Finale
Natuurkunde Olympiade
2023

NATUURKUNDE OLYMPIADE

12 juni 2023
Toets 1

symbool	*naam*	*waarde*
G	gravitatieconstante	$6{,}6726 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2kg^{-2}}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9{,}81\ \mathrm{ms^{-2}}$
p_0	standaarddruk	$1{,}01325 \cdot 10^5\ \mathrm{Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273{,}15$ K en $p = p_0$)	$2{,}24141 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m^3mol^{-1}}$
	• (gasvormige stof bij $T = 298$ K en $p = p_0$)	$2{,}45 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m^3mol^{-1}}$
0 °C	smeltpunt van ijs ($p = p_0$)	273,15 K
N_A	constante van Avogadro	$6{,}02214 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$
R	gasconstante	$8{,}3145\ \mathrm{Jmol^{-1}K^{-1}}$
k	constante van Boltzmann	$1{,}38066 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{JK^{-1}}$
σ	constante van Stefan-Boltzmann	$5{,}67051 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$
k_W	constante van Wien	$2{,}8978 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{mK}$
h	constante van Planck	$6{,}62607 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}$
c	lichtsnelheid	$2{,}99792458 \cdot 10^8\ \mathrm{ms^{-1}}$ (per definitie)
ε_0	elektrische constante (permittiviteit van het vacuüm)	$8{,}85419 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{Fm^{-1}}$
$f = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	constante in de wet van Coulomb	$8{,}98755 \cdot 10^9\ \mathrm{Nm^2C^{-2}}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1{,}25664 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{Hm^{-1}}$ ($= 4\pi \cdot 10^{-7}$, per definitie)
e	elementair ladingskwantum	$1{,}6021765 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$
F	constante van Faraday	$9{,}64853 \cdot 10^4\ \mathrm{Cmol^{-1}}$
a_0	atoomstraal H-atoom (volgens Bohr)	$5{,}29177 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m}$
R_H	rydbergconstante voor waterstof	$1{,}0968 \cdot 10^7\ \mathrm{m^{-1}}$

symbool	*naam*	*massa*		
		u	10^{-27} kg	MeV
u	atomaire massa-eenheid	1	1,66054	931,49
m_p	rustmassa proton	1,007276	1,67262	938,27
m_n	rustmassa neutron	1,008665	1,67493	939,56
m_e	rustmassa elektron	0,00054858	0,000910939	0,51

1 Relativistisch rennen (5 pt)

Gerrit Einstein heeft een hele snelle auto. Hij rijdt soms langs een oranje verkeerslicht omdat hij deze als groen ziet. Dat stelt echter niets voor. Jan Lorentz rent zo hard dat hij een rood licht als groen ziet. De golflengtes van groen, oranje en rood licht zijn respectievelijk $\lambda_g = 550\ \mathrm{nm}$, $\lambda_o = 600\ \mathrm{nm}$ en $\lambda_r = 700\ \mathrm{nm}$.

Bepaal het verschil in snelheid tussen Gerrit en Jan.

2 Brandglas (5 pt)

De zonneconstante is $K = 1361\ \mathrm{W/m^2}$.

Aan het begin van de zomer, op een zonnige dag rond het middaguur is de temperatuur 35° C.

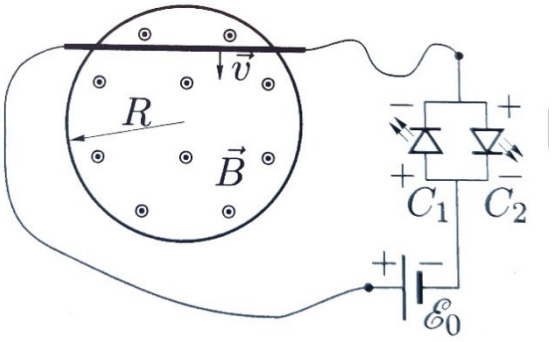
We houden een positieve lens met diameter van $D = 6{,}0\ \mathrm{cm}$ loodrecht op de zonnestralen. We plaatsen een kleine zwarte goed warmtegeleidende bal met een straal van $1{,}0\ \mathrm{mm}$ in het brandpunt van het vergrootglas achter de lens.

Wat wordt uiteindelijk de temperatuur van het balletje?

Warmteverlies door confectie mag verwaarloosd worden. 60% van de straling van de zon komt door de atmosfeer op aarde en het brandglas laat 65% straling door.

3 LEDs (5 pt)

Een metalen staaf beweegt met constante snelheid v tussen de twee polen van een grote ronde magneet met een straal $R = 5\ \mathrm{cm}$. De strekte van het magneetveld is $B = 1{,}0\ \mathrm{T}$. De snelheid v staat loodrecht op de veldlijnen. Zie de figuur.



