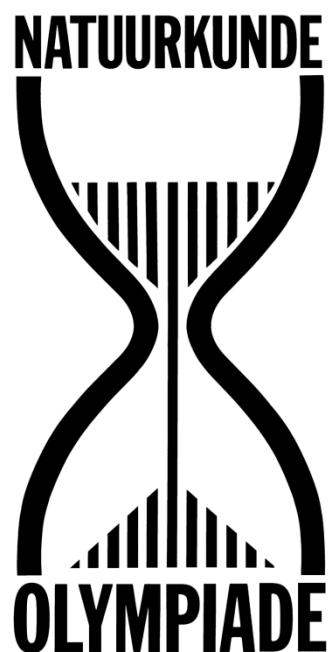


# Finale Natuurkunde Olympiade 2024



## 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	$1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
$\sigma$	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)
$\epsilon_0$	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	$8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
$\mu_0$	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	$9,64853 \cdot 10^4 \text{ Cmol}^{-1}$
$a_0$	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>		
		$u$	$10^{-27} \text{ kg}$	$\text{MeV}$
$u$	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 Dropzak (5p)

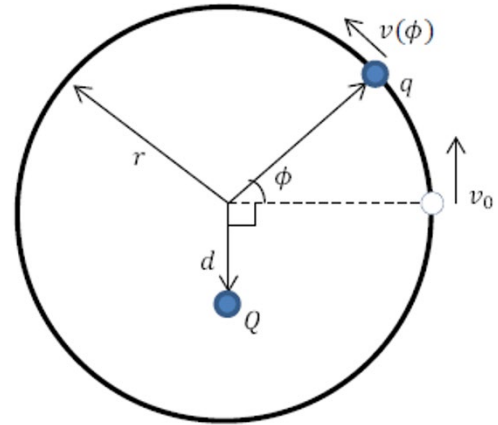
Een grote zak drop valt vanaf een hoogte van  $h = 4$  cm zonder beginsnelheid bovenop de bak van een weegschaal. De weegschaal slaat daardoor uit tot een waarde van  $m_1 = 6$  kg en dempt na enige trillingen tot een uiteindelijke uitslag van  $m_0 = 2$  kg.

De veerconstante van de veer in de weegschaal heeft een waarde van  $k = 1,5$  kN/m.

Bereken de massa  $M$  van de bak van de weegschaal. Neem voor het gemak  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

### 2 Lading op een ring (6p)

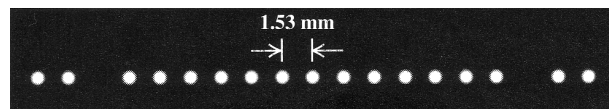
Een puntvormig deeltje (massa  $m$  en lading  $q$ ) kan wrijvingsloos over een horizontale cirkelvormige ring (met straal  $r$ ) bewegen. In het vlak van de ring zit een lading  $Q$  op een afstand  $d$  van het midden van de ring ( $d < r$ ).



- Het deeltje krijgt op de ring een snelheid  $v_0$ . Bereken de snelheid  $v$  als functie van de hoek  $\phi$ ,  $v(\phi)$ .
- Hoe groot is de kracht van de ring op het deeltje als functie van de hoek  $\phi$ ?
- Mogelijke wrijving op het deeltje kan je aangeven met een kracht tegen de richting van de snelheid in, evenredig met de snelheid. ( $F_w = m\gamma v$ ) met  $\gamma$  een positieve constante. Bepaal de plek waar het deeltje tot stilstand komt als deze start met de gegeven snelheid  $v_0$ .

### 3 Licht (4p)

Een diffractie-experiment met twee even smalle evenwijdige spleten geeft het patroon hiernaast. Alleen het middelste gedeelte van het patroon wordt getoond.



De lichtstippen liggen op 1,53 mm van elkaar (behalve de missende stippen) op een scherm dat 2,50 m van de spleten is verwijderd. De lichtbron is een He-Ne-laser met een golflengte van 632,8 nm.

