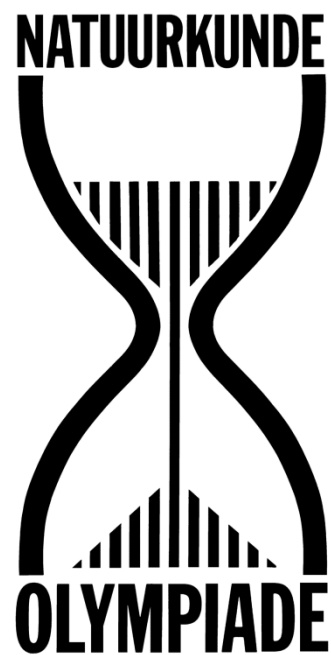


# Eindronde Natuurkunde Olympiade 2021



## Theorietoets 1

ASML



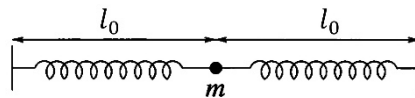
NVON

MALMBERG

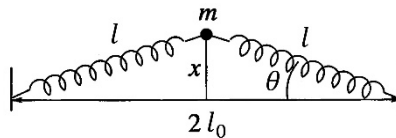


## 1 Trillen

Een massa  $m$  is bevestigd tussen twee ongespannen veren met veerconstante  $k$  en lengte  $l_0$ . Zie de figuur. We laten zwaartekracht en de massa's van de veren buiten beschouwing.



Als de massa  $x = 1,0$  cm loodrecht t.o.v. de veren wordt verplaatst en losgelaten, gaat het systeem trillen met een periode van  $T = 2,0$  s.



We willen graag weten wat de trillingstijd is als we de massa loslaten vanaf een positie  $x = 2,0$  cm.

Neem aan dat  $l_0 \gg 1$  cm.

- (a) Toon aan dat voor de bewegingsvergelijking geldt:  $\ddot{x} = -Cx^3$  en geef een uitdrukking voor  $C$ . (Hint: voor  $\alpha \ll 1$  geldt:  $\sqrt{1 + \alpha} = 1 + \frac{\alpha}{2}$ )

Deze differentiaalvergelijking is niet eenvoudig oplosbaar. Om toch een antwoord te krijgen op de vraag wat de periode is bij loslaten vanaf  $x = 2,0$  cm kan gebruik gemaakt worden van een eenheden analyse. Stel dat voor de periode geldt:  $T \propto C^\alpha \times A^\beta$

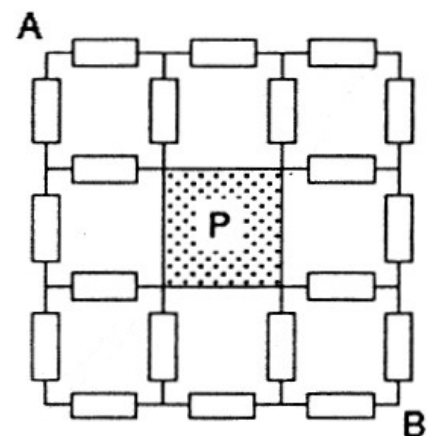
- (b) Bereken m.b.v. een eenheden analyse wat de periode is als de massa wordt losgelaten vanaf  $x = 2,0$  cm.

## 2 Netwerkje

Een elektrisch netwerk bestaat uit 20 weerstanden van elk 5 ohm (zie figuur). Je ziet in de figuur 9 cellen, waarvan de middelste gevormd wordt door een plaatje zilver, waarvan de weerstand verwaarloosd mag worden.

Bereken de vervangingsweerstand tussen de punten A en B.

Laat duidelijk zien wat je oplossingsstappen zijn.



