2^e ronde Natuurkunde Olympiade 2026
Uitwerking Toets 1

1 Weerstanden en condensatoren (4pt)

(a) Op het moment dat S wordt gesloten kun je doen alsof de condensatoren er niet zijn, er is nog geen lading opgebouwd en dus nog geen spanning over.
De 20 Ω en 30 Ω staan parallel en samen in serie met 10 Ω en dat resulteert in een totale weerstand van 12 Ω + 10 Ω = 22 Ω.
I = *U*/*R* = 6/22 = 0,27A, dus over 10 Ω staat *U* = *IR* = 0,27·10 = 2,7 V en over de andere weerstanden 6 - 2,7 = 3,3 V.
10Ω: *I* = 0,27 A   20Ω: *I* = *U*/*R* = 3,3/20 = 0,16 A   30Ω: *I* = *U*/*R* = 3,3/30 = 0,11 A
(of sneller: 0,27 A – 0,16 A = 0,11 A)

(b) Als S lange tijd gesloten is, zijn de condensatoren geladen en loopt daar geen stroom meer door. De spannig daarover is gelijk aan de spanning over 20 Ω, dus 4 V.
De totale capaciteit is $(1/2 + 1/4)^{-1}$=1,33 μF.
Totale lading is dan $Q = UC = 4 \cdot 1{,}33 \cdot 10^{-6} = 5{,}33 \cdot 10^{-6} C$.
Beide condensatoren moeten die lading hebben, dat betekent dat die van 4 μF en die van 2 μF elk $5{,}33 \cdot 10^{-6}$ C lading moeten hebben. Een dus uitkomen op 1,33 V en 2,67 V.
(De stap van de lading berekeken kan overgeslagen worden door te stellen dat bij gelijke lading vanwege de factor 2 in capaciteit de spanning ook een factor 2 moet zijn. Samen met de som van de spanningen 4,0 V levert hetzelfde antwoord.)

2 Klok aan boord (SNON1 1992) (5pt)

De klokt werkt alleen gedurende het draaien van de motoren. Voor het overige bevindt de raket zich in vrije val en is dus gewichtloos, waardoor het slingeruurwerk stilstaat.
Tijdens het versnellen is de effectieve versnelling $5g$.
Zodat uit de formule

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$$

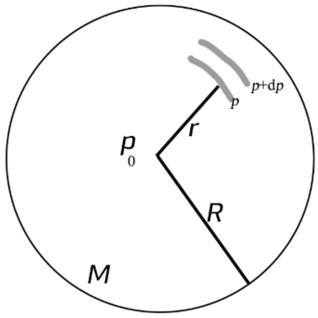
volgt dat aangezien $g' = 5g$ de slinger $\sqrt{5}$ keer sneller gelopen heeft dan normaal.
De verstreken tijd tijdens de versnelling is dus $t_1 = 90/\sqrt{5}$minuten.
Na het stoppen van de motoren ondervindt de raket een versnelling van $-g$, waardoor de snelheid afneemt. De tijd tussen het stoppen van de motoren en het bereiken van het hoogste punt is dus vier maal zo groot als de tijd t_1 tijdens welke versneld wordt.
De totale tijd tot aan het hoogste punt is dus $5t_1$.
De afgelegde weg is dan (via bijvoorbeeld oppervlak onder een snelheid-tijd diagram):

$$H = \frac{1}{2} \cdot 4gt_1 \cdot 5t_1 = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 9{,}81 \cdot 5 \cdot \left(\frac{90}{\sqrt{5}}\right)^2 \approx 159 \text{ km}$$

3 Planeet (5 pt)

Zie tekening, A = oppervlak van bol (met straal r)

Er heerst evenwicht dus op een oppervlak geldt kracht omhoog (druk*opp) is kracht omlaag (gewicht boven opp)



$$(p + dp)A + F_g - pA = 0$$

$$dpA + F_g = 0$$

$$F_g = G \cdot \frac{M \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3 \cdot r^2} \mathrm{d}m = \frac{GMr}{R^3} A\mathrm{d}r \cdot \frac{M}{\frac{4}{3}R^3} = \frac{3GM^2 rA\mathrm{d}r}{4\pi r^6}$$

met de eerste vergelijking geeft dat:

$$dp + \frac{3GM^2 r\mathrm{d}r}{4\pi r^6} = 0$$

Ofwel

$$dp = -\frac{3GM^2 r\mathrm{d}r}{4\pi r^6}$$

integraal van opp naar 0:

