



**Karel Langendonck**

WND-conferentie Noordwijkerhout  
15 en 16 december 2023

## Natuurkunde op volle toeren!

Dat beeld van de tergend langzaam zakkende naald die zich positioneert in de groef waarna, na wat aanvankelijk gekraak, het genot kan beginnen. Misschien herkenbaar? Het uitbrengen van muziek op vinyl en het draaien van platen is weer helemaal van deze tijd. De ouderwetse platenspeler wordt door velen weer uit het stof gehaald en laat dit apparaat nou twee eenvoudige kenmerken hebben: het draait rond en er komt geluid uit. En dat heeft dus alles met natuurkunde te maken.

In “Natuurkunde op volle toeren!” vindt u een aantal toepassingen die een platenspeler zou kunnen hebben in de natuurkundeles. Het is een verzameling van demonstratieproeven, (ideeën voor) practicum en vakdidactische overwegingen. “Natuurkunde op volle toeren!” bestaat uit de volgende hoofdstukken:

1. Baansnelheid en hoeksnelheid
2. Van tweedimensionaal naar ééndimensionaal
3. Water en vuur
4. Uit de bocht
5. Draaijerige telefoon
6. Draaien of zweven?
7. Verplaatsing en afgelegde weg met Fermi
8. 33 rpm – 45 rpm – 78 rpm
9. Draaiende Faraday
10. Platenspeler voor een euro
11. Deeltje in een doosje
12. Losse plaatjes

De doelgroep waarvoor dit materiaal geschreven is, bestaat uit docenten natuurkunde in het voortgezet onderwijs. Het zou inspiratie moeten / kunnen bieden voor een creatieve of alternatieve invulling van het onderwijsaanbod met als doel het aansprekend en leerbaar maken van het mooie vak natuurkunde. Ik wens de lezer veel leesplezier en inspiratie toe!



Karel Langendonck  
december 2023

## Baansnelheid en hoeksnelheid

Waar vind je een apparaat, anders dan een platenspeler, dat met constante hoeksnelheid roteert en waarvan ook nog eens bekend is dat er twee mogelijke snelheden kunnen worden ingesteld: 33 omwentelingen per minuut (33 rpm) en 45 omwentelingen per minuut (45 rpm).

In figuur 1 zijn twee LEGO-steentjes op de draaitafel van een platenspeler gelegd. Het groene blokje bevindt zich op 6,0 cm van het midden en het oranje LEGO-steentje ligt op een afstand van 12,0 cm van het midden. Als de draaitafel in beweging wordt gebracht, is in een oogopslag te zien dat de LEGO-steentjes met een gelijke hoeksnelheid gaan bewegen. Er is echter ook onmiddellijk te zien dat de baansnelheid van het oranje LEGO-steentje groter is dan de baansnelheid van het groene steentje. Laten we daar maar eens wat aan gaan rekenen, waarbij we de platenspeler instellen op 33 rpm.

We starten met het berekenen van de omlooptijd van de draaitafel. Als er 33 omwentelingen per minuut

aan de orde zijn, betekent dit voor de omlooptijd het volgende:  $T = \frac{60}{33} = 1,8$  s.

Nu we de omlooptijd hebben, kunnen we de hoeksnelheid van de LEGO-steentjes berekenen. Dit kan

met behulp van de volgende uitdrukking en levert op:  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1,8} = 3,5$  rad/s

In deze formule staat  $\omega$  voor de hoeksnelheid (in rad/s) en  $T$  voor de omlooptijd (in s). Beide LEGO-steentjes kennen dezelfde omlooptijd en dus ook dezelfde hoeksnelheid. Nu gaan we voor de gegeven situatie uiteraard ook de baansnelheid berekenen en ook dat is niet moeilijk. Voor de baansnelheid geldt respectievelijk:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 0,060}{1,8} = 0,21 \text{ m/s (groen)} \text{ en } v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 0,12}{1,8} = 0,42 \text{ m/s (oranje)}$$

