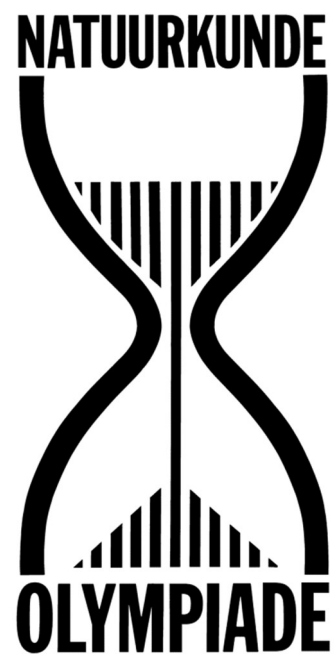


2^e ronde

Natuurkunde Olympiade

2026



15 april 2026

Toets 1



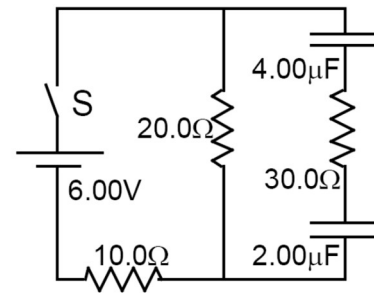
<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>waarde</i>
G	gravitatieconstante	$6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9,81 \text{ ms}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,24141 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
	• (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>		
		<i>u</i>	10^{-27} kg	<i>MeV</i>
<i>u</i>	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 Weerstanden en condensatoren (4pt)

Zie de schakeling hiernaast. De twee condensatoren zijn in eerste instantie ongeladen.

- (a) Bereken de stroomsterkte door elke weerstand op het moment dat schakelaar S wordt gesloten.
- (b) Bereken de grootte van de ladingen op de condensatoren nadat schakelaar S lange tijd gesloten is.



2 Klok aan boord (5pt)

Een raket wordt verticaal omhoog geschoten. Vanaf de start tot een zeker moment werken de motoren, die de raket een versnelling van $4g$ ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) geven. Aan boord van de raket bevindt zich een klok met een slingeruurwerk. Als de raket weer geland is, zijn er op deze klok 90 minuten verstreken.

- > Bereken de grootste hoogte die de raket bereikt heeft.

3 Planeet (5pt)

Een vloeibare planeet (niet samendrukbaar) met straal R heeft een valversnelling a aan het oppervlak.

- > Wat is de druk in het centrum van de planeet? (Leid een formule af voor de druk p in het centrum van de planeet uitgedrukt in R en a en eventuele andere bekende constanten.)

4 Komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko (6pt)

Komeet 67P, ontdekt in 1969 door de astronomen Klim Churiumov en Svetlana Gerasimenko, was populair in de media. De reden was het 'bezoek' dat het Europees Ruimteagentschap met succes heeft gemaakt aan de oppervlakte van deze komeet. De probe Rosetta, gelanceerd op 2 maart 2004 vanuit Kourou in Frans-Guyana, was na een lange reis van tien jaar er in geslaagd om een baan te beschrijven rond deze komeet, en liet de module Philae landen op het oppervlak. De 'landing' ondervond echter moeilijkheden: de module stuitte een paar keer op het oppervlak van de komeet voordat het tot rust kwam. Deze missie heeft zodanige waardevolle, wetenschappelijke informatie verstrekt, dat het prestigieuze tijdschrift *Science* deze missie omschreven heeft als de belangrijkste wetenschappelijke ontdekking van het jaar 2014.

