

De 35<sup>e</sup> Internationale Natuurkunde  
Olympiade Pohang, Zuid-Korea  
**Practicum-toets**  
Maandag 19 juli 2004

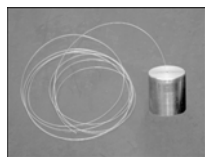
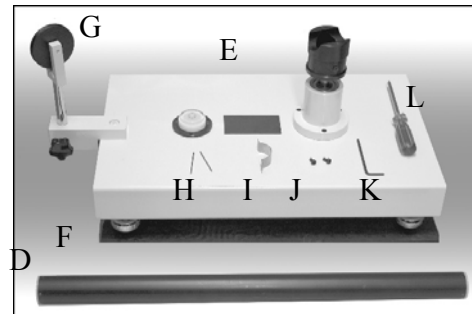
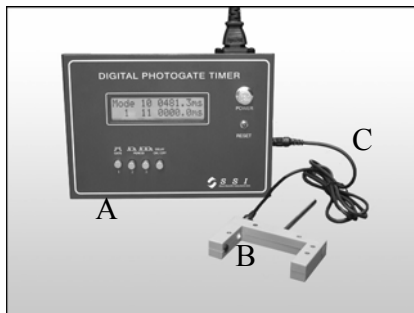
**Lees dit eerst!**

1. De toets duurt 5 uur.
2. Gebruik uitsluitend de door de organisatie ter beschikking gestelde pen.
3. Beschrijf uitsluitend de voorkant van het papier. Schrijf uitsluitend binnen het kader
4. Behalve de **blanco bladen** waar je op mag schrijven, zijn er **antwoordbladen** waarop de antwoorden **moeten** worden samengevat.
5. Op de blanco bladen mag je uiteraard alles schrijven waarvan je denkt dat het belangrijk is voor het oplossen van het vraagstuk. Gebruik echter zoveel mogelijk vergelijkingen, numerieke waarden, tekeningen en grafieken. Gebruik dus zo weinig mogelijk tekst.
6. Bovenaan elk blad moet je het **land (Country Code)** en je **studentnummer (Student Code)** invullen. Vul verder in: het paginanummer (**Page Number**) en het totaal aantal blanco bladen (**Total Number of Pages**) dat je hebt gebruikt en dat nagekeken moet worden. 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.
7. Leg aan het eind alle bladen in de *juiste volgorde*:
  - de *antwoordbladen*,
  - daarna de *beschreven bladen* die nagekeken moeten worden
  - dan de bladen die niet nagekeken hoeven te worden
  - ongebruikte bladen en
  - de opgaven.
8. Het is niet nodig om van de meetwaarden een meetnauwkeurigheid op te geven. Echter, de mate waarin je meetwaarden overeenkomen met de 'echte' waarden telt wel mee in de puntentelling van deze toets.
9. Stop de bladen in de daarvoor bestemde enveloppe. Laat alles op je tafel achter. **Je mag geen enkel blad of ook maar iets van het materiaal dat je bij het experiment gebruikt hebt, naar buiten meenemen.**

## Apparatuur en materiaal

### 1. Lijst van beschikbare apparatuur en materialen

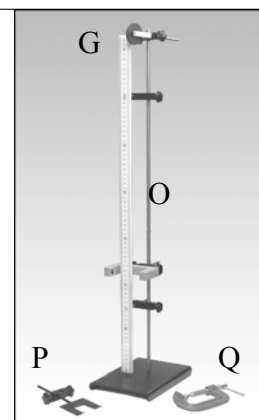
	Naam	Aantal		Naam	Aantal
A	Photogate timer	1	L	Philips-schroevendraaier	1
B	Lichtpoort	1	M	Cilindertje met een draadje	1
C	Aansluitkabel	1	N	Elektronische weegschaal	1
D	Mechanische "black box" (zwarte cilinder)	1	O	Statief met lineaal	1
E	Rotatie-toestel	1	P	U-vormige drager	1
F	Rubbermat	1	Q	C-klem	1
G	Katrol	2		Lineaal (0.50 m, 0.15 m)	1 + 1
H	Pin	2		Schuifmaat	1
I	Halfrond bevestigingsplaatje	1		Schaar	1
J	Schroef	2		Draad	1
K	Inbussleutel (hexagonaal, L-vormig)	1		Reserveonderdelen (draad, snoer, pin, schroef, inbussleutel)	



M



N



## 2. Instructie voor het gebruik van de *photogate timer*.

De lichtpoort bestaat een infrarood LED en een fotodetector. Door de lichtpoort met de *photogate timer* te verbinden kun je de tijd meten gedurende welke de lichtstraal onderbroken wordt.