- Bereken hoever de spleten van elkaar af liggen.
- Bereken de breedte van de spleten.

### 4 Water in vacuum (6p)

Een kleine hoeveelheid water met een massa  $m = 50$  g in een vat met een temperatuur van 273 K wordt in een vacuümkamer geplaatst die snel wordt leeggezogen. Hierdoor befrist een deel van het water en wordt ijs en de rest wordt damp.

- Welke hoeveelheid water verandert in eerste instantie in ijs? De smeltwarmte (ijs/water) is  $c_s = 336$  J/g en de verdampingswarmte (water/damp)  $c_v = 2,520$  kJ/g
- Een stuk verwarmde metaallegering met massa  $M = 325$  g en oorspronkelijk volume  $V = 48$  cm<sup>3</sup> wordt in de calorimeter geplaatst samen met het ijs dat verkregen is als resultaat van het experiment onder (a). De dichtheid van metaal bij 273 K is  $\rho_0 = 6,8$  g/cm<sup>3</sup>. De thermische capaciteit is  $C = 0,504$  J/gK en de lineaire uitzettingscoëfficiënt is  $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5}$  K<sup>-1</sup>.

Hoeveel ijs zal er gesmolten zijn wanneer het evenwicht bereikt is?

**5 (Snelle) trein in een tunnel (5p)**

Een trein en een tunnel hebben beide een eigen lengte  $L$ . De trein rijdt naar de tunnel met een snelheid  $v$ . Een bom is geplaatst aan de voorkant van de trein. De bom is zo ontworpen deze ontploft wanneer de voorkant van de trein het einde van de tunnel passeert.

Een demonteersensor is gelokaliseerd aan de achterkant van de trein. Wanneer de achterkant van de trein het begin van de tunnel passeert, stuurt de demonteersensor een lichtsignaal naar de bom, waardoor de bom zichzelf demonteert (ontmantelt) en niet meer afgaat.

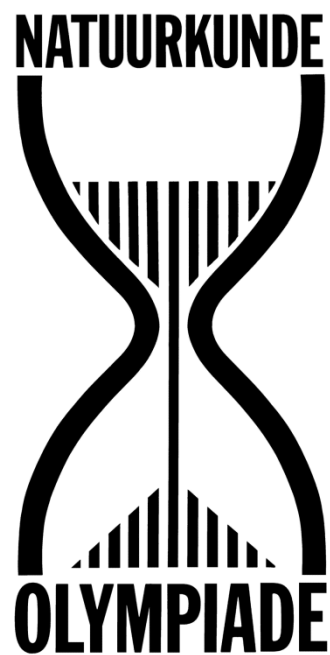
Ga zowel in het 'trein stelsel' als het 'tunnel stelsel' na of de bom zal ontploffen.

**6 R, L en C parallel (4p)**

Een weerstand  $R$ , een spoel met inductie  $L$  en een condensator met capaciteit  $C$ , staan parallel aan een wisselspanningsbron met amplitude  $U_0$  en frequentie  $\omega$ .

- (a) Teken een fasediagram en teken daarin de vectoren van de stroomsterktes en de spanning op een willekeurig moment.
- (b) Geef een vergelijking voor de totale stroomsterkte in de schakeling en geef ook een vergelijking voor de impedantie.