In deze formule staat  $v$  voor de baansnelheid (in m/s),  $r$  voor de straal van de baan van (in dit geval) het LEGO-steentje (in m) en  $T$  nog steeds voor de omlooptijd (in s). De baansnelheid van het oranje blokje is dus twee keer zo groot als de baansnelheid van het groene blokje en dat is natuurlijk logisch. De stralen van de beide steentjes verhouden zich immers met een factor 2. Dit voorbeeld is redelijk eenvoudig, maar kan leerlingen wel razendsnel inzicht geven in de verschillen tussen baansnelheid en hoeksnelheid.



Fig. 1 Twee LEGO-steentjes op een platenspeler

## **Van tweedimensionaal naar ééndimensionaal**

Om maar meteen met de deur in huis te vallen... het experiment dat hier beschreven staat, komt uit de oude doos. In menig oud natuurkundeboek wordt het opgevoerd als gedachtenexperiment, maar het gebruik van een platenspeler brengt ons het in de gelegenheid het daadwerkelijk tot uitvoer te brengen. Het idee is eenvoudig. We plaatsen een voorwerp (hier een houten poppetje) op de draaitafel van een platenspeler en verlichten het geheel met een felle lamp. De schaduw van het voorwerp vangen we op een scherm achter de platenspeler op. De opstelling is te zien in figuur 2.

Als we de speler nu aanzetten, kunnen we de beweging op twee manieren volgen. Vanuit een bovenaanzicht zien we een eenparige cirkelbeweging (tweedimensionaal dus), maar dat wisten we al. Vanuit een vooraanzicht met het oog op de schaduw van het poppetje zien we een trilling ontstaan (ééndimensionaal dus). Met wat verder onderzoek kunnen we er ook nog achter komen dat het hier een harmonische trilling betreft.

In elk geval de uiterste standen van de beweging en de doorgang door de evenwichtsstand zijn goed waar te nemen. Op de andere tijdstippen ligt dat wat lastiger, maar toch is een goed beeld te vormen van de trilling en is inzicht te ontwikkelen in de wijze waarop het voorwerp (hier de schaduw van het poppetje) beweegt in de loop van de tijd. Daarbij is het ook goed zichtbaar hoe de snelheid in de loop van de tijd verandert. Snel is op te merken dat de snelheid van de schaduw in de uiterste standen links en rechts een moment gelijk is aan  $0 \text{ m/s}$  en omkeert van richting. Ook het feit dat de snelheid maximaal is als de schaduw door de evenwichtsstand beweegt, is in een oogopslag te zien. Het geheel vervolgens formaliseren met behulp van de bekende grafieken voor een trilling waarin de uitwijking en de snelheid staan uitgezet tegen de tijd is een volgende stap. Ook de versnelling kan eventueel mee worden genomen.

Menig leerling zal mogelijk wel opmerken dat de schaduw van grootte verandert in de loop van de beweging en dat is natuurlijk goed opgemerkt. Je hebt nu twee mogelijkheden: je maakt de leerlingen duidelijk dat dit aspect hier genegeerd mag worden of je laat hen de schaduwgrootte berekenen of bepalen. Het blijft immers een model van oorspronkelijk een gedachtenexperiment.

Tot slot nog een uitdaging! Plaats een slinger boven de draaitafel en laat deze exact in fase slingeren met de schaduw van het poppetje op de draaitafel. Of beter nog, laat de leerlingen dit doen.



**Fig. 2** De schaduw van een eenparig draaiend voorwerp

## Water en vuur

Het fraaie van een platenspeler is dat deze heel stabiel rond kan draaien en van deze beweging kan, natuurkundig gezien, natuurlijk volop gebruik gemaakt worden. Het is mogelijk om voorwerpen op de draaitafel te plaatsen, waarbij het bij de hier beschreven voorbeelden wel essentieel is de voorwerpen goed vast te plakken.

