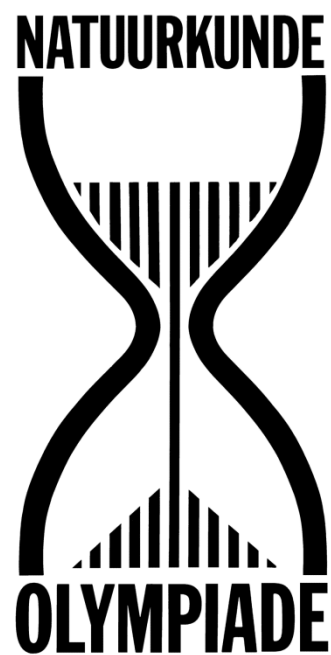


Finale Natuurkunde Olympiade 2026



Toets 1



<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>waarde</i>
G	gravitatieconstante	$6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9,81 \text{ ms}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,24141 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
	• (gasvormige stof bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
$0 \text{ }^\circ\text{C}$	smeltpunt van ijs ($p = p_0$)	$273,15 \text{ K}$
N_A	constante van Avogadro	$6,02214 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
R	gasconstante	$8,3145 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
k	constante van Boltzmann	$1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
σ	constante van Stefan-Boltzmann	$5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
k_W	constante van Wien	$2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$
h	constante van Planck	$6,62607 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
c	lichtsnelheid	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ (per definitie)
ϵ_0	elektrische constante (permittiviteit van het vacuüm)	$8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	constante in de wet van Coulomb	$8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$ ($= 4\pi \cdot 10^{-7}$, per definitie)
e	elementair ladingskwantum	$1,6021765 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
F	constante van Faraday	$9,64853 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$
a_0	atoomstraal H-atoom (volgens Bohr)	$5,29177 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
R_H	rydbergconstante voor waterstof	$1,0968 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>massa</i>		
		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 Zandloper

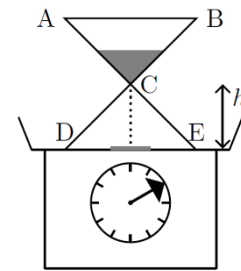
Een zandloper is op een weegschaal geplaatst. In het begin bevindt al het zand met een massa van m_0 kg in de zandloper zich in het bovenste reservoir (ABC) en de massa van de zandloper zelf is M kg.

Op $t = 0$ wordt het zand losgelaten. Het verlaat het bovenste reservoir met een constante snelheid

$$\frac{dm}{dt} = \lambda \text{ kg/s}$$

waarbij m de massa van het zand in het bovenste reservoir is op tijdstip t seconden.

Neem aan dat de snelheid van het vallende zand nul is bij de hals van de zandloper en dat het, na te zijn gevallen over een constante hoogte h , onmiddellijk tot rust komt op de bodem (DE) van de zandloper.



- (a) Bereken de aflezing op de weegschaal voor alle tijdstippen $t > 0$.
- (b) Maak een gedetailleerde grafiek van de aflezing tegen de tijd.

2 Foto-elektrisch effect voor zink

Licht met een netto intensiteit van $1,0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ valt op een schoon zinkmonster met een oppervlak van $1,0 \text{ cm}^2$. Zink weerkaatst 96% van het licht en slechts 3,0% van het geabsorbeerde licht ligt in het violette deel van het spectrum, boven de drempelfrequentie. Wat is de intensiteit van het licht die daadwerkelijk beschikbaar is voor het foto-elektrisch effect?

- (a) Als we aannemen dat alle fotonen in het violette gebied een effectieve golflengte van 250 nm hebben ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), hoeveel elektronen worden er per seconde uitgezonden? Neem aan dat de foto-elektrische emissie 100% efficiënt is.
- (b) Bepaal de stroom in de fotobuis.
- (c) Als de afsnijgolflengte 288 nm is, bepaal dan de uittree-arbeid (work function) van zink.
- (d) Bepaal de remspanning als de foto-elektronen worden opgewekt door licht met golflengte 250 nm.

