

Fysica

1. Elementaire deeltjes: (a-toom = on-deelbaar)

- Kern (of nucleus):
 - diameter 10^{-15} m tot 10^{-14} m
 - opgebouwd uit elementaire deeltjes (nucleonen (enkel voor neutronen en protonen)):
 - Neutronen
 - geen lading
 - massa 1840 keer groter dan elektron (berekendbaar uit formularium)
 - Protonen (massa gegeven op formularium)
 - lading = $+e$ (elementaire lading hoeveelheid staat op formularium)
 - massa 1840 keer groter dan elektron
 - neutronen en protonen gemaakt uit 3 quarks (samen gehouden door gluonen)
 - Samen gehouden door sterke kernkrachten
 - 1 van 4 elementaire krachten
- elektronen: (massa gegeven op formularium)
 - bewegen rond de kern in gebied van: 10^{-10} m (10^5 - groter dan kern)
 - lading = $-e$
- Atoom:
 - zelfde aantal elektronen als protonen (Z)
 - Aantal nucleonen: Massagetal (A)
 - Als enkel aantal neutronen verschilt, "isotopen verschillen"
 - weinig verschil in eigenschappen
 - natuur => mengsels van isotopen
 - waterstof met 1(2) neutron(en) (deuterium = ^2H tritium = ^3H)
 - Uranium: veelvoorkomend ^{238}U , kernenergie ^{235}U
 - Als atoom extra elektronen opneemt of afgeeft, spreekt men van ion
- Andere elementaire deeltjes (niet in de opbouw van een atoom)
 - enkel observeerbaar met ingewikkelde experimenten in deeltjesversnellers
 - Neutrino
 - massa ~ 0
 - lading = 0
 - positron
 - massa = massa elektron
 - lading = $+e$
 - muon
 - massa ± 207 keer massa elektron
 - lading = $+e$ of $-e$
 - pion
 - massa ± 207 keer massa elektron

■ lading = +e of -e of 0

- Botsing elementaire deeltjes?
 - vaak worden de deeltjes vernietigd, en ontstaat er een ander in de plaats

2. Moleculen

- groepen van gebonden atomen:
 - kunnen relatief klein zijn: H_2O
 - organische moleculen bestaan soms uit duizenden atomen (DNA)
 - elektronen houden de atomen samen
 - Individuele atomen verliezen identiteit: atomen delen
 - Valentie elektronen: elektronen op de buitenste schil
 - bepalen fysische en chemische eigenschappen
 - andere elektronen merken niet veel van de bindingen
 - maken complexe bewegingen, door interacties met kernen en gebonden elektronen
 - dit zorgt voor regelmatige patronen in rangschikking (Denk aan H_2O die in een hoek staat. (105°))
- Edelgassen:
 - komen voor in de natuur als geïsoleerde atomen

3. Macroscopische materie

- Aggregatie toestanden
 - gasvormig
 - moleculen (of atomen zie edelgas) vullen maximale ruimte
 - afstand tussen moleculen (gemiddeld) vrij groot (factor 10 grootte moleculen)
 - Intermoleculaire reacties relatief zwak
 - vloeibaar
 - intermoleculaire afstand $\pm$ gelijk aan vast
 - Interactie-krachten niet voldoende voor vaste plaats te behouden
 - grote mobiliteit (moleculen)
 - wel vast volume, maar geen vaste vorm (neemt de vorm aan van het vat waarin ze zich bevinden)
 - geen vaste kristalstructuur over grote delen van de vloeistof
 - wel over enkele intermaleculaire afstanden (quasi-kristallijne ordening)
 - vast
 - interacties groot
 - moleculen staan op vaste plaats ten opzichte van omgevende moleculen
 - regelmatige ruimtelijke verdeling! (ook periodiciteit)
 - resulteert in kristalrooster (zie grafiet-diamant)
 - opgebouwd uit:
 1. moleculen (bv ijs)

2. ionen (bv keukenzout)

■ Fysische eigenschappen

- hangen fel af van de aard van de binding en de manier waarop de structuur is opgebouwd.
 - kleur, hardheid, elektrische geleidbaarheid, ...
- stoffen als glas vertonen niet de regelmatige structuur van vaste stoffen (niet kristallijn, maar amorf)
 - fysische eigenschappen zijn dan ook anders

4. Fundamentele interacties

● 4 basis-interacties

1. Gravitatiekrachten
2. elektromagnetische krachten (tussen ladingen)
- Nucleaire krachten
 - afstanden 10^{-15} m (daarbuiten geen effect, komt overeen met atoomkern)
3. sterke kernkrachten
 - stabiliteit atoomkernen
4. zwakke kernkrachten
 - radio-actief verval
- zoektocht naar unificatie van deze vier
 - laatste decennia
 - voorspelling Higgs boson deeltje om kernkrachten samen te voegen in het standaardmodel
 - Dit deeltje werd in 2012 experimenteel bevestigd in CERN
 - Snaartheorie
 - 4 krachten verenigen
 - 10-dimensionale ruimte
 - alle interactie is vibratie snaar (10^{-35} m)

Metingen en eenheden

5. 4 fundamentele grootheden

1. lengte (L)

- meter (m)
 - gedefinieerd in functie van afstand dat licht aflegt in een vaste fractie van een seconde

2. tijd (T)

- seconde (s)
 - x perioden van straling afkomstig van de overgang tussen 2 hyperfijn-niveaus van de grondtoestand van ^{133}Cs (cesium) (uitgevoerd in atoomklok)

3. massa (M)

- kilogram (kg)
 - massa van een referentie blok uit platina
- elk deeltje -> karakteristieke hoeveelheid massa
 - bepaalt sterkte gravitationele interactie met andere deeltjes

4. lading (Q) (stroomsterkte in SI (makkelijker meetbaar))

- coulomb (C) (stroomsterkte: ampère (A))
 - (ampère) constante elektrische stroom door 2 evenwijdige geleiders geplaatst zijn in vacuüm op afstand van 1 meter voor elke meter lengte een kracht veroorzaakt van $2 \cdot 10^{-7}$ newton
 - (coulomb) hoeveelheid lading die op 1 seconde door een geleider vloeit met een constante stroom van 1 Ampère.
- elk deeltje -> karakteristieke hoeveelheid lading
 - bepaalt sterkte elektromagnetische interactie met andere deeltjes
- toegevoegd voor eenvoud door SI (Système international d'unités)
 - temperatuur
 - kelvin (K)
 - $273,15 \text{ K} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - materie
 - mol (mol)
 - aantal atomen in $12 \text{ g } ^{12}\text{C}$
 - lichtsterkte
 - candela (cd)
 - in functie van de richting
 - ten opzichte van de bron
 - bron: monochromatisch (exact 1 frequentie (zoals in laser)) met frequentie $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ stralingssterkte in die richting $1/683$ watt per steradiaal (3D equivalent voor radiaal)

5. Atoommassa (amu = atomaire-massa eenheid)

- $1 \text{ amu} = 1/12$ van de massa van ^{12}C atoom ($1.6604 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ staat op formularium)
 - ($\pm$ de massa van 1 nucleon)
 - massa proton = $1.0073 \text{ amu} > 1$
 - massa neutron = $1.0087 \text{ amu} > 1$
 - massa protonen en neutronen in ongebonden toestand zijn groter dan in gebonden toestand? ($E = mc^2$)

6. Dichtheid

- massadichtheid
 - $\rho = \frac{m}{V}$ met ρ de massadichtheid, m de massa en V het volume
 - eenheid (si) $\rho = \text{kg/m}^3$
 - In 1 mol zitten steeds evenveel entiteiten van die stof. Deze hoeveelheid komt overeen met het getal van Avogadro, N_A genoemd. (eenheidsloos)
 - $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ staat op formularium
- $N_A \cdot \text{Molecuulmassa (in amu)} \cdot 1.6604 \cdot 10^{-24} \text{ g} = \text{Molecuulmassa g(ram)}$
 - Uitleg: $1/1.6604 = 0.6022 \Rightarrow N_A \cdot 1.6604 \cdot 10^{-24} = N_A \cdot 1 / N_A = 1$
 - $\text{amu} = \text{g/mol}$

7. Dimensies

- verschillende dimensies stellen andere grootheden voor
 - vb: meter of mijlen liggen in dezelfde dimensie maar meter en seconde niet
- 4 fundamentele grootheden, elk hun dimensie
 - dimensie snelheid (v) = $[v]=L/T$
 - eenheid is afleidbaar uit de dimensie)

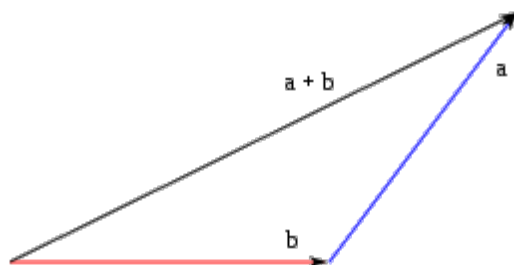
Vectoren

8. Scalaire en vectoriële grootheden

- scalair
 - volledig bepaald door hun grootte
 - bv. massa, tijd, temperatuur
- vectoriële grootheden
 - bepaald door
 - grootte
 - richting
 - zin
 - bv verplaatsing, versnelling, snelheid, kracht,...
 - genoteerd als: $\vec{AB}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$, $\underline{e}$ of $\underline{f}$
 - evenwijdige verplaatsing, blijft dezelfde vector aanduiden (geen aangrijpingspunt)
 - lengte $\vec{a} = |\vec{a}|$
 - eenheidsvector: $|\vec{a}| = 1$
- gebonden vectoren
 - vectoren die ook bepaald worden door het aangrijpingspunt
 - aan de hand van een draagrechte
 - indien een vector niet is gebonden: vrije vector

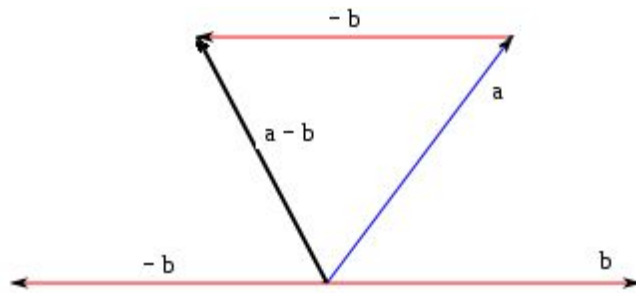
9. som en verschil van vectoren

- Optellen van vectoren



- eigenschappen bij optelling:
 - $\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$ (commutatief)
 - $(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c})$ (associatief)