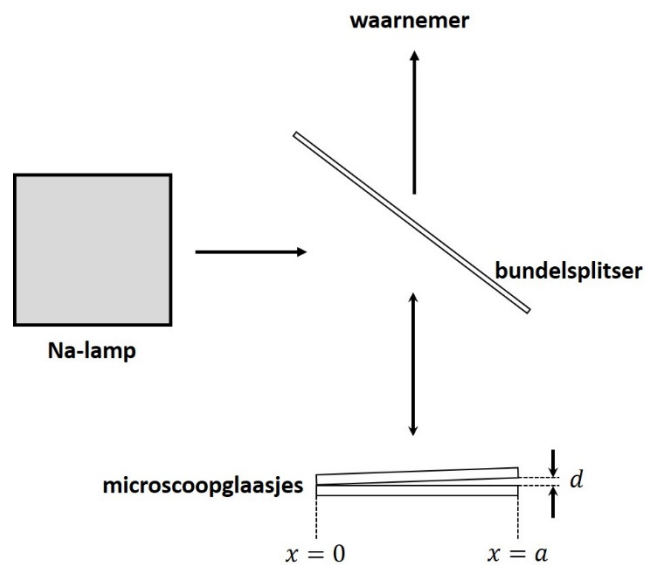
## 3 Je lichaam als Carnot

Je gaat je lichaam gebruiken om energie op te wekken met een Carnot-machine. Eén deel van de machine stop je in je mond ( $37^\circ\text{C}$ ) en het andere deel zit tegen je wang ( $30^\circ\text{C}$ ).

- (a) Bepaal het rendement van de machine.
- (b) Je wilt een doos met een massa van  $2,50$  kg op een tafel op  $1,20$  m boven de vloer plaatsen met de Carnot-machine. Je favoriete reep bevat  $500$  calorieën.  $80\%$  van die de energie van die reep wordt omgezet in warmte. Hoeveel van de reep moet je eten om de doos op de tafel te krijgen?

#### 4 Bundelsplitser

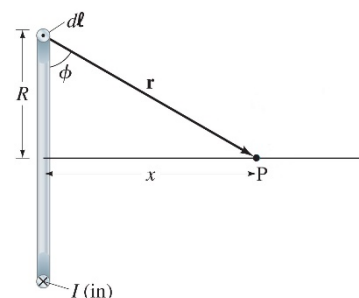
Gegeven twee rechte, planparallelle microscoopglasjes die bij  $x = 0$  elkaar raken en bij  $x = a$  een afstand  $d$  hebben. Een waarnemer kijkt door een bundelsplitser loodrecht bovenop deze glasjes (zie de figuur) die ook worden beschenen door een Na-lamp (golflengte  $589,6 \text{ nm}$ , lijnbreedte  $0,1 \text{ nm}$ ).



- De waarnemer ziet een patroon van lichte en donkere strepen loodrecht op de  $x$ -richting. Leg kort uit waardoor dit strepenpatroon tot stand komt. Hoe ziet de waarnemer de strepen als hij van de onderkant naar de glasjes kijkt?
- Over het gehele glasje worden in de  $x$ -richting 40 donkere strepen geteld ( $x = 0$  en  $x = a$  donker). Bereken hiermee de afstand  $d$ .
- Leg uit waarom bij  $x = 0$  een donkere streep wordt waargenomen.
- De ruimte tussen de twee glasjes wordt gevuld met water ( $n = 1,3$ ). Bereken het aantal donkere strepen wat nu te zien is.

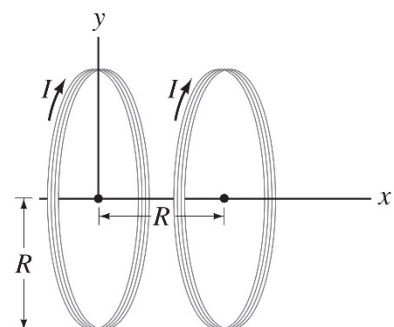
#### 5 Helmholtz-spoelen

- Bereken de grootte en richting het magnetisch veld  $B$  op positie  $x$  op de as van een cirkelvormige draadlus met straal  $R$  waardoor een stroom  $I$  loopt. Zie de figuur hiernaast.



Helmholtz-spoelen zijn twee identieke spoelen met dezelfde straal  $R$  en hetzelfde aantal wikkelingen  $N$  die zich op een afstand gelijk aan de straal  $R$  ervan van elkaar bevinden en dezelfde stroom  $I$  in dezelfde richting geleiden. Zie de figuur. Ze worden gebruikt in wetenschappelijke instrumenten om nagenoeg homogene magnetische velden op te wekken.