3 Bollendak

Bij de uitgang van station Utrecht Centraal staat het zogeheten Bollendak. Dit bouwwerk bestaat uit 49 met lucht gevulde bolvormige kussens met een diameter van 7,2m. De bollen zijn gemaakt van een speciaal folie. Je mag in aannemen dat het folie wel buigbaar maar niet rekbaar is. Het gewicht van het folie is verwaarloosbaar.

De luchtdruk in de bollen is $p_{\text{binnen}} = 1006,9 \text{ hPa}$ en de buitenluchtdruk is $p_{\text{buiten}} = 1004,7 \text{ hPa}$. Toen het afgelopen winter had gesneeuwd



bleken de bollen te zijn ingedeukt onder het gewicht van de sneeuw.

Sneeuw heeft een dichtheid van $\rho_{\text{sneeuw}} = 200\text{kg/m}^3$.

- Hoeveel centimeter sneeuw moet er minimaal op de bollen liggen om de bollen in te deuken?
- Er lag afgelopen winter 30cm sneeuw. Hierdoor werden de bollen aan de bovenkant ingedeukt zodat er kuiltjes ontstonden. Met hoeveel is het volume van de bollen afgenomen?
- Maak een schatting van hoe diep de kuiltjes zijn.

4 Speerwerpen

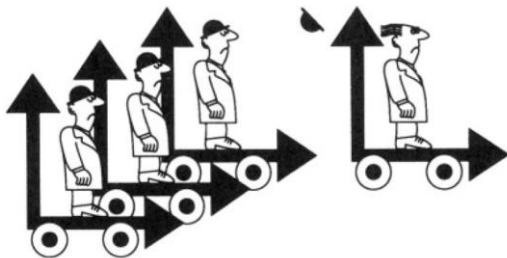
Een projectiel wordt naar voren geworpen met snelheid u (ten opzichte van het voertuig) onder een hoek θ , vanuit een voertuig dat beweegt met snelheid v over een horizontaal oppervlak. De beweging van het voertuig en het projectiel ligt in hetzelfde vlak.

Verwaarloos de wrijving.

- Leid een uitdrukking af voor het bereik R van de speer.
- Leid een uitdrukking af voor de hoek θ_{max} waarvoor het bereik maximaal is. Onderzoek daarmee of θ_{max} kleiner of groter is dan 45° .

5 Relatieve snelheid

Beschouw twee opeenvolgende Lorentz-transformaties van de drie referentiestelsels K_0, K_1, K_2 . K_1 beweegt parallel aan de x -as van K_0 met snelheid v , evenals K_2 ten opzichte van K_1 . Gegeven een object dat in de x -richting beweegt met snelheid v_2 in K_2 ,



- Leid de formule af voor de transformatie van de snelheid van K_2 naar K_0 .
- Beschouw nu $n + 1$ stelsels die met dezelfde snelheid v ten opzichte van elkaar bewegen (zie Figuur). Leid de formule af voor een Lorentz-transformatie van K_n naar K_0 , als de snelheid van het object in K_n ook v is.

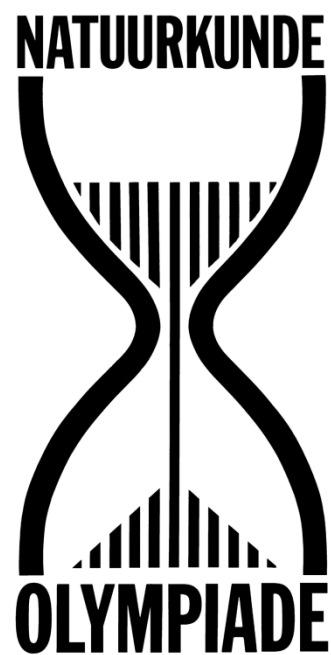
Hint: Mogelijk wil je de definitie van rapiditeit of snelheidsparameter gebruiken, $\tanh \psi = \beta$, waarbij $\beta = \frac{v}{c}$.