- Zorg dat de lichtpoort met de *photogate timer* is verbonden. Zet hem aan met het knopje 'POWER'.
- Om de tijdsduur van één enkele puls te meten moet het knopje genaamd 'GATE' ingedrukt worden. Gebruik deze 'GATE' mode voor snelheidsmetingen.
- Om het tijdsinterval tussen twee of drie opeenvolgende onderbrekingen te meten, moet je de juiste knop bij knop 'PERIOD' indrukken. Gebruik deze 'PERIOD' mode voor het meten van trillingen.
- Als de 'DELAY' knop is ingedrukt, toont de timer het resultaat van elke meting gedurende 5 seconden waarna het zichzelf reset.
- Als de 'DELAY' knop niet is ingedrukt, toont de timer het resultaat van de vorige meting tot de volgende meting is gedaan.
- Na elke keer dat je op een knop hebt gedrukt, moet je de 'RESET' knop indrukken om de gewenste verandering te bevestigen.

**Let op:** Kijk niet in de lichtpoort. Het onzichtbare rode licht kan je ogen beschadigen.



Lichtpoort, *Photogate Timer* en aansluitkabel.

3. Instructies voor het gebruik van de elektronische weegschaal.

- Stabiliseer de weegschaal met de pootjes. (Hoewel er een waterpasje is, is het niet nodig de weegschaal heel precies horizontaal te zetten).
- Druk op de 'On/Off' knop voordat je iets op de weegschaal plaatst.
- Als je iets op het weegschaal zet, geeft deze weegschaal de massa aan in gram.
- Als de weegschaal onbelast is, schakelt deze zichzelf na 25 seconden uit.

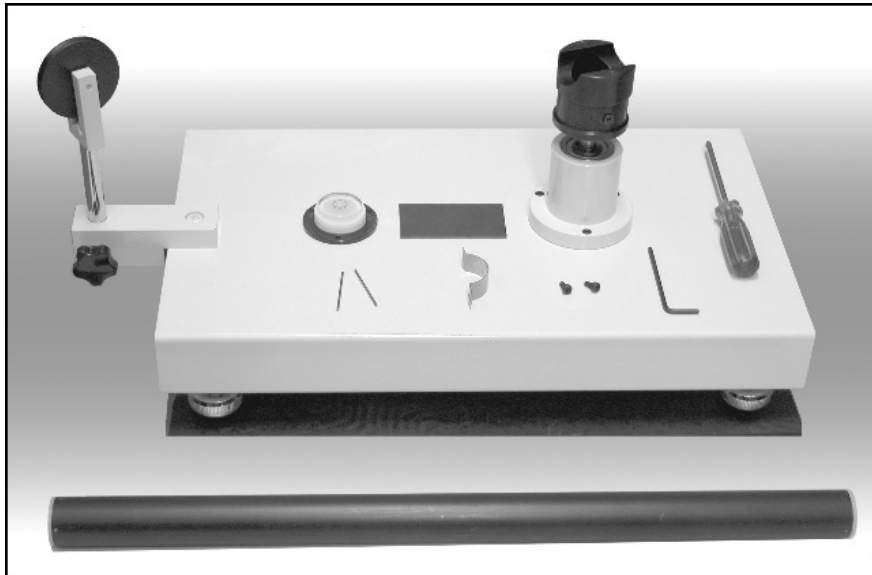


Weegschaal

4. Instructies voor het gebruik van het rotatie-toestel.

- Stabiliseer het rotatie-toestel met de pootjes op de rubbermat, zodat deze redelijk horizontaal staat.
- Gebruik het halfronde bevestigingsplaatje en de twee schroeven om de mechanische “black box” (zwarte cilinder) op de draaikop te monteren. Gebruik de inbussleutel om de schroeven vast te zetten.
- De draad die aan het cilindertje vast zit, moet met de schroef aan de zijkant van de draaikop bevestigd worden. Gebruik de Philips-schroevendraaier.

