

Dit examen bestaat uit 26 vragen. Voor elk vraagnummer is aangegeven hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden. Voor de uitwerking van de vragen 7, 9 en 26 is een bijlage toegevoegd.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

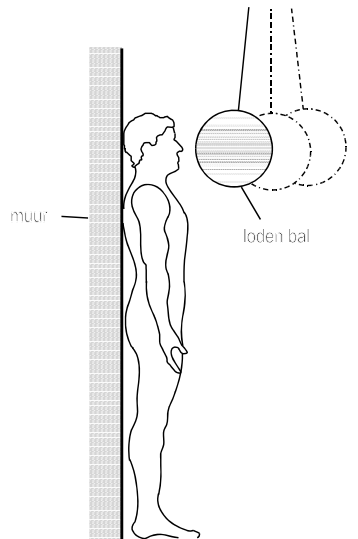
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Opgave 1 Collegedemonstratie

1998-I

Professor Schrödinger voerde in een van zijn natuurkundedelcolleges een demonstratie uit, waarmee hij zijn rotsvast vertrouwen in de wetten van de natuurkunde tot uitdrukking wilde brengen. Daarbij maakte hij gebruik van een slinger, bestaande uit een massieve, loden bol aan een touw. De loden bol had een massa van 120 kg. Hij trok de slinger uit zijn evenwichtsstand, ging met zijn rug tegen de muur staan en hield de bol tegen het puntje van zijn neus. Vervolgens liet hij de bol vrij slingeren en bleef hij zelf zo stil mogelijk staan. Zie figuur 1. De periode van de slinger bleek 6,10 s te zijn. De straal van de bol is 13,6 cm.

figuur 1



- 1 Toon aan dat de bol massief is.
- 2 Bereken de lengte van het touw vanaf het bevestigingspunt aan het plafond tot aan het bevestigingspunt aan de bol.

Professor Schrödinger is niet zo dapper als het lijkt. Hij had de slingering vóór de demonstratie uitvoerig laten doormeten. Daarbij werd het zwaartepunt van de bol 1,52 m horizontaal uit de evenwichtsstand gebracht, even ver als bij de collegedemonstratie zou moeten gaan gebeuren. Bij de eerste doorgang door de evenwichtsstand bleek de bol een snelheid te hebben van $1,54 \text{ ms}^{-1}$.

- 3 Bereken hoeveel deze snelheid lager is dan bij een ongedempte harmonische beweging met een amplitudo van 1,52 m.

Uit de test bleek dat de amplitudo als volgt afhangt van de tijd:

$$r(t) = r(0) \cdot e^{-\alpha t}$$

Hierin is: $r(t)$ de amplitudo als functie van de tijd;
 $r(0)$ de beginamplitudo, gelijk aan 1,52 m;
 α de dempingsconstante, gelijk aan $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

- 4p
- 4** Bereken hoe ver de professor maximaal van de muur naar voren kan komen zonder dat de bol na één periode zijn neus raakt.

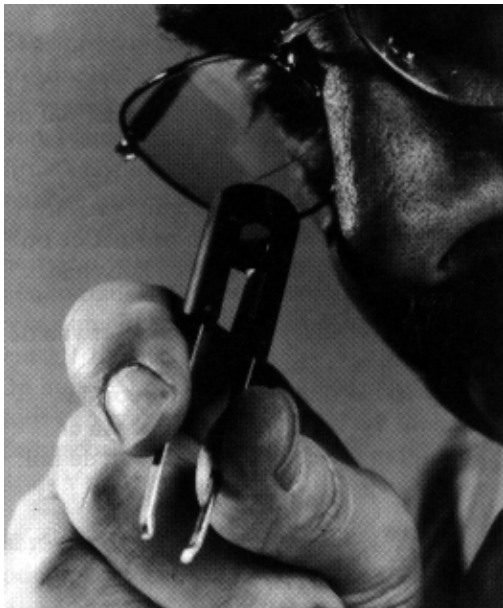
In de nacht vóór het college-experiment was de professor wakker geworden uit een nare droom, waarin de bol hard tegen zijn neus was gebotst. De oorzaak hiervan was dat de bol door de luchtwrijving warm geworden was, daardoor was gaan uitzetten en zo kans had gezien zijn neus te raken. De professor was meteen uit bed gestapt en aan het rekenen geslagen. De diameter van de bol neemt $7,9 \mu\text{m}$ toe per graad temperatuurstijging.