$$0 - p_0 = \int_0^R -\frac{3GM^2 rA}{4\pi r^6} dr = -\frac{3GM^2}{8\pi R^4}$$

Dus

$$p_0 = \frac{3GM^2}{8\pi R^4}$$

Ook geldt

$$a = \frac{GM}{R^2}$$

Dat invullen in p_0 levert:

$$p_0 = \frac{3a^2}{8\pi G}$$

4 Komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko (Spanje 2015-1) (6pt)

(a) De totale massa van de komeet, uitgaande van een constante dichtheid ρ, is:

$$M = M_1 + M_2 = \rho \frac{4}{3}\pi(R_1^3 + R_2^3)$$

$$\rho = \frac{3M}{4\pi(R_1^3 + R_2^3)}$$

$$\rho = 4{,}7 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$$

Nu de dichtheid bekend is, kunnen de massa's van de twee lobben direct worden berekend. Men verkrijgt:

$$M_1 = 6{,}6 \times 10^{12} \text{ kg}$$

$$M_2 = 3{,}4 \times 10^{12} \text{ kg}$$

(b) Om de afstanden en van de middelpunten van elke lob tot het massamiddelpunt van het systeem te bepalen, gebruiken we de hint:

$$M_1 d_1 = M_2 d_2 \quad (1)$$

Aan de andere kant zien we, kijkend naar figuur 2, dat:

$$d_1 + d_2 = R_1 + R_2 \quad (2)$$

Door het stelsel van vergelijkingen (1) en (2) op te lossen, verkrijgt men:

$d_1 = \frac{M_2}{M}(R_1 + R_2)$ en $d_2 = \frac{M_1}{M}(R_1 + R_2)$ levert op:

$d_1 = 0{,}9$ km en $d_2 = 1{,}8$ km

(c) De afstand tussen de middelpunten van de lobben is $d = R_1 + R_2$. De grootte van de gravitatie-aantrekkingskracht tussen de twee lobben is daarom:

$$F_G = G\frac{M_1 M_2}{(R_1 + R_2)^2}$$

Door dit uit te rekenen verkrijgt men:

$$F_G = 2{,}1 \times 10^8 \text{ N}$$

Als we bijvoorbeeld de beweging van lobje (of lob) 2 beschouwen, beschrijft het middelpunt O_2 daarvan een cirkelvormige baan met straal d_2 en hoeksnelheid $\omega = 2\pi/T$ rondom het massamiddelpunt (C.M.). Daarom beweegt het met een middelpuntzoekende versnelling met een constante grootte van $\omega^2 d_2$.

Op dit lobje werkt in de richting van het middelpunt de aantrekkingskracht F_G van lobje 1 en, in tegengestelde richting, de steunkracht N op ditzelfde lobjes (zie figuur 3). In dit geval wordt de tweede wet van Newton geschreven als:

$$F_G - N = M_2 \omega^2 d_2$$

Daarom is de steunkracht tussen de lobjes:

$$N = F_G - M_2 \omega^2 d_2$$

Met de gegevens van het vraagstuk en de resultaten van de voorgaande onderdelen verkrijgt men:

$$N = 8{,}5 \times 10^7 \text{ N}$$

Merk op dat men hetzelfde resultaat zou verkrijgen als de beweging van bol 1 bestudeerd zou worden, aangezien er voldaan wordt aan $M_1 d_1 = M_2 d_2$.

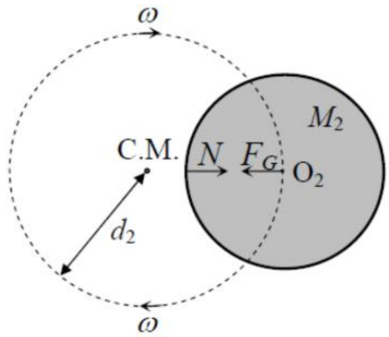


Fig. 3

(d) De zwaartekracht in punt A, $g_{0,A}$, is de gravitatiekracht per eenheid van massa in dat punt, als gevolg van de som van de gravitatie-aantrekkingen van de twee lobben waaruit de komeet bestaat.

$$g_{0,A} = G\left(\frac{M_1}{(R_1 + 2R_2)^2} + \frac{M_2}{R_2^2}\right) \quad \Rightarrow \quad \boxed{g_{0,A} = 1{,}9 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2}$$