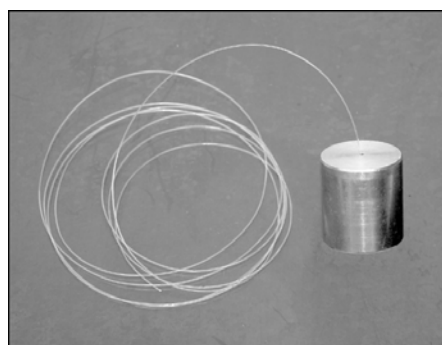
**Let op:** Kom niet te dicht bij de mechanische “black box” als deze draait. Je zou je kunnen verwonden.



De mechanische “Black Box” en het rotatie-toestel.



Rotatiekop



Cilindertje met draadje.

## Mechanische ‘BLACK BOX’

**Onderzoeksvraag:** “Bepaal de massa van de kogel en de veerconstanten van de twee veren in de MBB”.

### Algemene informatie over de Mechanische ‘Black Box’

De mechanische ‘black box’ (MBB) bestaat uit een homogene kogel die vastgemaakt is aan twee veren. Het geheel bevindt zich in een cilindervormige buis zoals aangegeven in Fig. 1. De twee veren zijn gemaakt uit een soort veer, maar hebben een verschillend aantal windingen. De massa van de veren kan verwaarloosd worden. Als de veren niet uitgerekt zijn kan hun beginlengte op nul gesteld worden. De buis is homogeen en wordt met twee identieke sluitstukken afgesloten. Het deel van elk sluitstuk dat in de buis zit is  $5,0 \cdot 10^{-3}$  m lang. De straal van de kogel is  $1,1 \cdot 10^{-2}$  m, de binnendiameter van de buis is  $2,3 \cdot 10^{-2}$  m. De gravitatieversnelling  $g$  is gelijk aan  $9,8$  m/s<sup>2</sup>. Er is wrijving tussen de bal en de binnenwand van de buis.

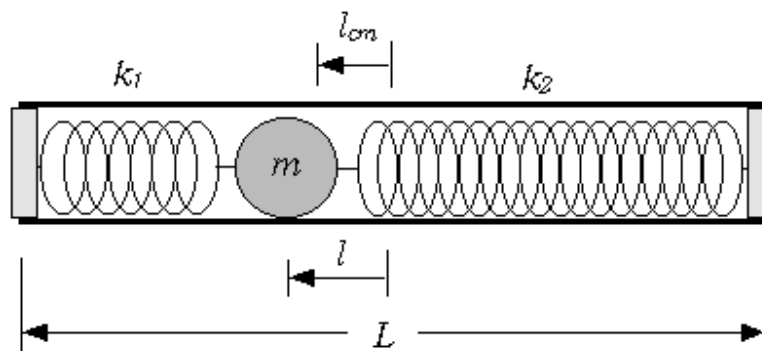


Fig. 1 Mechanische ‘Black Box’ (niet op schaal)

In dit experiment is het de bedoeling de massa  $m$  en de veerconstanten  $k_1$  en  $k_2$  te bepalen zonder de MBB te openen. Bij deze “black box” is het echter niet mogelijk om de massa  $m$  en de positie  $l$  van de kogel afzonderlijk te bepalen. Hierin is  $l$  de afstand tussen het midden van de kogel en het midden van de buis als de MBB horizontaal ligt en er geen wrijving is.

Je moet de symbolen op de volgende pagina gebruiken om de fysische grootheden weer te geven. Als je een andere fysische grootheid nodig hebt, gebruik dan een nieuw symbool om verwarring te voorkomen.