De staaf is langer dan $2R$ en is verbonden met een batterij met een spanning van $\varepsilon_0 = 0{,}50\ \mathrm{V}$ en twee LEDS C_1 en C_2. Een LED gaat branden als de spanning erover groter is dan $U \geq 0{,}25\ \mathrm{V}$. Zie het schakelschema voor wat betreft de polariteit.

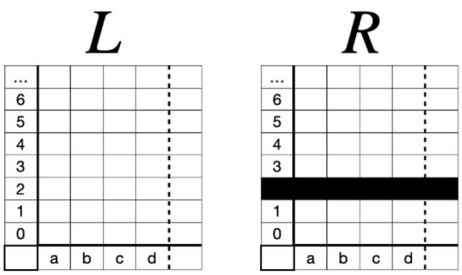
Het tijdstip dat de staaf de rand van de magneet voorbij gaat noemen we $t = 0\ \mathrm{s}$.

(a) Maak een kwalitatieve schets van de spanning over de LEDs voor $0 < t < 2\,R/v$. Geef hierbij aan of en wanneer de LEDs licht geven of niet. Als er meerdere mogelijkheden zijn, geef dat dan aan.

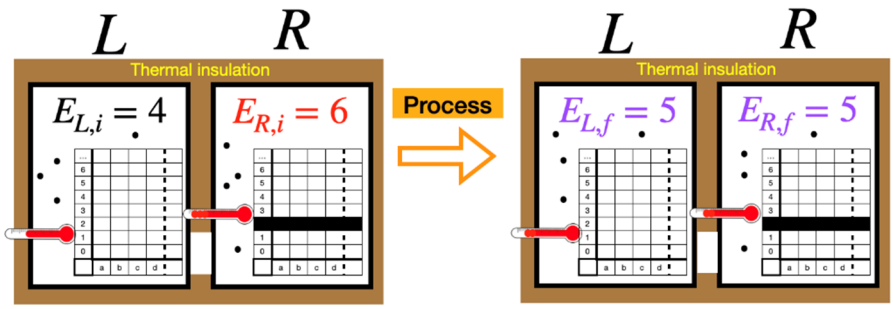
(b) Het blijkt dat LED C_1 halverwege het interval een heel kort lichtpulsje geeft. Leg met een berekening uit wat de snelheid v van de staaf is.

4 Samengesteld systeem (5 pt)

Beschouw een samengesteld systeem met twee deelsystemen, L en R. Beide deelsystemen bevatten 4 ononderscheidbare deeltjes. In beide deelsystemen zijn onderscheidbare energieniveaus beschikbaar, die echter verschillen tussen de deelsystemen L en R. In deelsysteem L zijn niveaus beschikbaar met energie 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, enz… In deelsysteem R zijn dezelfde niveaus beschikbaar met uitzondering van het niveau met energie 2. Schematisch is dit weergegeven in onderstaande figuur.



In de begintoestand zijn de beide deelsystemen thermisch en mechanisch niet in contact met elkaar en tezamen zijn en blijven ze thermisch geïsoleerd van de omgeving. De totale energie van deelsysteem L is 4 en de totale energie van deelsysteem R is 6. Er wordt thermisch contact gemaakt tussen de deelsystemen, hetgeen overdracht van een of meer energie-eenheden mogelijk maakt. Deeltjes kunnen niet worden uitgewisseld en de volumes van de deelsystemen blijven gelijk. Een mogelijk proces dat kan plaatsvinden is de overdracht van een energie-eenheid, zodanig dat de totale energie van beide deelsystemen gelijk wordt aan 5. Het proces is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



(a) Laat zien dat het totaal aantal mogelijkheden Ω waarop in het deelsysteem R 4 ononderscheidbare deeltjes een totale energie van 6 hebben gelijk is aan 38. Gebruik de bijlage.

(b) Laat zien dat de entropie van de gecombineerde deelsystemen in de begintoestand berekend volgens de Boltzmann formule gelijk is aan $S_i = k_B \ln 1330$. Gebruik de bijlage.

5 Water koken met plutonium (5 pt)

Bereken de massa van de hoeveelheid ^{238}Pu (in gram) die nodig is om $300\ \mathrm{mL}$ water in 3 minuten aan de kook te krijgen voor het ontbijt tijdens het kamperen. De begintemperatuur is $T_0 = 15\ ^\circ\mathrm{C}$. Neem aan dat 80% van de energie van het verval gebruikt kan worden. De halfwaardetijd van ^{238}Pu is $87{,}7$ jaar, de alfa deeltjes hebben een gemiddelde energie van $5{,}593\ \mathrm{MeV}$ en de soortelijke warmte van water is $c = 4180\ \mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$.