De schijnbare zwaartekracht in A is de steunkracht op het oppervlak per eenheid van massa. Punt A beschrijft een cirkelvormige baan met straal $d_2 + R_2$ rond het massamiddelpunt (C.M.), zodat we met een redenering analoog aan die van onderdeel (d) het volgende verkrijgen:

$$g_A = g_{0,A} - \omega^2(d_2 + R_2) \quad \Rightarrow \quad \boxed{g_A = 1{,}3 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2}$$

Het gewicht, w_A, van de module wanneer deze zich op punt A van de komeet bevindt, is:

$$w_A = mg_A \quad \Rightarrow \quad w_A = 1{,}4 \times 10^{-2}\ \text{N}$$

(e) Om ervoor te zorgen dat de astronaut, met massa m, een "verticale" sprong maakt met een maximale hoogte $h = 0{,}2$ m op het oppervlak van de Aarde, heeft hij een beginsnelheid v_0 nodig die moet voldoen aan:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh \quad (3)$$

Om de sprong te maken, moet hij de benen buigen en zich naar boven afzetten. Het werk dat zijn spieren tijdens dit proces verrichten, levert de benodigde energie, gegeven in (3). De beginsnelheid is:

$$v_0 = \sqrt{2gh} \quad \Rightarrow \quad v_0 = 2{,}0\ \text{m/s}$$

Als de hypothetische astronaut de verticale sprong zou maken op punt A van de komeet 67P, zouden zijn spieren hetzelfde werk verrichten als op de Aarde, en de beginsnelheid v_0 zou daarom gelijk zijn aan die op de Aarde.

Maar gezien de "lichtheid" van de komeet is het duidelijk dat hij een hoogte H zal bereiken die veel groter is dan h, waarschijnlijk niet verwaarloosbaar ten opzichte van de afmetingen van de komeet. Deze maximale hoogte H kan worden verkregen door het behoud van mechanische energie op te stellen, met een kinetische energie van nul op het hoogste punt, maar gebruikmakend van de algemene vorm van de potentiële energie in het gravitatieveld van de twee sferen, in plaats van de typische vorm mgh die overeenkomt met het nagenoeg uniforme veld nabij het oppervlak.

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - G\frac{M_1 m}{R_1 + 2R_2} - G\frac{M_2 m}{R_2} = -G\frac{M_1 m}{R_1 + 2R_2 + H} - G\frac{M_2 m}{R_2 + H} \quad (4)$$

Uit deze vergelijking kan H worden vrijgemaakt, hoewel dit vrij omslachtig is, maar bij het uitvoeren van numerieke berekeningen komt men tot absurde resultaten. Het wiskundige probleem is dat de rechterkant van (4) noodgedwongen kleiner dan of gelijk aan nul is, terwijl de linkerkant, met de numerieke waarden van het probleem, positief is, waardoor de gelijkheid onmogelijk is.

Vanuit natuurkundig oogpunt duidt een positieve initiële mechanische energie erop dat de beginsnelheid van de astronaut na de sprong hoger is dan de ontsnappingssnelheid, waardoor hij zich voor onbepaalde tijd van de komeet zou verwijderen en een merkwaardige asteroïde zou worden die in een baan om de zon draait.

Om dit te controleren kan de ontsnappingssnelheid eenvoudig worden berekend door te stellen dat de initiële mechanische energie nul is, zodat hij het oneindige kan bereiken, waar de potentiële energie nul is, met een kinetische energie die ook nul is.

$$\frac{1}{2}mv_{esc}^2 - G\frac{M_1 m}{R_1 + 2R_2} - G\frac{M_2 m}{R_2} = 0$$

$$v_{esc} = \left[2G\left(\frac{M_1}{R_1 + 2R_2} + \frac{M_2}{R_2}\right)\right]^{1/2} \quad \Rightarrow \quad v_{esc} = 0{,}78\ \text{m/s}$$

Er wordt bevestigd dat inderdaad $v_0 > v_{esc}$, zodat de springende astronaut een reis zou beginnen… "naar nergenshuizen" (ver weg).

5 Magnetische slinger

(a) Het volstaat om de lengte van het circuit te vermenigvuldigen met de lineaire weerstand.

$$R(\theta) = rL\left(2+\frac{\pi}{2}+\theta\right)$$

(b) Krachtenbalans: er zijn drie krachten: de zwaartekracht mg, de Lorentzkracht $\mathrm{F}_L$en de trekkracht (spankracht) van de staaf T.