- 4p
- 5** Bereken hoeveel de diameter van de bol toeneemt tussen het moment dat hij voor de eerste keer door de evenwichtsstand gaat en het moment dat hij uitgeslingerd is. Ga er daarbij van uit dat alle kinetische energie wordt omgezet in inwendige energie van de bol.

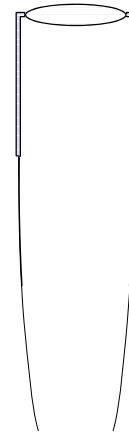
Opgave 2 Optimate

Een optimate is een pincet met een ingebouwd lensje. Zie de figuren 2a en 2b. Figuur 2b geeft een schematische doorsnede van de optimate weer.

figuur 2a



figuur 2b

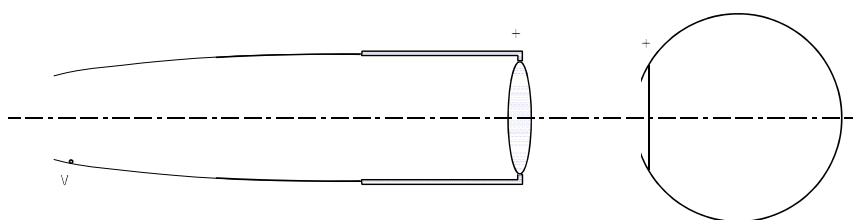


Het apparaatje is zo geconstrueerd dat een gebruiker een voorwerpje bij de pincetpunten met een ongeaccommodeerd oog kan bekijken. In een horlogemakerij worden optimates verstrekt aan alle medewerkers die zich met kleine onderdelen van horloges moeten bezighouden. Een jonge medewerker probeert de optimate even uit, maar kan de kleine onderdelen zonder optimate even gedetailleerd zien.

6 Geef een reden waarom het voor deze medewerker toch zinvol is de optimate bij zijn werk te gebruiken.

In figuur 3 is nogmaals een doorsnede van de optimate weergegeven, maar nu in combinatie met het oog van een waarnemer. De lenzen van het oog en van de optimate zijn hierin schematisch weergegeven.

figuur 3



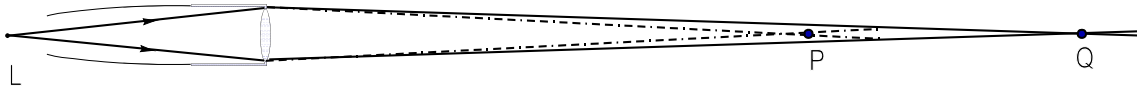
De ooglenz bevindt zich in ongeaccommodeerde toestand. Figuur 3 is vergroot op de bijlage weergegeven. Daarin is een lichtstraal getekend vanuit V tot de ooglenz.

7 Construeer en arceer in de figuur op de bijlage de volledige lichtbundel die vanaf punt V op het netvlies van het oog valt.

4p

De kwaliteit van het lensje blijkt tegen te vallen. Zo worden de verschillende kleuren van een witte lichtbundel verschillend gebroken. Dit verschijnsel heet chromatische aberratie. Het wordt veroorzaakt doordat de brekingsindex van het glas afhangt van de golflengte van het licht. De brekingsindex van het glas van het lensje is voor rood licht gelijk aan 1,514 en voor blauw licht gelijk aan 1,524. Om de chromatische aberratie van de optimate te onderzoeken, wordt op de hoofdas een puntvormige, witte lichtbron L voor het lensje geplaatst. Het licht van verschillende kleuren vormt op verschillende afstanden van de lens een beeldpunt. Zie figuur 4. In deze figuur zijn de randstralen van de bundels voor rood licht en blauw licht weergegeven.

figuur 4



Ergens in het gebied tussen P en Q wordt een wit scherm loodrecht op de optische as van de lens gehouden. Er wordt een nagenoeg witte cirkelschijf met een roodachtige rand waargenomen.