- aftrekken van vectoren

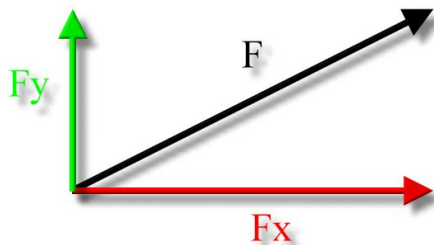


$$\blacksquare \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

- vermenigvuldigen scalar met vector
 - $m \cdot \vec{a} \rightarrow$ gelijke zin en richting als $\vec{a}$ maar de grootte = $|\vec{a}| \cdot m$ (in de vooronderstelling dat m positief is) anders is de zin ook omgekeerd in is grootte met absolute waarde van m

10. Componenten van een vector

- een groep vectoren die samen (door middel van een optelling) een resulterende vector voorstellen. (meestal volgens de assen van het (rechthoekige) assenstelsel)



- goed om weten (met θ is hoek tussen F en F_x)
 - $F = F_x + F_y$
 - $F_x = F \cos \theta$
 - $F_y = F \sin \theta$
 - $F^2 = F_x^2 + F_y^2$
 - in 3D: $F^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2$

11. Scalair product

- aangeduid met $\cdot$
- $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}| |\mathbf{B}| \cos \theta = AB \cos \theta$
 - komt overeen met de grootte van $\mathbf{A}$ vermenigvuldigd met de grootte van de projectie van $\mathbf{B}$ op $\mathbf{A}$
- eigenschappen:
 - commutatieve eigenschap: $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$
 - distributieve eigenschap: $\mathbf{C} \cdot (\mathbf{A} + \mathbf{B}) = \mathbf{C} \cdot \mathbf{A} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{B}$
- speciale gevallen
 - $\mathbf{A}$ en $\mathbf{B}$ vallen op dezelfde rechte: $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}| |\mathbf{B}|$
 - $\mathbf{A} \cdot \mathbf{A} = |\mathbf{A}|^2$
 - $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = 0$ als $\mathbf{A}$ en $\mathbf{B}$ loodrecht

12. Vectorieel product (uitwendig of kruisproduct)

- aangeduid met $\times$
- grootte: $|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = AB \sin\theta$
- richting: loodrecht op vlak gevormd door $\mathbf{A}$ en $\mathbf{B}$
- zin: rechterhand regel van $\mathbf{A}$ naar $\mathbf{B}$
- $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -(\mathbf{B} \times \mathbf{A})$
- $\mathbf{A} \times (\mathbf{B} + \mathbf{C}) = \mathbf{A} \times \mathbf{B} + \mathbf{A} \times \mathbf{C}$
- speciale gevallen
 - $\mathbf{A} \times \mathbf{A} = \mathbf{0}$
 - $|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = AB$ als $\mathbf{A}$ loodrecht op $\mathbf{B}$
- Ook te schrijven als een determinant

$$\begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

Mechanica

Wetten van de beweging

13. Inleiding

- bewegingen worden geïdealiseerd tot beweging van puntmassa
- wetten van Newton vormen basis van klassieke mechanica
 - verandering van beweging in verband brengen met de krachten die erop inwerken
 - klassieke mechanica is enkel geldig voor grote (in verhouding met afmetingen van atomen) verplaatsingen en kleine snelheden (in verhouding met de lichtsnelheid)
 - anders kwantummechanica en relativiteitstheorie

14. snelheid en versnelling:

- Beweging van deeltje is gekend als: (deeltje $\sim$ puntmassa)
 - positie in de ruimte op elk moment gekend is
 - snelheid
 - $v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$
 - gemiddelde snelheid na het maken van een cirkel is 0
 - eenheid m/s
 - $v \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$ met $\equiv$ betekent gedefinieerd als
 - vectoriële grootheid
 - versnelling
 - verandering in snelheid

$$a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

- vectoriële grootheid

15. Krachten

- verandering in beweging in een deeltje wanneer een nettokracht groter dan nul inwerkt op dat deeltje
- soorten krachten
 - contact krachten (bv. wegtrappen bal)
 - komen overeen met elektro-magnetische interacties (zie 4. fundamentele interacties)
 - veldkrachten (bv. zwaartekracht)

16. Wetten van Newton

- 1^{ste} wet
 - lichaam in rust blijft in rust, een lichaam in een ERB blijft in die beweging ERB = Eenparige rechte lijnige beweging
 - tenzij een netto uitwendige kracht op inwerkt
 - speciaal geval 2e wet (versnelling $a = 0$)
 - traagheids- of inertiewet
 - Vooronderstelt een inertiaalstelsel
 - coördinatenstelsel waarin lichamen met constante snelheid bewegen indien er geen krachten op inwerken. (geen logaritmische schaal)
 - Om een voorwerp van bewegingstoestand te veranderen
 - weerstand overwonnen -> deze weerstand: traagheid of inertie
 - maat voor inertie: massa (scalair)
- $$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$
- deze vergelijking is enkel geldig als netto kracht bij beide metingen gelijk is.
- Massa kan ook een maat zijn van gravitationele interactie
 - geen conflict met vorige definitie.
 - ⊖ massa = gewicht

- 2^{de} wet
 - hoeveelheid van beweging of impuls (p)
 - $p \equiv m \mathbf{v}$
 - merk op dat een hoeveelheid impuls eigen is aan een lichaam. (elk lichaam heeft exact 1 impuls)
 - wet: kracht is de afgeleide van impuls naar de tijd.

$$\vec{F}_{netto} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$$

- als m constant, dan is $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$
 - merk op dat hieruit de eerste wet ook af te leiden is.
- De eenheid van kracht is hieruit gemakkelijk afleidbaar:
 - $[F] = [m][a] = ML/T^2 \rightarrow kg \cdot m/s^2 = N$ (newton)

- 3^{de} wet (actie reactie wet)
 - als 2 lichamen een kracht uitoefenen op elkaar, dan is de kracht die inwerkt op beide lichamen even groot, maar tegengesteld
 - 1 kracht die op zichzelf voorkomt bestaat niet, ze komen altijd voor in paren.

17. Behoud van impuls

- beschouw 2 geïsoleerde lichamen die een onderlinge kracht op elkaar uitoefenen
 - Lichaam 1 is onderhevig aan netto kracht $\vec{F}_{21}$
 - Lichaam 2 is onderhevig aan netto kracht $\vec{F}_{12}$
 - $\vec{F}_{21} + \vec{F}_{12} = 0$ (uit 3de wet)
 - uit 2de en derde wet: (afleiding)
 - $\vec{F}_{21} = \frac{d\vec{p}_1}{dt}$
 - $\vec{F}_{12} = \frac{d\vec{p}_2}{dt}$
 - $\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = \frac{d\vec{p}_2}{dt} + \frac{d\vec{p}_1}{dt} = \frac{d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{dt} = 0$
 - dus $(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)$ is onafhankelijk van de tijd
 - behoud van impuls
 - Dit geldt voor alle 3 de dimensies apart ook (niet alleen voor de grootte)

(Oefenzitting 1 tot hier)

Gravitatie

18. Algemene gravitatiewet

- $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ (gravitationele constante in formularium)
 - $G = 6.673 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$
 - $F = G \frac{m m_a}{r_a^2}$ voor de aarde:
 - m: een massa op het aardoppervlak
 - m_a : massa aarde
 - r_a : straal van de aarde

19. Gravitatie, gewicht en massa (op aarde)

- W: aantrekkingskracht van de aarde
 - $W = G \frac{m m_a}{r_a^2} = m g$
 - met $g = G \frac{m_a}{r_a^2} = 9.8 \frac{m}{s^2}$ (staat in formularium)
 - deze waarde is enkel geldig aan het aardoppervlak

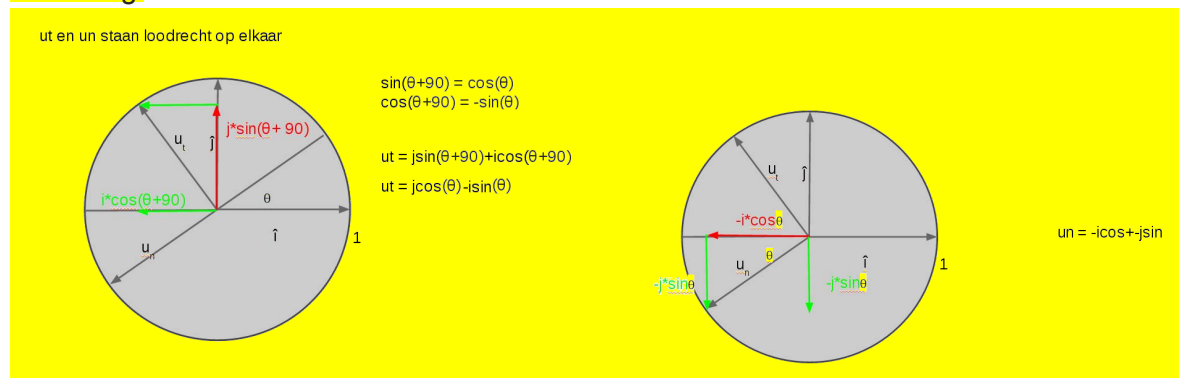
20. Gravitatieveld

- Bij gravitatieveld wordt een maat van gravitatie voor een vaste positie gegeven
 - uit $F = m \cdot g$
 - $g = \frac{F}{m}$ dit is enkel geldig op het aardoppervlak.
 - gelijkaardig kan elke sfeer rond de aarde een vaste kracht per massa waarde krijgen die **aangeeft aan hoeveel kracht een bepaalde massa op die positie onderhevig zou zijn**
 - moet niet perse rond de aarde, maar was een goed voorbeeld

21. De cirkelvormige beweging

- voer 2 nieuwe eenheidsvectoren in
 - u_T richting van de snelheid (tangentieel)
 - u_N richting van het middelpunt, loodrecht op de snelheid (Normaal)
 - uit de definities moeten ze meedraaien met het bewegend deeltje
 - als i en j eenheidsvectoren respectievelijk in x en y richting
 - $u_T = -i \sin \theta + j \cos \theta$
 - $u_N = -i \cos \theta - j \sin \theta$

verklaring:



$$a = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(v\vec{u}_T)}{dt} = \frac{dv}{dt}\vec{u}_T + v\frac{d\vec{u}_T}{dt} = a_T + v\frac{d\vec{u}_T}{dt}$$