Voor de F_L berekenen we eerst de geïnduceerde spanning in het circuit met de wet van Lenz-Faraday:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -B \cdot \frac{dS}{dt} = -B \cdot \frac{d}{dt}\left[\frac{L^2(\theta + \frac{\pi}{2})}{2}\right] = -\frac{\dot{\theta} B L^2}{2}$$

Voor de stroom geldt dan:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R(\theta)} = \frac{-BL^2\dot{\theta}}{2R(\theta)} = \frac{-BL^2\dot{\theta}}{2rL(2 + \frac{\pi}{2} + \theta)}$$

Lorentzkracht op de staaf:

$$F_B = ILB$$

Dus:

$$F_B = \frac{B^2L^3\dot{\theta}}{2R(\theta)}$$

Deze werkt tegen de beweging.

Traagheidsmoment:

$$I_{\text{rot}} = mL^2$$

Berekenen momenten. De spankracht hoeft hierin niet meegenomen te worden.

Zwaartekracht:

$$\tau_g = -mgL\sin\ \theta$$

Lorentzkracht:

$$\tau_B = IBL^2 = -\frac{B^2L^4\dot{\theta}}{2R(\theta)}$$

Bewegingsvergelijking:

$$mL^2\ddot{\theta} = -mgL\sin\ \theta - \frac{B^2L^4\dot{\theta}}{2R(\theta)}$$

Dus:

$$\ddot{\theta} = -\frac{g}{L}\sin\ \theta - \frac{B^2L^2}{2mR(\theta)}\dot{\theta} = \frac{-B^2L\dot{\theta}}{2mr(2 + \frac{\pi}{2} + \theta)} - \frac{g}{L}\sin\ \theta$$

(c) Het totale magnetisch veld in de oorsprong is de som van het externe veld $\vec{B}$en het veld door de stroom I:

$$B_{\text{totaal}} = B + B_{\text{boog}} = B + \frac{\mu_0 I\theta}{4\pi L}$$

Substitueer I:

$$B_{\text{totaal}} = B + \frac{\mu_0 \theta}{4\pi L} \cdot \frac{-\frac{1}{2} B L^2 \dot{\theta}}{rL(2+\theta)}$$

Simplificeer:

$$B_{\text{totaal}} = B - \frac{\mu_0 B L \theta \dot{\theta}}{8\pi r(2+\theta)}$$

NB: De twee rechte delen hebben GEEN bijdrage aan het veld.

6 Samen veren

Veer 1 en veer 2 worden in serie geplaatst. Stel k_1 is verbonden met een muur en er wordt met een kracht F aan k_2 getrokken. In die situatie heeft veer 1 een uitrekking van u_1 en veer 2 een uitrekking van u_2.
Er geldt dan dus:

$$F = k_2 u_2$$

En omdat veer 1 even aan hard aan veer 2 trekt: $k_1 u_1 = k_2 u_2$
Oftewel:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{u_2}{u_1}$$

En uiteraard voor de totale uitrekking van het systeem: $u = u_1 + u_2$
Voor het systeem geldt dan dus:

$$k = \frac{F}{u} = \frac{k_2 u_2}{u_1 + u_2} = \frac{k_2}{k_2/k_1 + 1} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$

Dit is ook te schrijven als:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

2e ronde Natuurkunde Olympiade 2026
Uitwerking Toets 2

7 Spiegelinterferentie

(a) Met de stelling van Pythagoras, waarbij $l_1 = SP$en $l_2 = S'P$:

$$l_1^2 = (SP)^2 = D^2 + (y-a)^2$$
$$l_2^2 = (S'P)^2 = D^2 + (y+a)^2$$

Het weglengteverschil p wordt gegeven door:

$$p = l_2 - l_1 = \sqrt{D^2 + (y+a)^2} - \sqrt{D^2 + (y-a)^2}$$

Door de benadering voor $(y+a) \ll D$ toe te passen:

$$p = l_2 - l_1 = D\left[\left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{y+a}{D}\right)^2 + \cdots\right) - \left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{y-a}{D}\right)^2 + \cdots\right)\right]$$
$$p = l_2 - l_1 = \frac{1}{2D}[(y^2 + 2ay + a^2) - (y^2 - 2ay + a^2)]$$
$$p = l_2 - l_1 = \frac{2ay}{D}$$

(b) SOP heeft een fasesprong van π bij de spiegel. Dit is equivalent aan een weglengte toename van $\lambda/2$.

