

# De 37<sup>e</sup> Internationale Natuurkunde Olympiade

Singapore

Theorie-toets

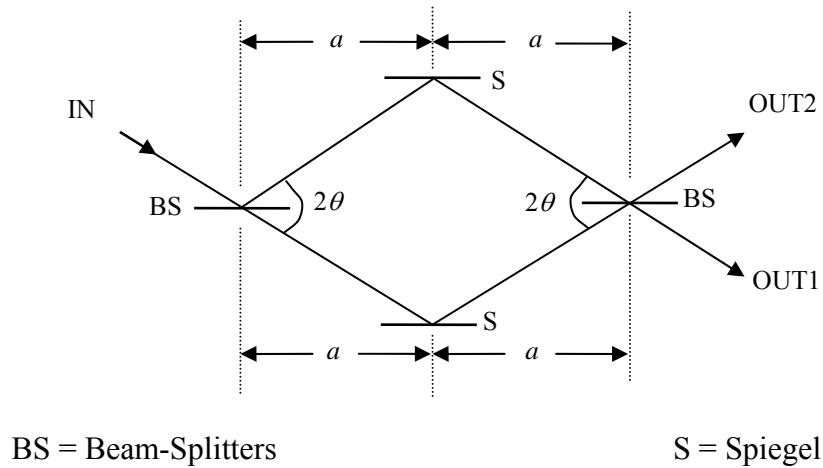
Maandag 10 juli 2006

## Lees dit eerst!

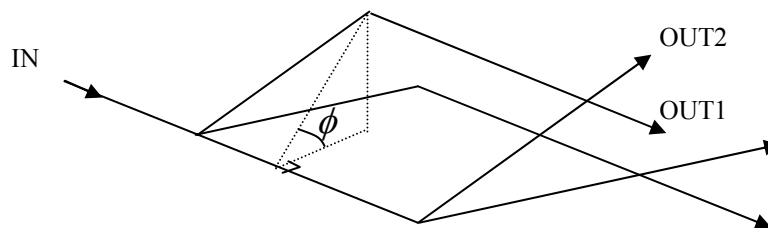
1. Voor de theorie toets is 5 uur beschikbaar. Er zijn 3 vraagstukken die elk 10 punten waard zijn.
2. Gebruik uitsluitend de door de organisatie ter beschikking gestelde pen.
3. Beschrijf uitsluitend de voorkant van het papier.
4. Maak elke opgave op een nieuw blad.
5. De **antwoordbladen** MOETEN gebruikt worden om de antwoorden op samen te vatten. Er zijn ook **blanco bladen** waar je op mag schrijven. Geef numerieke resultaten weer met een verantwoord aantal significante cijfers. Vergeet ook niet om de eenheid te geven.
6. Op de blanco bladen mag je uiteraard alles schrijven waarvan je denkt dat het belangrijk is voor het oplossen van het vraagstuk en dat je wil laten meetellen in de beoordeling. Gebruik echter zoveel mogelijk vergelijkingen, numerieke waarden, tekeningen en grafieken. Gebruik dus **ZO WEINIG MOGELIJK TEKST**.
7. Bovenaan elk antwoordblad MOET je de **Land Code** en je **Student Code** invullen. Vul tevens op de blanco bladen in: het nummer van de opgave (**Vraag Nummer**); het paginanummer en het totaal aantal blanco bladen dat je hebt gebruikt en dat nagekeken moet worden. Noteer ook aan het begin van elk blad het nummer en het onderdeel van de vraag waarmee je bezig bent. Zet een kruis door alle andere beschreven bladen die niet nagekeken hoeven te worden. Neem deze bladen ook niet op in de nummering van de bladen.
8. Leg aan het eind alle bladen in de *juiste volgorde*:
  - **per vraagstuk** eerst het *antwoordblad*,
  - daarna de *beschreven bladen* die nagekeken moeten worden en
  - dan de bladen die niet nagekeken hoeven te worden.
  - Leg de ongebruikte bladen en de opgaven onderop.Bevestig alles met een paperclip. Laat alles op je tafel achter. Je mag **geen enkel blad meenemen**.