6 Bungeejumping (5 pt)

Ad (massa $m = 70\ \mathrm{kg}$) springt van een platform op een hoogte $h = 90\ \mathrm{m}$ boven een meer. Een rubberen koord met een lengte L en een veerconstante k is bevestigd aan de voeten van Ad (en met het andere einde gelukkig aan het platform). Vlak boven het wateroppervlak mag Ad geen snelheid meer hebben en een versnelling van $a_0 = 2g$. Neem voor het gemak $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$ en dat het rubberen koord voldoet aan de wet van Hooke. Verwaarloos Ad's dimensies en de massa van het koord. Verwaarloos luchtweerstand en energieverlies in ieder geval tot de eerste keer dat Ad het water net niet raakt.
Bereken:

(a) De rustlengte van L van het koord en de veerconstante k.

(b) De lengte van het koord als Ad uiteindelijk uitgetrild is en in evenwicht ergens tussen het platform en het meer hangt.

(c) De maximale snelheid v_{max} van Ad.

(d) De tijd τ die Ad nodig heeft om voor de eerste keer het water (bijna) te bereiken.

Laat bij alle antwoorden duidelijk zien hoe je aan je antwoord gekomen bent. Een plaatje doet wonderen.

B1 Omhoog gooien (1 pt)

Je hebt waarschijnlijk geleerd dat als een voorwerp in de lucht recht omhoog wordt gegooid, het even lang duurt om de maximum hoogte te bereiken als dat het weer duurt om op de grond te komen.
Leg in niet meer dan 6 regels uit of dit waar is.

Bijlage bij toets 1

Naam:

…								
6								
5								
4								
3								
1								
0								
ω								

…								
6								
5								
4								
3								
1								
0								
ω								

…								
6								
5								
4								
3								
2								
1								
0								
ω								

…								
6								
5								
4								
3								
2								
1								
0								
ω								

Finale
Natuurkunde Olympiade
2023

NATUURKUNDE
OLYMPIADE

12 juni 2023
Toets 2

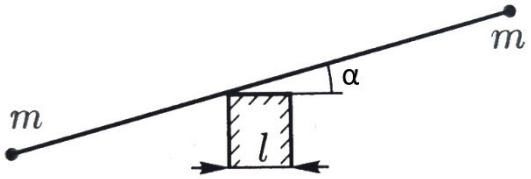
Enkele constanten en grootheden

symbool	*naam*	*waarde*
G	gravitatieconstante	$6{,}6726 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N m^2 kg^{-2}}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9{,}81\ \mathrm{m s^{-2}}$
p_0	standaarddruk	$1{,}01325 \cdot 10^5\ \mathrm{Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273{,}15$ K en $p = p_0$)	$2{,}24141 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m^3 mol^{-1}}$
	• (gasvormige stof bij $T = 298$ K en $p = p_0$)	$2{,}45 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m^3 mol^{-1}}$
0 °C	smeltpunt van ijs ($p = p_0$)	273,15 K
N_A	constante van Avogadro	$6{,}02214 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$
R	gasconstante	$8{,}3145\ \mathrm{J mol^{-1} K^{-1}}$
k	constante van Boltzmann	$1{,}38066 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J K^{-1}}$
σ	constante van Stefan-Boltzmann	$5{,}67051 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{W m^{-2} K^{-4}}$
k_W	constante van Wien	$2{,}8978 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m K}$
h	constante van Planck	$6{,}62607 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J s}$
c	lichtsnelheid	$2{,}99792458 \cdot 10^8\ \mathrm{m s^{-1}}$ (per definitie)
ε_0	elektrische constante (permittiviteit van het vacuüm)	$8{,}85419 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F m^{-1}}$
$f = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	constante in de wet van Coulomb	$8{,}98755 \cdot 10^9\ \mathrm{N m^2 C^{-2}}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1{,}25664 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{H m^{-1}}$ ($= 4\pi \cdot 10^{-7}$, per definitie)
e	elementair ladingskwantum	$1{,}6021765 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$
F	constante van Faraday	$9{,}64853 \cdot 10^4\ \mathrm{C mol^{-1}}$
a_0	atoomstraal H-atoom (volgens Bohr)	$5{,}29177 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m}$
R_H	rydbergconstante voor waterstof	$1{,}0968 \cdot 10^7\ \mathrm{m^{-1}}$

symbool	*naam*	*massa*		
		u	10^{-27} kg	MeV
u	atomaire massa-eenheid	1	1,66054	931,49
m_p	rustmassa proton	1,007276	1,67262	938,27
m_n	rustmassa neutron	1,008665	1,67493	939,56
m_e	rustmassa elektron	0,00054858	0,000910939	0,51