6 Geladen bol

Een uniform geladen dunne bolschil met een totale lading Q en straal R is gecentreerd in de oorsprong. Er zit een heel klein cirkelvormig gat in de schil met straal r ($r \ll R$) op positie $z = R$.

Bepaal het elektrisch veld net buiten en net binnen het gat, dat wil zeggen op $z = R + \delta$ en $z = R - \delta$ ($\delta \ll r$).

Finale Natuurkunde Olympiade 2026



Toets 2

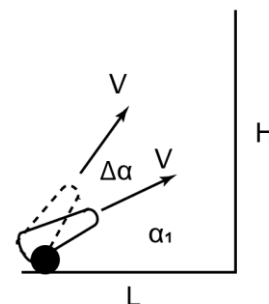


<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>waarde</i>
G	gravitatieconstante	$6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9,81 \text{ ms}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,24141 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
	• (gasvormige stof bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
$0 \text{ }^\circ\text{C}$	smeltpunt van ijs ($p = p_0$)	$273,15 \text{ K}$
N_A	constante van Avogadro	$6,02214 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
R	gasconstante	$8,3145 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
k	constante van Boltzmann	$1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
σ	constante van Stefan-Boltzmann	$5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
k_W	constante van Wien	$2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$
h	constante van Planck	$6,62607 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
c	lichtsnelheid	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ (per definitie)
ϵ_0	elektrische constante (permittiviteit van het vacuüm)	$8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	constante in de wet van Coulomb	$8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$ ($= 4\pi \cdot 10^{-7}$, per definitie)
e	elementair ladingskwantum	$1,6021765 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
F	constante van Faraday	$9,64853 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$
a_0	atoomstraal H-atoom (volgens Bohr)	$5,29177 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
R_H	rydbergconstante voor waterstof	$1,0968 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>massa</i>		
		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 De artillerist verbaast zich

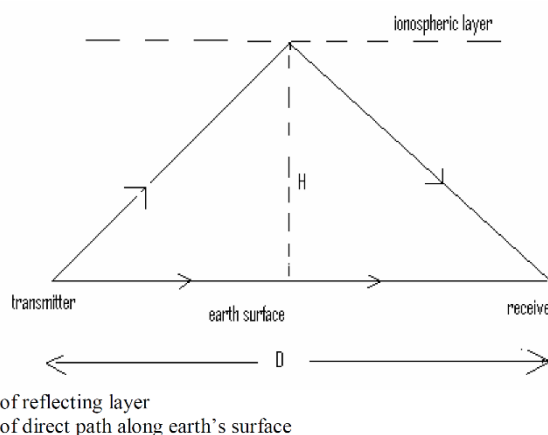
Tony Stark test een nieuw trainingskanon op de trainingsbasis van de Avengers. Het kanon schiet massieve metalen ballen af naar een rechte verticale muur. In de eerste test raakt de bal de muur elastisch, vliegt terug en landt precies op de plek waar deze werd afgeschoten. Nieuwsgierig naar dit vreemde resultaat vergroot Tony de schiethoek met $\Delta\alpha$ en vuurt het kanon opnieuw af. Tot zijn verbazing gebeurt precies hetzelfde: de bal raakt de muur, kaatst terug en landt wederom exact op het startpunt. Gegeven de constante beginsnelheid van de bal v en de toename van de schiethoek $\Delta\alpha$ tussen het eerste en tweede schot,



- Bepaal de eerste schiethoek α_1 .
- Bepaal de afstand tussen het kanon en de muur L .
- Bepaal de kleinst mogelijke hoogte van de muur H die deze situatie mogelijk maakt. Negeer de luchtweerstand.