## Vraag 1 Zwaartekracht in een neutron-interferometer

Noteer alle antwoorden op de **antwoordbladen**.



figuur 1a



figuur 1b

**De situatie** We bekijken het bekende neutron-interferometer experiment van Collela, Overhauser en Werner, waarin we de ideale situatie veronderstellen dat we beschikken over perfecte bundel-splitters en spiegels. In het experiment wordt het effect van de zwaartekracht op de de-Broglie-golflengte bestudeerd.

De schematische weergave (zie figuur 1a) van de neutron-interferometer is analoog aan die van een optische interferometer. De neutronen komen de interferometer binnen bij IN en volgen de twee aangegeven wegen. De neutronen worden geteld bij beide uitgangen OUT1 en OUT2. De beide wegen vormen een ruit waarvan de oppervlakte in de orde van een paar  $\text{cm}^2$  is.

Als het vlak van de interferometer horizontaal ligt, interfereren de de-Broglie-golven van de neutronen (met golflengte in de orde van  $10^{-10}$  m) zodanig dat alle neutronen geteld worden in OUT1. Wanneer de interferometer echter over een hoek  $\phi$  rond de as van de binnenkomende neutronbundel verdraaid wordt (zie figuur 1b), neemt men een van de hoek  $\phi$  afhankelijke herverdeling van de neutronen tussen de twee uitgangen OUT1 en OUT2 waar.

**Geometrie** Als  $\phi=0^\circ$  staat de interferometer horizontaal; als  $\phi=90^\circ$  staat de interferometer verticaal.

- 1.1 (1,0) Bereken de oppervlakte  $A$  van het ruitvormige oppervlak dat door de twee wegen van de interferometer wordt ingesloten, uitgedrukt in de grootheden  $a$ ,  $\theta$ , en  $\phi$ .
- 1.2 (1,0) Bereken de hoogte  $H$  van de uitgang OUT1 ten opzichte van het horizontale vlak door de as van de inkomende neutronenbundel, uitgedrukt in de grootheden  $a$ ,  $\theta$ , en  $\phi$ .

**Optische weglengte** De optische weglengte  $N_{opt}$  (een getal) is de verhouding van de lengte van de afgelegde weg en de golflengte  $\lambda$ . Als de golflengte verandert, verandert daarmee echter ook de optische weglengte.

- 1.3 (3,0) Bereken het verschil in optische weglengte  $\Delta N_{opt}$  voor de twee wegen in de interferometer als deze over een hoek  $\phi$  gedraaid is ten opzichte van het horizontale vlak, uitgedrukt in de grootheden  $a$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ , de neutron-massa  $M$ , de de-Broglie-golflengte  $\lambda_0$  van de inkomende neutronen, de versnelling van de zwaartekracht  $g$  en de constante van Planck  $h$ .

- 1.4 (1,0) We definiëren nu de volgende parameter:  $V = \frac{h^2}{gM^2}$ .

Herschrijf de uitdrukking voor  $\Delta N_{opt}$  zodat deze uitsluitend uitgedrukt wordt in de grootheden  $A$ ,  $V$ ,  $\lambda_0$  en  $\phi$ .

Bereken de numerieke waarde van  $V$  voor  $M = 1,675 \times 10^{-27}$  kg;  $g = 9,800$  m s<sup>-2</sup>; en  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  J s.

- 1.5 (2,0) Bereken het aantal perioden – van hoge intensiteit naar lage intensiteit en weer terug naar hoge intensiteit – bij uitgang OUT1 als de hoek  $\phi$  wordt gevarieerd van  $\phi = -90^\circ$  tot  $\phi = +90^\circ$ , uitgedrukt in de gegeven grootheden.

**Experimentele gegevens** Voor de in het experiment gebruikte interferometer geldt:  $a = 3,600$  cm en  $\theta = 22,10^\circ$ , als er 19,00 perioden werden waargenomen.

- 1.6 (1,0) Bereken de golflengte  $\lambda_0$  in dit experiment.
- 1.7 (1,0) Bereken het oppervlak  $A$  als men in een soortgelijk experiment 30,00 perioden zou waarnemen met neutronen waarvoor  $\lambda_0 = 0,2000$  nm.