7 Wipwap (5 pt)

Twee kleine identieke metalen balletjes met massa m zijn bevestigd aan een het einde van een dunne lange spaak met lengte L. Deze spaak wordt zo op een blokje met breedte $l \ll L$ geplaatst dat het midden van de spaak precies boven het midden van het blokje zit. Vervolgens wordt de spaak een kleine uitwijking $\alpha \ll 1$ gegeven.



Bereken de periode van kleine oscillaties van de spaak. Neem hierbij aan dat de spaak niet van het blokje glijdt en dat er geen energieverlies bij de overgang van de ene hoek van het blokje naar de andere hoek.

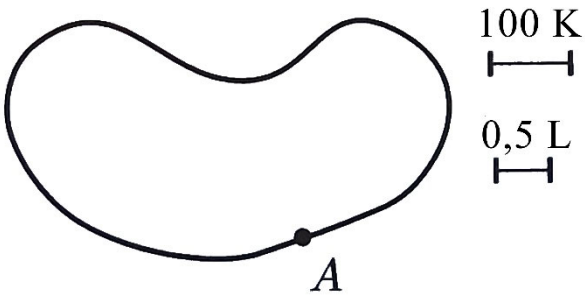
8 Proton van de zon (5 pt)

Een astronoom zag vlakbij een zonnevlek plotseling een uitbarsting van een zonnevlam op het oppervlak van de zon. Hierbij kwam een proton vrij met een totale energie van $E = 1012$ MeV. De afstand aarde-zon is dan $l = 1{,}49 \cdot 10^9 \mathrm{m}$

Bereken hoe lang het duurt voor het proton om naar de aarde te vliegen (vanaf het moment dat de astronoom de uitbarsting waarnam).

9 Kelvin (5 pt)

Er gaat een gerucht dat Kelvins archief een grafiek bevat van een thermodynamische cyclus uitgevoerd over één mol van een ideaal mono atomair gas. De inkt is mettertijd vervaagd, zodat er geen sporen meer zijn van de T-as (temperatuur) en de V-as (volume). Volgens de opmerkingen bij de grafiek is de temperatuur in het punt A gelijk aan 400 K, het volume is 4 L, de druk is minimaal, en de coördinatenoorsprong ligt in het onderste deel van de plot. De schaal van de grafiek is ook nog zichtbaar.



(a) Construeer in de figuur op de bijlage de T- en de V-as. Geef uitleg bij je constructie.

(b) Bepaal de maximale gasdruk in de cyclus.

10 Golfinterferentie (5 pt)

Een vlakke golf met de golflengte $\lambda = 0{,}50$ mm valt loodrecht in op een barrière waarin vier evenwijdige spleten zitten met elk een breedte van $d = 0{,}20$ mm.

De afstand tussen de spleten is $D = 5{,}0$ mm.

(a) Bepaal de richting van het eerste orde minimum.

(b) Stel dat een van twee spleten in het midden spleten gesloten is. Bereken dan de nieuwe richting van het eerste orde minimum.

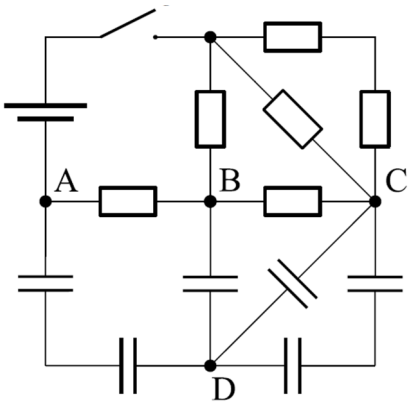
11 Ladingen botsen (5 pt)

Twee kleine deeltjes, elk met een massa van $m = 0{,}1$ g, staan op een afstand $L = 1{,}0$ m van elkaar stil in vacuüm. Eén deeltje heeft een lading $Q = 0{,}1$ μC, de andere dezelfde lading maar dan tegengesteld. De deeltjes worden dan los gelaten.

Bereken hoe lang het duurt voor de deeltjes elkaar raken. (Je hoeft geen rekening te houden met energieverlies door Brehmsstraling). (Hint: Keplers derde wet is goed te gebruiken bij het geven van een uitwerking)

12 Condensatoren (5 pt)

Een schakeling bestaat uit een batterij, een schakelaar, weerstanden en condensatoren zoals in de schakeling hiernaast. De weerstanden hebben allen dezelfde weerstandswaarde R, de condensatoren een gelijke capaciteit C en de batterij heeft een spanning U. Punt A zit aan aarde en heeft een potentiaal van 0 V. In het begin is de schakelaar open en de condensatoren hebben geen lading.