- Bereken de grootte en richting het magnetisch veld  $B$  op punten  $x$  langs de lijn die de middens van de spoelen met elkaar verbindt. Kies  $x = 0$  ter plaatse van het middelpunt van de linker spoel. En  $x = R$  ter plaatse van het middelpunt van de rechter.
- Toon aan dat het veld in het midden tussen de spoelen bijzonder homogeen is door aan te tonen dat  $dB/dx = 0$  en  $d^2B/dx^2 = 0$  in het midden tussen de twee spoelen.
- Veronderstel  $R = 10,0 \text{ cm}$ ,  $N = 250$  en  $I = 2,0 \text{ A}$ . Bereken de grootte van het veld op  $x = R/2$ .



## 6 Meneer Tompkins

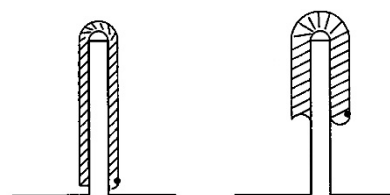
George Gamov schrijft in 1940 over Meneer Tompkins die in Wonderland door de straat fietst. Zijn snelheidsmeter geeft 20 km/h aan.

Geef een verklaring voor beide tekeningen en maak een gefundeerde schatting van de lichtsnelheid in Wonderland.

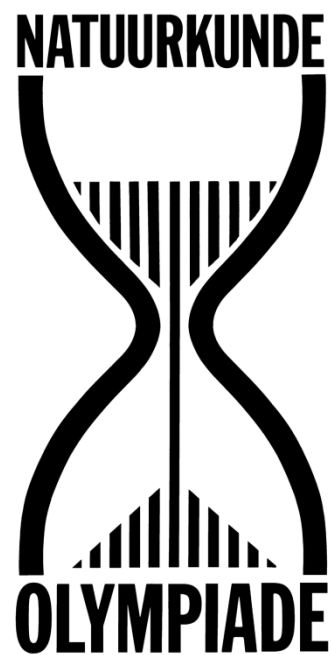


## B1 Platwormen

Twee platwormen A en B van 20 g klimmen over een dunne muur van 10 cm hoog. Worm A is 20 cm lang, worm B is dikker/breder en slechts 10 cm lang. Welke van de twee wormen heeft meer arbeid verricht tegen de zwaartekracht in als de helft zich over de muur bevindt? Wat is de verhouding tussen de arbeid die door de wormen A en B worden verricht?



# Eindronde Natuurkunde Olympiade 2021



## Theorietoets 2

ASML



NVON

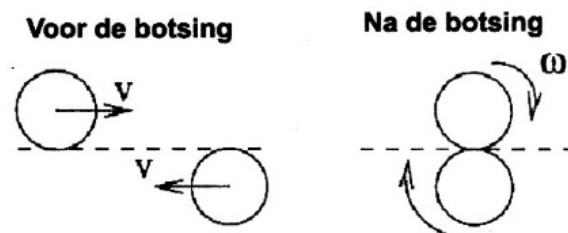
MALMBERG



## 7 Sjoelen

Twee cilindrische homogene sjoelschijven, elk met massa  $M$  en straal  $R$ , glijden naar elkaar toe in een zeer gladde sjoelbak. Voor de botsing is de grootte van hun snelheid  $v$ . Na de botsing, blijven ze bij hun contactplaats aan elkaar plakken.

Geef alle antwoorden hieronder in termen van  $M$ ,  $R$  en  $v$ .

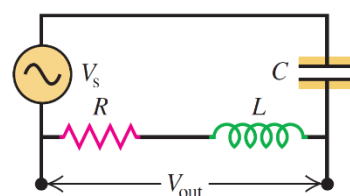


- Wat is voor de botsing het totale impulsmoment t.o.v. het gezamenlijke massamiddelpunt van de twee sjoelschijven?
- Bereken het totale traagheidsmoment van de twee sjoelschijven t.o.v. hun gezamenlijke massamiddelpunt na de botsing.
- Hoe groot is na de botsing de hoeksnelheid van de twee sjoelschijven rond hun gezamenlijke massamiddelpunt?
- Hoeveel energie is tijdens de botsing omgezet in warmte?