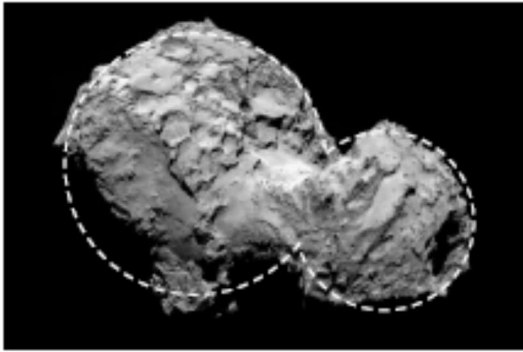


Fig. 1

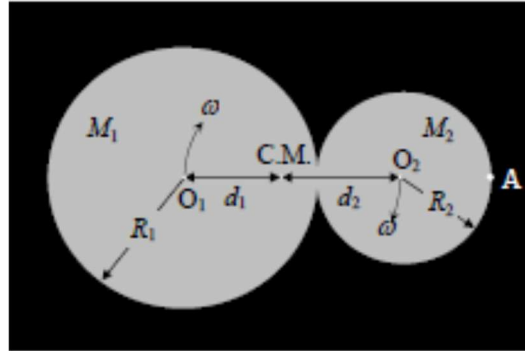


Fig. 2

Het bleek dat 67P een onregelmatige vorm heeft, zoals getoond in de foto in figuur 1, met twee ongelijke lobben, die in goede benadering, verondersteld kan worden als twee homogene bolvormige lichamen (aangegeven met stippellijn in de Figuur 1), die onderling uitsluitend door de zwaartekracht in contact zijn. De komeet is in principe gevormd door ijs en losse stof met weinig interne cohesie.

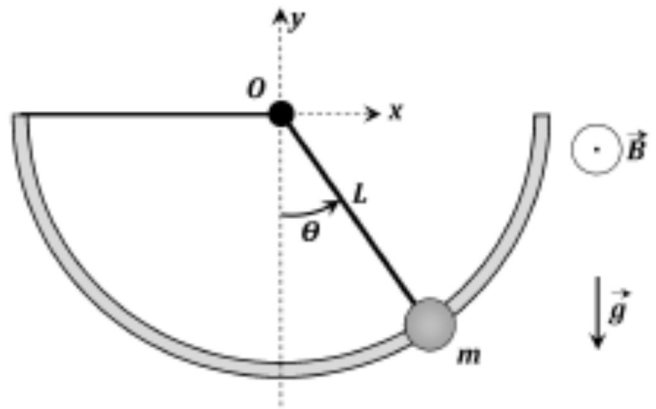
In figuur 2 is dit model met twee bolvormige lichamen geschetst met vermelding van hun middelpunten O_1 , O_2 stralen R_1 , R_2 etc. Punt A beschrijft ongeveer de positie van module Philae op de oppervlakte van de komeet (krater rechts in figuur 1), uitgelijnd met de middelpunten van de twee bollen.

Bovendien roteert de komeet met een hoeksnelheid ω om een as die loodrecht op het vlak van figuur 2 staat en die door het massamiddelpunt van het stelsel (C.M.) gaat. Gemeten vanaf de probe Rosetta, zijn de rotatie periode en de geschatte radii van de bollen: $T = 12,4$ uur, $R_1 = 1,5$ km en $R_2 = 1,2$ km.

- Gezien het feit dat de totale massa van 67P, gemeten door de Rosetta $M = 1,0 \times 10^{13}$ kg is, bereken dan de dichtheid ρ van de komeet en de massa's M_1 en M_2 van elk van de bolvormige lobben.
- Bereken de afstanden d_1 en d_2 tussen het massamiddelpunt (CM) en de middelpunten O_1 en O_2 van de twee bollen. (Hint: voor de twee massa's geldt: $M_1 d_1 = M_2 d_2$)
- Rekening houdend met de rotatie van het systeem, bereken de normaalkracht F_N die elke lob wederzijds uitoefent.
- De Philae heeft een massa van 110 kg. Wat is het gewicht van de Philae in het punt A? (Neem het effect van de rotatie mee in je berekening.)
- Stel dat een astronaut, met zijn ruimtepak en apparatuur, in staat is om op de aarde verticaal omhoog te springen (zonder te rennen en af te zetten met de benen) tot een hoogte $h = 0,2$ m. Ongeacht de rotatie van de komeet, welke hoogte vanuit punt A van het oppervlak van de komeet kan de astronaut bereiken?

