



Behoud van Impuls

Experimentele Fysica

Prof. F. Blekman
Gwenhael de Wasseige



Samenvatting

Het doel van dit experiment is inzicht te krijgen in de wetmatigheden bij botsingsprocessen. Dit is noodzakelijk om de natuurkundige deeltjesmodellen van de materie, maar ook veel technologische toepassingen goed te kunnen begrijpen. In dit practicum wordt in een eerste instantie de tweede wet van Newton $\vec{F}(t) = m \cdot \vec{a}(t)$ nagegaan. In een tweede instantie worden rechte botsingen tussen twee wagentjes op een rijbaan met geringe wrijving onderzocht. Met eenvoudig uitvoerbare experimenten worden de behoudswetten van impuls en energie experimenteel onderzocht voor elastische en inelastische botsingen.

Dit practicum geeft een inleiding in het gebruik van *Pasco sensoren*.

1 Theoretische achtergrond

1.1 De Wetten van Newton, Giancoli §4

In 1687 publiceerde Sir Isaac Newton *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, waarin hij de 3 **Wetten van Newton** formuleert :

- De eerste wet van Newton : de traagheidswet : Een voorwerp waarop geen resulterende kracht werkt, is in rust of beweegt zich rechtlijnig met constante snelheid voort.
- De tweede wet van Newton : kracht verandert de beweging : De verandering van de beweging is recht evenredig met de resulterende kracht en volgt de rechte lijn waarin de kracht werkt.

$$\vec{F}(t) = m \cdot \vec{a}(t) \quad (1)$$

- De derde wet van Newton : actie \rightarrow reactie : Als een voorwerp A een kracht \vec{F}_{actie} op een voorwerp B uitoefent, gaat deze kracht gepaard met een even grote, maar tegengestelde gerichte kracht \vec{F}_{reactie} van B op A.

Zie Giancoli §4.2, §4.4 en §4.5 voor meer uitleg over deze wetten.

1.2 Behoud van Impuls, Giancoli §9

1.2.1 Inleidende begrippen, Giancoli §9.1-§9.2

De impuls van een deeltje wordt gegeven door het product van de massa van het deeltje met haar snelheid,

$$\vec{p}(t) \equiv m \cdot \vec{v}(t) \quad (2)$$

De eerste wet van Newton stelt dat wanneer er geen externe kracht inwerkt op het deeltje ($F_{\text{ext}} = 0 \text{ N}$), de impuls van het deeltje constant zal zijn. Gebruik makende van de tweede wet van Newton, vinden we dus dat :

$$\vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{p}(t)}{dt} \equiv 0 \text{ N} \quad (3)$$

$$\Rightarrow \vec{p}(t) = \text{constant} \quad (4)$$

We kunnen voorgaande informatie nu gebruiken om processen te analyseren waarbij objecteobjectenssa's m_a en m_b botsen met snelheden \vec{v}_a en \vec{v}_b zonder dat er externe krachten bij te pas komen. Na de botsing bewegen de objecten zich voort met snelheden \vec{v}_a' en \vec{v}_b' . Een typische situatie waaraan je kunt denken is een biljartspel waarbij je de wrijving verwaarloost. De enige krachten zijn deze die de botsende objecten op elkaar uitoefenen. We bevinden ons dus in de situatie dat de totale impuls van het systeem behouden blijft. Anders gezegd de som van de impulsen van de objecten voor de botsing is gelijk aan de som van de impulsen van de objecten na de botsing :

$$\begin{aligned} \text{totale impuls voor de botsing} &= \text{totale impuls na de botsing} \\ m_a \cdot \vec{v}_a + m_b \cdot \vec{v}_b &= m_a \cdot \vec{v}_a' + m_b \cdot \vec{v}_b' \end{aligned} \quad (5)$$

1.2.2 Impuls- en Energiebehoud bij botsingen, Giancoli §9.3-§9.5

In quasi alle relevante botsingsprocessen zijn de krachten die tijdens de botsing een rol spelen conservatief. De totale energie wordt dus eveneens behouden. We maken een onderscheid tussen twee belangrijke klassen van botsingsprocessen:

- elastische botsingen : de totale kinetische energie van de objecten (en bijgevolg ook de totale potentiële energie) blijft apart behouden,
- inelastische botsingen : de totale energie blijft weliswaar behouden maar de totale kinetische energie voor en na de botsing zijn verschillend. Hierbij is dus een interactie gebeurt, via specifieke krachten die de botsende objecten op elkaar uitoefenden, waarbij de totale potentiële energie van het systeem gewijzigd is.