## Gebruikte symbolen

$m$	massa van de kogel
$r$	straal van de kogel ( $= 1,1 \cdot 10^{-2}$ m)
$M$	massa van de MBB zonder de kogel
$L$	lengte van de buis
$\delta$	lengte van elk sluitstuk dat in de buis steekt ( $= 5,0 \cdot 10^{-3}$ m)
$l_{CM}$	afstand van het massacentrum van de MBB tot het midden van de buis
$x$	afstand tussen het midden van de kogel en het midden van de buis ( $x = l$ bij evenwicht als de buis horizontaal is)
$g$	gravitatieconstante ( $= 9,8$ m/s <sup>2</sup> )
$m_0$	massa van het cilindertje waar een draadje aan bevestigd is
$v$	snelheid van het cilindertje
$h$	verplaatsing van het cilindertje naar omlaag gemeten
$R$	straal van de draaikop op de plaats waar het draadje omheen gewikkeld is
$I, I_0, I_1, I_2, \dots$	traagheidsmomenten
$\omega, \omega_1, \omega_2, \dots$	hoeksnelheden en hoekfrequenties
$T_1, T_2$	periodes van de trillingen
$k$	totale veerconstante
$k_1, k_2$	veerconstanten van de veren
$N_1, N_2$	aantallen windingen van de veren

**LET OP: Open de MBB niet. Als je deze toch opent, wordt je gediskwalificeerd. Je krijgt een nul voor het praktische gedeelte.**

**LET OP: Je mag de MBB niet hard schudden of laten vallen. De kogel kan dan loskomen van de veren. Als je MBB stuk zou zijn, neem dan contact op met een staflid. Een MBB zal één keer en slechts één keer vervangen worden zonder dat het je punten kost. Bij elke verdere vervanging verlies je 0,5 punten.**

**Deel A Bepaling van het product van de massa en de positie van de kogel ( $m \cdot l$ ) (4,0 punten)**

$l$  is de positie van het midden van de kogel gemeten ten opzichte van het midden van de buis als de MBB in evenwicht is en horizontaal opgesteld zoals in figuur 1. Bepaal experimenteel de waarde van het product van de massa  $m$  en de positie  $l$  van de kogel.

1. Bedenk een methode om  $m \cdot l$  te bepalen. Verklaar deze methode aan de hand van een vergelijking. (2,0 punten)
2. Bepaal experimenteel de waarde van  $m \cdot l$ . (2,0 punten)



## Deel B Bepaling van de massa $m$ van de kogel (10,0 punten)

In figuur 2 is de MBB in het midden horizontaal vastgemaakt op de draaikop. Het cilindertje is vastgemaakt aan een uiteinde van het draadje; het andere uiteinde is vastgemaakt aan de draaikop. Als het cilindertje valt, gaat de MBB draaien. Door de vergelijking die voor deze opstelling geldt te combineren met de vergelijking uit *Deel A*, kun je een uitdrukking vinden waaruit je  $m$  kunt bepalen.

Tussen de kogel en de binnenwand van de cilinder is er wrijving. Maar om de analyse te vereenvoudigen, mag je elk energieverlies door wrijving verwaarlozen.