# Finale Natuurkunde Olympiade 2024



## Toets 2



Ministerie van Onderwijs, Cultuur en  
Wetenschap



MALMBERG



talenten  
fonds

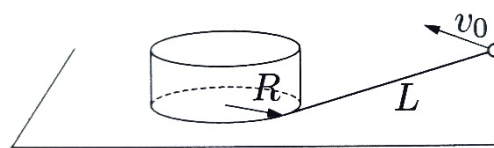
## Enkele constanten en grootheden

<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	$1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
$\sigma$	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)
$\epsilon_0$	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	$8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
$\mu_0$	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>		
		<b>u</b>	$10^{-27} \text{ kg}$	<b>MeV</b>
<b>u</b>	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 Puck aan een touwtje (5p)

Een ronde verticale cilinder met een straal  $R$  staat vast op een horizontaal vlak, zie de figuur. Een kleine puck met verwaarloosbare afmetingen is bevestigd aan een touwtje met initiële lengte  $L$  dat aan de andere kant dicht bij het horizontale vlak is vast gemaakt. De puck krijgt een initiële snelheid  $v_0$  loodrecht op de draad. De puck begint dus te glijden op het vlak.



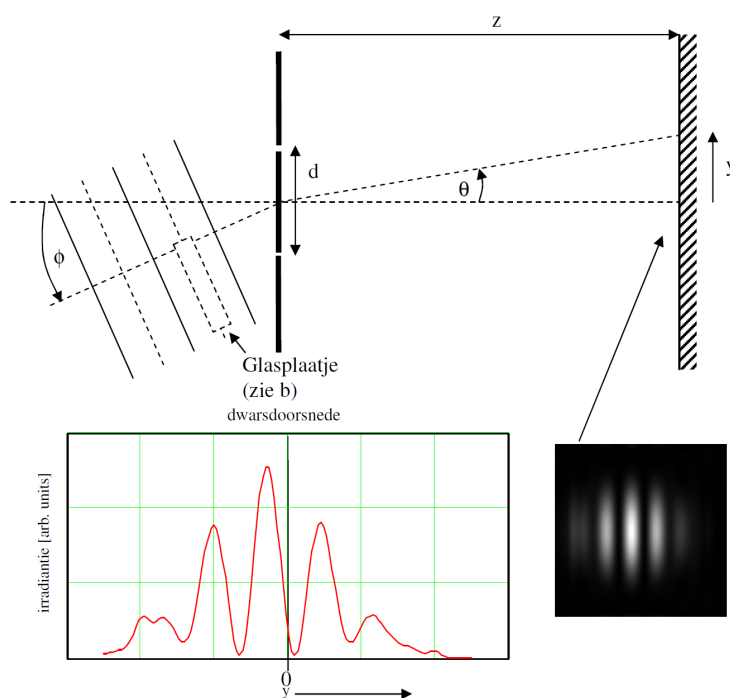
- Hoe lang duurt het voordat de puck tegen de cilinder aankomt, aangenomen dat er geen wrijving is?
- Stel dat de wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  is, hoe lang duurt het dan voordat de puck tegen de cilinder botst? (Of hoe lang duurt het voordat de puck stilstaat?)
- Stel dat de puck de cilinder net raakt voordat het stilstaat. Druk de wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  uit in de gegeven grootheden  $L$ ,  $R$  en  $v_0$  (en uiteraard  $g$ ).

### 8 Vuur (6p)

Er brandt nat hout in een open haard op de grond. 7,0 m boven de grond heeft de rook een temperatuur van  $T = 40\text{ }^\circ\text{C}$ . Verwaarloos de warmte-uitwisseling met de omringende lucht en neem aan dat de atmosferische druk op de grond constant is in tijd en gelijk aan  $p_0 = 1000\text{ hPa}$ , de omringende luchttemperatuur  $T_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$  is onafhankelijk van de hoogte. Veronderstel dat de rook een ideaal gas is met een molaire massa  $\mu = 29\text{ g/mol}$  (d.w.z. gelijk aan de molaire massa van de lucht), en van een molaire soortelijke warmte bij constant volume  $C_V = 1,45 R$ .  
Hoe hoog zal de rookkolom stijgen?