2 Materiaal en methoden

2.1 Voorbereiding

- Bestudeer de vermelde delen in Giancoli,
- maak de voorbereiding,
- bestudeer dit filmpje over data-analyse in DataStudio:
<http://www.youtube.com/watch?v=eWAoyZvPpa4>.

2.2 Experimenten

2.2.1 Experimentele opstelling

In dit labo wordt gebruik gemaakt van

- een horizontale baan met 2 wagentjes. Deze wagentjes kunnen elastische (via magneten) en inelastische (via velcro) botsingen ondergaan.
- 1 *Pasco force-sensor* (krachtsensor, fig. 1b)¹
- 2 *Pasco motion-sensors* (bewegingssensor, fig. 1c)²

Voor de metingen en verwerking wordt gebruik gemaakt van de softwarepakketten *Datastudio*³ en *MatLab*⁴. Deze software is geïnstalleerd op de beschikbare laptops.

2.2.2 Tweede Wet van Newton

In een eerste instantie wordt de tweede wet van Newton vgl. (1) nagegaan. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van de opstelling in fig. 1a, nl. een wagentje dat met een elastiek vasthangt aan een *Pasco force-sensor* fig. 1b en een *Pasco motion-sensor* fig. 1c om de positie/snelheid/versnelling van het wagentje te meten. Aan het wagentje wordt magnetisch een metalen plaatje bevestigd.

Start *datastudio* en sluit de *Pasco motion-sensor* en de *Pasco force-sensor* aan op de laptop via USB.

Door het wagentje weg van de *Pasco force-sensor* te trekken, zal zowel op het wagentje als op de *Pasco force-sensor* een even grote, maar tegengestelde kracht ontstaan (3^e wet van Newton). Door de versnelling $\vec{a}(t)$ van het wagentje te meten op het moment dat je het loslaat, kan je het verband meten tussen de kracht $\vec{F}(t)$ die op het wagentje inwerkt en de versnelling $\vec{a}(t)$ van het wagentje (2^e wet van Newton). Dit verband volgt een rechte door de oorsprong en hieruit kan je de massa van het wagentje bepalen.

figuur toevoegen waarop Trekkkracht en versnelling staan!

Ga deze rechtevenredigheid na door de versnelling van het wagentje te meten voor 7 verschillende aangelegde krachten : 0.5 N - 3.5 N in stappen van 0.5 N. Meet voor elke aangelegde kracht steeds 3 maal de versnelling $\vec{a}_i(t = \text{moment van loslaten})$ en bereken telkens het gemiddelde $\vec{a}_{\text{gemiddeld}}(t = \text{moment van loslaten})$ van de 3 metingen. Op deze manier bekom je koppels $(\vec{a}(t), \vec{F}(t))$ of $(\vec{F}(t), \vec{a}(t))$ ⁵ waardoor je in *MatLab* een rechte kan fitten. Deze rechte zou door de oorsprong moeten gaan (ga na of dit zo is), en uit de richtingscoëfficiënt van de rechte kan je de massa van het wagentje bepalen. Vergelijk deze gevonden massa ook met de gewogen massa.

Let bij de metingen op volgende punten :

- Om enkel de nodige data weer te geven, moet je bij *Setup* een *delayed start* en *automatic stop* instellen. Stel deze in op 'delayed start : Pull falls below -0.4 N' en 'automatic stop : Pull rise above -0.4 N'.
- Stel bij *Setup* ook een sample rate van 50 Hz in voor zowel de *motion-sensor* als de *force-sensor*.