- verandering in u_T

$$\frac{du_T}{dt} = -i \cos \theta \frac{d\theta}{dt} - j \sin \theta \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{dt} u_N$$

$$d\theta = \frac{dx}{r} \text{ en } v = \frac{dx}{dt} \text{ waaruit :}$$

$$\circ \quad \frac{du_T}{dt} = \frac{d\theta}{dt} u_N = \frac{dx}{r \cdot dt} = \frac{v}{r} u_N$$

- s is de cursus komt overeen met de positie van het draaiende deeltje (hier voor consistentie als x genoteerd)

$$\blacksquare \quad a = a_T + \frac{v^2}{r} u_N = a_T + a_N \quad \text{als } v \text{ constant: } \frac{dv}{dt} u_T = a_T = 0$$

maar $a_N \neq 0$ a_N richting middelpunt cirkel (v constant = eenparig)

- versnelling naar het middelpunt -> kracht naar het middelpunt (2de wet van Newton)

$$\blacksquare \quad F \vec{u}_N = m \vec{a}_N = m a_N \vec{u}_N = \frac{mv^2}{r} \vec{u}_N \quad (\text{met } r \text{ afstand tot het middelpunt van de aarde (voor satelliet)})$$

- Opmerking door Michaël: "In een **eenparige** cirkelvormige beweging is de netto geleverde arbeid altijd 0." als niet eenparig, kan het zijn dat de snelheid versnelt (bv in een slinger) dan zal de kracht op te delen zijn in 2 componenten (één die het versnelt, de ander die het in een cirkelbaan houdt)

22. Wrijvingskrachten

- beweging over een oppervlak -> tegenwerkende kracht = wrijvingskracht
 - ruwheid van de 2 oppervlakken
 - uiteindelijk te maken met elektrostatische krachten tussen atomen (of moleculen)
 - relevante kracht voor wrijving: normaal kracht (let op, loodrecht op het oppervlak (dus niet altijd even groot als de zwaartekracht))
 - wrijvingskracht $\vec{f} = -\mu |\vec{n}| \vec{u}$ met:
 - μ : de wrijvingscoëfficiënt
 - $|\vec{n}|$: de grootte van de normaal kracht
 - $\vec{u}$: eenheidsvector in de richting van de resulterende kracht uit alle krachten (uitgezonderd de wrijvingskracht)
 - wrijvingscoëfficiënt
 - μ_k : de wrijvingscoëfficiënt eens het voorwerp in beweging is
 - μ_s : de statische wrijvingscoëfficiënt
 - uit experimenten blijkt dat: $\mu_k < \mu_s$
- in fluïda (formules staan niet in het formularium)
 - bij lage snelheid:
 - $\vec{R} = -b\vec{v}$ met r de weerstandskracht, v de snelheid en b een evenredigheidsconstante die afhangt van fluïdum en voorwerp
 - bij hoge snelheid (of bij grote voorwerpen)
 - $\vec{R} = \frac{C\rho A v^2}{2}$
 - met A oppervlak doorsnede van het voorwerp loodrecht op de bewegingsrichting
 - ρ : dichtheid van de lucht
 - C: dimensieloze maat van stroomlijn van het voorwerp

- R kan hoog oplopen (maximaal even groot als de stuwkracht (nettokracht is dan nul snelheid zal dan niet meer groeien)

23. Terugroepkracht bij veren

- **Wet van Hooke:** $\vec{F}_x = -k\vec{x}$ met:
 - $\vec{x}$ de afstand vanaf de evenwichtspositie ($\vec{x}=0$)
 - k de veerconstante (altijd positief)
 - het min-teken duid aan dat de terugroepkracht de uitrekking tegenwerkt

Arbeid en Energie

24. Inleiding (niet echt belangrijk voor oefeningen, enkel nodig voor de volledigheid)

- invoering krachtstoot (S):
 - de impulsverandering van een deeltje is gelijk aan de krachtstoot (afgeleide van impuls = kracht)
 - $v = v_0 + \frac{1}{m}S$
 - $\vec{r} = \int_{r_0}^r d\vec{r} = \int_0^t (\vec{v}_0 + \frac{S}{m})dt = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\int_0^t S dt}{m}$
 - probleem?
 - S meestal gegeven in functie van x, y en z coördinaten
 - dus om positie te berekenen heb je de positie nodig....
 - oplossing?
 - Arbeid en energie

25. Arbeid (scalar)

- arbeid is gelijk aan het product van de verplaatsing en de component van de kracht in de richting van de verplaatsing. (of scalair product)

- $$W = \int_P^Q \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_P^Q dr F \cos\theta$$

- als rechtlijnig met constante kracht:
 - $W = F \Delta r \cdot \cos\theta$
- eenheid
 - joule (J) = Newton meter = Nm

26. Vermogen

- Snelheid waarmee arbeid geleverd wordt

- $$P = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

- gemiddeld vermogen $P_{gem} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$
- eenheid
 - watt (W) = J/s (1 pk = 746W)
- KiloWattUur: een **maat van energie** (niet vermogen)
 - Hoeveelheid energie verbruikt bij 1 kilo watt operatie gedurende een uur
 - $1kWh = (10^3W) \times (3600s) = 3,6 \cdot 10^6 J$

27. Kinetische energie

$$W = \int_P^Q \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_P^Q m \vec{a} d\vec{r} = m \int_P^Q \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{r} = m \int_P^Q \frac{d\vec{r}}{dt} d\vec{v}$$

$$= m \int_P^Q \vec{v} d\vec{v} = \frac{m}{2} [v^2]_P^Q = \frac{m(v_Q^2 - v_P^2)}{2}$$

- hieruit blijkt dat we arbeid kunnen berekenen uit de begin en eindsnelheden

- $K \equiv \frac{mv^2}{2}$

- K = kinetische energie

- $W = K_Q - K_P$

28. Potentiële energie

- conservatief?
 - een kracht is conservatief wanneer de arbeid geleverd door die kracht op een deeltje dat beweegt tussen twee punten onafhankelijk is van de gevolgde weg tussen de twee punten.

- U = potentiële energie (J)

- $W = \int_P^Q \vec{F} \cdot d\vec{r} = U_P - U_Q$

- De arbeid geleverd door een conservatieve kracht is gelijk aan het tegengestelde van de verandering in potentiële energie verbonden met die kracht

- opmerking: een potentiële energie is gelinkt aan een kracht
- vaak ten opzichte van een referentiepositie (met overeenkomende U=0)

- enkel het verschil in potentiële energie is relevant

- $\vec{F} \cdot d\vec{r} = -dU$ (Wanneer door een conservatieve kracht arbeid geleverd wordt, dan zal de potentiële energie afkomstig van die kracht dezelfde hoeveelheid energie kwijt zijn.)

29. Behoud van mechanische energie

- uit:
 - $K_Q - K_P = U_P - U_Q$ volgt:

- $K_P + U_P = K_Q + U_Q$ waaruit volgt dat
- $E_P = (K + U)_P = (K + U)_Q = E_Q$
- Hierdoor is: $E \equiv K + U$
 - De totale (mechanische) energie $E = K + U$ van een deeltje blijft constant als de krachten die op het deeltje inwerken conservatief zijn. (zie wrijving niet conservatief -> stoppen slinger)
- niet-conservatieve krachten?
 - geleverde arbeid door een niet conservatieve kracht

$$W_{NietConservatief} = \Delta E$$
 - Arbeid van een niet conservatieve kracht is het verschil in mechanische energie voor en na de beweging
 - het verschil zal groter zijn bij een langere baan
 - Waar gaat deze energie naar toe?
 - inwendige thermische energie
 - > vibraties rond evenwichtsposities op atomaire schaal
 - hebben kinetische en potentiële energie
 - a. totale energie behouden
 - Energie kan omgevormd worden naar andere energievormen, maar kan nooit verdwijnen of aangemaakt worden (dit in de vooronderstelling dat massa gelijk blijft)

30. Energie en massa:

- Behoud van energie houdt niet meer, behoud van massa ook niet (zie $E = mc^2$) maar behoud van energie en massa als één geheel houdt wel.
- Ook is kinetische energie anders in de buurt van c :

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$$

niet in het formalarium

- maar ook: $K = E - mc^2$ dus

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- [voor meer info hoe dit terug te brengen is naar lage snelheden.](#)
- De totale energie is gelijk aan de som van de kinetische en de rustenergie.
- kernenergie: omzetten van massa naar energie (gebruikmaken van rustenergie) een kleine massa behoudt enorm veel energie.

$$1kg \sim 9 \cdot 10^{16} J$$
 - ter referentie: een hagelgeweer heeft bij een schot (kogel 35g) aan het eind van de loop een snelheid van 400 m/s en bevat 2,8kJ aan kinetische energie (rustenergie in de kogel: $3.15 \cdot 10^{15} J$ wat $1.125 \cdot 10^{12}$ keer meer dan de kinetische energie van de kogel)

31. Impulsmoment (L) ook draaiimpulsmoment

- altijd ten opzichte van een gekozen punt. (meestal oorsprong)
 - vectorieel product plaatsvector $\mathbf{r}$ en impulsvector $\mathbf{p}$:
 - $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = -\vec{p} \times \vec{r} \neq \vec{p} \times \vec{r}$
 - richting is loodrecht op het vlak gevormd door $\mathbf{r}$ en $\mathbf{p}$ in de richting aangegeven door de rechterhandregel. (of kurkentrekker regel)
 - Aangezien $\mathbf{r}$ afhankelijk is van je oorsprong is $\mathbf{L}$ verschillend afhankelijk van het gekozen referentiepunt. (zowel grootte, richting als zin)
 - willekeurige (gekromde) baan:
 - ontbindt $\mathbf{p}$ in 2 componenten samen met eenheidsvectoren
 - transversaal, loodrecht op de plaatsvector ($\vec{p}_t$)
 - $\vec{u}_t \rightarrow \vec{p}_t = p_t \vec{u}_t$
 - radiaal, volgens plaatsvector ($\vec{p}_r$)
 - $\vec{u}_r \rightarrow \vec{p}_r = p_r \vec{u}_r$
 - $\vec{p} = \vec{p}_t + \vec{p}_r = m\vec{v} = m(\vec{v}_t + \vec{v}_r)$
 - Als $\mathbf{p}$ en $\mathbf{r}$ in het x,y vlak
 - $\vec{u}_r = \vec{i}\cos\theta + \vec{j}\sin\theta$
 - $\vec{u}_t = -\vec{i}\sin\theta + \vec{j}\cos\theta$
 - $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}_r + \vec{r} \times \vec{p}_t = 0 + \vec{r} \times \vec{p}_t = m(\vec{r} \times \vec{v}_t)$
 - $\vec{r} \times \vec{p}_r = 0$ want θ is hier 0, $\sin\theta$ is dus 0
 - $|\vec{L}| = mrv_t = mr^2 \frac{d\theta}{dt}$
 - bij cirkelbeweging: (referentiepunt = middelpunt cirkel)
 - $r = \text{constant}$
 - $v_r = 0$
 - $L = mr^2\omega = mrv$
 - > met ω de hoeksnelheid
 - eenheid
 - $\text{kg m}^2/\text{s}$