Voor constructieve interferentie:

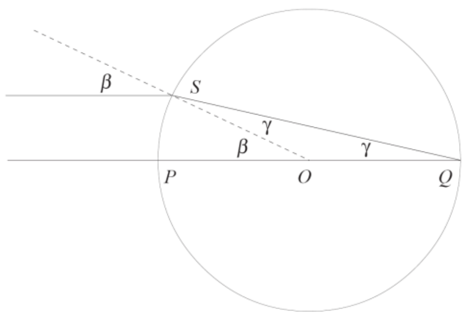
$$p = \frac{2ay}{D} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ waarbij } m = 0,1,2,\ldots$$

Voor destructieve interferentie:

$$p = \frac{2ay}{D} = m\lambda \text{ waarbij } m = 0,1,2,\ldots$$

(c) Witte-lichtfranges treden op wanneer alle golflengtes constructief interfereren. Dit zal gebeuren wanneer $m = 0$. Voor grotere waarden van m zullen sommige golflengtes constructief interfereren en andere destructief, of gedeeltelijk constructief/destructief. Naarmate $m$toeneemt vanaf nul, verkrijgen we witte franges met sommige kleuren, dit "smelt" snel samen in het frangesysteem naarmate $m$toeneemt, en de golflengtes raken steeds meer uit fase, wat resulteert in een uniform witte weergave.

8 Bol als lens (3p)



Neem β als hoek van de verste lichtstraal. Hoek γ is dan de hoek waarmee deze bij het brandpunt invalt.

Omdat $\beta + \angle SOQ = \pi$ en ook $\angle SOQ + 2\gamma = \pi$

Geldt: $\beta = 2\gamma$

Voor brekingsindex geldt:

$$n = \frac{sin(\beta)}{sin(\gamma)} = \frac{sin(2\gamma)}{sin(\gamma)}$$

Met de aanname bij kleine hoeken geldt daarmee vanzelf dat:

$$n = \frac{2\gamma}{\gamma} = 2$$

9 Balkanon

(a) De onderste bal heeft vlak VOOR de stuit een snelheid $v = \sqrt{2gh}$ naar beneden. Omdat de stuit volledig elastisch is, is de snelheid NA de stuit dus v omhoog.
Op dat moment is de snelheid van de bovenste bal nog $v = \sqrt{2gh}$ naar beneden. Ze benaderen elkaar dus met een snelheid $2v$.

(b) De bovenste bal nadert de onderste bal met een snelheid $2v$. Omdat de onderste bal veel zwaarder is zal de bovenste bal tegen de onderste bal volledig elastisch stuiten alsof het een muur is. Na deze stuit zal de snelheid van de bovenste bal dus $2v$ omhoog zijn ten opzichte van de onderste bal. Omdat deze bal een snelheid v heeft, zal de snelheid van de bovenste bal dus $v + 2v = 3v$ ten opzichte van de grond zijn. Omdat de kinetische enrgie 9X zo groot is zal de bal dus ook 9X zo hoog komen oftewel $9h$.

(c) Alle ballen hebben een snelheid $\sqrt{2gh}$ naar beneden vlak voor de stuit met de bal onder zich. De snelheid omhoog ten opzichte van de bal onder zich na de stuit is even groot als de relatieve snelheid voor de stuit.

Bal	Snelheid na de stuit
0	$\sqrt{2gh}$
1	$2\sqrt{2gh} + \sqrt{2gh} = 3\sqrt{2gh}$
2	$4\sqrt{2gh} + 3\sqrt{2gh} = 7\sqrt{2gh}$
3	$8\sqrt{2gh} + 7\sqrt{2gh} = 15\sqrt{2gh}$
4	$16\sqrt{2gh} + 15\sqrt{2gh} = 31\sqrt{2gh}$
5	$63\sqrt{2gh}$
6	$127\sqrt{2gh}$

Het is dus elke keer een ‘verdubbeling + 1’
$\sqrt{2gh} = 4{,}47\ \mathrm{m/s}$
De ontsnappingssnelheid van $11\ \mathrm{km/s}$ is 2461 maal deze snelheid van $4{,}47\ \mathrm{m/s}$.
Oplossen: $2^n + 1 = 2461$ dat is 12 balletjes.

10 LCR in serie

(a) In deze serieschakeling geldt voor de impedantie:

$$Z = \sqrt{\left(R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2\right)}$$

Deze is minimaal als

$$(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = 0$$

en dus

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)}$$

wat geeft dat

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}} = 6{,}5 \cdot 10^2 \text{Hz}$$

Dan geldt dus *I* = *U*/*R* = 20/100 = 0,2 A.