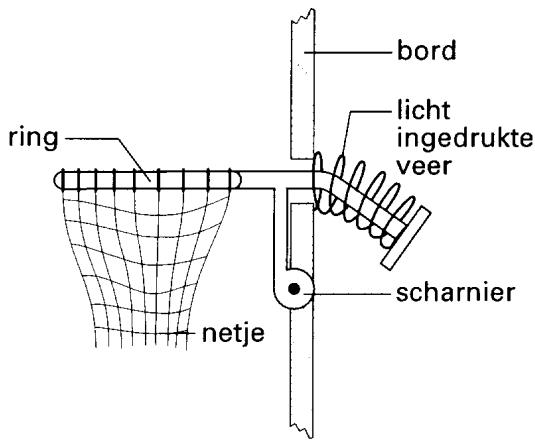
3p

8 Leg uit of het scherm dichterbij P of dichterbij Q wordt gehouden.

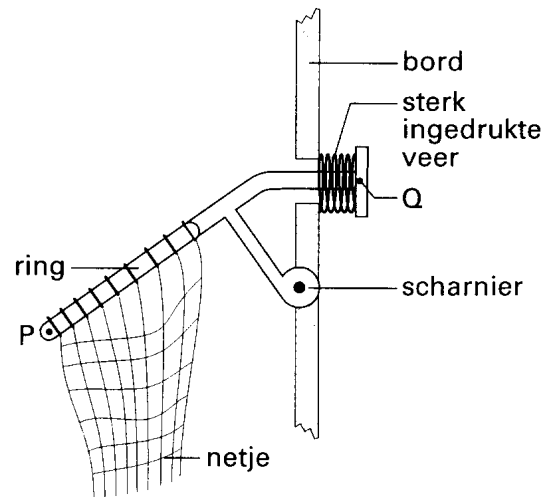
Opgave 3 Basketbal

Bij basketbal is de basket (een ring met een netje) bevestigd aan een bord. Als een speler de ring raakt of er aan gaat hangen, kan schade aan het bord ontstaan. Om de kans op schade te verminderen, maakt men gebruik van een zogenaamde klpring. Deze ring is scharnierend aan het bord bevestigd en wordt door een licht ingedrukte veer in horizontale stand gehouden. Zie figuur 5. Als een speler aan de ring hangt, ziet de situatie eruit als in figuur 6. Het midden van het scharnier treedt op als draaipunt van de klpring. De kracht F_b van de basketballer op de ring grijpt aan in punt P. Deze kracht is gelijk aan de zwaartekracht op de basketballer. Behalve F_b werkt er een veerkracht F_v op de klpring in punt Q. Deze kracht is horizontaal naar rechts gericht.

figuur 5



figuur 6

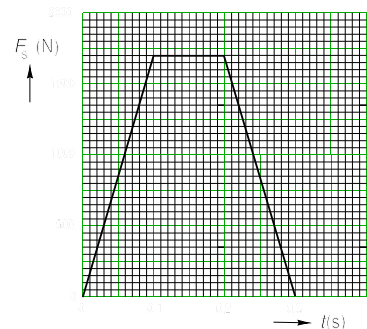


De vragen 9 en 10 gaan over de mechanica van de basket en de basketballer.

Figuur 6 is vergroot op de bijlage weergegeven. Deze figuur is op schaal getekend.

- 9 Bepaal de grootte van F_v als een speler van 90 kg aan de ring hangt. Schets daartoe F_b en F_v in de figuur op de bijlage en teken hun armen ten opzichte van het draaipunt. Verwaarloos de massa van de ring zelf. Geef de uitkomst in twee significante cijfers.

Er zijn spelers die zo hoog kunnen springen, dat ze de bal van bovenaf door de ring kunnen drukken ('dunken'). Van een speler van 90 kg is de sprongkracht F_s , die hij in verticale richting op de grond uitoefent, gemeten als functie van de tijd. De sprongkracht is de extra kracht die een speler op de grond uitoefent bij het omhoog springen. Het resultaat van de meting is in figuur 7 vereenvoudigd weergegeven. Op $t = 0,30$ s kwam de speler los van de grond.



figuur 7

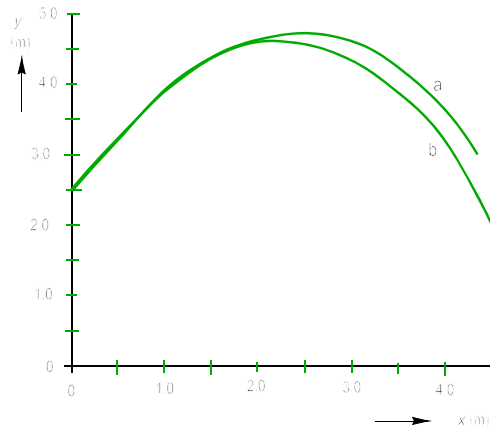
- 10 Bereken de hoogteverandering van het zwaartepunt van de speler vanaf $t = 0,30$ s totdat hij het hoogste punt bereikt. Bepaal daartoe eerst de verticale snelheid op $t = 0,30$ s met behulp van figuur 7. Verwaarloos de luchtweerstand.