32. moment van een kracht (τ) ook torsie

- een maat voor het effect van een kracht t.o.v. een scharnierpunt
- vectorproduct tussen plaatsvector en kracht
 - $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$
 - $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \neq \vec{F} \times \vec{r}$ (richting tegengesteld, bepaalbaar door rechterhandregel of kurkentrekker regel)
 - eenheid: Newton meter = Nm

33. verband tussen impulsmoment en krachtmoment

- uit $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ volgt dat

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} = 0 + \vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} = 0 \quad \text{want } \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v} \quad \text{en } \vec{v} \text{ en } \vec{p} \text{ hebben een hoek } 0$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

- zoals eerder gezien is
- Hieruit volgt dat verandering impulsmoment $\vec{L}$ gelijk is aan het krachtmoment
 - anders gezegd: als er geen krachtmoment is, dan blijft het impulsmoment gelijk, anders moet het impulsmoment wijzigen

34. Behoud van Impulsmoment:

- Als in een geïsoleerd systeem krachten aanwezig zijn (geen enkele kracht van buiten het systeem) dan zegt de derde wet van Newton dat alle krachten in het systeem in paren voorkomen, waarbij $F_{12} = -F_{21}$ (kracht van object 1 op object 2 en andersom)

$$\text{■ positie object 1} = \vec{r}_1 \text{ en positie object 2} = \vec{r}_2$$

$$\text{■ dan is: } \frac{d\vec{L}_1}{dt} = \vec{r}_1 \times F_{12} = \vec{\tau}_1 \quad \text{en is } \frac{d\vec{L}_2}{dt} = \vec{r}_2 \times F_{21} = \vec{\tau}_2$$

$$\text{■ } \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 = \vec{r}_1 \times \vec{F}_{12} + \vec{r}_2 \times \vec{F}_{21} = \vec{r}_1 \times \vec{F}_{12} + \vec{r}_2 \times (-\vec{F}_{12}) = (\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \times \vec{F}_{12}$$

- aangezien object 1 kracht levert op object 2 en andersom kan verwacht worden dat $\vec{r}_1 - \vec{r}_2$ evenwijdig staat met $\vec{F}_{12}$ waardoor het kruisproduct tussen de 2 gelijk moet zijn aan nul
 - dit betekent dat in een geïsoleerd systeem het totaal van alle impulsmomenten gelijk zal blijven (niet alleen in grootte, maar ook in richting en zin)

Informatie tot hier afkomstig van "Mechanica en electriciteit inleiding" (<- @Bram, ik weet dat het elektriciteit is, maar dat is niet de naam van het boek...) geschreven door A. Vantomme.

[verder is afkomstig van Algemeen natuurkunde II door professor P. Van Duppen \(met Inge Verbeek\)](#) (volgens mij de voorganger van onze prof)

Elektriciteit

Elektrische ladingen (elektrostatica)

1. Eigenschappen elektrische ladingen

- 2 soorten ladingen
 1. positieve
 - zie proton, positron (glas wordt positief geladen door wrijving)
 2. negatieve
 - zie elektron (rubber wordt negatief geladen door wrijving)
- tegengestelde ladingen trekken elkaar aan, gelijke ladingen stoten elkaar af
- geïsoleerd systeem: behoud van totale lading
 - lading kan niet worden opgebruikt enkel elektronen transfert is mogelijk. (protonen worden niet doorgegeven)
- Elektrische lading is gekwantificeerd in een elementaire lading e met $|e| = 1,60219 \cdot 10^{-19} C$ e is de lading van één proton. ($|e|$ staat in formularium) (C is coulomb, zie verder)
 - Een fractie van deze elementaire lading kan nooit bekomen worden.
 - elke (positieve) lading kan herschreven worden als $N \cdot e$ met $N \in \mathbb{N}$ (met uitzondering van quarks, maar die komen enkel in gekoppelde toestand voor)

2. Elektrische ladingen door inductie:

- 3 soorten materialen
 1. geleiders
 - elektronen kunnen vrij bewegen door het materiaal (vooral metalen)
 2. isolators
 - alle elektronen zijn gebonden aan de atomen -> onbeweeglijk (bv glas, rubber, hout)
 3. halfgeleiders
 - tussen isolator en geleider, silicone (silicium) en germanium, (dit is de basis van IC's en processoren)

- voorwerpen laden door inductie 5 stappen
 1. neutraal geladen geleider
 2. houd een negatief geladen staaf in de buurt
 - negatieve ladingen in de geleider zullen weg bewegen
 3. aard de geleider
 - teveel aan negatieve lading stroomt weg
 4. haal de aarding en de negatieve staaf weg
 5. er blijft een positief geladen geleider achter
 - Opmerking: negatieve staaf mag de geleider niet raken
- opladen van een niet geleider (polariseren)
 - geladen object tegen een isolator aanhouden:
 - moleculen in de isolator gaan zich polariseren:
 - Eén kant van de moleculen positief geladen, de andere kant is negatief geladen. (totaal nog steeds neutraal zie H_2O)
 - Bij het polariseren zullen alle polaire moleculen zich heroriënteren in dezelfde richting waardoor er binnenin de isolator een elektrisch veld ontstaat omgekeerd als het elektrisch veld dat gebruikt is om te polariseren?

2. Wet van Coulomb

- bij het werken met geladen objecten kan om de berekeningen eenvoudiger te houden de lading in 1 punt beschouwd worden (Dit is enkel mogelijk als symmetrie dat toelaat)
- Welke invloed hebben 2 puntladingen op elkaar?

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad \text{met:}$$

- k_e de coulomb constante (staat in het formularium)
- q_1 en q_2 de lading in respectievelijk puntlading 1 en 2
- r de afstand tussen q_1 en q_2
- $\hat{r}$ de eenheidsvector van q_1 naar q_2

- k_e kan herschreven worden tot: $k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
 - met ϵ_0 de **permitiviteit van het vacuüm** (waarde in formularium)

- superpositie van krachten
 - gravitatiekracht meestal zo klein in verhouding met de Coulombkrachten, zwaartekracht verwaarloosbaar.

$$\frac{F_e}{F_g} = 2 \cdot 10^{39}$$

3. Het elektrische veld

- veldkracht: zonder contact, ook door lege ruimte (in tegenstelling tot bv geluid)
- Pas elektrische kracht wanneer minstens 2 ladingen in de ruimte zijn.

- gravitatieveld $\vec{g} = \vec{F}_g/m$ -> onafhankelijk van massa (werkt zelf zonder massa) gelijkaardig heb je ook het elektrisch veld.

- Elektrische veld $\vec{E}$ veroorzaakt door een bronlading q geeft een maat voor de kracht die zou ontstaan door deze lading bij het plaatsen van een elektrische puntlading van 1 Coulomb op de gegeven positie.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} = k_e \frac{q_0 q_1}{q_0 r^2} \hat{r} = k_e \frac{q_1}{r^2} \hat{r}$$

- eenheid $\frac{N}{C} = \frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot C}$ (alternatief: $\frac{dV(olt)}{d m(eter)}$ (verandering van potentiaal naar de afstand))

- Opgelet!!!

- positief elektrisch veld betekent dat een positieve lading een kracht krijgt met het veld mee en een negatieve lading gaat een kracht hebben tegen het veld in.

- Bij een dipool:

- wat is een dipool?
 - 2 puntladingen q en -q met een even grote, maar tegengestelde lading die op een afstand 2a van elkaar staan
- Elektrisch veld op de middellijn tussen de 2 ladingen:
 - y componenten heffen elkaar op
 - gelijke grootte maar tegengesteld
 - de 2 x componenten versterken elkaar
 - gelijke grootte en gelijke richting
 - elektrische veld is op de middellijn gelijk aan:

$$\vec{E} = k_e \frac{2qa}{(a^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

- Merk op dat y in de noemer staat, als y veel groter wordt dan a staat y^3 in de noemer, aangezien y dan zeer groot is, dan nadert de vergelijking 0. (hoe verder van een dipool gelegen, hoe meer het dipool zich zal gedragen als een neutraal deeltje)

4. Elektrisch veld continue ladingsverdeling

- veel ladingen dicht op elkaar (ten opzichte van het gezochte punt P)
 - ladingen worden gezien als een continue ladingsverdeling (niet meer ondeelbare kleine ladingen)

- continue verdeling in een volume: $\rho = \frac{Q}{V}$ of $\frac{dq}{dV}$ in $\frac{C}{m^3}$

- continue verdeling in een oppervlakte: $\sigma = \frac{Q}{A}$ of $\frac{dq}{dA}$ in $\frac{C}{m^2}$

- continue verdeling op een rechte: $\lambda = \frac{Q}{l}$ of $\frac{dq}{dl}$ in $\frac{C}{m}$

- Hierbij is de eerste vergelijking als de verdeling uniform is, bij de 2de hoeft dat niet het geval te zijn.