8 IONOSFERISCHE REFLECTIE

Een kortegolfradio-ontvanger ontvangt gelijktijdig twee signalen met een frequentie van 10 MHz van een zender op 600 km afstand: één via een pad langs het aardoppervlak en één via reflectie aan een deel van de ionosfeerlaag op een hoogte van 250 km. De laag werkt als een perfecte horizontale reflector. De ionosfeerlaag beweegt met een constante verticale snelheid van 3 m/s. Negeer de Doppler-verschuiving en de kromming van de aarde.



- Leg kwalitatief uit waarom de ontvanger een signaal met een fluctuerende intensiteit ontvangt.
- Bereken een kwantitatieve schatting van deze fluctuatie.

9 Pulsars

Pulsars zijn een type snel roterende sterren met een hoge dichtheid, die bekend staan om hun regelmatige stralingspulsen. Ze worden soms ook wel de 'vuurtorens van het universum' genoemd. In dit vraagstuk nemen we aan dat de pulsars bollen zijn met een uniforme dichtheid, die gravitationeel gebonden zijn.

- De rotatieperiode van een pulsar werd gemeten als $P = 1,500$ ms. Welke limiet stelt dit aan de dichtheid ervan?
- Als de massa van deze pulsar $1,5M_{\odot}$ is, welke limiet kunnen we dan stellen aan de straal ervan?

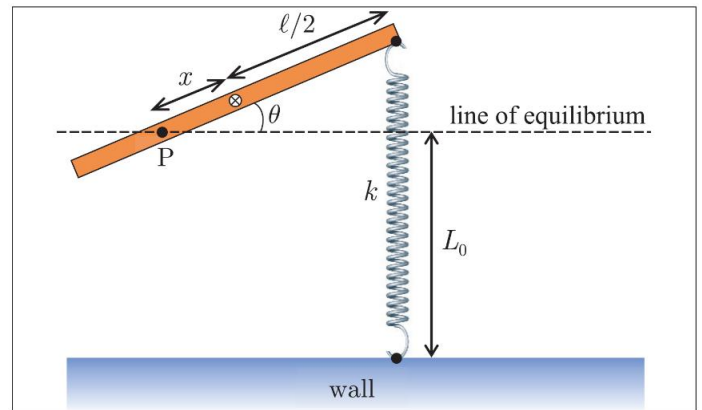
Aan het einde van zijn levensduur verliest een dergelijke ster ongeveer 90% van zijn massa. De overgebleven massa (de remnant) vormt een pulsar van het type dat hierboven is beschreven. Een pulsar wordt gevormd uit een massieve voorloperster (progenitor star) die typisch een magnetisch veld heeft van 0,1 T en een gemiddelde dichtheid van $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

- (c) In de lijn van onderdeel (a), welke limiet stelt dit aan de rotatieperiode van de voorloperster?
- (d) Ervan uitgaande dat de magnetische flux behouden blijft tijdens de vorming van een pulsar, bepaal het typische magnetische veld aan het oppervlak van de pulsar?

10 Stok en veer

Een homogene stok met lengte l en massa m kan wrijvingsloos draaien op een *horizontaal* vlak om een punt P . Punt P zit op een afstand x van het midden van de stok.

De stok zit aan een uiteinde vast aan een veer met veerconstante k en eigen lengte L_0 . De veer zit vast aan een muur en kan vanuit de eigenlengte wat ingedruwd en uitgerekt worden.



- (a) Geef een uitdrukking voor het traagheidsmoment van de stok (als functie van x) om de draai-as door punt P .
- (b) Geef een uitdrukking voor het krachtmoment τ als functie van θ .
- (c) Bepaal de trillingstijd van het systeem als je de stok een uitwijking van een hele kleine hoek θ geeft. Geef duidelijk aan welke aannames je hierbij doet.