5 Magnetische slinger (4pt)

Een puntmassa m bevindt zich aan het einde van een staaf met lengte L in het gravitatieveld. De massa van de staaf kan verwaarloosd worden en de staaf kan slingeren rond een as door de oorsprong O . De hoek tussen de staaf en de verticaal is θ . De puntmassa m kan wrijvingsloos glijden langs een metalen boog met straal L , die zich in het verticale xy -vlak bevindt. Een kabel



met lengte L verbindt het linker uiteinde van de boog met de rotatieas bij O van de staaf. We veronderstellen dat de metalen boog, de kabel en de staaf allemaal dezelfde elektrische weerstand per lengte-eenheid r (in Ω/m) hebben en samen steeds een gesloten elektrisch circuit vormen. Het systeem bevindt zich in een loodrecht op het xy -vlak gericht magnetisch veld \vec{B} , het papier uit.

- Bepaal de totale weerstand $R(\theta)$ van de schakeling als functie van r , L en θ .
- Geef in het geval dat $\theta > 0$ en $\dot{\theta} > 0$, de krachten die werken op het systeem. Geef een vergelijking voor de hoekversnelling $\ddot{\theta}$ als functie van $\dot{\theta}$, θ , L , $R(\theta)$, m , g , en B . (Deze differentiaal vergelijking hoeft je niet op te lossen.)
- Bepaal de grootte van de totale magnetische fluxdichtheid \vec{B} in de oorsprong als functie van B , L , $\dot{\theta}$, θ , L , $R(\theta)$ en μ_0 .

6 Samen veren (1pt)

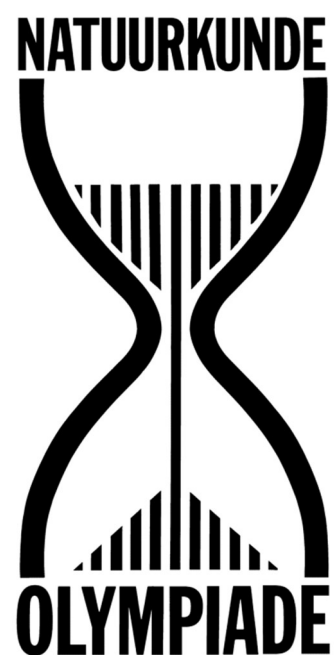
We hebben twee veren met veerconstanten k_1 en k_2 .

Als deze veren parallel worden verbonden dan geldt logischerwijs voor de 'vervangingsveerconstante':

$$k = k_1 + k_2$$

- > Leid een formule af voor de 'vervangingsveerconstante' als de twee veren in serie worden verbonden.

2^e ronde Natuurkunde Olympiade 2026



15 april 2026
Toets 2

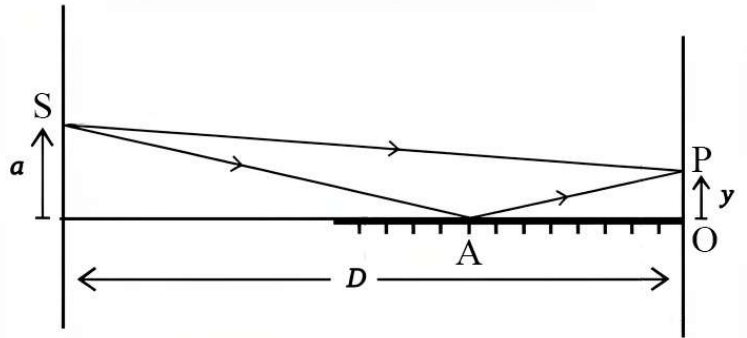


<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>waarde</i>
G	gravitatieconstante	$6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9,81 \text{ ms}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,24141 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
	• (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 Spiegelinterferentie (4p)

In een interferentie experiment fungeert een monochromatische lamp S als bron. De golflengte van deze puntbron is λ . Er zijn interferentiepatronen te zien op een ver scherm. In het punt P op dat scherm interfereren de directe straal



SP en de gereflecteerde straal SAP, die wordt geproduceerd door een horizontale spiegel, de dikke lijn in de figuur. De afstand OP is y en de lichtbron bevindt zich op een afstand D van het scherm. S bevindt zich op een verticale afstand a van de horizontale lijn van de spiegel. D is veel groter dan a .