### 9 Twee kleine gaatjes (6p)

Een scherm met twee kleine gaten (diameter  $\sim 400\text{ }\mu\text{m}$ ) wordt belicht met een monochromatische vlakke golf ( $\lambda = 1\text{ }\mu\text{m}$ ) die onder een hoek,  $\phi = 0,4\text{ mrad}$ , met de optische as invalt (zie tekening). De gaten staan op een afstand,  $d = 1\text{ mm}$ , van elkaar af. Op een afstand,  $z = 75\text{ cm}$ , staat een scherm waarop een interferentie patroon zichtbaar is.

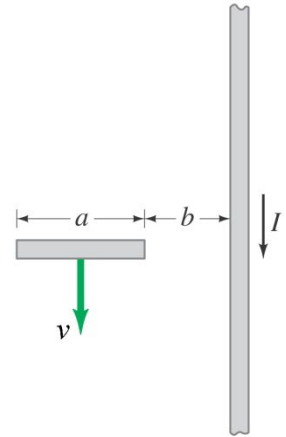


- Bereken de positie van het hoofd maximum t.o.v. de optische as ( $y = 0$ ). Een glasplaatje met brekingsindex,  $n = 1,5$  en dikte  $\delta$ , wordt in de onderste helft van de invallende bundel geplaatst. Het gevolg hiervan is dat er een maximum precies op de optische as ontstaat.
- Bereken de minimale dikte,  $\delta_{\min}$ , dat het plaatje moet hebben om dit te bereiken.

- (c) Laat zien dat voor de gegeven brekingsindex hetzelfde maximum ook verkregen wordt als het plaatje een dikte  $\delta_{\min} + m\lambda/(n - 1)$  heeft, waarbij  $m$  een geheel getal groter dan of gelijk aan nul is.
- (d) Voor welke diktes van het plaatje ontstaat er op de optische as een minimum?

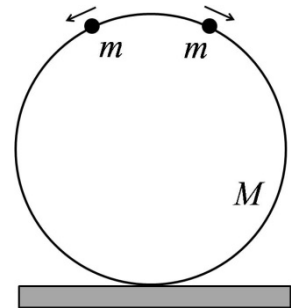
### 10 Draadje (4p)

Een kort stuk draad, met een lengte  $a$ , beweegt met snelheid  $v$ , evenwijdig aan een zeer lange draad waar een stroom  $I$  door gaat, zoals weergegeven in de figuur hiernaast. Het dichtstbijzijnde uiteinde van het stuk draad bevindt zich op een afstand  $b$  van de lange draad. Aangenomen dat de verticale draad zeer lang is in vergelijking tot  $a + b$ , bepaal dan het spanningsverschil tussen de uiteinden van het korte stuk draad.



### 11 Hoepel(h)op (5p)

Twee kralen met massa  $m$  bevinden zich bovenaan een wrijvingsloze hoepel met massa  $M$  en straal  $R$ . De hoepel staat loodrecht op de grond. De twee kralen krijgen een klein tikje en glijden naar beneden, de ene naar rechts, de ander naar links. Zie ook de figuur hiernaast. De normaalkracht van de hoepel op een kraal zal eerst naar buiten gericht zijn, later juist naar binnen.



- (a) Bereken op welk punt de omkering van deze kracht optreedt.
- (b) Wat is de kleinste waarde van  $m/M$  zodat de hoepel op enig moment tijdens de beweging van de kralen los van de grond komt?

### 12 Slinger (4p)

Twee gelijke massa's  $G$  en  $K$  zijn via een stijve staaf met verwaarloosbare massa met elkaar verbonden. De afmetingen van de massa's zijn klein ten opzichte van de lengte van de staaf. Het geheel kan om  $G$  en om het punt  $H$  slingeren ( $GK = 4 GH$ ). Bij kleine uitwijkingen blijkt met het ophangpunt  $G$  de slingertijd  $T_1$  te zijn en met het ophangpunt  $H$  is de slingertijd  $T_2$ . Bereken de verhouding van de slingertijden  $T_1/T_2$ .