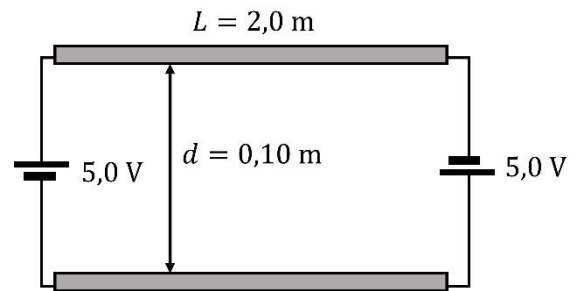
11 Waterstof

Wanneer twee waterstofatomen met massa m zich verenigen tot een twee-atomig waterstofmolecuul (H_2), is de potentiële energie van het systeem na deze vereniging gelijk aan $-\Delta$, waarbij Δ een positieve grootte is die de bindingsenergie van het molecuul wordt genoemd.

- (a) Toon aan dat bij een botsing waarbij slechts twee waterstofatomen betrokken zijn, het onmogelijk is om een H_2 -molecuul te vormen, omdat impuls en energie niet tegelijkertijd behouden kunnen blijven.
- (b) Bij een botsing tussen drie waterstofatomen kan een H_2 -molecuul ontstaan. Stel dat elk van de drie atomen vóór een dergelijke botsing een snelheid van $1,00 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ heeft en dat ze elkaar onder een hoek van 120° naderen, zodat de atomen op elk moment de hoekpunten van een gelijkzijdige driehoek vormen. Bereken de snelheden van het H_2 -molecuul en van het enkele waterstofatoom dat na de botsing overblijft. De bindingsenergie van H_2 is $\Delta = 7,23 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ en de massa van het waterstofatoom is $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

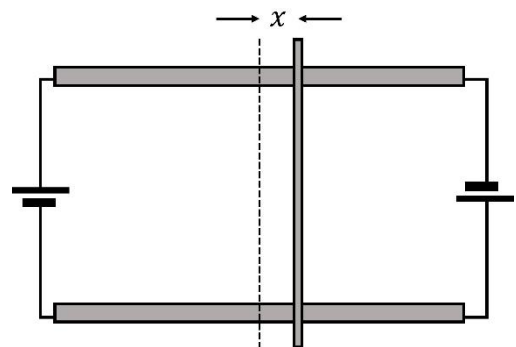
12 Twee draden

Twee lange ronde homogene draden liggen evenwijdig aan elkaar op een afstand $d = 0,10$ m. Ze hebben een lengte $L = 2,0$ m en een diameter van $0,0020$ m. De twee uiteinden van de draden zijn met weerstandsloze snoertjes verbonden met twee identieke batterijen zodat er door de twee draden stroom loopt. De batterijen hebben een verwaarloosbare inwendige weerstand en leveren een spanning van $5,0$ V. De soortelijke weerstand van het materiaal van de draden is $\rho = 1,1 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}$.



- Bereken de grootte van de stroom door de draden.
- Bereken de grootte van het magnetisch veld midden tussen de beide draden.

Men legt een metalen staafje met een massa van $m = 0,050$ kg precies in het midden, dwars op de draden. Het staafje heeft een te verwaarlozen weerstand. Nu verplaatst men het staafje over een kleine afstand x vanuit het midden.



- Laat zien dat voor de stroom die door het staafje gaat in goede benadering geldt:

$$I = 143 x$$

(Dus laat duidelijk zien welke benadering je maakt.)

Het staafje gaat een harmonische trilling uitvoeren.

- Bereken de periode van de trilling. Neem hierbij aan dat het berekende veld dat je in (b) hebt uitgerekend, homogeen tussen de stroomvoerende draden is.

B Condensatoren

Een schakeling bestaat uit 5 dezelfde condensatoren van elk $4 \mu\text{F}$. Zie de figuur. Bereken de totale capaciteit van deze schakeling. Laat duidelijk zien hoe je dit doet!