- Leid een uitdrukking af voor het weglengteverschil tussen de twee stralen die P bereiken in termen van y , a en D . Gebruik de benadering hieronder.
- Schrijf voorwaarden voor constructieve en destructieve interferentie in P op, gebruikmakend van het resultaat verkregen in (a).
- Wat wordt er waargenomen als de monochromatische bron vervangen wordt door een bron van wit licht?

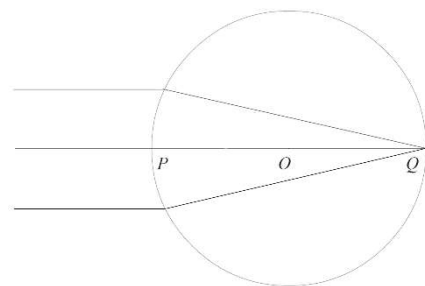
Hint:

$$\sqrt{D^2 + x^2} = D \left[1 + \frac{(x/D)^2}{2} + \dots \right] \text{ als } x \ll D.$$

8 Bol als lens (3p)

Een bol van doorzichtig materiaal heeft een brekingsindex n . Een smalle bundel laserlicht is op het middelpunt van de bol gericht.

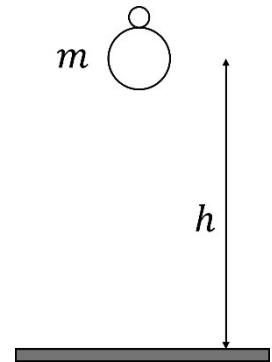
- > Bereken de grootte van de brekingsindex n als het laserlicht precies aan de andere kant van de bol zijn brandpunt heeft. Gebruik hiervoor de uitwerkbijlage, inclusief je berekeningen.



Hint: Je mag vanwege de smalle straal van de laserbundel gebruik maken van het feit dat voor kleine hoeken, uitgedrukt in radialen als goede benadering mag worden genomen dat $\sin \theta = \theta$.

9 Balkanon (5p)

Een bal met massa m wordt vanaf rust losgelaten vanaf een hoogte h . Nadat de bal van deze hoogte h is gevallen, botst hij volledig elastisch met de vloer. Het experiment wordt nu herhaald met twee ballen waarvan de diameters verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de hoogte h en waarbij de kleinere bal een verwaarloosbare diameter en massa heeft ten opzichte van de grotere bal, zie de figuur. Op het moment dat de snelheid van de onderste bal van richting verandert, is de bovenste bal nog steeds aan het vallen.

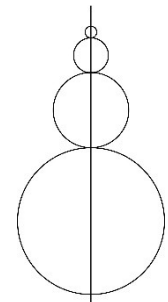


- (a) Geef de snelheid van de onderste bal en de relatieve snelheid waarmee de ballen elkaar naderen op dit moment.

Een moment later is de bovenste bal wel teruggestuiterd tegen de onderste bal zonder de snelheid van de veel zwaardere onderste bal significant te verminderen.

- (b) Leid hieruit de omhoog gerichte snelheid t.o.v. de grond van de kleinere bal direct na de botsing af. En leid hieruit de uiteindelijke hoogte af tot waar de kleinere bal stijgt.

Een futuristisch stukje kinderspeelgoed bestaat uit een geschikt gemonteerde reeks ballen van afnemende grootte, gemaakt van een materiaal dat perfect elastische botsingen ondergaat, zoals in de figuur hiernaast te zien is. Het speelgoed wordt losgelaten vanaf een hoogte van 1 m.