5. Elektrische veldlijnen

- ze zijn een grafische voorstelling van het elektrische veld
 - ze hebben geen echte fysische betekenis
- Elektrische veld is een vectorveld. (één vector voor elk punt in de ruimte)
- Elektrische veldvectoren raken de elektrische veldlijnen.
- Het aantal veldlijnen per oppervlakte-eenheid stelt de grootte van het elektrisch veld voor in dat gebied
- Veldlijnen beginnen bij een positieve lading, en eindigen in een negatieve lading
- veldlijnen kunnen nooit kruisen (zie stroming fluïda)
- (uit experimenten: veldlijnen lopen altijd loodrecht op het oppervlak)

6. Beweging van een lading in een uniform elektrisch veld: (zeer gelijkend op gravitatieveld)

- $\vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a}$ dus is $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$
 - E is constant
 - uniform elektrisch veld
 - als q en m constant (waar we van uit mogen gaan)
 - versnelling is constant
- als we uit rust beginnen, dan is
 - de eindpositie gelijk aan: $x_f = \frac{at^2}{2}$
 - de eindsnelheid gelijk aan: $v_f = \frac{qE}{m}t$
 - de kinetische energie op het einde is dan:
 - $K = \frac{mv^2}{2} = \frac{m2qE\Delta x}{2m} = qE\Delta x$
 - met t in functie van Δx
 - Dit komt ook overeen met de geleverde arbeid van het elektrische veld op de lading

7. dipool in een uniform elektrisch veld:

- Dipool kan een eenvoudige voorstelling zijn van polaire moleculen
 - dipool moment: $|\vec{p}| = Ql$ met:
 - Q de lading op elke puntlading
 - l de afstand tussen de twee
 - totale kracht:
 - $\vec{F} = \vec{F}_+ + \vec{F}_- = Q\vec{E} - Q = 0 \rightarrow$ 2 gelijke maar tegengestelde krachten.
 - de krachten liggen niet in elkaars verlengden dus:

➤ Krachtmoment

- elke kracht grijpt aan op één lading, dus een rotatie rond het middelpunt

- $\tau = QE \frac{l}{2} \sin \theta + QE \frac{l}{2} \sin \theta = pE \sin \theta$

➤ bij de rotatie daalt de potentiële energie zo veel mogelijk

- $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

○ De geleverde arbeid door een elektrisch veld op een

elektrische dipool: $W = \vec{p} \cdot \vec{E} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) = -\Delta U$

- bij fotokopie machine: voornaamste is dat inkt door statische lading aangetrokken wordt op de trommel die op de juiste manier ontladen is.

8. Elektrische flux: (Φ_E)

- Elektrisch veld herdefiniëren als de flux per oppervlakte. (zie later waarom dat nuttig is.

- $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$ (scalair product) (eerste voor homogeen $\vec{E}$

2de niet homogeen, integraal is 2decimaal) met:

➤ $\vec{E}$ het elektrische veld.

➤ $\vec{A}$ een vector loodrecht op het oppervlak, waarbij de grootte de grootte van het oppervlak aanduidt (als het oppervlak gesloten is, dan staat die steeds naar buiten).

- speciaal geval: $\vec{E}$ en $\vec{A}$ staan loodrecht op elkaar (het vlak loopt evenwijdig met de veldlijnen van $\vec{E}$).

➤ $\Phi_E = 0$

- bij gesloten oppervlak

➤ integraal aangegeven met: $\oint$

- Een gesloten oppervlak in een uniform elektrisch veld:

➤ $\Phi_E = 0$ want alle inkomende veldlijnen moeten er terug uit

9. Wet van Gauss

- $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$ met: (staat in formularium)

➤ Q_{in} de ingesloten lading

➤ ϵ_0 de permitiviteit van het vacuüm (waarde in formularium)

- waarom? (aangetoond bij een sfeer (= de schil van een bol) met straal r met in het middelpunt een lading +q)

➤ uit het gegeven volgt dus dat:

- $|\vec{E}| = \frac{k_e \cdot q}{r^2}$ met als richting: door het middelpunt van de cirkel, zin is dan weg van de bol
 - oppervlakte vector is in dezelfde richting en zin als het elektrisch veld.
 - $\Phi_E = \oint \vec{E} d\vec{A} = \oint E dA = E \oint dA = E \cdot A$
 - A sfeer = afgeleide volume bol = $\frac{d(\frac{4}{3}\pi r^3)}{dx} = 4\pi r^2$
 - $\Phi_E = k_e \frac{q}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = 4k_e q \pi = \frac{4q\pi}{4\pi\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0}$ want
 - $k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

- Het resultaat van eender welke andere (willekeurige) gesloten oppervlakte die deze sfeer omsluit (en waarbij geen andere ladingen worden ingesloten) is dezelfde, want de veldlijnen vertrekken vanuit een lading, (en komen aan in een lading) dus worden nog steeds evenveel veldlijnen gesneden.

10. Toepassing: Elektrisch veld ten gevolge van een ladingsverschil

- Als het elektrische veld gekend is, neem dan een gesloten oppervlak waarbij zowel de oppervlakte makkelijk te berekenen is, en waarbij liefst ook het elektrische veld overal even groot, en loodrecht op het oppervlak staat.
 - daaruit kan flux bepaald worden, waaruit de ingesloten lading makkelijk te bepalen is.
- andere toepassingen passen altijd deze techniek toe... (ik ga hier nu niet in detail op ingaan. (resultaten wel...))
 - geladen bol (niet geleider die homogeen geladen is.) elektrisch veld stijgt lineair tot de buitenkant van de bol bereikt is, vanaf dan gedraagt het zich als een puntlading
 - een geladen schil: geen elektrisch veld in de schil, alle krachten van ladingen heffen elkaar op.
 - cilindrische symmetrische ladingsdistributie: neem een cilinder rond de geladen cilinder, met zelfde middelpunt. (neem de lengte van de geladen cilinder ∞) dan is het elektrische veld op de mantel overal even groot en loodrecht op het oppervlak, de grondvlakken staan evenwijdig met het elektrische veld
 - op een oneindig vlak hier maakt het niet veel uit welke vorm je je gesloten oppervlak maakt, zolang je loodrecht op het vlak staat en evenwijdig + dat je oppervlakte makkelijk te berekenen is. op die manier is de flux weer makkelijk te berekenen.
- Let op! geen ingesloten lading betekent NIET dat er geen elektrisch veld is. maar wel dat er geen netto flux is in een gesloten oppervlakte.

11. geleiders in **elektrostatisch evenwicht** (een dynamisch evenwicht)

- Er is geen netto ladingsverschil
 - bij het plaatsen van een geleider in een elektrisch veld, zal er tijdelijk een herverdeling van lading zijn in de geleider, maar daarna zal er een statische toestand ontstaan. Een aantal eigenschappen van deze toestand zijn.
 - De lading van een geïsoleerde geleider bevindt zich aan het oppervlak
 - Aangezien die lading zich aan de buitenkant bevindt zal er inwendig een elektrisch veld opgewekt worden. Dit elektrisch veld is net zo groot als het uitwendige elektrisch veld, maar tegengesteld in richting, hierdoor heffen deze 2 elkaar op waardoor het netto elektrische veld in een geleider nul is.
(enkel voor elektrostatische!)
 - als dit niet het geval zou zijn, dan zouden de ladingen nog steeds onderhevig zijn aan krachten, waardoor deze terug zouden herverdelen
 - Het elektrisch veld aan het oppervlak van een geleider staat altijd loodrecht op de geleider, als dat niet het geval zou zijn, dan zou je dat elektrische veld kunnen opdelen in 2 componenten. Eén loodrecht op het oppervlak, de andere staat evenwijdig met het oppervlak, die 2de component zal dan zorgen dat de lading in de geleider gaat bewegen,
totdat die kracht terug loodrecht staat. (grootte: $|\vec{E}| = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$)
 - Oppervlakteladingsdichtheid is het grootste bij de grootste oppervlaktekromming, dat komt neer op scherpe punten.
(verklaring zie verder)
 - Opgelet! de lading is verdeeld over de buitenste schil van de geleider, maar dat betekent NIET dat deze lading overal aan de buitenkant gelijk is.

12. Elektrische potentiaal (herhaling: enkel bij conservatieve krachten) (scalair)

- $\Delta U = - \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}$ -> min teken omdat bij leveren arbeid de potentiële energie daalt (geleverde arbeid door dezelfde kracht die ook de potentiële energie levert. anders geldt dit niet)
 - het gevolgde pad maakt niet uit, omdat de inwerkende krachten conservatief zijn
- Potentiële energie per testlading is enkel afhankelijk van de bron:

$$\triangleright \frac{\Delta U}{q_0} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad \text{want: } \vec{E} = \vec{F}/q_0$$

$$\triangleright \text{Nieuwe grootheid: Potentiaal} \quad V \equiv \frac{U}{q_0}$$

- o Eenheid: J/C = V (volt is joule per coulomb)

> Dit stelt een alternatieve definitie van elektrisch veld voor

- o Elektrisch veld is verandering van potentiaal met de afstand

> Een alternatieve energieëenheid is hier ook mogelijk

- o elektronvolt = energieverandering die voortkomt door één lading e te bewegen door een potentiaalverschil van 1 volt

- Let op: potentiaalverschil is niet gelijk aan het verschil van potentiële energie. aangezien potentiële energie ook afhangt van de lading, een negatieve lading heeft dus een grotere potentiële energie bij een kleine potentiaal

13. Potentiaalverschil (scalair)

$$\Delta V \equiv \frac{\Delta U}{q_0} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad \text{met s de verplaatsing}$$

> veldlijnen wijzen steeds in de richting van afnemende elektrische potentiaal

- o vlakken loodrecht op de veldlijnen hebben dezelfde potentiaal

> zo een vlak heet een equipotentiaaloppervlak

> behoud van energie blijft gelden: kinetische energie + potentiële energie blijft gelijk

> in een uniform elektrisch veld

- o E blijft gelijk, dus kan die uit de integraal, dus is het potentiaalverschil daar gelijk aan $\Delta V = -Ed$
> met d de afstand van de afgelegde weg

- Elektrisch veld bij 2 parallelle platen met tegengestelde ladingen. (waarbij potentiaalverschil gekend is.)

$$\triangleright E = \Delta V/d$$

- o met d de afstand tussen de platen

- bij puntlading:

$$\triangleright V = k_e \frac{q}{r}$$

- o volgt uit de integraal

14. bekijk indien er nog tijd is de slides hier (ziet er mij niet super relevant uit...)

15. elektrische potentiaal in een geleider

- Aangezien het geen arbeid vraagt om een een lading te verplaatsen in een geleider is de potentiaal in een geleider overal gelijk. dit betekent dat het potentiaalverschil in een geleider nul is.

