Freek Pols / ISW 's-Gravenzande en TU Delft

Versnelling langs een helling

Figuur 1. De opstelling met de baan onder een hoek.

Om het ontbinden van vectoren in componenten te oefenen in klas 6 bedacht ik een practicum waarbij we de luchtkussenbaan gebruiken. Onder de luchtkussenbaan plaatsen we een stapel papier waardoor het karretje 'vanzelf' naar beneden glijdt. Met dit practicum worden meerdere doelen gedekt.

Leerlingen in klas 4 vinden het vaak moeilijk om krachten te ontbinden in componenten. In de 6e klas vinden ze dat soms nog steeds lastig en om dit weer op te frissen bedacht ik een practicum waarbij ze zien dat een object op een helling een constante versnelling ondervindt, en dat die versnelling afhankelijk is van de (sinus van de) hellingshoek. Om deze twee doelen met één proef te dekken, zonder dat leerlingen verveeld raken omdat ze teveel metingen moeten verrichten, gebruik ik het delen van metingen met behulp van het digitale schoolbord. Onverwacht blijkt het practicum nog veel meer doelen te dekken.

De proef bestaat uit twee delen, waarbij in het eerste deel de metingen verricht worden. In het tweede deel delen de leerlingen de resultaten en wordt er een klassikale, maar digitale, analyse uitgevoerd.

Deel 1

Onder de luchtkussenbaan zet je een stapel papier zodat de baan onder een kleine hoek komt te staan, zie figuur 1. Een papierstapel van 1,25 cm hoog zorgt bij ons voor een hoek van 0,51 graden ofwel een hellingspercentage van 0,89%. Als je het karretje op de baan plaatst, zal het (bijna) wrijvingsloos naar beneden glijden met een versnelling van $8{,}8 \cdot 10^{-2}$ m/s². Om de versnelling te berekenen, bepaal je bij verschillende afstanden de tijd die het karretje nodig heeft om deze afstand af te leggen. Een tweede optie is om eerst de gemiddelde snelheid uit te rekenen en vervolgens de eindsnelheid van het karretje te berekenen ($v_{gem} \cdot 2$). Gebruik van $\Delta v/\Delta t$ levert de versnelling op. Deze aanpak omzeilt het gebruik van $s = ½ \cdot a \cdot t^2$ zodat de proef ook bruikbaar is in het nieuwe eindexamenprogramma. In het gegeven voorbeeld is de versnelling op 99% nauwkeurig bepaald.

Deel 2

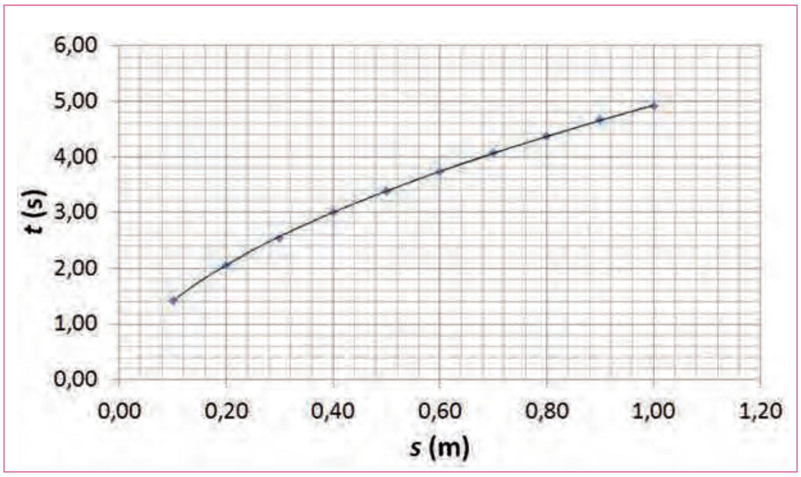
Elk volgend groepje leerlingen voert dezelfde metingen uit maar bij een andere hellingspercentage. Dit levert steeds een set unieke metingen op (er zijn metingen uitgevoerd tot een hellingshoek van 16° waarbij meerdere spanningsbronnen nodig waren om deze hoek te verkrijgen). De leerlingen delen de berekende versnelling van het karretje en bijbehorende hellingshoek op het digitale schoolbord. Zo ontstaat het eerste deel van diagram in figuur 3. De grafiek suggereert een recht evenredig verband tussen de versnelling a en hellingshoek α. Excel geeft een best fit van $a = 0{,}177 \cdot \alpha$. Is dit te verenigen met de verwachting $a = g \cdot \sin(\alpha)$? Wel als we bedenken dat voor hoeken kleiner dan 30° de sinus van de hoek vrijwel gelijk is aan $\alpha \cdot \pi / 180$. De evenredigheidsconstante uit excel komt goed overeen met de waarde $9{,}81 \cdot \pi / 180 = 0{,}171$.

