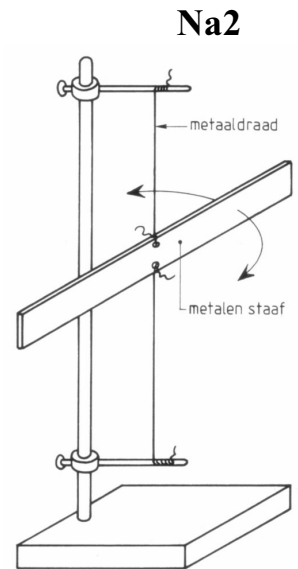
12 (R)LC-kringen

Om in een radio af te stemmen op een zender is een schakeling nodig die reageert op de draaggolffrequentie van het uitgezonden zendersignaal. In zo'n schakeling zijn een spoel en een condensator (en eventueel een weerstand) opgenomen (zie de figuur hiernaast). Het blijkt dat voor wisselstromen van een bepaalde frequentie de weerstand van deze schakeling heel erg laag wordt.



13 Traagheidsmomenten

Zoals de massa van een voorwerp de traagheid ervan bepaalt bij het in beweging komen, zo bepaalt het traagheidsmoment van een voorwerp de mate waarin een voorwerp door een krachtmoment tot draaiing kan worden gebracht. Een voorwerp waarvan je het traagheidsmoment goed kunt bepalen is de **torsieslinger** (zie de figuur hiernaast). Dat is een metalen staaf die is opgehangen aan een metaaldraad en in een horizontaal vlak slingeren kan uitvoeren. Het traagheidsmoment is te variëren met gewichtjes aan de staaf. Een ander voorbeeld is de zogenaamde **fysische slinger**. De massa van zo'n slinger is verdeeld over de hele lengte. Ook is plaatselijk extra massa aan te brengen.



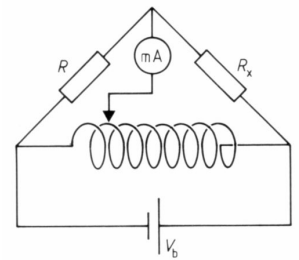
14 Het Hall-effect

Als je een elektrische stroom in de lengterichting door een plaatje laat lopen en een magnetisch veld loodrecht op dit plaatje aanbrengt, dan zal er een potentiaalverschil meetbaar zijn tussen onder- en bovenkant van het plaatje. Dit zogenaamde Hall-effect kan worden gebruikt om de magnetische inductie te bepalen.

Na2

15 Brug van Wheatstone

Een brug van Wheatstone is een elektrische schakeling die gebruikt wordt om zeer nauwkeurig weerstanden te bepalen zonder dat de meetinstrumenten van invloed zijn. Met deze schakeling kun je bijvoorbeeld de weerstand tussen collector en emitter bij een bipolaire transistor meten of de temperatuurafhankelijkheid van een weerstand.



16 Een leegstromende buis

De schuimkraag op een glas bier wordt snel kleiner. Tegelijk wordt ook het tempo van kleiner worden, de afnamesnelheid, kleiner.

Dit soort processen, waarbij de waarde van een grootheid afneemt in de tijd, maar met een steeds kleinere snelheid, komen veel voor. Soms is bij die processen een halveringstijd te definiëren, een constante tijdsduur waarin de waarde van de veranderende grootheid wordt gehalveerd.

Een ander voorbeeld van zo'n proces is het leegstromen van een vat water. Om dit proces te onderzoeken kun je een buret nemen, zoals die bij scheikunde wel wordt gebruikt.

Hulpvragen

- Welke grootheid neemt bij het leegstromen af?
- Hoe kun je de afnamesnelheid van deze grootheid experimenteel bepalen?
- Hoe kun je bepalen of er van een constante halveringstijd sprake is?
- Wordt de loop van het proces beïnvloed door de soort vloeistof en door de grootte van de uitstroomopening?
- Zijn er overeenkomsten en verschillen tussen dit proces en bijvoorbeeld het ontladen van een condensator?

17 Oppervlakte spanning

Druppelmethode.

18 Wet van Bernoulli

Draagvermogen van een vleugel.

19 Viscositeit (van olie, bijv. ook temperatuurafhankelijkheid)

Stromingsweerstand in een buis.

20 Wet van Poiseuille

Relatie drukverschil en stromingssnelheid.

21 Chromatische aberratie, sferische aberratie. (2 verschillende opdrachten)

Hoe hangt de sterkte van een lens af van de golflengte.

Hoe breekt de lens een bundel welke schuin invalt.

22 Maak je radar snelheidsmeter.

3cm golven, interferentie, doppler.

23 Elasticiteitsmodulus van een metaal bepalen

Torsieslinger, rotatietrillingen.

24 Eigen onderwerp (in overleg met je docent!)