De vragen 11 tot en met 14 gaan over de baan van de basketbal.

Een andere speler schiet van afstand de bal door de ring. De baan die de bal maakt is opgemeten en weergegeven in figuur 8 als grafiek a. Het blijkt dat de luchtweerstand invloed heeft gehad op deze baan. Voor de grootte van de luchtweeringskracht F_w op de bal geldt:

$$F_w = kv^2$$

Hierin is: k een constante;
 v de snelheid van de bal.



figuur 8

11 Druk de eenheid van k uit in grondeenheden van het S.I. Zie daarvoor tabel 3A van het informatieboek BINAS.

Een basketbal heeft een massa van 600 g. De baan die de bal maakt vanaf het moment dat hij losgelaten wordt tot aan de ring kun je simuleren door een rekenkundig model te maken. In het model is rekening gehouden met de luchtweering op de bal. Het model met startwaarden staat hieronder weergegeven, waarbij één regel niet volledig is uitgeschreven. Het volledige model berekent de baan van de bal en geeft die in een grafiek weer. De grafiek die dan ontstaat bij de gegeven startwaarden is in figuur 8 weergegeven als grafiek b.

MODEL	STARTWAARDEN
$F_z = mg$	$v = 8,0$ (m/s)
$v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}$	$\alpha = \pi/3$ (rad)
$\alpha = \arctan(v_y/v_x)$	$v_x = v \cos(\alpha)$ (m/s)
$F_w = kv^2$	$v_y = v \sin(\alpha)$ (m/s)
$F_{w,x} = -F_w \cos(\alpha)$	$x = 0$ (m)
$F_{w,y} = -F_w \sin(\alpha)$	$y = 2,5$ (m)
$a_x = F_{w,x}/m$	$dt = 0,02$ (s)
$a_y = \dots$	$k = 0,025$ (S.I.-eenheden)
$t = t + dt$	$g = -9,81$ (m/s ²)
$v_x = v_x + a_x dt$	$m = 0,6$ (kg)
$v_y = v_y + a_y dt$	
$x = x + v_x dt$	
$y = y + v_y dt$	

$\arctan = \tan^{-1} = \text{invtan}$

In het model is de regel voor a_y onvolledig.

12 Geef de volledige uitdrukking voor a_y zoals die moet worden ingevoerd in het model. Houd daarbij rekening met de notatie die in dit model gebruikt wordt.

De startwaarde van x is 0 (m).

13 Bereken met dit model de eerstvolgende waarde van x . Geef de uitkomst in vier significante cijfers.

De baan volgens het model (grafiek b) blijkt nog niet geheel overeen te komen met de werkelijk gemeten baan (grafiek a). Men probeert de benadering te verbeteren door de startwaarde van k aan te passen.

14 Beredeneer of deze waarde groter of kleiner moet worden gekozen om de baan volgens het model beter overeen te laten komen met de werkelijke baan.

Lees het krantenartikel.

krantenartikel

ZONDER PLUTONIUM GEEN REIS NAAR PLUTO

Hoe hou je een ruimtesonde aan de praat?