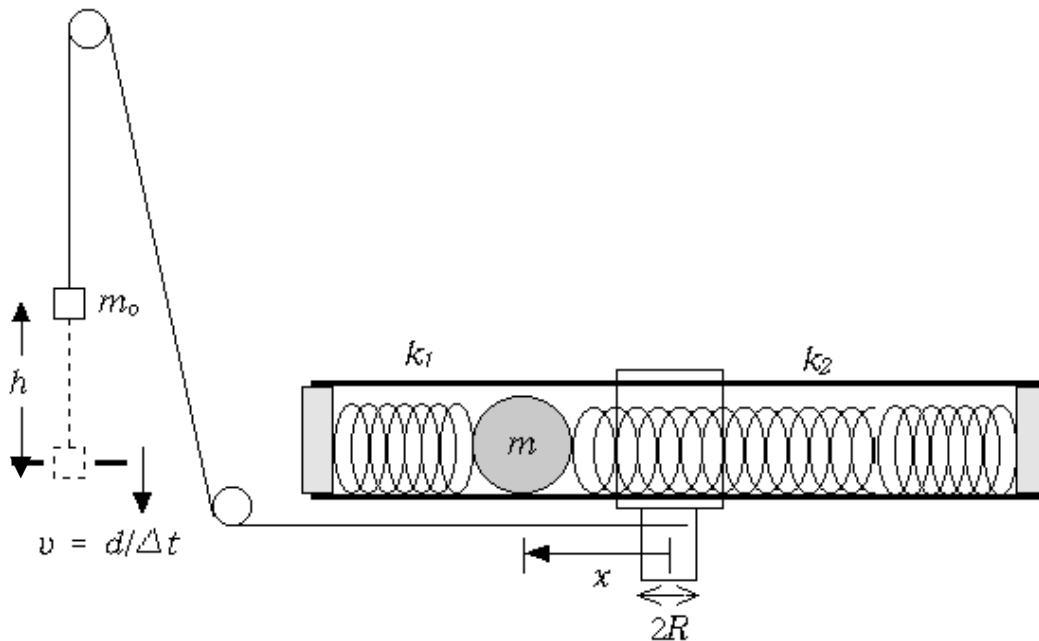


Fig. 2 Rotatie van de Mechanische Black Box MBB (niet op schaal getekend). De hoeksnelheid  $\omega$  van de MBB kan berekend worden uit de snelheid  $v$  van het cilindertje als het door de lichtpoort beweegt.  $x$  is de positie van de kogel ten opzichte van de rotatieas,  $d$  is de lengte van het cilindertje.

1. Meet de snelheid  $v$  van het cilindertje voor verschillende waarden van  $h$ , de verplaatsing van het cilindertje als het naar beneden gaat. Het is aan te bevelen om dit voor waarden van  $h = 1,0 \cdot 10^{-2}$  m tot  $40 \cdot 10^{-2}$  m te doen. Meet  $v$  slechts één keer voor elke waarde van  $h$ . Verander  $h$  telkens met  $1,0 \cdot 10^{-2}$  à  $2,0 \cdot 10^{-2}$  m. Geef je metingen grafisch weer. Nadat je een idee hebt van het verloop van de grafiek, kun je metingen herhalen of meetpunten toevoegen als je dat nodig vindt. Als de MBB traag roteert, komt de kogel niet uit zijn evenwichtspositie vanwege de wrijving tussen de kogel en de wand. Als de MBB voldoende snel roteert, botst de kogel tegen een uiteinde van de buis en blijft daar zitten omdat de veren slap zijn. Geef op je grafiek de gebieden aan waar de rotatiebeweging traag is en waar de rotatiebeweging snel is. (4,0 punten)

2. Toon aan dat in het gebied waar de rotatie traag is voor je metingen geldt dat  $h$  evenredig is met  $v^2$  (dus  $h = C \cdot v^2$ ) en toon aan dat in het gebied waar de rotatie snel is voor je metingen geldt dat  $h = A \cdot v^2 + B$ . (1,0 punt)
3. Het traagheidsmoment van een kogel met massa  $m$  en straal  $r$  ten opzichte van een rotatieas door het midden van de kogel wordt gegeven door  $2m \cdot r^2/5$ . Als de kogel draait om een as op een afstand  $a$  van de oorspronkelijke rotatie-as neemt het traagheidsmoment toe met  $m \cdot a^2$ . Gebruik het symbool  $I$  om het totale traagheidsmoment aan te geven van het hele roterende systeem met uitzondering van de kogel. Druk de coëfficiënt  $C$  uit in de parameters van de MBB zoals  $m$ ,  $l$ , enz. (1,0 punt)
4. Druk de coëfficiënten  $A$  en  $B$  uit in de parameters van de MBB zoals  $m$ ,  $l$ , enz. (1,0 punt)
5. Bepaal de waarde van  $m$  uit je metingen en het resultaat verkregen in **Deel A**. (3,0 punten)

**Deel C Bepaling van de veerconstanten  $k_1$  en  $k_2$  (6,0 punten)**

In dit deel moet je de MBB als een fysische slinger met kleine amplitude gebruiken. Aan elk uiteinde van de buis zijn twee gaatjes gemaakt. Als je de twee dunne pinnen in deze gaatjes steekt, kun je ze gebruiken als ophangpunt bij de slingerbeweging van de MBB. Bevestig de U-vormige drager aan het statief en gebruik deze als steun voor de pinnen.