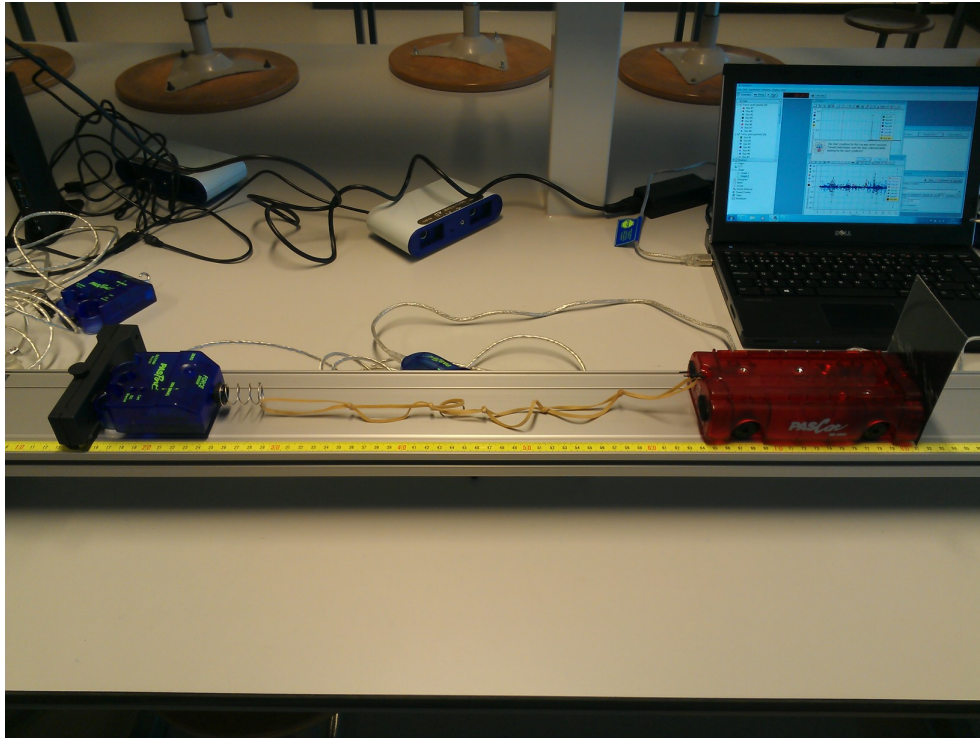
¹http://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2104_pasport-force-sensor/index.cfm

²http://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2103_pasport-motion-sensor/index.cfm

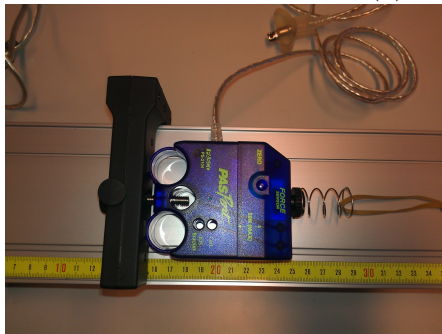
³<http://www.pasco.com/family/datastudio/index.cfm>

⁴<http://www.mathworks.nl/products/matlab/>

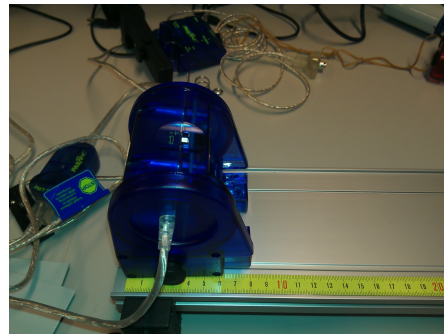
⁵De grootheid met de grootste relatieve onzekerheid moet steeds op de y-as geplaatst worden. Bereken de relatieve onzekerheden dan ook telkens!



(a) Opstelling proef 1



(b) *Pasco force-sensor*



(c) *Pasco motion-sensor*

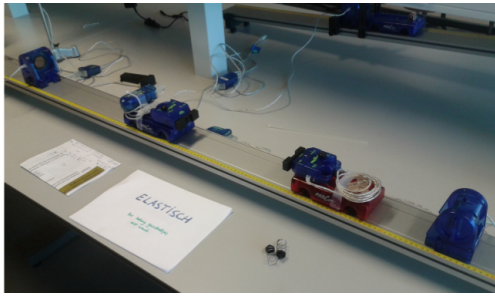
Figuur 1: Opstelling & componenten voor proef 1

- Stel bij *Setup* in dat je ook de versnelling wil meten met de *motion-sensor*.
- Voor elke krachtmeting moet je de krachtsensor weer op nul zetten (knopje op de sensor).