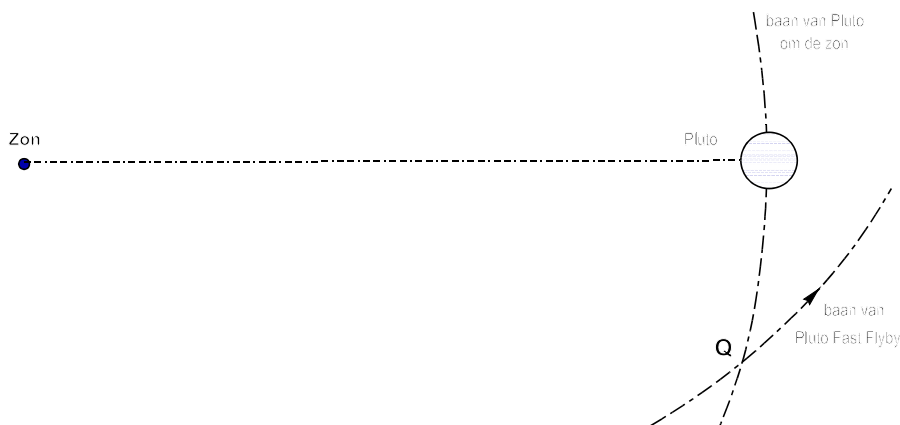
Zelfs de beste batterijen gaan niet lang genoeg mee. Een windmolen werkt niet in het vacuüm van de ruimte en zonnepanelen leveren op die grote afstand veel te weinig energie.

Bij de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA weten ze hoe het moet. De Pluto Fast Flyby, een klein en licht ruimtescheepje, dat

(Bron: de Volkskrant, 5 november 1994)

begin volgende eeuw langs de buitenste planeet in het zonnestelsel moet vliegen, wordt uitgerust met een kleine kerncentrale. De warmte die vrijkomt bij het oc-veral van plutonium wordt omgezet in elektriciteit. Vroeger maakte niemand zich druk om het feit dat er een paar kilo zuiver plutonium aan boord van een ruimtesonde het heelal in werd geschoten. Maar de afgelopen paar jaar is er in toenemende mate geprotesteerd, met name door milieu-activisten.

figuur 9



De baan van Pluto om de zon moet als cirkelvormig worden opgevat. Het ruimtescheepje Pluto Fast Flyby zal Pluto passeren in een baan die in figuur 9 geschetst is. Deze figuur is niet op schaal. In punt Q ondervindt het ruimtescheepje evenveel aantrekkingskracht van de zon als van Pluto.

15 Bereken de afstand van Q tot het middelpunt van Pluto.

4p

De energievoorziening van het ruimtescheepje blijkt een probleem te zijn. Het ruimtescheepje moet 7,0 jaar actief blijven en heeft voor alle meet-, ontvangst- en zendapparatuur voortdurend een vermogen nodig van 15 kW. Volgens het artikel is de opslag van chemische energie in batterijen of accu's voor deze toepassing niet bruikbaar. Toch kunnen accu's die bijvoorbeeld in dieselauto's worden gebruikt, relatief veel energie leveren. Ze geven een spanning af van 12 V en hebben een 'capaciteit' van 120 Ah (ampère-uur). Dit wil zeggen, dat ze bijvoorbeeld gedurende 60 uur een stroom kunnen leveren van 2,0 A. Voor de maximale tijd t_{\max} waarin zo'n accu een bepaalde stroom I kan leveren geldt:

$$I t_{\max} = 120 \text{ Ah}$$

3p **16** Toon met eenheden aan dat hetgeen hier 'capaciteit' genoemd wordt niet overeenkomt met de natuurkundige grootte capaciteit.

4p **17** Bereken hoeveel van dit soort accu's er minimaal nodig zouden zijn om de Pluto Fast Flyby gedurende 7,0 jaar van energie te voorzien.

Een andere mogelijkheid voor de energievoorziening zou het opvangen van stralingsenergie van de zon kunnen zijn met behulp van zonnepanelen. Het rendement van zo'n zonnepaneel bedraagt 20%. De zon straalt een vermogen uit van $3,9 \cdot 10^{26}$ W.

5p **18** Bereken de oppervlakte die de zonnepanelen samen minimaal moeten hebben om in de buurt van Pluto nog het benodigde vermogen te leveren. Bereken daartoe eerst het vermogen per vierkante meter van de zonnestraling in de buurt van Pluto.

Volgens het krantenartikel wordt een kleine kerncentrale aan boord van het ruimteschip meegenomen. In deze kerncentrale wordt het α -actieve ${}^{241}_{94}\text{Pu}$ gebruikt. Voor de activiteit (het aantal vrijkomende α -deeltjes per seconde) geldt:

$$A(t) = N(t) \cdot \frac{\ln 2}{\tau}$$

Hierin is: $A(t)$ de activiteit op tijdstip t ;

τ de halveringstijd;

$N(t)$ het aantal ${}^{241}_{94}\text{Pu}$ -atomen dat op tijdstip t nog aanwezig is.