- Hieruit volgt dat:

> de potentiaal op een geleidende bol met lading q en straal R gelijk is

$$\text{aan: } V = k_e \frac{Q}{R} = k_e \frac{\sigma A}{R} = k_e \sigma 4\pi R \quad \text{met } \sigma \text{ de oppervlakte ladingsdichtheid.}$$

- als de straal half zo groot is, dan is $V = k_e \sigma 2\pi R$
- wanneer een geleidende verbinding gemaakt wordt, dan moet de lading zich herverdelen dat de potentiaal in beide gelijk is
- Aangezien $k_e 2\pi R$ en $k_e 4\pi R$ niet kunnen wijzigen is de enige factor die kan veranderen σ . Dus de lading is niet meer homogeen verdeeld, maar gaat zich vooral plaatsen op de kleine radius.

16. kooi van Faraday:

- geleider met caviteit zonder lading in de caviteit
 - lading Elektrisch veld in de caviteit moet nul zijn.
 - een geleider heeft overal gelijke potentiaal
 - 2 willekeurige punten op het oppervlak van de caviteit
 - als 2 punten willekeurig moeten zijn, dan moet $E = 0$
 - caviteit omhuld door een geleider is een veldvrije zone (als er geen lading in de caviteit zit)
 - Corona ontladings effect:
 - ionisatie luchtmoleculen door hoog elektrisch veld rond een geleider. Deze elektronen zullen andere moleculen in de buurt van de geleider ioniseren, zodat er meer vrije elektronen ontstaan (lawine effect)
 - Millekan-experiment
 - 2 parallelle metalen platen, een olieverstuiver
 - kleine oliedruppels konden door een gaatje in de bovenste plaat
 - x-stralen om de lucht in de kamer te ioniseren
 - (niet te kennen: gamma straling geeft extra energie aan de elektronen in de lucht, waardoor ze vrijkomen van hun kern)
 - de vrijgekomen elektronen hechten zich op de olie zodat de olie negatief geladen is
 - horizontaal licht maakt oliedruppels zichtbaar door een telescoop evenwijdig met de lichtstraal. oliedruppels zijn lichtgevende sterren op donkere achtergrond
 - individuele gedrag: kan bestudeerd worden.
 - bij het toevoegen van een elektrisch veld kan de versnelling gemeten worden
 - elementaire lading kan zo worden vastgesteld

17. Graaf versneller

- statische lading wordt overgebracht op een band, deze band komt tegen de binnenkant van een holle geleider, de lading zal zich langs de buitenkant herverdelen (zie kooi van Faraday) zodat de binnenkant van de geleider altijd neutraal blijft. hierdoor kan de lading steeds (in theorie ongelimiteerd) groeien.
 - de band kan opgeladen worden met het coronna effect met scherpe geleiders in de buurt van de band.

Condensatoren en diëlectrica

18. condensator

- Dient om elektrische lading en energie op te slaan
- bestaat uit:
 - 2 geleiders met een ruimte ertussen,
 - deze ruimte bestaat uit een diëlectricum (isolator). (kan ook vacuüm of lucht zijn)
- lading opslaan?
 - beide geleiders hebben dezelfde lading, maar met een tegengesteld teken.

19. Capaciteit van een condensator

- Doordat er een lading op beide geleiders is, zal er een bepaald potentiaalverschil bestaan tussen deze platen
 - De capaciteit is de verhouding tussen de lading van één plaat gedeeld door het potentiaalverschil
 - $C \equiv \frac{Q}{\Delta V}$ De capaciteit is dus per definitie positief
 - eenheid: C/V of F van Farad (Farad is een enorme maat, een praktische eenheid is meestal $\mu F = 10^{-6} F$ of $pF = 10^{-12} F$)
- Let op De capaciteit is afhankelijk van de condensator, dus constant, onafhankelijk van de lading die er op dat moment op staat. (tenzij het diëlectricum gewijzigd word, of de platen veranderen)

20. Bereken capaciteit van condensatoren:

- bij parallelle platen: (berekening zie slides)
 - $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$
 - met A oppervlakte
 - d de afstand tussen de 2 platen
- bij cilinder met huls (berekening zie slides)
 - $C = \frac{l}{2k_e \ln\left(\frac{R_a}{R_b}\right)}$
 - met R_a de straal van huls
 - R_b de straal van de inwendige cilinder
 - l de lengte van de cilinder
- bij sferische condensator (berekening zie slides)
 - $C = \frac{r_a r_b}{k_e (r_a - r_b)}$
 - met r_a straal bol
 - en r_b straal sfeer

21. combinaties van condensatoren

- parallel

- Oppervlakte van de platen vergroot dus de capaciteit vergroot
- $Q_{tot} = Q_1 + Q_2$ en $\Delta V_{tot} = \Delta V_1 = \Delta V_2$
- $Q = \Delta V C$
- $C_{tot} \cdot V_{tot} = C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2$
- $C_{eq} = C_1 + C_2$

■ serie

- de afstand tussen de platen vergroot dus de capaciteit verkleint
- $Q_{tot} = Q_1 = Q_2$ en $V_{tot} = V_1 + V_2$
- $V = \frac{Q}{C}$
- $\frac{Q_{tot}}{C_{tot}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$
- $\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}$

22. energie in een condensator

- tijdens het opladen, is er in het begin heel weinig kracht nodig om de lading te verplaatsen, maar naargelang de lading in de condensator stijgt, zal er steeds meer kracht nodig zijn om daar nog lading aan toe te voegen.

$$dW = \Delta V dq = \frac{q}{C} dq$$

- dus de integraal:

$$\circ \quad W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq \quad \text{hierbij is:}$$

- Q de vaste (eind) lading
- q de variabele lading tussenin
- C constant

$$\circ \quad W = \frac{1}{C} \int_0^Q q \cdot dq = \frac{Q^2}{2C}$$

- $U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2$ andere manier om dit te noteren (waarvoor Q niet gekend moet zijn)

- bij een maximale ΔV krijg je doorslag

- Energie kan ook voorgesteld worden in de vooronderstelling dat het in het opgewekte elektrische veld zit.

- dankzij dat we de verhouding tussen ΔV en E in sommige gevallen kennen, zoals bij parallelle platen, kunnen we dat voor elke condensator vinden.

- Energiedichtheid tussen de platen:

$$\circ \quad U_E = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} \quad (\text{Niet in formularium})$$

- deze formule is geldig voor elk elektrisch veld

➤ eenheid: J/m³

23. Diëlektrica

- niet-geleidend materiaal tussen de geleiders
 - capaciteit van de condensator stijgt met een factor $\kappa = \xi_r$ (dimensieloos)
 - deze factor noemen we: diëlektrische constante of relatieve permittiviteit
 - deze factor is altijd groter of gelijk aan 1
 - (afhankelijk van het materiaal voor de exacte waarde)
 - Door bij een parallelle platen condensator de afstand tussen de platen te verkleinen kan de capaciteit vergroot worden,
 - hier zit wel een limiet op: **Diëlectrische sterkte** dit is het maximaal elektrisch veld dat je voor een gegeven afstand d kan aanleggen zonder doorslag te veroorzaken.
- Voordelen van een diëlectricum:
 - geeft een verhoogde capaciteit,
 - verhoogt maximale potentiaalverschil
 - mechanisch voordeel, de platen van de condensator worden beter ondersteund, (vaak 2 metaalstroken met papier tussen, opgerold.)
 - elektrolytische condensator: (niet te kennen denk ik)
 - werkt met een redox reactie,
 - gevuld met een opgerolde metalen spiraal, in een electrolyte vloeistof
 - wanneer er stroom door gestuurd wordt (in de juiste richting) oxideert er een heel dunne laag van het metaal
 1. in tegengestelde richting aansluiten zorgt voor een omgekeerde reactie, waardoor je condensator stuk gaat.
 - variabele condensatoren
 - De platen worden zo gemaakt dat ze uit elkaar kunnen geschoven worden zodat er een kleinere oppervlakte ontstaat waarop er afwisselende ladingen zijn

24. Diëlektrica op atomaire schaal:

- Probleem:
 - condensator C met diëlectricum met κ met lading Q_0 daarna wordt batterij afgekoppeld
 - met diëlectricum is de energie:
$$U = \frac{Q^2}{2C}$$
 -
 - als we nu het diëlectricum weghalen, behouden we
$$U = \frac{Q^2 \kappa}{2C}$$
 -

- o aangezien κ groter is dan 1, en Q en C gelijk blijven, vergroot de hoeveelheid energie, maar waar komt die vandaan?

- Oplossing is te vinden op atomaire schaal:
 - Het diëlektricum bestaat uit polaire moleculen (kan je beschouwen als kleine dipolen)
 - deze gaan zich uitlijnen tegen het elektrische veld dat is opgewekt door de ladingen op de parallelle platen tegenwerken (deze ordening bevat minimale potentiële energie)
 - Indien er ook niet polaire moleculen in het diëlektricum zitten, dan zullen die door het elektrisch veld een scheiding van ladingen krijgen, waardoor ze een geïnduceerd dipoolmoment krijgen. (wat opgelijnd is volgens het inwendig veld, dat het uitwendig veld tegenwerkt)
 - Hierdoor zijn er 2 elektrische velden die met elkaar interageren, en elkaar tegenwerken, waardoor de totale energie vermindert wordt (zodanig dat er met éénzelfde potentiaalverschil grotere ladingen kunnen worden opgeslagen.)
- Het wordt vermindert, maar hoeveel?
 - $E = E_0 - E_{ind} = \frac{E_0}{\kappa}$ met

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_{ind} = \frac{\sigma_{ind}}{\epsilon_0} = E_0 \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right)$$
 - daaruit volgt:

$$\sigma_{ind} = \sigma \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right)$$
 - hieruit volgt dat de geïnduceerde oppervlakteladingsdichtheid altijd kleiner is dan de oppervlakteladingsdichtheid van de condensatorplaten
- Aangezien de geïnduceerde lading tegengesteld is aan de lading op de platen, zal er een kracht ontstaan in de richting van het midden van de parallelle platen die inwerkt op het diëlektricum (uit de 3de wet van Newton ook andersom, maar we verwachten dat de condensator vast zit)

Elektrische stroom en weerstand (elektrodynamica)

25. elektrische stroom

- Beweging van elektrische lading doorheen materie
 - elektrische stroom is gelijk aan het tempo waarmee elektrische lading door een oppervlak A beweegt.
 - o gemiddelde stroom: $I_{gem} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
 - o ogenblikkelijke stroom: $I \equiv \frac{dQ}{dt}$

- eenheid:
 - $A = C/s$ (Ampère)
 - teken: per conventie, de richting van de stroom is in dezelfde richting als de stroom positieve ladingen (zo vastgelegd voor dat men wist dat enkel elektronen bewegen)
 - A is een scalar: de richting is bepaald door het teken

26. Weerstand

- Aangezien we hier te maken hebben met elektrodynamica, is het elektrische veld binnen een geleider niet meer altijd gelijk aan nul.
- Weerstand is de tegenwerking die een materiaal biedt tegen de doorvloeiende stroom.