## 8 Hoogdoorlaatfilter

Een serieschakeling van LR-C kan ook gebruikt worden als hoog- of laag-doorlaatfilter.

Hiernaast zie je een hoog-doorlaatfilter, waarbij de spanning over de L-R-combinatie wordt afgenomen (in feite is het een spoel met een eigen weerstand door de lange draad waar hij van gemaakt is).

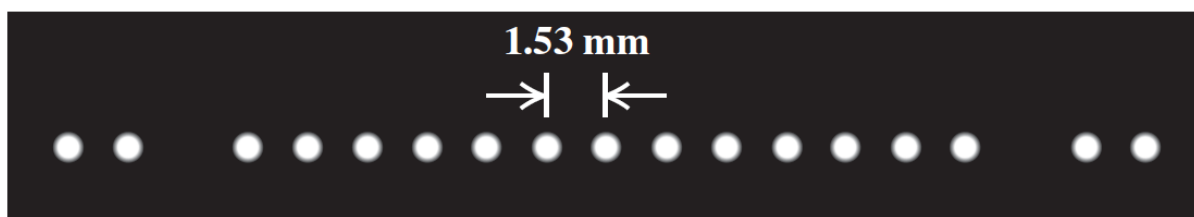


- Leid een uitdrukking af voor de verhouding tussen de aangeboden spanning  $V_s$  en afgenomen spanning  $V_{out}$  als functie van de hoekfrequentie  $\omega$  van de spanningsbron.
- Toon aan dat bij kleine  $\omega$  de verhouding evenredig is met  $\omega$  en dat deze tot 1 nadert bij hogere frequenties.

## 9 Patroon

Bij een experiment met twee smalle parallelle spleten krijg je het patroon zoals hieronder is weergegeven (alleen het centrale deel is getoond). De middens van de heldere lichtpunten liggen steeds 1,53 mm van elkaar af (behalve de missende lichtpunten) op een scherm op een afstand van  $l = 2,50$  m van de spleten. De lichtbron is een He-Ne laser met een golflengte  $\lambda = 632,8$  nm.

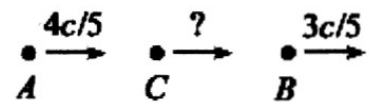
- Bereken de afstand tussen de twee spleten.
- Bereken de breedte van de spleten.



## 10 Spoetniks

Drie spoetniks reizen naar de dichtstbijzijnde ster. Spoetnik A doet dat met een snelheid van  $4c/5$ . Spoetnik B met  $3c/5$ .

Bereken de snelheid waarmee spoetnik C moet reizen, opdat hij spoetnik A en B met dezelfde snelheid naar zich toe ziet komen.



## 11 Zuiger

Een zuiger met massa  $m$  kan wrijvingsloos bewegen in een verticale cilindervormige hals van een grote container met volume  $V$ . De zuiger past precies in de hals van de container. De container is gevuld met een (ideaal) gas en boven de zuiger heerst vacuüm. De zuiger heeft een doorsnede van  $A$ . De valversnelling is  $g$ . Neem aan dat de bewegingen van de zuiger zo langzaam zijn dat toepassen van de wet van Boyle geoorloofd is.

- Druk de druk van het gas uit in de gegeven grootheden als de zuiger in evenwicht is.
- Bereken de terugwerkende kracht als de zuiger een afstand  $x$  vanuit de evenwichtsstand naar boven wordt verplaatst.
- Beschrijf de beweging die de zuiger gaat uitvoeren. Licht je antwoord toe met berekeningen.

## 12 De proef van Millikan

Bij de proef van Millikan kan de elementaire lading op een elegante manier worden bepaald.

Een heel klein oliedruppeltje valt tussen twee grote horizontaal opgestelde condensatorplaten naar beneden. De platen hebben een onderlinge afstand  $h$ .

