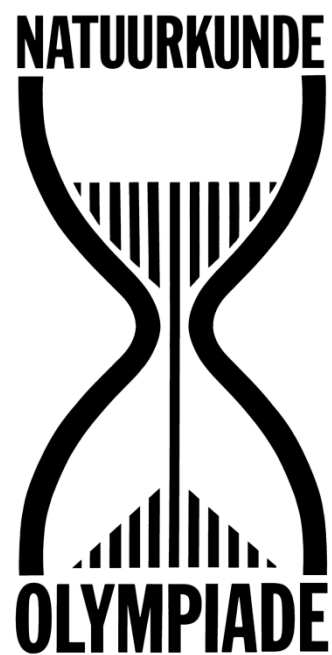


Finale Natuurkunde Olympiade 2025



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°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	$9,64853 \cdot 10^4 \text{ Cmol}^{-1}$
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} 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 Bergbeklimmer

Bergbeklimmers gebruiken rekkende (dynamische) touwen om een eventuele val te breken. Veronderstel dat het ene uiteinde van een touw (dat in ontspannen toestand een lengte l heeft) aan een rots verankerd wordt en het ander aan een klimmer met massa m . Wanneer de klimmer een hoogte van l boven het ankerpunt bereikt heeft, glijdt hij uit en valt als gevolg van de zwaartekracht over een afstand $2l$. Op dat moment komt het touw strak te staan en rekt vervolgens over een afstand x tot de klimmer tot stilstand komt.

Veronderstel dat een rekkend touw zich gedraagt als een veer met een veerconstante k .

- (a) Pas het principe van arbeid en energie toe om aan te tonen dat

$$x = \frac{mg}{k} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4kl}{mg}} \right)$$

- (b) Veronderstel dat $m = 85 \text{ kg}$, $l = 8,0 \text{ m}$ en $k = 850 \text{ N/m}$. Bepaal in dat geval x/l (de rekverhouding van het touw) en kx/mg (de kracht die het touw uitoefent op de klimmer in verhouding tot zijn eigen gewicht) op het moment dat de val van de klimmer gebroken is.

2 Metalen geladen bol

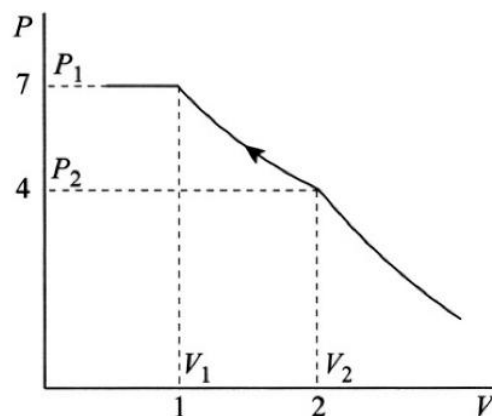
Een metalen bol is elektrisch geladen en hangt aan een geïsoleerd koord. De bol verliest langzaam zijn lading omdat de lucht een klein, maar ongelijk nul, geleidingsvermogen heeft. Als we aannemen dat de geleidbaarheid van de lucht σ overal gelijk is, hoe lang duurt het dan voordat de lading op de bol gehalveerd is?

3 Gasmengselcondensatie

Een mengsel van $m_N = 100 \text{ g}$ stikstof en een hoeveelheid zuurstof wordt isotherm samengeperst bij $T = 77,4 \text{ K}$. Het resultaat van dit experiment is weergegeven als de drukafhankelijkheid van het mengsel ten opzichte van het volume in willekeurige eenheden (zie de figuur).

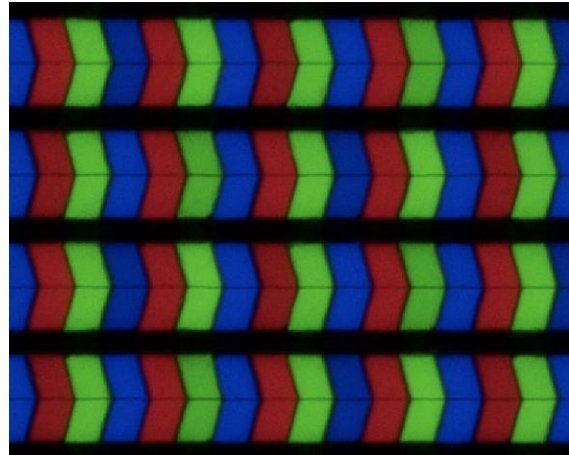
Bepaal de massa zuurstof en de verzadigde dampdruk van zuurstof bij deze temperatuur.