Hint: Als  $|\alpha x| \ll 1$ , dan geldt de volgende benadering:  $(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x$

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		1

**Antwoordblad**

**Geometrie**

**For  
Examiners  
Use  
Only**

<b>1.1</b>	De oppervlakte is  $A =$
<b>1.2</b>	De hoogte is  $H =$

**1.0**

**1.0**

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		<b>1</b>

**Optische weglengte**

<b>1.3</b>	<p>Uitgedrukt in de grootheden <math>a</math>, <math>\theta</math>, <math>\phi</math>, <math>M</math>, <math>\lambda_0</math>, <math>g</math>, en <math>h</math>:</p> <p><math>\Delta N_{\text{opt}} =</math></p>	<b>3.0</b>
<b>1.4</b>	<p>Uitgedrukt in de grootheden <math>A</math>, <math>V</math>, <math>\lambda_0</math>, en <math>\phi</math>:</p> <p><math>\Delta N_{\text{opt}} =</math></p> <p>De numerieke waarde van <math>V</math> is</p> <p><math>V =</math></p>	<b>0.8</b>
<b>1.5</b>	<p>Het aantal perioden is</p> <p>aantal perioden =</p>	<b>2.0</b>

**For  
Examiners  
Use  
Only**

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		1

**Experimentele gegevens**

<b>1.6</b>	De de Broglie golflengte was $\lambda_0 =$
<b>1.7</b>	De oppervlakte is $A =$

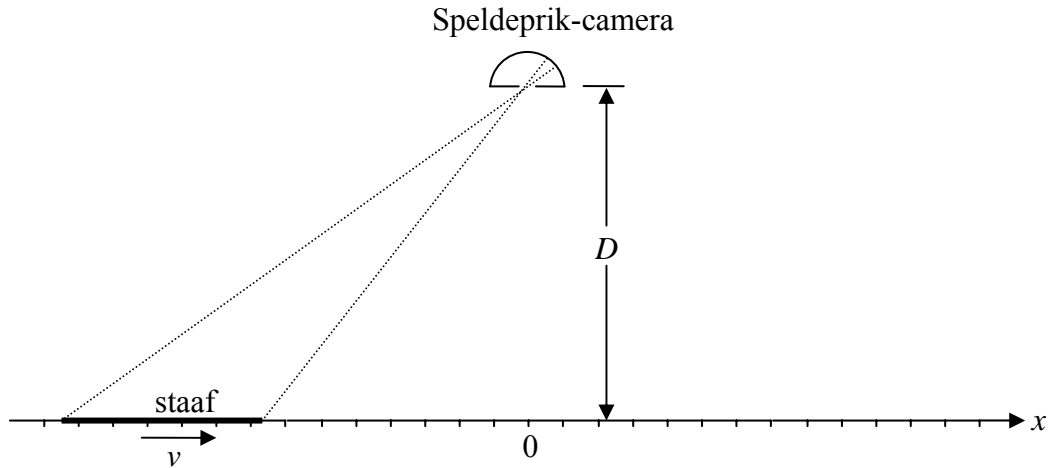
**For  
Examiners  
Use  
Only**

**1.0**

**1.0**

## Vraag 2 Waarnemingen aan een bewegende staaf

Noteer alle antwoorden op de **antwoordbladen**.



**De situatie** Een speldeprik-camera, waarvan de opening zich bevindt in het punt  $(0, D)$ , neemt steeds foto's met een zeer korte sluitertijd van een staaf. Langs de x-as zijn merktekens op gelijke afstanden aangebracht zodat uit de foto's de *schijnbare lengte* van de staaf, zoals te zien is op de foto, bepaald kan worden. Op de foto, waarbij de staaf *in rust* is, is deze zichtbaar met zijn eigenlengte  $L$ . In het vraagstuk is de staaf echter niet in rust, maar beweegt met een constante snelheid  $v$  langs de x-as.

**Basisvergelijkingen** Op een foto van de speldeprik-camera staat een klein stukje van de staaf bij de positie  $\tilde{x}$ .

2.1 (0,6) Bereken de actuele positie \*)  $x$  van het kleine stukje op hetzelfde tijdstip als dat de foto gemaakt werd, uitgedrukt in  $\tilde{x}$ ,  $D$ ,  $L$ ,  $v$ , en de lichtsnelheid  $c = 3,00 \times 10^8$  m/s.

Gebruik hierbij de grootheden  $\beta = \frac{v}{c}$  en  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$  als daarmee de antwoorden

eenvoudiger worden.