Als er nog geen spanning over de platen staat zal het druppeltje tussen de twee gearceerde lijnen (met een onderlinge afstand  $s$ ) met een constante snelheid  $v_1$  naar beneden vallen.

(Zie het linker druppeltje in de figuur.) Er werken dan drie krachten op het deeltje: de zwaartekracht, de opwaartse kracht (in lucht) en een weerstandskracht. Voor deze laatste geldt de wet van Stokes:  $F_w = 6\pi\eta r v_1$

Hierin is:

$r$  de straal van de oliedruppel

$\eta$  de viscositeit van lucht

- Toon aan dat voor de straal van het druppeltje geldt:

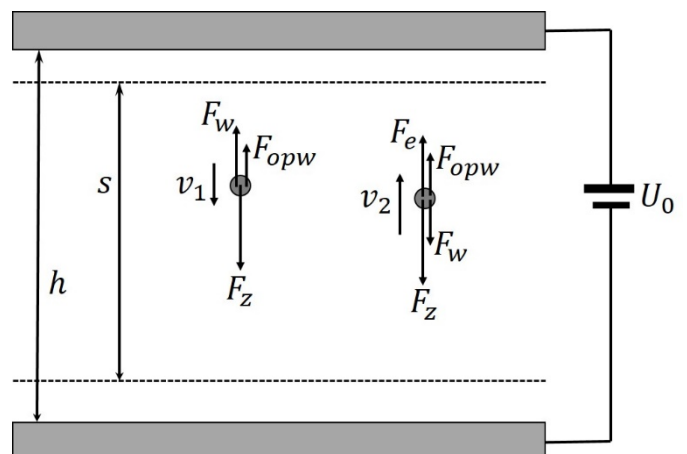
$$r = \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2(\rho - d)g}}$$

Met hierbij:

$\rho$  de dichtheid van de olie

$g$  de valversnelling

$d$  de dichtheid van lucht



Als het druppeltje bijna bij de onderste plaat is aangekomen, wordt er een spanning  $U_0$  over de platen gezet. Daardoor kan het (geladen) druppeltje weer omhoog bewegen en heeft wederom tussen de twee gearceerde lijnen een (andere) constante snelheid  $v_2$ . Er zijn nu vier krachten met elkaar in evenwicht. Zie ook het rechter druppeltje in de figuur.

(b) Toon aan dat geldt:

$$qE = 6\pi\eta r(v_1 + v_2)$$

De snelheden  $v_1$  en  $v_2$  zijn experimenteel te vinden door achtereenvolgens de tijd  $t_1$  te bepalen/meten waarin de oliedruppel bij uitgeschakeld elektrisch veld valt over een (bekende) afstand  $s$  en daarna de tijd  $t_2$  waarin dezelfde druppel stijgt over dezelfde afstand  $s$  bij ingeschakeld elektrisch veld.

(c) Toon aan dat voor de lading van het druppeltje geldt:

$$q = \frac{K}{U_0} \cdot \frac{(t_1 \cdot t_2)}{t_1^{3/2} \cdot t_2}$$

In deze formule is  $K$  een constante die afhangt van  $\eta, s, h, \rho, d$  en  $g$ .

Experimentator Hans voert metingen uit bij drie verschillende druppeltjes. Voor de apparatuur die Hans gebruikt is  $K = 3,48 \cdot 10^{-14} \text{ Js}^{3/2}$ .

Hij vindt de volgende waarden:

Druppel	Spanning $U_0$ (V)	Tijd $t_1$ (s)	Tijd $t_2$ (s)
#1	1130	16	24
#2	1305	27	39
#3	850	32	28

(d) Bepaal m.b.v. deze metingen de waarde van de elementaire lading. Geef hierbij duidelijk aan hoe je aan je antwoord bent gekomen.

## B2 Brandstofverbruik

Het brandstofverbruik van een auto is 4 L per 100 km. Zet dit verbruik (4 L/100 km) om in SI basisgrootheden en geef een creatieve fysieke interpretatie van het brandstofverbruik uitgedrukt in deze eenheden.