2p **19** Leg uit waarom de andere isotopen van plutonium die in het informatieboek BINAS zijn vermeld niet geschikt zijn voor gebruik in het ruimteschipje.

Alle vrijkomende energie van de α -deeltjes wordt nuttig gebruikt.

5p **20** Bereken hoeveel kilogram plutonium het ruimteschipje moet meenemen zodat ook na 7,0 jaar nog een vermogen van 15 kW geleverd kan worden door het α -verval van plutonium. Bereken daartoe eerst hoe groot de activiteit van het plutonium na 7,0 jaar nog moet zijn.

Opgave 5 Antiprotonen vangen

1998-I

Een proton bestaat uit quarks van generatie I. Zie tabel 26A van het informatieboek

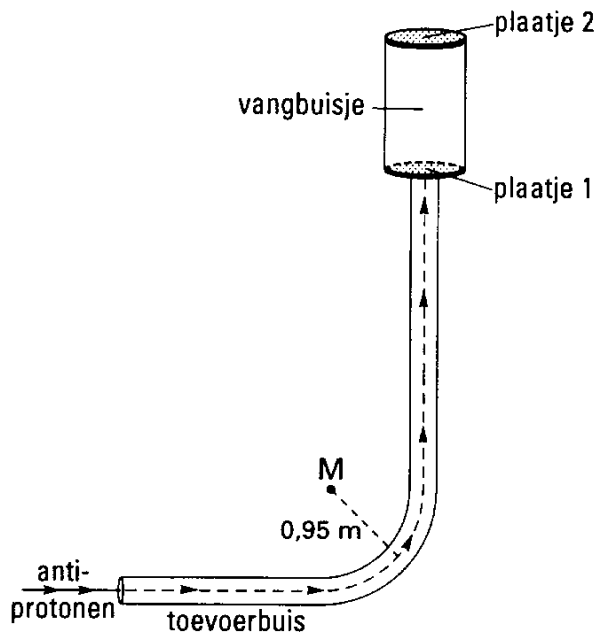
- 21 Geef de quark-samenstelling van een proton.

Een antiproton is het antideeltje van het proton. Het heeft dezelfde massa maar een tegengestelde lading. Nadat antiprotonen zijn ontstaan, kunnen ze direct gebruikt worden voor experimenten, maar ze kunnen ook worden opgeslagen in een zogenaamde "antiprotonenvanger". Een deel van een antiprotonenvanger is te zien in figuur 10. Door een toevoerbuis bewegen antiprotonen met een snelheid van $2,9 \cdot 10^7 \text{ ms}^{-1}$. Op hun weg naar het vangbuisje worden ze door een magneetveld afgebogen. Ze beschrijven dan een kwartcirkel met een straal van 0,95 m.

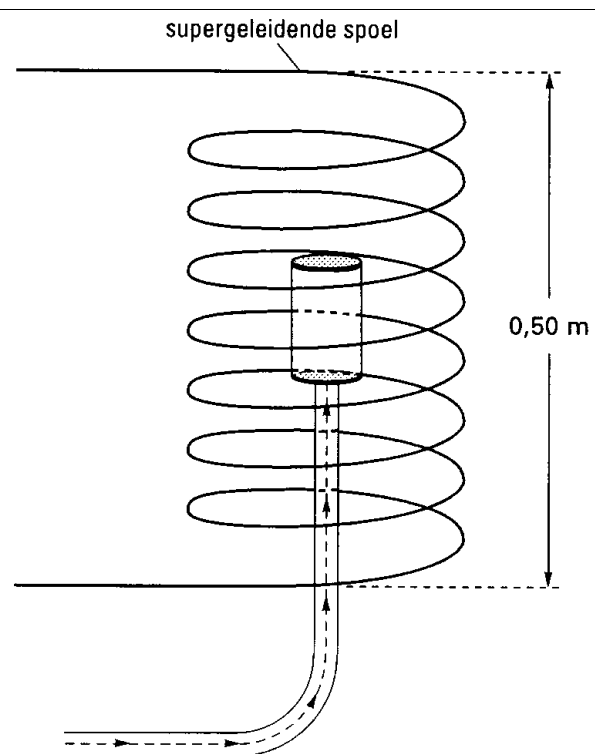
- 22 Bereken de grootte van de magnetische inductie die daarvoor nodig is.