2.2 (0,9) Bereken ook de inverse uitdrukking waarbij  $\tilde{x}$  uitgedrukt wordt in  $x$ ,  $D$ ,  $L$ ,  $v$ , en  $c$ .

**Schijnbare lengte van de staaf** De speldeprik-camera neemt een foto op het moment dat het midden van de staaf zich in positie  $x_0$  bevindt.

2.3 (1,5) Bereken de schijnbare lengte  $\tilde{L}(x_0)$  van de staaf in deze foto, uitgedrukt in de gegeven grootheden.

2.4 (1,5) Vink in het juiste vak van het antwoordblad (bij 2.4) aan hoe de schijnbare lengte verandert met de tijd.

**‘Symmetrische’ foto** Op één van de foto’s (de zogenaamde ‘symmetrische’ foto) staan de uiteinden van de staaf evenver af van het gat van de camera.

2.5 (0,8) Bereken de schijnbare lengte van de staaf op deze foto.

2.6 (1,0) Bereken de actuele positie van het midden van de staaf op hetzelfde tijdstip als dat de foto gemaakt werd.

2.7 (1,2) Bereken de positie van het midden van de staaf zoals deze op de foto staat.

**Foto’s die zeer vroeg en foto’s die zeer laat genomen zijn** De speldeprik-camera nam in een zeer vroeg stadium een foto toen de staaf nog erg ver weg en nog aan het naderen was en nam veel later een tweede foto toen de staaf alweer erg ver weg en zich aan te verwijderen was. Op één van de foto’s is de schijnbare lengte van de staaf 1,00 m en op de andere foto is de schijnbare lengte 3,00 m.

2.8 (0,5) Kruis in het juiste vak van het antwoordblad (bij 2.8) aan welke lengtes horen bij de twee foto’s.

2.9 (1,0) Bereken de snelheid  $v$ .

2.10 (0,6) Bereken de eigenlengte  $L$  van de staaf.

2.11 (0,4) Bereken de schijnbare lengte van de staaf op de ‘symmetrische’ foto.

\*) NB: De actuele positie is de positie in het stelsel waarbij de speldeprik-camera in rust is.



Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		2

## Antwoordblad

### Basisvergelijkingen

<b>2.1</b>	<p>De actuele positie <math>x</math> bij een gegeven positie <math>\tilde{x}</math> op de foto :</p> <p><math>x =</math></p>
<b>2.2</b>	<p>De positie <math>\tilde{x}</math> bij de actuele positie <math>x</math> :</p> <p><math>\tilde{x} =</math></p>

**For  
Examiners  
Use  
Only**

**0.6**

**0.9**

### Schijnbare lengte van de staaf

<b>2.3</b>	<p>De schijnbare lengte is:</p> <p><math>\tilde{L}(x_0) =</math></p>
<b>2.4</b>	<p>Vink één van de volgende mogelijkheden aan. Voor de schijnbare lengte geldt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> neemt eerst toe, bereikt een maximum, neemt daarna af</li> <li><input type="checkbox"/> neemt eerst af, bereikt een minimum, neemt daarna toe.</li> <li><input type="checkbox"/> neemt de gehele tijd (monotoon) toe.</li> <li><input type="checkbox"/> neemt de gehele tijd (monotoon) af.</li> </ul>

**1.5**

**1.5**

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		2

**'Symmetrische' foto**

2.5	<p>De schijnbare lengte is</p> $\tilde{L} =$	<p><b>For Examiners Use Only</b></p> <p><b>0.8</b></p>	
2.6	<p>De actuele positie van het midden van de staaf is</p> $x_0 =$		<p><b>1.0</b></p>
2.7	<p>Op de foto is het midden van de staaf zichtbaar op een afstand</p> $l =$ <p>van het beeld van de voorkant van de staaf.</p>		<p><b>1.2</b></p>