Hint: $T = 77,4 \text{ K}$ is het kookpunt van vloeibare stikstof bij atmosferische druk. Zuurstof kookt bij een hogere temperatuur. De molaire massa's van zuurstof en stikstof zijn respectievelijk 32 g/mol en 28 g/mol .



4 LED TV

Deze vraag gaat over het verschijnsel diffractie. In de linker figuur hieronder zie je een beeld van een televisie (uitgeschakeld) die de reflecties van twee felle lichten in de kamer laat zien. Rechts zie je de subpixelstructuur van deze televisie, met de RGB-leds waaruit het scherm is opgebouwd.



- (a) Eerst bestuderen we de kleuren in de foto links. Verklaar het terugkerende patroon van de kleuren.
- (b) Bekijk nu de vorm van het patroon rond de directe reflectie van de lichtbronnen - dat een x-vorm heeft, in combinatie met een heldere verticale band. Leg uit hoe dit patroon ontstaat.
- (c) Maak een schatting van de subpixelafstand op basis van een schatting van de hoeken en afstanden in deze foto. Wat denk je, is dit een 2k, 4k of 8k televisie?

5 RLC-circuit

Voor het circuit getoond in de figuur hiernaast, gelden de volgende waarden:

$$R_1 = 3R, R_2 = R, C_1 = C_2 = C \text{ en } L_1 = L_2 = L.$$

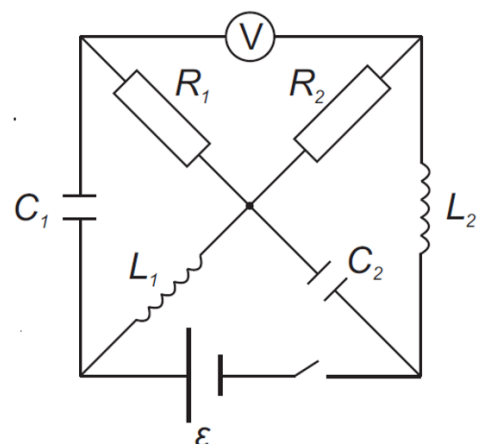
De spanning van de batterij is ε .

Aanvankelijk is de schakelaar gesloten en is het systeem in een stationaire toestand, d.w.z. stroom en spanning veranderen niet.

- (a) Leid af wat de voltmeter aangeeft in deze stationaire toestand.

Nu wordt de schakelaar geopend.

- (b) Wat geeft de voltmeter aan direct na het openen van de schakelaar?
- (c) Vind de totale hoeveelheid warmte die zal worden gedissipeerd in elk van de twee weerstanden na het openen van de schakelaar totdat een nieuwe stationaire toestand is bereikt.



6 Raketbotsing

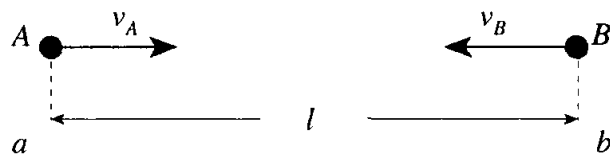
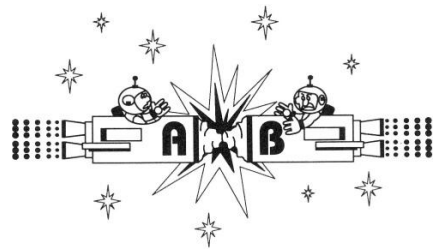
Een persoon op aarde observeert twee raketten die recht op elkaar af bewegen en botsen, zoals weergegeven in de figuur.

Op tijdstip $t = 0$ in het aardse referentiekader bepaalt de

waarnemer op aarde dat raket A , die naar rechts

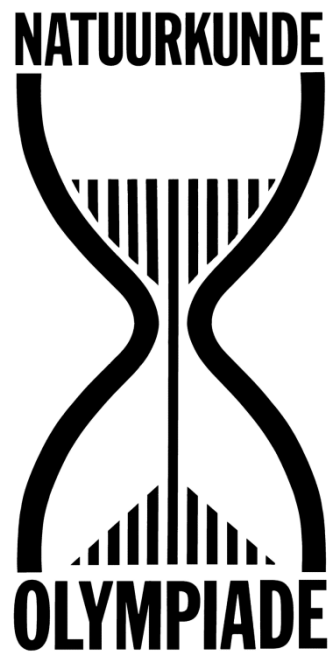
beweegt met snelheid $v_A = 0,8 c$, zich op punt a

bevindt, en dat raket B zich op punt b bevindt en naar links beweegt met snelheid $v_B = 0,6 c$. Ze zijn gescheiden door een afstand $l = 4,2 \times 10^8$ m. Zie de figuur hieronder.