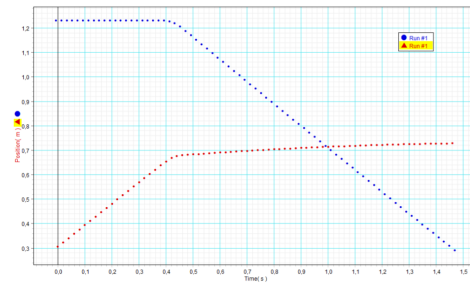
2.2.3 Behoud van impuls

In dit deel gaan we *behoud van impuls* en *behoud van kinetische energie* bij elastische en inelastische botsingen nagaan. Hiervoor gaan we gebruik maken van 2 *Pasco motion-sensors* fig. 1c om de positie/snelheid/versnelling van de wagentjes te meten.

Ontkoppel de *Pasco force-sensor* en sluit de tweede *Pasco motion-sensor* aan.



(a) Opstelling proef 2



(b) Positie-tijd diagrammen voor de beide wagentjes bij een succesvolle trial

Figuur 2: Opstelling & output proef 2

Let bij de metingen op volgende punten :

- Om enkel de nodige data weer te geven, moet je bij *Setup* een *delayed start* en *automatic stop* instellen. Stel deze in op '*delayed start* : position rise above 0,3 m' (wagentje 1 verder dan 30 cm van sensor) en '*automatic stop* : position2 fall below 0,3 m' (wagentje 2 nadert sensor dichterbij dan 30 cm).
- Stel bij *Setup* ook een sample rate van 50 Hz in voor beide *motion-sensors*.
- Stel bij *Setup* in dat je ook de snelheid wil meten met beide *motion-sensors*.
- Pas desnoods ook de emissiehoeken van de *motion-sensors* lichtjes aan zodat je mooie positie-tijd grafieken voor de twee wagentjes verkrijgt.

Test uit of dit werkt door na te gaan of de output die je krijgt vergelijkbaar is met die weergegeven in fig. 2b.

2.2.4 Volledig elastische botsingen

Voor dit deel ga je de wagentjes met de magneten naar elkaar toe plaatsen. Geef wagentje 1 een duw, zodat deze met wagentje 2 (dat stilstaat) botst.

- Geef het totale impuls van het systeem weer in een grafiek voor 3 botsingen en bespreek de grafiek.
- Geef de totale kinetische energie van het systeem weer in een grafiek voor 3 botsingen en bespreek de grafiek.
- Meet de afzonderlijke snelheden van de wagentjes net voor (v_1) en net na (v'_1, v'_2) de botsingen en ga na of $\frac{v'_1}{v_1}$ en $\frac{v'_2}{v_1}$ overeenkomt met wat je theoretisch verwacht ($\frac{v'_{1,2}}{v_1}$ is volledig bepaald door de massa's van de wagentjes).

2.2.5 Volledig inelastische botsingen

Voor dit deel ga je de wagentjes met de velcro naar elkaar toe plaatsen. Geef wagentje 1 een duw, zodat deze met wagentje 2 (dat stilstaat) botst.

- Geef het totale impuls van het systeem weer in een grafiek voor 3 botsingen en bespreek de grafiek.
- Geef de totale kinetische energie van het systeem weer in een grafiek voor 3 botsingen en bespreek de grafiek.
- Vergelijk de kinetische energie voor de botsing E_{kin} met de kinetische energie na de botsing E'_{kin} . Ga na of $\frac{E'_{\text{kin}}}{E_{\text{kin}}}$ overeenkomt met wat je theoretisch verwacht ($\frac{E'_{\text{kin}}}{E_{\text{kin}}}$ is volledig bepaald door de massa's van de wagentjes).