- (c) Hoeveel ballen zou het speelgoed moeten bevatten om, voor de bovenste bal, de ontsnappingssnelheid, die ongeveer 11 km/s is, te overschrijden? Neem uiteraard aan dat er geen wrijvingsverlies is, alle botsingen volledig elastisch zijn, dat alle diameters klein zijn t.o.v. de hoogte h en dat de massa van elke bal verwaarloosbaar is t.o.v. de bal eronder.

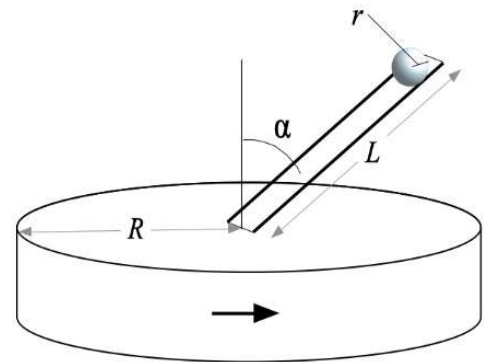
10 LCR in serie (4p)

Een weerstand R van 100Ω , een condensator C van 200 nF en een spoel L van 300 mH staan in serie met elkaar en aangesloten op een wisselspanningsbron met variabele frequentie en een vaste maximale spanning van 20 V .

- (a) Bereken de maximale stroomsterkte door deze schakeling en geef ook aan bij welke frequentie deze stroomsterkte optreedt.
- (b) Bereken de spanning over de spoel bij een frequentie van de wisselspanning van 500 Hz .

11 Roterende rail met een kogel (4p)

Een rail met lengte L is op een homogene schijf met massa M en straal R gemonteerd die rond een verticale as draait. De rail maakt een hoek α met deze as. Over de rail kan een kogel met massa m en straal r rollen. Bovenaan de rail zit een stop, zodat de kogel er niet vanaf kan rollen. Zie ook de figuur hiernaast.



Neem in eerste instantie aan dat de hoeksnelheid ω waarmee de schijf ronddraait, constant is. De straal van de kogel is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de lengte van de rail en de straal van de schijf. De massa van de rail is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de massa van de schijf.

Bij een voldoende grote hoeksnelheid bevindt de kogel zich, ten opzichte van het roterende stelsel van de rail, in rust bovenaan de rail.

- (a) Bereken de kritische waarde ω_0 van de hoeksnelheid waarvoor de kogel nog net bovenin de rail blijft zitten.

Als gevolg van wrijving zal de hoeksnelheid afnemen, waardoor op een bepaald moment de grootte ervan onder de kritische waarde komt en de kogel naar beneden gaat te rollen. Op een gegeven moment bevindt de kogel zich onderaan de rail. De rail heeft dan een hoeksnelheid ω_1 gekregen.

- (b) Bereken de verhouding ω_1/ω_0 .

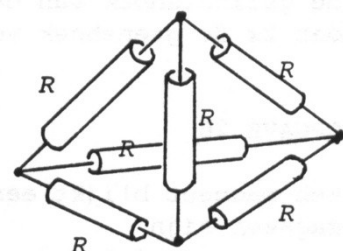
12 Schieten (3p)

Een deeltje met massa M en lading Q wordt gelanceerd met beginsnelheid v onder een hoek θ ten opzichte van de horizontale richting. Wanneer het de maximale hoogte bereikt, komt het in een gebied met een uniform magnetisch veld. In dit gebied beweegt het met constante snelheid in de horizontale richting.

- > Bereken de richting en de sterkte van het magnetische veld.

13 Tetraëder (2p)

Zes identieke weerstanden met weerstandswaarde R vormen ribben van een regelmatig viervlak (zie tekening), een zgn. tetraëder.



- > Bereken de grootte van de weerstand gemeten tussen twee willekeurige hoekpunten.