- (a) Hoeveel tijd verstrijkt er in het aardse referentiekader voordat de raketten botsen?
- (b) Hoe snel nadert raket B in het referentiekader van raket A ? En hoe snel nadert raket A in het referentiekader van raket B ?
- (c) Hoeveel tijd verstrijkt er in het referentiekader van A vanaf het moment dat raket A punt a passeert tot aan de botsing? En hoeveel tijd verstrijkt er in het referentiekader van B vanaf het moment dat raket B punt b passeert tot aan de botsing?

Finale Natuurkunde Olympiade 2025



Toets 2

TU/e

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap



IAALM BERG



**talenten
fonds**

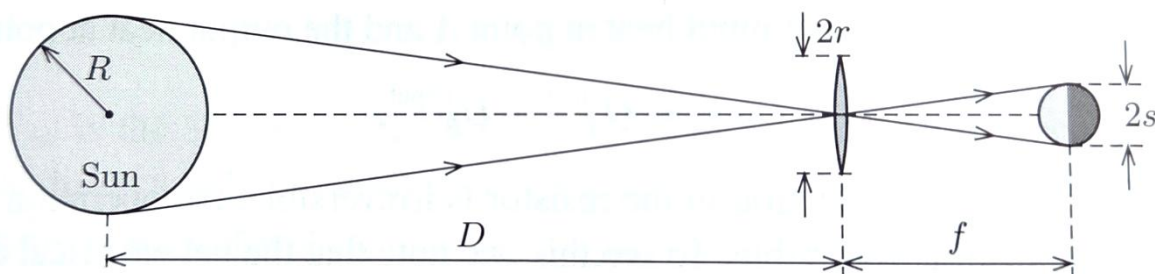
<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>waarde</i>
G	gravitatieconstante	$6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
g	valversnelling (gemiddeld in Nederland)	$9,81 \text{ ms}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_m	molair volume	
	• (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,24141 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
	• (gasvormige stof bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3\text{mol}^{-1}$
0°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 Opgewarmde bol door de zon

Tot welke temperatuur kan een klein bolvormig zwart lichaam worden opgewarmd door de zon, met behulp van een bolle lens met een brandpuntsafstand gelijk aan tweemaal de diameter?

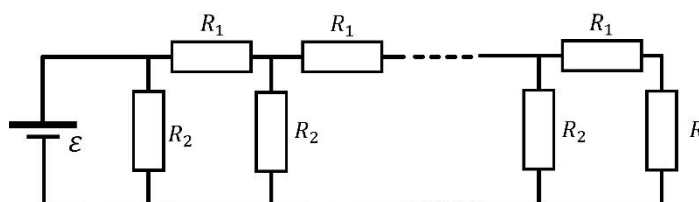
Gegevens: $T_{zon} = 5800 \text{ K}$



8 Herhalende schakeling

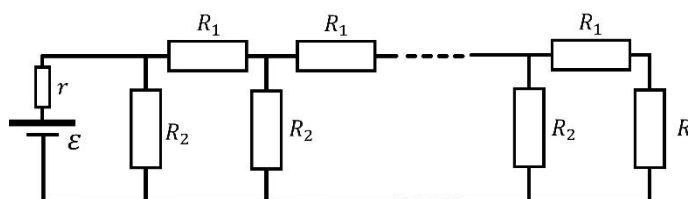
Zie de figuur hiernaast.

De ideale batterij levert een spanning van $\varepsilon = 10 \text{ V}$. De sectie met weerstand $R_1 = 5 \Omega$ en $R_2 = 10 \Omega$ wordt 20 X herhaald.



- (a) Bereken de stroom door de afsluitweerstand $R = 5 \Omega$.

Stel dat de batterij niet ideaal is maar een inwendige weerstand $r = 5 \Omega$ heeft. Zie de figuur.