Voor de hoekfrequentie  $\omega$  geldt voor kleine slingeren dat:

$$\omega = [(\text{totale gewicht} \times \text{afstand zwaartepunt}) / \text{traagheidsmoment}]^{1/2}.$$

De afstand van het zwaartepunt en het traagheidsmoment moeten worden genomen ten opzichte van het ophangpunt. Beschouw twee verschillende situaties zoals in Fig. 3 gegeven.

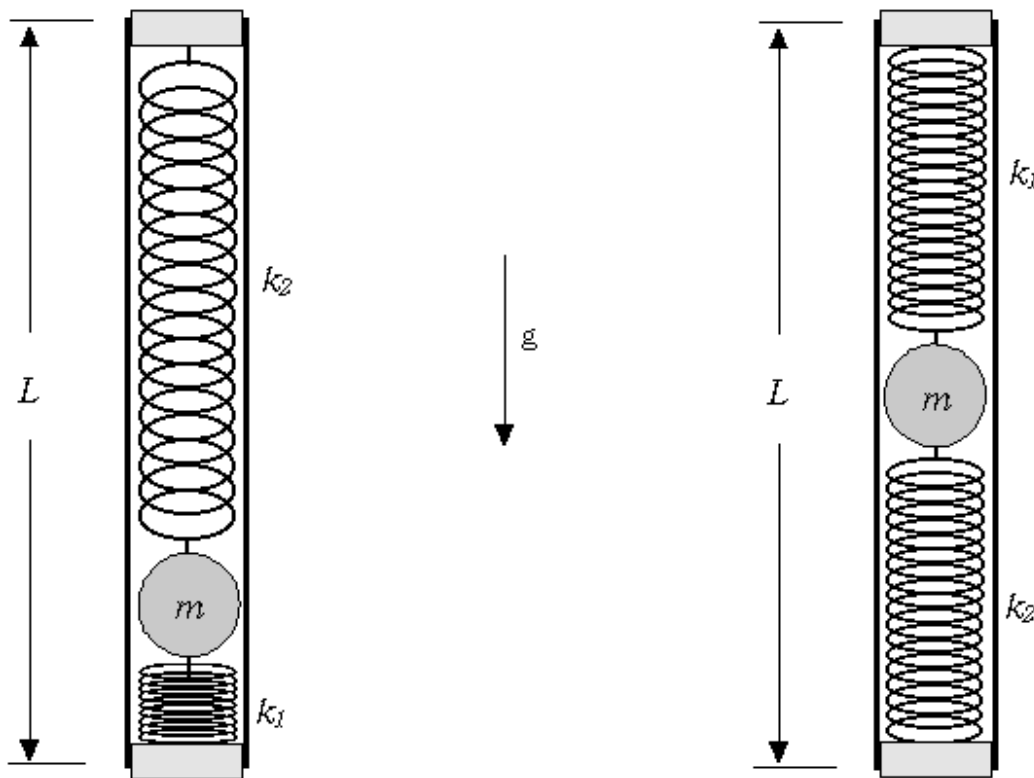


Fig. 3 Slingering van de MBB (niet op schaal). De periodes  $T_1$  en  $T_2$  voor de twee situaties zoals hierboven weergegeven kunnen bepaald worden met de lichtpoort.

1. Meet de periodes  $T_1$  en  $T_2$  voor kleine amplitudes (zie figuur 3) en noteer hun waarde. (1,0 punt)
2. Leg met behulp van vergelijkingen uit waarom de hoekfrequenties  $\omega_1$  en  $\omega_2$  voor kleine amplitudes verschillend zijn. Gebruik het symbool  $I_0$  voor het traagheidsmoment van de MBB zonder de kogel ten opzichte van het ophangpunt.

- Gebruik het symbool  $\Delta l$  voor de verplaatsing van de kogel ten opzichte van de horizontale evenwichtsstand. (1,0 punt)
3. Bepaal  $\Delta l$  uit de vergelijkingen van het vorige onderdeel door  $I_0$  te elimineren.. (1,0 punt)
  4. Bepaal de waarde van de totale veerconstante  $k$  van het systeem van de twee veren door je resultaten in Deel C 1~3 en Deel B te combineren. (2,0 punten)
  5. Bepaal de waarde van  $k_1$  en  $k_2$  van de afzonderlijke veren. (1,0 punt)