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		2

**Foto die vroeg genomen is en foto die laat genomen is**

<p><b>2.8</b></p>	<p>Vink één van de volgende mogelijkheden aan.</p> <p><input type="checkbox"/> De schijnbare lengte is 1 m op de vroege foto en 3 m op de late foto.</p> <p><input type="checkbox"/> De schijnbare lengte is 3 m op de vroege foto en 1 m op de late foto.</p>	<p><b>For Examiners Use Only</b></p> <p><b>0.5</b></p>
<p><b>2.9</b></p>	<p>De snelheid is:</p> <p><math>v =</math></p>	<p><b>1.0</b></p>
<p><b>2.10</b></p>	<p>De eigenlengte van de staaf is:</p> <p><math>L =</math></p> <p>in rust.</p>	<p><b>0.6</b></p>
<p><b>2.11</b></p>	<p>De schijnbare lengte op de ‘symmetrische’ foto is:</p> <p><math>\tilde{L} =</math></p>	<p><b>0.4</b></p>

### Vraag 3

Deze vraag bestaat uit vijf onafhankelijke gedeelten. Elke vraag vraagt om een schatting van de orde van grootte, niet een exact antwoord.

Noteer alle antwoorden op de **antwoordbladen**.

**Digitale camera** Een digitale camera heeft een vierkante CCD-chip met een zijde  $L = 35$  mm en  $N_p = 5$  Mpix (1 Mpix =  $10^6$  pixels). De lens van de camera heeft een brandpuntsafstand  $f = 38$  mm. De bekende getallenreeks (2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22) die op de lens staat, verwijst naar het zogenoemde diafragma getal dat wordt aangegeven met  $F\#$  en wordt gedefinieerd als de verhouding van de brandpuntsafstand en de diameter  $D$  van de lensopening,  $F\# = \frac{f}{D}$

- 3.1 (1,0) Vind het best mogelijke oplossendvermogen  $\Delta x_{\min}$  op de plaats van de chip van de camera, waarbij de lens de beperkende factor is, uitgedrukt met behulp van de golflengte  $\lambda$  en het diafragmagetal  $F\#$ . Geef ook de getalwaarde van  $F\#$  voor  $\lambda = 500$  nm .
- 3.2 (0,5) Bereken de noodzakelijke hoeveelheid Mpix  $N$  die de CCD-chip moet hebben om deze optimale resolutie te bereiken.
- 3.3 (0,5) Fotografen proberen soms de camera te gebruiken bij de kleinste praktische diafragmaopening. Neem aan dat we een camera hebben met  $N_0 = 16$  Mpix, met dezelfde chipgrootte en brandpunt als hierboven. Welke waarde moet nu voor  $F\#$  gekozen worden opdat de beeldkwaliteit niet beperkt wordt door het optisch systeem?
- 3.4 (0,5) Het is bekend dat het menselijk oog een hoekresolutie heeft van  $\phi = 2$  boogseconden en dat een fotoprinter met minimaal 300 dpi (dots per inch) kan printen. Bereken de minimale afstand  $z$  waar je een geprinte pagina voor je ogen moet houden om de afzonderlijke dots niet te zien.

Gegevens      1 inch = 25,4 mm  
                  1 boogseconde =  $2,91 \cdot 10^{-4}$  rad

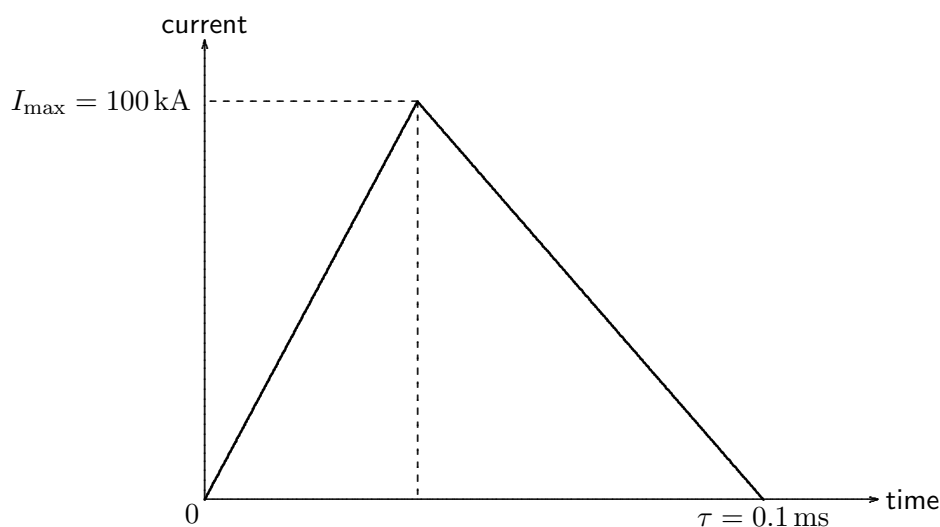
**Een hardgekookt ei** Een ei, zo uit de koelkast met een temperatuur van  $T_0 = 4\text{ }^\circ\text{C}$  wordt in kokend water gedaan dat blijft koken op een temperatuur  $T_1$ .