(b) Bij 500 Hz moeten we eerst *Z* uitrekenen:

$Z = \sqrt{\left(R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2\right)} = \sqrt{\left(100^2 + \left(2\pi 500 \cdot 0{,}3 - \frac{1}{2\pi 500 \cdot 200 \cdot 10^{-9}}\right)^2\right)} = 947\ \Omega$

I = *U*/*Z* = 20/947 = 0,021 A

$Z_L = \omega L = 2\pi \cdot 500 \cdot 0{,}3 = 941\ \Omega$ en *U* = *IZ* = 0,021*941 = 19,9 V.

11 Roterende rail met een kogel

(a) In het stelsel van de kogel: Deze mag niet naar beneden glijden, dus de resulterende kracht moet nul zijn.

De zwaartekracht heeft een component langs de rail: $mg\ \cos\alpha$.

De centrifugaalkracht heeft een horizontale grootte: $F_c = m\omega^2 L \sin\alpha$

De component langs de rail: $m\omega_0^2\ L\ \sin\alpha \sin\alpha$

Evenwicht:

$$m\omega_0^2 L\ \sin\alpha \sin\alpha = mg\cos\ \alpha$$

Oplossen:

$$\omega_0^2 = \frac{g}{L\sin\alpha}\ \frac{\cos\ \alpha}{\sin\alpha} = \frac{g}{L\sin\alpha}\cot\ \alpha$$
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L\sin\alpha}\cot\ \alpha}$$

In het stilstaande referentie stelsel: Er is een middelpuntzoekende kracht nodig om de cirkelbeweging te beschrijven. Deze wordt geleverd door de zwaartekracht en de normaalkracht. Een krachtenplaatje laat zien dat de normaalkracht groter moet zijn dan de component van de zwaartekracht loodrecht op de helling.

Eenvoudiger: de component van de middelpuntzoekende kracht langs de helling moet gelijk zijn aan de component van de zwaartekracht langs de helling. Dat levert precies hetzelfde op als hierboven.

(b) Behoud van impulsmoment:

$$L_0 = L_1$$
$$\left(\frac{1}{2}MR^2 + mL^2\sin^2\alpha\right)\ \omega_0 = \left(\frac{1}{2}MR^2\right)\omega_1$$

Oftelwel:

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{\left(\frac{1}{2}MR^2 + mL^2\sin^2\alpha\right)}{\frac{1}{2}MR^2}$$

Als geldt dat $R = L\sin\alpha$ (horizontale lengte van de rail is even groot als de straal van de schijf) dan volgt:

$$\boxed{\frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{M + 2m}{M}}$$

Dus de hoeksnelheid neemt toe! (Dit lijkt tegenstrijdig, maar de energie neemt af.)

12 Schieten (3p)

Op het hoogste punt van de baan is de verticale snelheid nul. De snelheid is dus volledig horizontaal: $v_x = v\ \cos\theta$. Het deeltje beweegt horizontaal met constante snelheid. Er is dus geen versnelling. Dus de resulterende kracht = 0.
Maar er werken wél: Zwaartekracht Mg(naar beneden) en Lorentzkracht $F_L = Bqv$
De Lorentzkracht werkt omhoog om Mg naar beneden te compenseren.
Gebruik 'een' richting regel: snelheid v naar rechts en kracht F omhoog.
Dan moet B in het vlak naar binnen wijzen.
De Lorentzkracht is:

$$F_L = Bqv$$

Hier is $v = v\cos\ \theta$, dus:

$$F_L = Bqv\ \cos\theta$$

Evenwicht:

$$Bqv\ \cos\theta = Mg$$

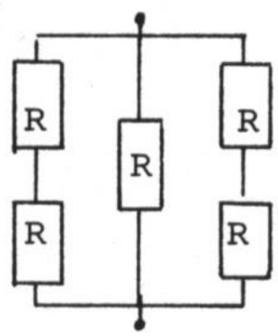
Dus:

$$B = \frac{Mg}{Qv\cos\ \theta}$$

Naar binnen gericht, het papier in.

13 Tetraëder (SNON1 1985) (2p)

Vanwege de symmetrie geldt dat de weerstand tegenover de weerstand waarover gemeten wordt stroomloos is. Dus is de schakeling te vervangen door de figuur hiernaast.



En dus geldt:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{4}{2R}$$

En dus:

$$R_{tot} = \frac{R}{2}$$