- $R \equiv \frac{\Delta V}{I} \rightarrow \Delta V = I \cdot R$ (Dit is een speciaal geval van de wet van Ohm, maar het geldt in de meeste gevallen)

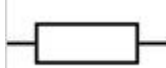
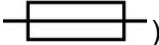
- uit deze formule volgt dat R een richtingscoëfficiënt is tussen $\Delta V \sim I$

- eenheid:

- $\Omega = \frac{V}{A}$



- Amerikaanse symbool (in de cursus):

- Europese symbool (staat niet in de cursus)  (niet te verwarren met symbool smeltzekering: )

- Weerstand R kan weergegeven worden in volgende formule:

$$R = \rho \frac{l}{A} \text{ met:}$$

- ρ is de resistiviteit van de geleider (materiaal afhankelijk + temperatuur afhankelijk afhankelijk van het materiaal zal de resistiviteit stijgen of dalen bij een temperatuursverhoging)

- eenheid: Ωm

- l : de lengte van de geleider
- A : de oppervlakte van de doorsnede van de geleider

- supergeleiders

- Er bestaan materialen waarbij mits voldoende koeling de weerstand 0 wordt. (hierbij is nul niet een benadering van de waarde, maar het wordt exact gelijk aan nul)
 - meestal gaat dat samen met een sprong die gemaakt wordt
 - (extra, niet in de cursus vandaag is de supergeleider met maximale temperatuur 130Kelvin)

27. Elektrische energie en vermogen

- Standaard elektrisch circuit: energie van bron naar toestel (waarna terug naar de bron)

- (geleiding naar het toestel heeft geen weerstand, tenzij anders vermeld aangezien dat meestal verwaarloosbaar is ten opzichte van het aangesloten toestel)
- Indien een batterij is aangesloten, dan zal de chemisch opgeslagen energie van de batterij vrijkomen in de vorm van een geleverde stroom.
 - deze geleverde stroom zal dan op zijn beurt een vermogen leveren aan een weerstand, In die weerstand zullen er botsingen plaatsvinden die zorgen voor vibraties, die dan op hun beurt zorgen voor warmte en stralingsenergie (zie een gloeidraad gloeilamp)
- Wat is het elektrische vermogenverlies dat over een weerstand plaatsvindt?
 - het vermogenverlies komt overeen met het energieverlies:
 - $\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(q\Delta V) = \frac{dq}{dt}\Delta V = I\Delta V$ hieruit volgt:
 - $P = I\Delta V$
 - met de formule voor weerstand kan dit nog op 2 andere manieren ingevuld worden:
 - $P = I\Delta V = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$
 - Eenheid: Ampère Volt = **Watt (W)** = Joule / seconde = Volt² / Ohm
 - Wanneer energie verloren gaat, omwille van de weerstand in een geleider, (of dergelijke) dan is dit verlies ook te berekenen met $I^2 R$
 - Bij energietransport: weerstand in de draden is niet meer verwaarloosbaar. Hoe energieverlies zo laag mogelijk houden?
 - Als het getransporteerde vermogen gelijk is aan $I\Delta V$, dan kan hetzelfde vermogen getransporteerd worden door de stroom te halveren, en het potentiaalverschil te verdubbelen. Wat is hier het voordeel van?
 - $I^2 R$ is dan veel lager. want: de weerstand is eigen aan de geleider: dus als de stroom lager wordt, dan zal de verloren energie minimaal zijn:
 - vb: $I_1 = 16A$ en $\Delta V_1 = 220V$ en $I_2 = 8A$ en $\Delta V_2 = 440V$
 - $P_1 = 3520W \rightarrow P_2 = 3520W$
 - als nu een geleider een weerstand heeft van 5Ω dan is $P_{1 \text{ verlies}} = 16^2 A^2 \cdot 5\Omega = 1280W$ en $P_{2 \text{ verlies}} = 8^2 A^2 \cdot 5\Omega = 320W$
 - $1280W/320W = 4$ (4 keer minder verlies)
 - Vandaar hoogspanningskabels

5. Vermogen in een huishoudelijke schakeling is beperkt door een zekering
 - Dit is om schade en brand te voorkomen. (= vermogenzekering
differentialzekering is om mensen te beschermen)
 - smeltzekering: versmalling in de geleider, zodat de weerstand daar het grootste is (in serie, dus even grote stroom.) waardoor de warmtegeneratie daar het hoogste is, waardoor het sneller doorsmelt dan de rest van de schakeling. (let op! dit laat wel piekstromen toe!)
 - automaat, of stroom onderbreker: stroom gaat door een bimetaal, (2 metalen plaatjes met een andere uitzettingscoëfficiënt waardoor het bij opwarming kromtrekt) wanneer deze voldoende is kromgetrokken zal de verbinding onderbroken worden, en klikt de schakelaar af. (staat niet in het boek: In een automaat zit ook een magnetische schakelaar, die de automaat laat afslaan bij enorme piekstromen (meestal 3 à 5 keer zo groot als maximale (=nominale) stroom))
6. stroom op microscopische schaal:
 - wat is de lading op een welbepaald stuk van de geleider (in dynamica)
 - $\Delta Q = (nA\Delta x)q$ waarbij
 - n de ladingdragerdichtheid
 - $A\Delta x$ het volume van het beschouwde stukje geleider
 - q de lading van 1 ladingdrager
 - gemiddelde driftsnelheid van de deeltjes: v_d dan:
 - $\Delta x = v_d \Delta t$
 - $$I_{gem} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqv_d A$$
 - Let op: **de driftsnelheid is niet gelijk aan de elektronendichtheid!** want de beweging ziet er zeer willekeurig uit, maar gaat netto meer in tegen de richting van het elektrische veld.
 - voorbeeld: driftsnelheid in een koperdraad:
 - zie berekeningen op slides.
 - resultaat: $v_d = 4,58 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
 - merk op dat dit enorm traag is, wanneer we dan stroom door een 5m lange geleider sturen duurt dat: 30 uur!
 - hoe komt het dan dat ik niet 30 uur moet wachten tot mijn lamp brandt?
stroom-voerende geleider is zelf ook gevuld met elektronen die beginnen te bewegen.
 - geleidingelektronen:
 - elektronen die gebonden zijn wanneer het atoom geïsoleerd is, maar die vrij zijn in een roosterstructuur
 - Als het elektrische veld = 0 netto beweging, of driftsnelheid is nul, maar de elektronen blijven bewegen met een snelheid van $\sim 10^6 \text{ m/s}$
 - De driftsnelheid is altijd tegen het elektrische veld in

7. Wat is het elektrische veld van een geleider in dynamische toestand?

- Stroomdichtheid is de stroom per oppervlakte: $J = \frac{I}{A} = nqv_d$

- Als σ de geleidbaarheid van het materiaal is, dan is

- $\vec{J} = \sigma \vec{E}$

- **Wet van Ohm: De verhouding van stroomdichtheid en elektrisch veld is een constante**

8. Elektrische geleiding in metalen, isolatoren en halfgeleiders.

- Waar ik denk dat het op neerkomt:

- wat is de rede dat geleiders, isolatoren en halfgeleiders zich zo gedragen?

- uit chemie: de schillen van elektronen zijn niet sferisch, maar zijn zonen met kansverdeling dat de elektronen zich op die positie bevinden.

- Enkel de buitenste elektronen kunnen gebruikt worden als geleidingselektronen, de rest hangen vast aan de kernen,

- Deze vrije ladingdragers zijn normaal niet gevuld. maar wanneer een extra elektron invalt op de atoom zal deze zich in de geleidingszone komen. (vrij elektron)

- opdat een extra elektron kan toegevoegd worden moet er een bepaalde minimale energie zijn, die voldoende groot is om op de volgende schil te komen. (this is where the magic happens)

- bij geleiders liggen die schillen praktisch tegen elkaar, waardoor een elektron geen of weinig extra energie nodig heeft om in die geleidingstoestand te komen.

- bij isolatoren is de nodige energieverhoging te hoog om te kunnen overbruggen (in normale omstandigheden. met een heel groot elektrisch veld kan dat wel, zie bliksem)

- bij halfgeleiders is er een groot energieverschil, MAAR het gat tussen de energieverschillen kan naar beneden gehaald worden mits thermische excitatie waardoor dan geleiding met een klein elektrisch veld mogelijk is.

- E_F = Fermi-energie= de hoogste elektronenergie in grondtoestand.

9. Halfgeleiders doperen:

- halfgeleiders doperen komt neer op het toevoegen van onzuiverheden (2 soorten onzuiverheden)

- donor type

- levert een n-type halfgeleider

- onzuiverheden met een vrij elektron zijn toegevoegd

- energie van het geheel is verhoogd, waardoor de nodige energie voor de conductielaag te bereiken bijna bereikt is.

- acceptor type

- levert een p-type halfgeleider

- onzuiverheden met een elektron te weinig worden toegevoegd

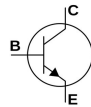
- de nodige energie om in de conductielaag te komen is gezakt tot bijna aan de valencie-band, waardoor we bijna een geleider bekomen.