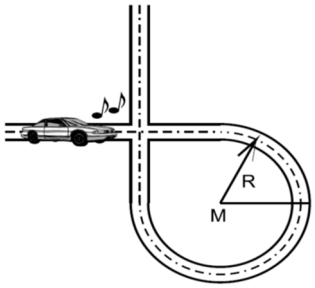


(a) Bepaal de potentiaal van de punten B en C nadat de schakelaar is gesloten en we wachten tot de potentiaal overal is gestabiliseerd.

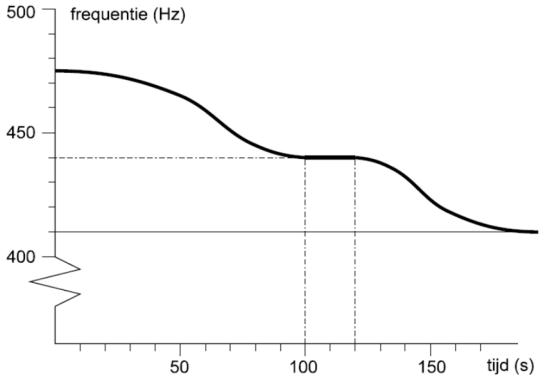
(b) Doe hetzelfde voor punt D.

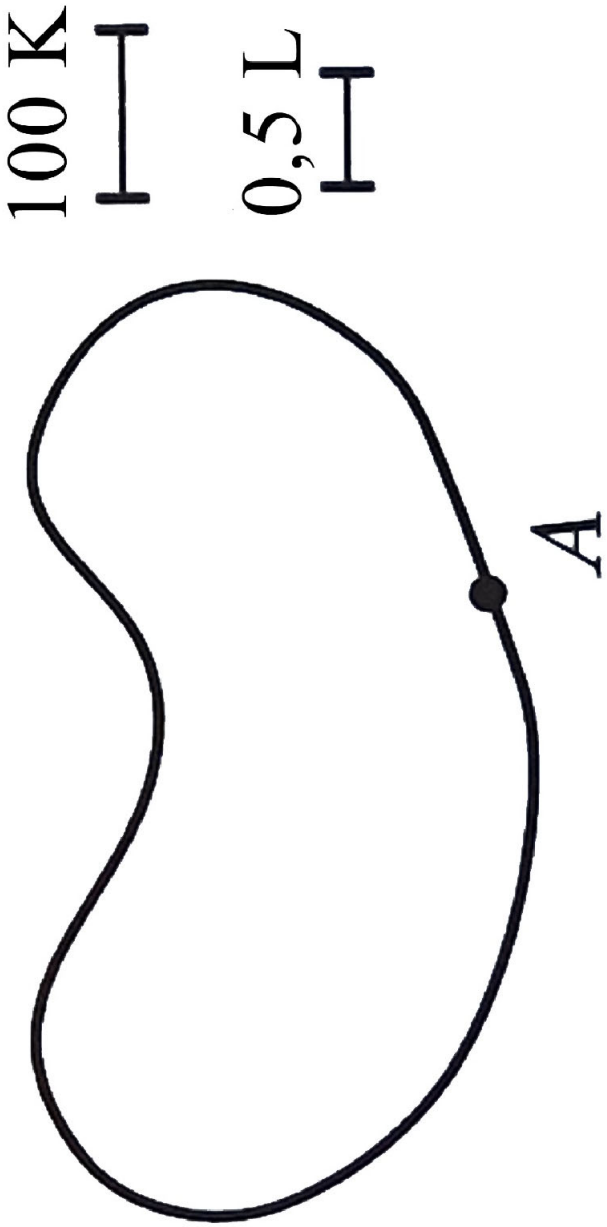
B2 Hans in de bocht (2 pt)

Hans rijdt in een auto met constante snelheid langs het getekende traject bestaande uit twee rechte gedeelten met daartussen een cirkelvormige bocht van $270°$ met middelpunt M. In M bevindt zich een waarnemer die luistert naar het geluid dat de bron op de auto uitzendt. Hij zet de door hem waargenomen frequentie uit als functie van de tijd, zie het diagram. De geluidssnelheid bedraagt $325\ \mathrm{m/s}$.



Bepaal de straal R van de bocht die de auto heeft doorlopen.



Bijlage bij toets 2

Naam: