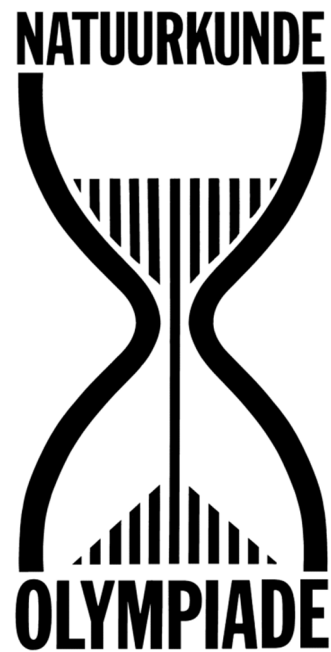


Eindronde Natuurkunde Olympiade 2019



theorietoets deel 1

ASML



NVON

MALMBERG



<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>waarde</i>
G	gravitatieconstante	$6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9,81 \text{ m s}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,2413968 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$
	• (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	$6,02214129 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
R	gasconstante	$8,3144621 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
k_B	constante van Boltzmann	$1,3806488 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
σ	constante van Stefan-Boltzmann	$5,670373 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
k_W	constante van Wien	$2,8977721 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$
h	constante van Planck	$6,62606957 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
c	lichtsnelheid	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ (per definitie)
ϵ_0	elektrische permittiviteit van het vacuüm	$8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
f	constante in de wet van Coulomb	$8,987551787 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$ $f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ H m}^{-1}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ (per definitie)
e	elementair ladingsquantum	$1,602176565 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
F	constante van Faraday	$9,64853365 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ $F = e N_A$
a_0	atoomstraal H-atoom (volgens Bohr)	$5,2917721092 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
R_H	rydbergconstante voor waterstof	$1,096775834 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

Opgave 1 Elektrisch pingpong (2,5 pt)

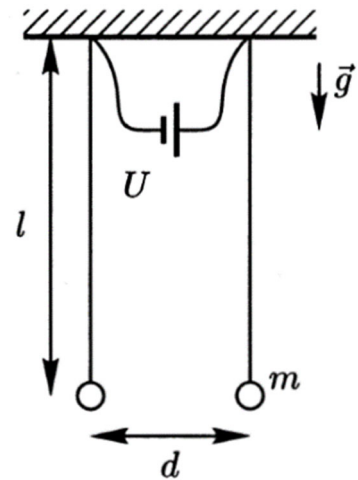
Twee gelijke stalen bollen met een straal van 5,0 mm en een massa $m = 4,0$ g hangen aan een niet geleidend plafond aan ijzeren draden met een lengte van $l = 1,0$ m op een afstand van $d = 10$ cm van elkaar. Oorspronkelijk zijn ze in rust en ongeladen.

(a) Bereken de slingertijd van de bollen.

Een constante spanningsbron met spanning U_0 en met een hoge inwendige weerstand van $R = 1,0 \cdot 10^{15} \Omega$ wordt aan de draden vastgemaakt.

(b) Bereken bij welke minimale spanning $U = U_{\min}$ de bollen elkaar na enige tijd zullen raken.

(c) Bereken de tijd t_0 die nodig is om de bollen tot een spanning van $U = U_{\min}$ op te laden met een spanning van $U_0 = 1,0 \cdot 10^6$ V.



Opgave 2 Maansverduistering (2,5 pt)

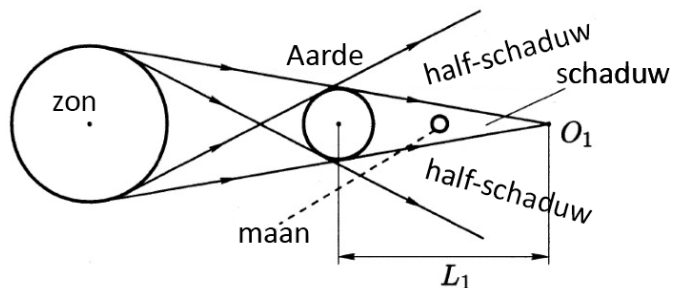
De zon is geen puntbron van licht. Vanaf aarde gezien is de ruimtehoek waaronder je de diameter van de zon ziet $2\delta = 0,52^\circ$. Daarom is de totale schaduw achter de aarde van de zon beperkt.

De straal van de aarde is $R = 6400$ km.

De ruimtehoek waaronder je de diameter van de maan ziet is gelijk aan die van de zon (2δ) en de maan draait in 27,3 dagen rond de aarde.

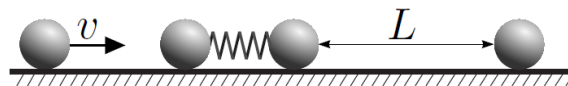
Ga ervan uit dat de buiging van het zonlicht door de aardatmosfeer verwaarloosbaar is.

Bereken de duur van een totale maansverduistering.



Opgave 3 Botsen met ballen (2 pt)

Twee perfect elastische ballen met gelijke massa m zijn via een veer met veerconstante k met elkaar verbonden. Het geheel ligt op een wrijvingsloze tafel.



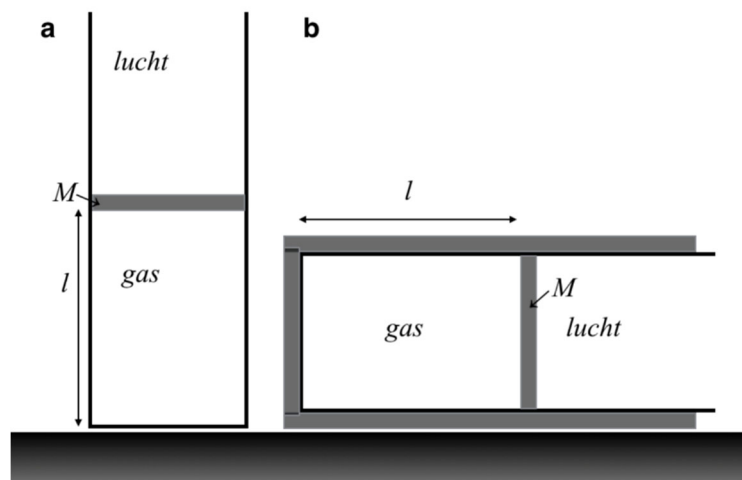
Een bal, identiek aan de anderen, nadert de ballen met veer met een snelheid v . Een vierde bal, ook gelijk aan de anderen ligt rechts van de ballen met veer op een afstand L .

(a) Bepaal de snelheid van het massamiddelpunt van de met een veer verbonden ballen na de botsing met de bal van links.

(b) Bij welke afstanden L tussen de ballen met veer en de rechter bal zal de laatste na botsing met de ballen dezelfde snelheid hebben als de linker bal eerst had?

Opgave 4 Cilinder kantelen (3 pt)

Beschouw een cilinder gevuld met $n = 2,00$ mol van een gas dat mag worden behandeld als een ideaal gas, en waarvan bekend is dat de soortelijke warmte bij constante temperatuur c_V gelijk is aan $4,000R$. De cilinder is afgesloten met een wrijvingsloos beweegbare zuiger met massa $M = 20,00$ kg en oppervlak $O = 0,0100$ m². De cilinder is geplaatst in de ruimte als aangegeven in Figuur 1a. De afstand tussen de onderkant van de zuiger en de bodem van de cilinder (de lengte van de gaskolom in de cilinder) is l . De druk van de atmosfeer is 1,00 bar en de temperatuur is 300 K. In deze situatie is er mechanisch en thermisch evenwicht: de zuiger verandert niet van plaats en de temperatuur van het gas in de cilinder is gelijk aan die van de omgeving.



Figuur 1: situatieschets voor thermodynamische berekeningen aan cilinder gevuld met gas. a: verticale opstelling; b: horizontale opstelling. Thermische isolatie is aangegeven met grijze balken. De positie van de aarde is weergegeven met een donkere balk.

- (a) Bereken de druk van het gas in de gegeven situatie behorend bij Figuur 1a.
(b) Laat zien dat de afstand l in de gegeven situatie behorend bij Figuur 1a gelijk is aan $l = 4,16$ m.

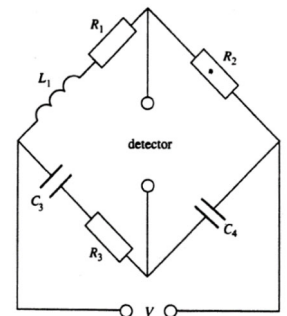
De zuiger wordt nu vastgezet op de gegeven lengte van de gaskolom en de cilinder als geheel wordt 90 graden gedraaid, zoals aangegeven in Figuur 1b. Tevens wordt de cilinder thermisch geïsoleerd van de omgeving. De zuiger staat ook geen warmte-uitwisseling met de omgeving toe.

Nu wordt de zuiger niet langer tegengehouden, maar kan weer vrij bewegen.

- (c) Bereken de lengte en de temperatuur van de gaskolom als deze weer in evenwicht is met de omgeving.
(d) Laat zien dat het proces van lengteverandering van de kolom spontaan verloopt door de entropieverandering van gas en van de omgeving te berekenen.

Opgave 5 De brugschakeling van Owen (2 pt)

Een spoel is technisch goed te beschrijven met een inductantie en een weerstand. Met een Owen-brugschakeling zijn deze te meten. In de tekening hiernaast is een spoel ingetekend als de inductantie L_1 en weerstand R_1 . R_2 en R_3 zijn variabele weerstanden en C_3 en C_4 zijn vaste capaciteiten in deze meetbrug. De kunst is om de brug in evenwicht te krijgen, wat betekent dat er bij de aansluitingen voor een detector geen spanning te vinden is.



(a) Toon aan dat het in balans zijn van de brug onafhankelijk is van de frequentie van de (wissel)spanningsbron.

De brug blijkt in balans te zijn met de volgende waarden:

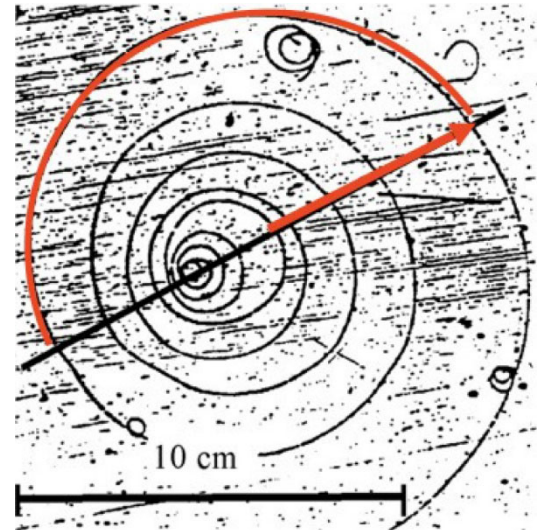
$$C_3 = 8,0\mu\text{F}; C_4 = 5,0\mu\text{F}; R_2 = 0,50\Omega; R_3 = 3,2\text{k}\Omega$$

(b) Bereken de waarden L_1 en R_1 van de in de brug geplaatste spoel.

Opgave 6 Bellenvatfoto van een elektron dat zijn energie verliest (3 pt)

Gegeven: elektron-massa = $0,511\text{MeV}/c^2$.

Een bellenvat, gevuld met kokend waterstof, werd veel gebruikt om botsingen van deeltjes met een hoge energie te detecteren. Ten gevolge van de botsingen worden vaak elektronen gemaakt die ook een hoge energie hebben. Doordat het elektron de waterstof moleculen op z'n weg ioniseert, verliest het energie en beschrijft het elektron onder invloed van het aanwezige magneetveld, een spiraalvormige baan. Elk stuk baan kan echter opgevat worden als een deel van een steeds kleinere cirkel.



(a) Leidt af dat het verband tussen de impuls p van het elektron, z'n lading q , de straal R van de baan en het magneetveld B , dat loodrecht staat op het vlak van de baan, gegeven wordt door $p = BqR$.

Gegeven is dat de sterkte van het magneetveld $B = 1,2\text{ T}$.

(b) Laat zien dat, uitgaande van de relativistische vorm van de impuls en van de foto, het elektron in een groot deel van de baan vrijwel de lichtsnelheid heeft.

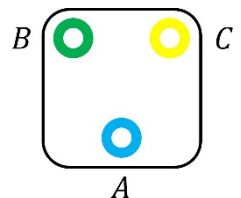
In de foto wordt de straal gemeten als functie van de tijd. Men vindt dan:

$$R(t) = R(t = 0)e^{-kt}$$

(c) Bereken de relatieve afname van de energie van het elektron als functie van de tijd.

BONUS 1 Blackbox (1 pt)

Een elektrische blackbox (een doosje waarvan de inhoud niet zichtbaar is) heeft drie aansluitpunten, A , B en C . In de blackbox zijn drie weerstanden x , y en z geschakeld. Voor deze weerstanden geldt het volgende: Elk aansluitpunt A , B , C zit vast aan 1 of 2 uiteinden van verschillende weerstanden en tussen twee willekeurige aansluitpunten A , B , C zitten 1 of 2 verschillende paden.

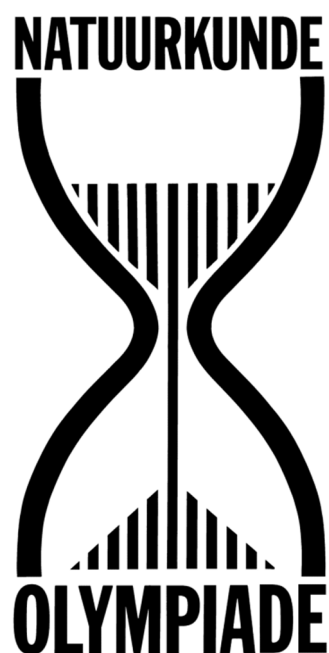


(a) Teken, gegeven de twee randcondities de mogelijke configuraties van de blackbox.

Verder geldt dat elke weerstand een minimale waarde van $0,50\Omega$ heeft en er wordt gemeten: Tussen AB een weerstandswaarde van $1,0\Omega$, tussen BC een weerstandswaarde van $2,0\Omega$ en tussen AC een weerstandswaarde van $3,0\Omega$.

(b) Bereken de mogelijke waarden van de weerstanden x , y en z .

Eindronde Natuurkunde Olympiade 2019



theorietoets deel 2

ASML



NVON

MALMBERG



<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>waarde</i>
G	gravitatieconstante	$6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9,81 \text{ m s}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,2413968 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$
	• (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	$6,02214129 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
R	gasconstante	$8,3144621 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
k_B	constante van Boltzmann	$1,3806488 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
σ	constante van Stefan-Boltzmann	$5,670373 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
k_W	constante van Wien	$2,8977721 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$
h	constante van Planck	$6,62606957 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
c	lichtsnelheid	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ (per definitie)
ϵ_0	elektrische permittiviteit van het vacuüm	$8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
f	constante in de wet van Coulomb	$8,987551787 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$ $f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ H m}^{-1}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ (per definitie)
e	elementair ladingsquantum	$1,602176565 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
F	constante van Faraday	$9,64853365 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ $F = e N_A$
a_0	atoomstraal H-atoom (volgens Bohr)	$5,2917721092 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
R_H	rydbergconstante voor waterstof	$1,096775834 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

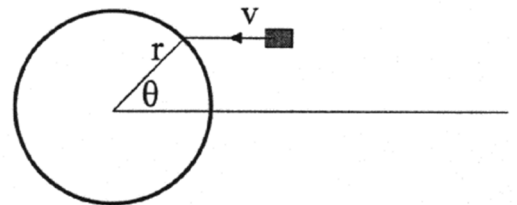
Opgave 7 Volleybal (3 punten)

We kijken naar een volleybal. We gaan er van uit dat de stof waar de bal van gemaakt is, niet elastisch is en heel gemakkelijk kan vervormen. De bal heeft een straal $R = 10$ cm en een massa $m = 400$ g. De overdruk in de bal is $\Delta p = 40$ kPa. De massa van de lucht in de bal mag je verwaarlozen. Je mag de verandering in overdruk door kleine vervormingen van de bal verwaarlozen.

- De bal wordt tussen twee parallelle platen geperst, zo dat de bal aan beide zijden over een afstand $h = 1,0$ cm indeukt. Bereken de kracht die de bal op een van de platen uitoefent.
- De bal komt met een snelheid van $v_0 = 2,0$ m/s tegen een muur. Bereken de maximale indeuking h_m die de bal door de muur krijgt.
- Bepaal ook de tijd van de botsing tot de bal weer los van de muur is.

Opgave 8 Draaimolen (2 pt)

In een speeltuin springt een kind op een stilstaande draaimolen, waardoor de molen in beweging komt. De precieze situatie is weergegeven in figuur hiernaast. De draaimolen beschouwen we als een homogene schijf met straal r en massa M . Het kind heeft een massa m en beweegt met snelheid v evenwijdig aan de getekende x -as. De plek waar het kind contact maakt met de draaimolen wordt gegeven door de hoek θ en de straal r .



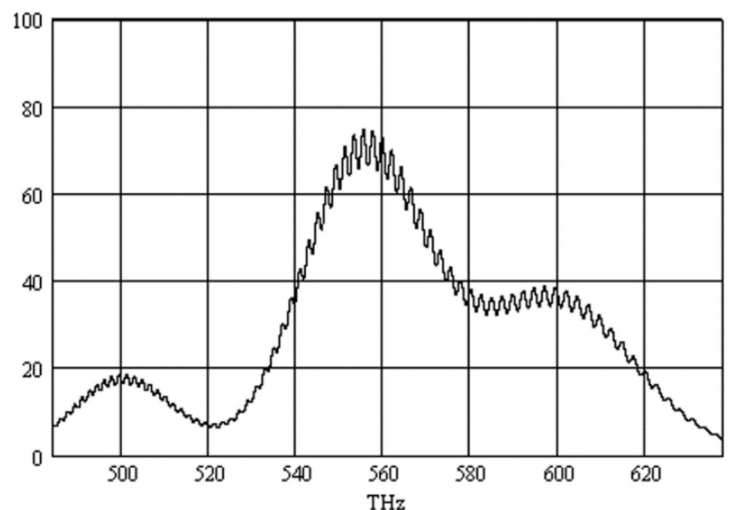
- Bereken de hoeksnelheid van de molen na de botsing.
- Hoeveel mechanische energie is er bij de botsing verloren gegaan?

Opgave 9 Bol aan draad (2 pt)

Een geladen metalen bol (lading Q , straal r_0) is opgehangen aan een (lange) geïsoleerde draad. De bol verliest langzaam lading omdat de omringende lucht een niet oneindige soortelijke weerstand ρ heeft. Neem aan dat deze soortelijke weerstand overal dezelfde waarde heeft. Leid een uitdrukking (in de gegeven grootheden) af voor hoe lang het duurt voordat de lading op de bol is gehalveerd.

Opgave 10 Transparante film (2 pt)

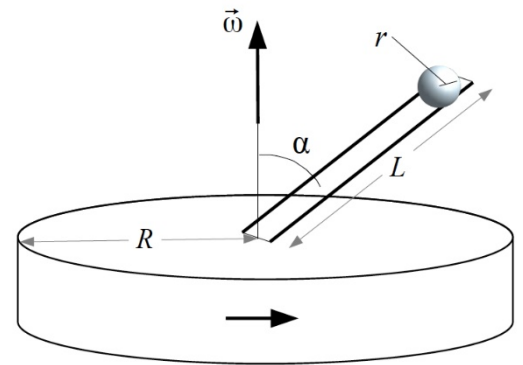
Een dikke glasplaat heeft een dunne filmcoating. Een grafiek van de doorgelaten intensiteit van het licht ten opzichte van de golflengte is hiernaast aangegeven. De brekingsindex van de film is $n = 1,3$. Hoe groot is de dikte d van de film?



Opgave 11 Roterende rail met een kogel (3 pt)

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.

Neem in eerste instantie aan dat de hoeksnelheid ω waarmee de schijf ronddraait, constant is (zie de tekening). 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. Geef in de figuur duidelijk aan welke krachten er in het met de schijf meedraaiende stelsel op de kogel werken.
- Bereken de grootte van de centrifugaalkracht uitgedrukt in de gegeven grootheden.
- 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.

- Wat is de reden dat bij het naar beneden rollen van de kogel de hoeksnelheid van de draaiende schijf verandert?

Op een gegeven moment bevindt de kogel zich onderaan de rail. De rail heeft dan een hoeksnelheid ω_1 gekregen.

- Bereken de verhouding ω_0/ω_1 .

Opgave 12 Dieselmotor (3 pt)

In een dieselmotor wordt lucht vanuit de omgeving snel gecomprimeerd tot $1/20$ van het originele volume.

Maak een zorgvuldige schatting van de luchttemperatuur na de compressie en leg uit waarom een dieselmotor geen bougies nodig heeft.

BONUS 2 Economische zuinigheid (1 pt)

Twee economie studenten, A en B , wonen naast elkaar in een studentenkamer en besluiten in de tentamenperiode te bezuinigen. Dat doen ze door hun plafondverlichting in serie aan te sluiten. Ze spreken af dat ze beiden enkel een 100 W gloeilamp gebruiken en dat ze beiden de helft van de elektriciteitsrekening zullen betalen.

Beide studenten gebruiken echter geen 100 W gloeilamp. Student A gebruikt een 200 W lamp en student B een gloeilamp van 50 W .

Ga er vanuit dat beide studenten voldoende licht nodig hebben om 's avonds de dikke studieboeken te bestuderen.

Welke student zal de tentamens niet gaan halen?