In de discussie kan naar voren komen dat er al twee meetwaarden voor het uitvoeren van de proef bekend zijn: de versnelling bij een hoek van 0° en de versnelling bij een hoek van 90°. Als je dit meeneemt en de trendlijn doortrekt zie je overduidelijk dat er geen recht evenredig verband tussen hoek α en de versnelling bestaat, zie figuur 3.

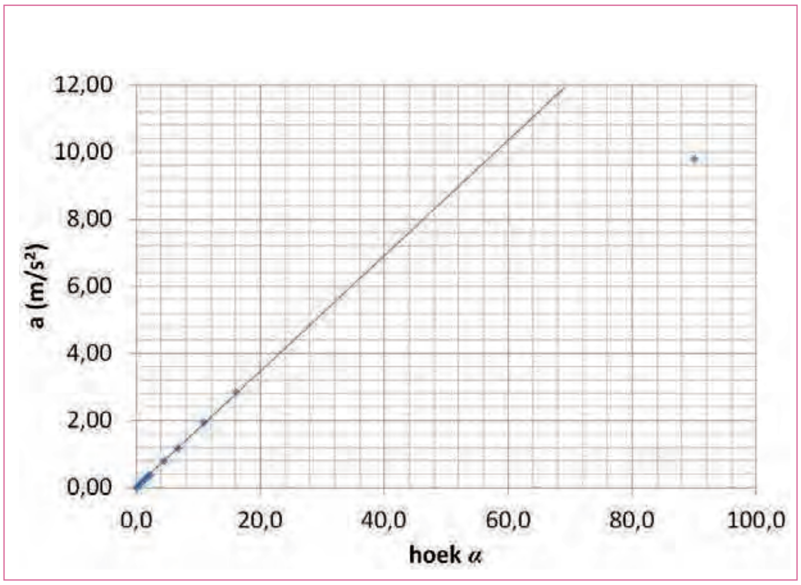
Om aan te tonen dat de versnelling gelijk is aan $g \cdot \sin(\alpha)$, kan de versnelling uitgezet worden tegen de sinus van de hoek, zie figuur 4. Een coördinaattransformatie die niet terugkomt in het eindexamenprogramma maar die met behulp van substitueren en uitleg over het idee van coördinaattransformatie gebruikt kan worden. Ik heb in 6-vwo ervaren dat gebruik van substitueren het voor leerlingen duidelijker maakt wat coördinaattransformatie is en waarom het wordt toegepast. Als de versnelling van het karretje uitgezet is tegen de sinus van de hoek, geeft Excel een mooie rechte lijn met een richtingscoëfficiënt van $9{,}84\ m/s^2$. Dit ligt dicht genoeg bij de valversnelling g om te bewijzen dat er voor de versnelling langs een helling geldt: $a = g \cdot \sin(\alpha)$.

Samengevat

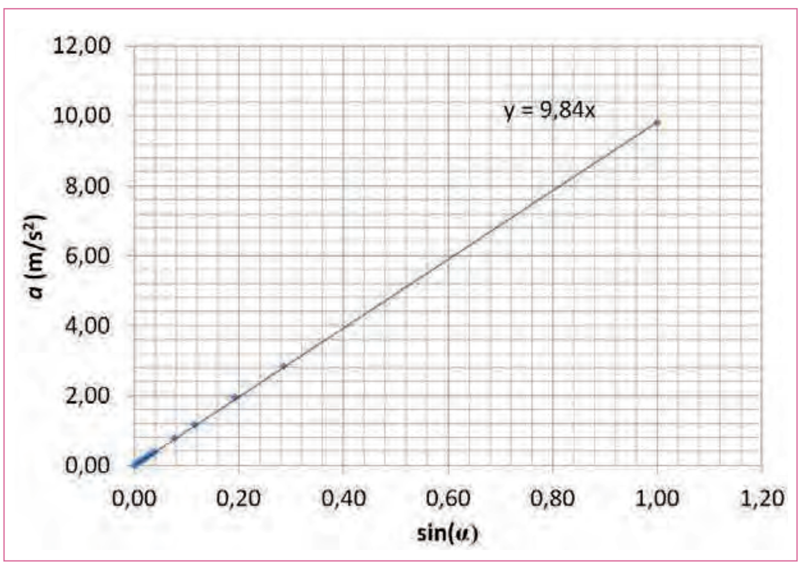
Door groepen leerlingen metingen te laten verrichten bij verschillende hellingshoeken en de resultaten vervolgens te delen, wordt er door de leerlingen kennis verworven over ontbinden van krachten in componenten. De leerlingen leren niet alleen rekenen aan een eenparig versnelde beweging, maar zien ook het gevaar van extrapoleren en oefenen nog een keer met het gebruik van coördinaattransformatie en dit allemaal binnen twee lesuren!



Figuur 2. De resultaten uitgezet in een grafiek.



Figuur 3. Voor kleine hoek ontstaat er een vrijwel recht evenredig verband tussen de hellingshoek en de versnelling.



Figuur 4. Wanneer je versnelling uitzet tegen de sinus van de hoek ontstaat er een recht evenredig verband waarmee je de valversnelling kunt bepalen.