- 3.5 (0,5) Bereken de hoeveelheid energie  $U$  die nodig is om de eiwitten in het ei te doen stollen.
- 3.6 (0,5) Bereken de grootte van de warmtestroom  $J$  die het ei in stroomt. \*)
- 3.7 (0,5) Bereken de hoeveelheid warmte die per seconde aan het ei wordt overgedragen.
- 3.8 (0,5) Hoe lang moet je het ei koken totdat het hardgekookt is.

\*)Hint Je kunt de vereenvoudigde wet van Fourier voor de warmtestroom  $J = \frac{\kappa\Delta T}{\Delta r}$  gebruiken, met  $\Delta T$  het temperatuurverschil over een afstand  $\Delta r$ . De warmtestroom  $J$  heeft als eenheid  $\text{Wm}^{-2}$ .

Gegevens:    dichtheid van een ei:  $\mu = 10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$   
                   Soortelijke warmte van ei:  $c = 4,2\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\text{ g}^{-1}$   
                   Straal van het ei:  $R = 2,5\text{ cm}$   
                   Stollingstemperatuur van eiwit:  $T_c = 65\text{ }^\circ\text{C}$  ;  
                   Warmtetransportcoëfficiënt:  $\kappa = 0,64\text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\text{ m}^{-1}$  (wat je als waarde mag nemen voor zowel vloeibaar als vast eiwit)

**Bliksem** We beschouwen een sterk vereenvoudigd model van bliksem. Bliksem wordt veroorzaakt doordat een elektrostatische ladingsverdeling in wolken wordt opgebouwd. Hierdoor wordt de onderkant van de wolk meestal positief geladen en de bovenkant negatief. De grond onder de wolk wordt daardoor negatief geladen. Als de bijbehorende elektrische veldsterkte een minimale waarde voor lucht overschrijdt, ontstaat een heftige ontlading: dat noemen we bliksem.



Vereenvoudigd model van een stroompuls die tussen de wolk en de grond stroomt.

Beantwoord de volgende vragen met behulp van de vereenvoudigde grafiek van de stroomsterkte als functie van de tijd en de volgende gegevens:

Afstand van de onderkant van de wolk tot de grond:  $h = 1$  km;  
Doorslagveldsterkte van vochtige lucht:  $E_0 = 300$  kVm<sup>-1</sup>;  
Totaal aantal bliksems dat per jaar de grond raakt:  $3,2 \cdot 10^7$ ;  
Totale bevolking op aarde:  $6,5 \cdot 10^9$  mensen.

- 3.9 (0,5) Hoe groot is de totale lading  $Q$  die door bliksem vrijkomt?
- 3.10 (0,5) Bereken de gemiddelde stroomsterkte  $I$  die tussen de onderkant van de wolk en de grond stroomt tijdens een bliksem.
- 3.11 (1,0) Veronderstel dat alle energie van alle stromen van één jaar verzameld wordt en gelijkelijk over alle mensen verdeeld wordt. Hoelang kun je dan jouw lamp van 100 W continu laten branden?

**Capillaire vaten** Beschouw bloed als een niet-samendrukbare vloeistof met dichtheid  $\mu$  gelijk aan die van water en een dynamische viscositeit  $\eta = 4,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$ . We beschouwen bloedvaten als rechte pijpen met een cirkelvormige doorsnede met straal  $r$  en lengte  $L$  en nemen aan dat de bloedstroom zich gedraagt volgens de wet van Poiseuille:

$$\Delta p = RD,$$

waarbij de vloeistof zich analoog aan de wet van Ohm bij elektrische stromen gedraagt.  $\Delta p$  is het drukverschil tussen het begin en het eind van het bloedvat,  $D = Sv$  is het volume dat per seconde door de oppervlakte doorsnede  $S$  van het bloedvat stroomt met  $v$  de snelheid van het bloed. De hydraulische weerstand  $R$  wordt gegeven door

$$R = \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

Voor de systemische bloedcirculatie (die van de linkerhartkamer naar de rechteratrium van het hart stroomt) is de bloedstroom gelijk aan  $D \approx 100 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$  voor een man in rust. Beantwoord de volgende vragen onder de aanname dat alle capillaire bloedvaten parallel staan en dat elk capillair vat een straal  $r = 4 \text{ }\mu\text{m}$  heeft en een lengte  $L = 1 \text{ mm}$  en dat over elk vat een drukverschil  $\Delta p = 1 \text{ kPa}$  staat.