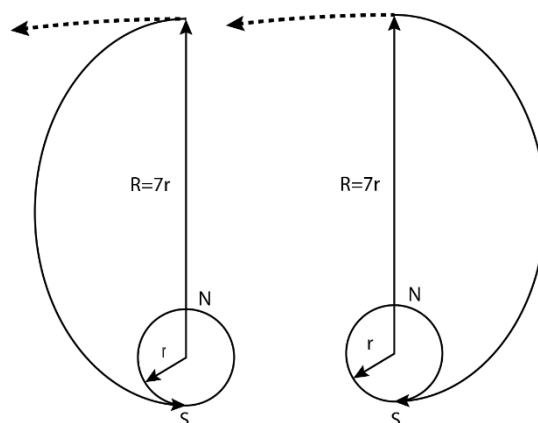


- (b) Bereken wederom de stroom door de afsluitweerstand $R = 5 \Omega$.

9 Een overlevingsmanoeuvre

Een ruimteschip, Nostromo, draait met uitgeschakelde motoren in een baan rond een mysterieuze planeet met straal r en massa P in een vlak loodrecht op het equatoriale vlak en volgt een cirkelvormige baan met straal $R = 7r$. Maar het noodlot slaat toe, de bemanning heeft zonder het te weten een buitenaards wezen aan boord gebracht en dat moet zo ver mogelijk verwijderd worden voordat het hun voortbestaan bedreigt.

Op het moment dat de Nostromo zich recht boven de Noordpool bevindt, neemt de bemanning een beslissing: ze lanceren het buitenaardse wezen de ruimte in, in de bewegingsrichting van het schip. Het buitenaards wezen wordt met net genoeg snelheid de ruimte ingeschoten om aan het



zwaartekrachtsveld van de planeet te ontsnappen, terwijl de Nostromo zelf aan een afdaling naar de Zuidpool begint en het oppervlak van de planeet tangentieel nadert. Er zijn dan dus twee scenario's mogelijk:

(1) De bewegingsrichting van het schip blijft onveranderd na het wegschieten van de alien.

(2) De bewegingsrichting van het schip keert om na het wegschieten van de alien.

De snelheid van de Nostromo (inclusief de alien) vlak voor het wegschieten van de alien is V_0 , de snelheid van de Nostromo ná het wegschieten van de alien noemen we V_N en de snelheid van de alien vlak na het wegschieten noemen we V_A .

Beantwoorde volgende vragen:

- (a) Leid een uitdrukking af voor V_0 , uitgedrukt in P en R .
- (b) Wat is de minimale waarde van V_A (uitgedrukt in P en R)?
- (c) Leid een uitdrukking af voor V_N , uitgedrukt in P , R en r .
- (d) Bepaal in beide gevallen het maximale percentage van de totale massa van het Nostromo-alien-systeem dat de uitgestoten alien kan vormen. In welk van de twee scenario kan een buitenaards wezen met een grotere massa worden uitgeworpen?

10 IJsthee

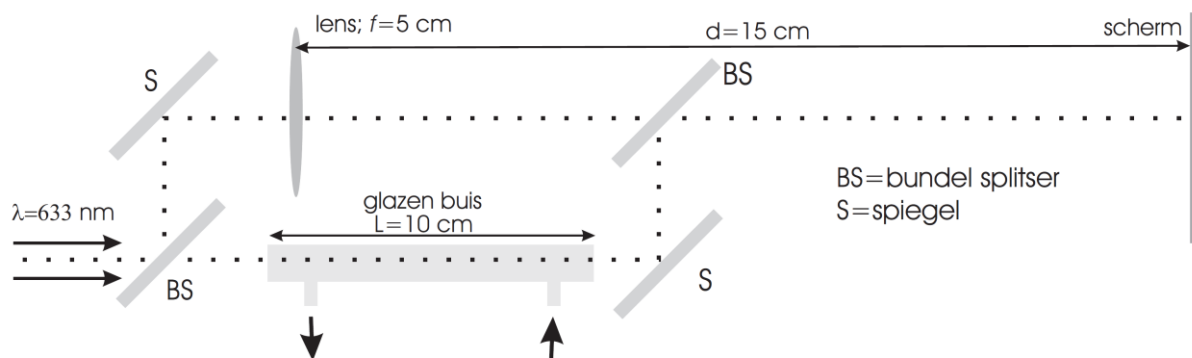
Verveelde natuurkundigen beginnen een experiment met een glas water met temperatuur $T_0 = 90^\circ\text{C}$ en veel identieke ijsklontjes. Na één klontje in het glas te hebben gedaan, meten ze een temperatuurdaling van het water van $\Delta t_1 = 5,00^\circ\text{C}$. Na een tweede ijsblokje, zien ze de temperatuur van het water verder met $\Delta t_2 = 4,80^\circ\text{C}$ dalen.