Het vangbuisje is gemaakt van koper en bestaat uit een cilindervormige wand, een bodem (plaatje 1) en een deksel (plaatje 2). Deze plaatjes zijn door een isolerende laag van de cilinderwand gescheiden. Een deel van de antiprotonen gaat dwars door plaatje 1 het vangbuisje binnen en wordt daar 'gevangen'. Onder 'vangen' wordt hier verstaan dat ze door de krachtwerking van zowel een magneetveld als een elektrisch veld binnen het vangbuisje worden gehouden. Ze mogen daarbij de wanden van het vangbuisje niet meer raken, omdat er dan een grote kans bestaat dat ze met de protonen van het koper annihileren. Het magneetveld wordt opgewekt door een grote, supergeleidende spoel, die om het vangbuisje is aangebracht. Zie de schematische weergave in figuur 11. Deze spoel heeft een lengte van 0,50 m en heeft 30.000 windingen. Binnen de spoel heerst een magneetveld van 2,8 T.

- 23 Bereken de stroomsterkte in de spoel.



figuur 10



figuur 11

Het elektrische veld wordt opgewekt door de plaatjes van het vangbuisje op een bepaalde potentiaal te brengen. Plaatje 2 staat steeds op een potentiaal van $-3,0\text{ kV}$ terwijl de cilinderwand steeds geaard is. Plaatje 1 heeft eerst nog een potentiaal van 0 V .

Een antiproton dat plaatje 1 passeert verliest daarbij een deel van zijn kinetische energie.

- 24** Bereken welk percentage van zijn oorspronkelijke energie dit antiproton na het passeren van plaatje 1 nog maximaal over mag hebben, opdat het (door het elektrische veld in het vangbuisje) plaatje 2 niet kan bereiken.

Op een bepaald ogenblik wordt de potentiaal van plaatje 1 ook op $-3,0\text{ kV}$ gebracht. In figuur 12 is getekend hoe de elektrische veldlijnen dan lopen. In Figuur 13 is door middel van drie veldlijnen het elektrische veld vlak bij plaatje 2 weergegeven. Het elektrische veld is daar homogeen. Ook is de richting van het magnetisch veld B getekend. De magnetische inductie is daar $2,8\text{ T}$.

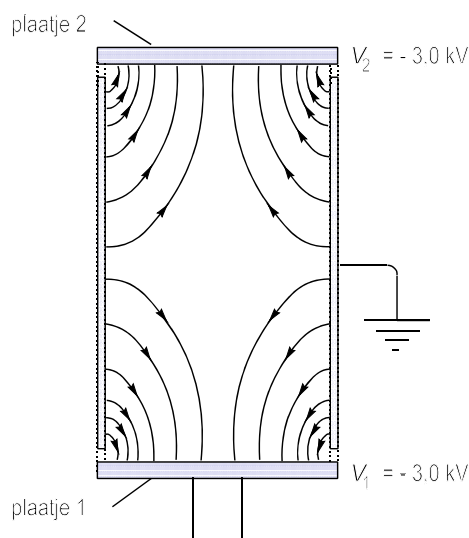
Op een gegeven moment beweegt een antiproton met een snelheid van $6,2 \cdot 10^5\text{ ms}^{-1}$ in een richting loodrecht op het vlak van tekening, het papier uit.

De bijbehorende snelheidsvector \vec{v} is aangegeven door middel van een klein cirkeltje met een punt erin. Voor dit antiproton blijken de grootte van de lorentzkracht en van de elektrische kracht aan elkaar gelijk te zijn.

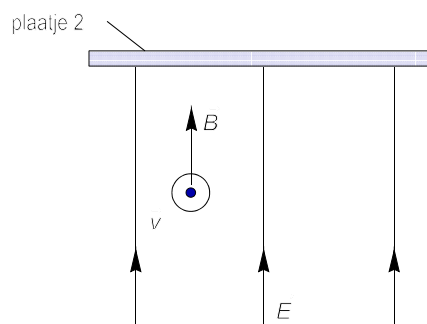
- 25** Bereken de grootte van de elektrische veldsterkte vlak bij plaatje 2.

Figuur 13 staat ook op de bijlage.

- 26** Bereken de resulterende kracht op het antiproton. Teken daartoe eerst op de bijlage de elektrische kracht en de lorentzkracht op het antiproton.



figuur 12



figuur 13