3.12 (1,0) Hoeveel capillaire vaten zijn er in het menselijk lichaam?

3.13 (0,5) Hoe groot is de snelheid  $v$  van het bloed door een capillair vat?

**Wolkenkrabber** Aan de voet van een wolkenkrabber die 1000 m hoog is, is de buitentemperatuur gelijk aan  $T_{bot} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Het is de bedoeling een schatting te maken van de buitentemperatuur  $T_{top}$  aan de top van het gebouw. Beschouw een dunne laag lucht (ideaal stikstofgas met een adiabatische coëfficiënt  $\gamma = 7/5$ ) die traag omhoog gaat tot een hoogte  $z$  waar de druk lager is. Veronderstel dat deze laag adiabatisch uitzet zodat zijn temperatuur daalt tot de temperatuur van de omgevende lucht.

3.14 (0,5) Wat is het verband tussen de relatieve verandering in temperatuur  $dT/T$  en de relatieve verandering in druk  $dp/p$ ?

3.15 (0,5) Druk het drukverschil  $dp$  uit in functie van het hoogteverschil  $dz$ .

3.16 (1,0) Bereken de temperatuur bovenaan het gebouw.

Gegevens: constante van Boltzmann:  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$   
 massa van een stikstofmolecule:  $m = 4,65 \times 10^{-26} \text{ kg}$   
 gravitatieversnelling:  $g = 9,80 \text{ m s}^{-2}$

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		3

## Antwoordblad

### Digitale Camera

**For  
Examiners  
Use  
Only**

<p><b>3.1</b></p>	<p>Het scheidingsvermogen is</p> <p>(formule:) <math>\Delta x_{\min} =</math></p> <p>en geeft</p> <p>(numeriek:) <math>\Delta x_{\min} =</math></p> <p>voor <math>\lambda = 500 \text{ nm}</math>.</p>	<p><b>0.7</b></p> <p><b>0.3</b></p>
<p><b>3.2</b></p>	<p>Het aantal Mpix is</p> <p><math>N =</math></p>	<p><b>0.5</b></p>
<p><b>3.3</b></p>	<p>Het beste diafragma-getal is</p> <p><math>F\# =</math></p>	<p><b>0.5</b></p>
<p><b>3.4</b></p>	<p>De minimale afstand is</p> <p><math>z =</math></p>	<p><b>0.5</b></p>



Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		3

**Hardgekookt ei**

3.5	De benodigde energie is $U =$	<b>For Examiners Use Only</b>  0.5
3.6	De warmtestroom is $J =$	
3.7	De hoeveelheid warmte die per seconde wordt overgedragen is $P =$	
3.8	De tijdsduur nodig om een ei hard te koken is $\tau =$	

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		<b>3</b>

**Bliksem**

<b>3.9</b>	De totale lading is  $Q =$	<b>0.5</b>
<b>3.10</b>	De gemiddelde stroomsterkte is  $I =$	<b>0.5</b>
<b>3.11</b>	De gloeilamp brandt gedurende een tijdsduur van  $t =$	<b>1.0</b>

**Capillaire Vaten**

<b>3.12</b>	Er zijn  $N =$  capillaire vaten in een menselijk lichaam.	<b>1.0</b>
<b>3.13</b>	De bloedsnelheid is  $v =$	<b>0.5</b>

Land Code	Student Code	Vraag Nummer
		3

**Wolkenkrabber**

3.14	De relatieve verandering van de temperatuur is  $\frac{dT}{T} =$	<b>For Examiners Use Only</b>  <b>0.5</b>	
3.15	Het drukverschil is  $dp =$		<b>0.5</b>
3.16	De temperatuur bovenaan is  $t_{\text{top}} =$		<b>1.0</b>