Neem aan dat de massa van het water in het glas gelijk is aan de massa van M ijsklontjes en dat de energie die nodig is om een ijsklontje te smelten en te verwarmen tot T_0 gelijk is aan λ . Verwaarloos warmteafgifte aan de omgeving.

- (a) Hoeveel zal de temperatuur dalen na een derde ijsblokje?
- (b) Wat zijn de waarden van M en λ ?
- (c) Hoeveel ijsblokjes zullen er in het glas gedaan moeten worden om de temperatuur te laten dalen tot 0°C ?

11 MZ Interferometer

Op de bundelsplitser (BS) bij de ingang van een Mach-Zehnder interferometer (MZI) (zie figuur) valt een evenwijdige bundel licht met een golflengte van $\lambda = 633\text{ nm}$. In een van de armen van de MZI staat een glazen buis (lengte $L = 10\text{ cm}$), aanvankelijk gevuld met lucht (brekingsindex $n_i = 1.000294$), in de andere arm staat een lens met een brandpuntsafstand van $f = 5\text{ cm}$. De lens staat op een afstand van $d = 15\text{ cm}$ van een scherm waarop de samenvallende bundels van de MZI interfereren. De opstelling staat zo uitgelijnd dat op dat scherm een cirkelvormig patroon met maxima en minima te zien is.

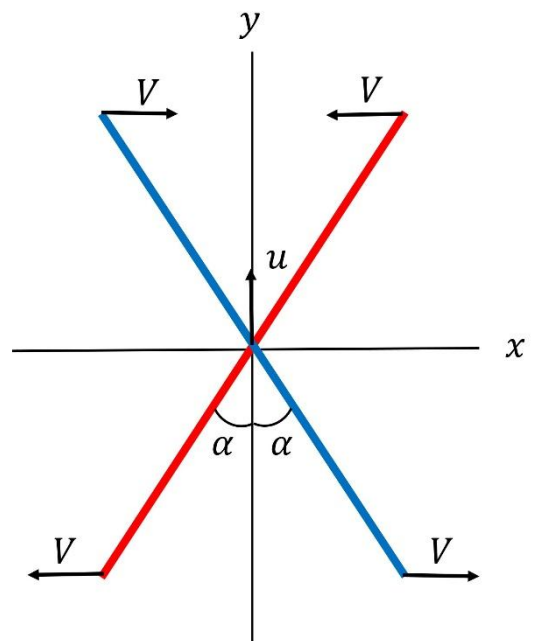


- Verklaar het cirkelvormig patroon. Gebruik hiervoor een schets.
- In het centrum van het patroon is een minimum waarneembaar. Bereken de stralen van het eerste en het tweede maximum (r_1 en r_2 , respectievelijk). (Eventuele effecten van de bundelsplitser mogen verwaarloosd worden)
- De glazen buis wordt gevuld met een ander gas (edelgas X). Tijdens dat vullen lopen de maxima en minima naar binnen toe. Als de totale verschuiving 41.1 ringen is, hoe groot is dan de index van gas X?

12 Twee snelle latjes

In tegenstelling tot de beweging van echte materiële objecten, kunnen de bewegingen van denkbeeldige / niet-materiële objecten sneller gaan dan de snelheid van het licht.

Bijvoorbeeld het snijpunt van twee bewegende latjes. Beschouw twee bijna evenwijdige rechte latjes, een rode en een blauwe, elk gekanteld vanaf de verticale as met een zeer kleine hoek $\alpha = 0,01$. In het laboratoriumreferentiestelsel bewegen de twee staven horizontaal naar elkaar toe met relativistische snelheden van $V_1 = -0,6c$ en $V_2 = +0,6c$. (Zie de figuur hiernaast).



- Bereken met welke snelheid het snijpunt van de twee latjes in dit referentiestelsel naar boven beweegt.
Kijk nu in het referentiestelsel van het rode latje. (Het rode latje staat daarin dus stil).
- Geef aan wat er met de hoek α van de rode en blauwe lat gebeurt: Wordt α_{rood} groter of kleiner? Wordt α_{blauw} groter of kleiner?
- Bereken deze twee hoeken van de staven met de verticale as in dit referentiestelsel van het rode latje.
- Bereken de snelheid van het blauwe latje in het referentiestelsel van het rode latje.
- Bereken de snelheid van het snijpunt in het referentiestelsel van het rode latje.