- Dioden: op zich zijn deze twee typen niet erg nuttig,



- symbool
- samenvoegen van deze 2 typen levert interessante eigenschappen:
 - P-N junctie: er ontstaan 3 gebieden
 - het p-gebied, zoals besproken in acceptortype
 - het n-gebied, zoals besproken in donortype
 - het **depletiegebied**: dit is het gebied waarbij de andere gebieden samenkomen. de vrije elektronen van het n-type gaan binden met de onzuivere positieve deeltjes.
 - aangezien de p kant negatieve elektronen van de n kant naar zich toe trekt zullen in het depletiegebied meer elektronen aan de P kant zitten, en minder aan de n kant. (ionisatie) Hierdoor ontstaat een elektrisch veld in de tegengestelde richting. Door dit elektrisch veld ontstaat er een potentiaalverhoging van p naar n.
- Wanneer we de diode aansluiten aan een spanningsbron, dan zijn er 2 mogelijkheden
 - De positieve kant van de bron is aangesloten aan de p-kant van de diode: dan worden de overtollige elektronen uit de p kant getrokken, en worden er extra elektronen aan de negatieve kant bijgezet, hierdoor zal het tegenwerkende elektrische veld enorm zakken, en kunnen de elektronen wel vloeien.
 - De negatieve kant van de bron wordt aangesloten aan de p-kant van de diode. hier vindt het tegengestelde plaats van hierboven, waardoor het elektrische veld verhoogt, en de 2 delen nog meer gescheiden worden.
- leds geven licht?

- bij het terugvallen naar een lagere energietoestand (van geleider in plaats van halfgeleider, moet de energie ergens naartoe, dat wordt uitgestuurd in de vorm van licht
- zonnecellen:
 - vangen licht op, waardoor de energieniveau's van de elektronen verhoogt, waardoor ze in de conductieband komen.
- Transistoren, npn sandwich of pnp sandwich, zelfde principe is geldig
 - symbool: (nnp) pnp heeft pijl omgedraaid.



- kunnen dienen als versterker of als elektronische schakelaar
- basiseenheid van een ic

10. Gelijkstroomkringen (DC)

- stroom is constant in grootte en richting (PWM is geen gelijkstroom)
- schakelingen typisch met spanningsbronnen, weerstanden en condensatoren
- elektromotorische kracht (emf) -> **het is geen kracht, maar wel arbeid**
 - het is het maximale potentiaalverschil dat een batterij kan leveren:
 - symbool: ξ
- batterij ook wel een ladingspomp genoemd
 - heeft een inwendige weerstand (r <- met opzet kleine letter)
 - deze weerstand zorgt voor een verminderde klemspanning
 - Inwendige weerstand is dus stroomafhankelijk (die dan op zijn beurt afhankelijk is van de uitwendige weerstand)
 - bij een open kring is de gemeten spanning de emk
- Maximale vermogen geleverd aan de belastingsweerstand (uitwendig)?
 - uitwendige weerstand is gelijk aan de inwendige weerstand: (neem R te groot, en je hebt een kleine stroom waardoor de geleverde arbeid klein wordt, maar neem de uitwendige weerstand R te klein, dan heeft r de overhand, waardoor je vermogen daaraan verloren gaat)

11. Weerstanden samen schakelen

- weerstanden in serie,
 - lengte wordt groter, dus de weerstand vergroot
 - $R_{eq} = R_1 + R_2$
 - $V_{tot} = V_1 + V_2$
 - $I_{tot} = I_1 = I_2$
- weerstanden in parallel
 - doorsnede vergroot, dus weerstand verkleint
 - $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
 - $V_{tot} = V_1 = V_2$
 - $I_{tot} = I_1 + I_2$

12. combinatie serie en parallel

- herteken tot het duidelijk een samenstelling is van serie, en parallel, als dat niet lukt, ga dan over naar de regels van Kirchhoff
- speciale gevallen
 - brug van wheatstone
 - staat toe van nauwkeurig weerstanden te meten
 - meet de stroom in plaats van 5 ohm weerstand, vervang 1 van de zij weerstanden met de ongekende weerstand, en vervang de andere door een regelbare weerstand de stroom door de ampère meter zal enkel nul zijn als deze 2 gelijk zijn.
- kerstverlichting:
 - wanneer de gloeidraad doorbrandt, dan gaat de volledige spanning over dat lampje staan, waardoor de stroom door een jumper oploopt, waardoor de weerstand die daarbij staat doorbrand, zodat de stroom voorbij het lampje vloeit.
 - Let op! doordat er een lampje minder is, en de weerstand van zo 1 jumper veel kleiner is dan de lamp zelf, zal de spanning over alle andere lampjes verhogen, waardoor de kans groter wordt dat er andere lampjes springen. (geen leerstof, normaal is dit oplosbaar met pwm aan het begin van de schakeling)

13. Wattage vermeldingen op verbruikers:

- let op, deze waarden zijn gemaakt in de vooronderstelling dat je een vaste spanning aanlegt.
 - wanneer je dus lampen van een verschillend vermogen in serie aanlegt, zal de weerstand van de lamp met het kleinste vermogen het grootste zijn. (uit $P = (\Delta V)^2 / R$)
 - in serie zal de stroom door alle lampen even groot zijn
 - vermogen geleverd door de lamp: $P = I^2 R$
 - waaruit blijkt dat de grotere weerstand een groter vermogen zal leveren

14. Regels van Kirchhoff

- eerste regel:
 - som van alle inkomende stromen is gelijk aan de som van alle uitgaand stromen (voor vertakkingen)
 -
- 2de regel:
 - som van de potentiaalverschillen over alle elementen in een gesloten kring is gelijk aan nul
 -
 - regels:
 - weerstand:
 - met stroom mee, negatief

- tegen stroom in, positief
- bron of condensator:
 - van min naar plus, positief
 - van plus naar min, negatief
- veronderstel dat de schakeling in een dynamisch evenwicht gekomen is.
- gebruik:
 - benoem de stromen (en geef een richting)
 - benoem alle onbekenden
 - stel alle vergelijkingen die je kan op met de 1^{ste} regel
 - meestal eenvoudiger dan de 2de regel
 - stel aan de hand van de 2^{de} regel de nodige vergelijkingen op
 - meestal meer mogelijkheden dan er nodig zijn (neem de meest relevante naar wat gezocht wordt)
 - los het gevormde stelsel op
 - let op! bij het oplossen van het stelsel blijven de stromen altijd in dezelfde stroomzin (ook al levert dat een negatieve waarde op) anders is de kans groot dat je het ergens vergeet aan te passen!

15. Batterijen in serie / parallel

- in serie met gelijke richting: (stroom van plus naar min) versterken elkaar (in potentiaalverschil)
- in parallel met gelijke richting: (stroom van plus naar min) kan een hogere stroom leveren
- in serie met tegengestelde richting: de bron met kleinste emf wordt opgeladen

16. RC-kringen: (bijgeschreven dat het een examenvraag is, maar die is vandaag al gesteld)

- kring met weerstanden en condensatoren
 - wanneer de condensator nog ongeladen is, en ze wordt aangesloten aan een bron (met minstens inwendige weerstand), welke stroom loopt dan door de condensator?
 - $t=0$:
 - merk op dat dit zich gedraagt alsof dat er geen condensator in de kring zit
 - :
 - merk op dat dit het gedrag is alsof er geen weerstand is.
 - ertussen?
 - Uit de 2de wet van Kirchhoff volgt dat de in het circuit (wanneer de schakelaar gesloten is) volgende vergelijking geldt:

met:

- het potentiaalverschil over de condensator

➤ want:

-
- differentiaalvergelijking in q (scheiden van veranderlijken)

○

○

➤ daaruit volgt:

- merk op dat eenheidsloos is, want exponenten zijn altijd eenheidsloos!

- dus is:

- en is

➤ nieuwe tijdsconstante $\tau = RC (= 1/e I_0 \text{ of } (1-2/e)C \xi)$

■ Energie in een RC kring?

➤ $U_{\text{emf}} = Q \xi = \xi^2 C$

- is de geleverde energie door de batterij (in totaal)

➤

- de energie opgeslagen in de condensator

➤

- Energie 'verloren' in de weerstand:
- andere mogelijkheid: (uit de slides)

■ ontladen van de condensator:

➤ uit de 2de regel van Kirchhoff

-

- waarbij

- weer met differentiaalvergelijking door I te vervangen met

-

- Merk op dat de integraal van de lading start met Q , aangezien je start met een opgeladen condensator

- dus is:

-

- I is dan gelijk aan: dus

-

17. shuntweerstand bij het meten Volt en Ampère

- Galvano meter:

- stroom vloeit door een spoel, wat een magnetisch veld opwekt. Dit veld veroorzaakt de draaiing van een naaldje. (geen leerstof: zie wetten van Lenz)

- hoe groter de stroom hoe groter de draaiing, hiermee kan de stroom gemeten worden.

- Galvano meters worden gebruikt bij het meten van stroom en spanning.

- Probleem: de spoel in de meter heeft een weerstand, bij het plaatsen van een extra weerstand in de schakeling, zal de stroom en spanning veranderen.

- oplossing: Shuntweerstand

- wat is een shuntweerstand? Een shuntweerstand is een weerstand die kan toegevoegd worden om de verandering in spanning en stroom te beperken.

- Hoe, bij **meten stroom**?

- Om de **stroom te meten** wordt de galvano meter in **serie** gezet op de geleider waarin de stroom moet gemeten worden. (omdat in een

serie schakeling de stroom gelijk blijft over elke weerstand)

- Om de juiste stroom te meten kan er in **parallel over de galvano-meter** een shuntweerstand aangesloten worden, met een **heel kleine weerstand**.

➤ hoe, bij **meten spanning?**

- om de **spanning te meten** wordt de galvano meter **parallel** over het te meten differentiaalverschil, omdat de spanning in parallel overal gelijk blijft.
- wanneer een weerstand in parallel bijgeplaatst wordt, dan zal de totaalweerstand zakken, om dit te beperken kan men een shuntweerstand bijplaatsen. Deze moet in **serie** geplaatst worden **met de galvano** meter, en moet **zo groot mogelijk** zijn, zodat de totale weerstand minimaal verkleint wordt.
- **bij het meten van spanning meten we stroom?**
 - aangezien we weten wat de weerstand over de meter is, kan er berekent worden aan de hand van de gekende weerstand, en de gemeten stroom wat de spanning moet zijn. Deze berekening zit mee in de schaal van de meter verwerkt.

➤ Door een shunt toe te voegen zal de gemeten stroom in beide gevallen enorm dalen, maar altijd met een vaste factor, zodat de werkelijke gemeten stroom kan berekent worden. Deze factor zit meestal in de schaal van de meter verwerkt.