Laten we beginnen met het plaatsen van een kaarsje op de draaitafel zoals te zien is in figuur 3 (de draaitafel draait hier niet). Als we het kaarsje aansteken en we zetten de platenspeler in werking zal het vlammetje een bepaalde stand in gaan nemen. Als je goed kijkt, blijkt dat de stand van het vlammetje steeds precies gericht is in de tegengestelde richting van de baansnelheid van het kaarsje / het vlammetje. Met de luchtstroom die langs het vlammetje “waait”, is dat ook prima te verklaren. Het beste resultaat wordt dan ook bereikt als er verder niet al teveel luchtstroming rond de platenspeler is (niet meezingen dus) en hiermee is een heel eenvoudig experiment ontstaan om de richting van de baansnelheid inzichtelijk te maken. Een alternatief zou kunnen zijn om aan een voorwerp een (ultralicht) slingertje te bevestigen en dit voorwerp dan rond te laten draaien.

Na vuur komt water, dus laten we eens onderzoeken wat er gebeurt als we een bakje water op de draaitafel plaatsen en het geheel in werking zetten. Daarbij is het aan te bevelen een doorzichtig bakje te nemen, zoals in figuur 4 gedaan is, want dan kan het best geobserveerd worden hoe het water zich in



**Fig. 3** Vuur en een platenspeler



**Fig. 4** Water en een platenspeler

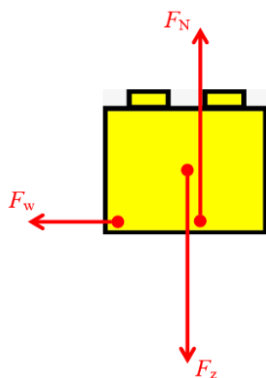
de draaiende beweging gedraagt. Bij dit experiment is het uitermate belangrijk dat het bakje goed vastgeplakt zit aan de draaitafel en er slechts een klein laagje water in zit. Water en een platenspeler vormen immers geen goede combinatie.

De leerlingen eerst laten voorspellen wat er te zien zal zijn, is zeer aan te bevelen. Waarschijnlijk komen ze dan zelfs met de een voorspelling in bewoordingen als “het water wordt naar buiten gedrukt” en mogelijk zelfs “de middelpuntvliedende kracht”, helaas foutieve verklaringen. Vervolgens kan er een gesprek ontstaan om op zoek te gaan naar de fysisch correcte verklaring. Deze kan gevonden worden in de middelpuntzoekende kracht en/of in het principe van traagheid. Dat is een kwestie van smaak!

## Uit de bocht

Op de foto van figuur 5 is te zien dat er twee blokjes (hier LEGO-steentjes) op de draaitafel van een platenspeler gelegd zijn. Als we de platenspeler aanzetten is er een kracht nodig om de LEGO-steentjes in de cirkelbaan te houden. Deze kracht is de wrijvingskracht tussen het steentje en het oppervlak van de draaitafel. Deze wrijvingskracht levert in dit geval de middelpuntzoekende kracht en daar kunnen we mooi aan rekenen.

Op het LEGO-steentje werken een drietal krachten: de zwaartekracht  $F_z$ , de normaalkracht  $F_N$  en een wrijvingskracht  $F_w$ . In figuur 6 zijn deze krachten getekend. De wrijvingskracht is in deze situatie de kracht die naar het middelpunt van de cirkel wijst en dus is



**Fig. 6** Krachtwerking op het draaiende LEGO-steentje



**Fig. 5** Twee LEGO-steentjes op een platenspeler

het deze kracht die de middelpuntzoekende kracht levert. Ook in formulevorm kan dit worden weergegeven. Dit levert het volgende op:

$$F_w = F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$$

In deze uitdrukking staat  $F_w$  voor de wrijvingskracht (in N),  $F_{mpz}$  voor de middelpuntzoekende kracht (in N),  $m$  voor de massa van het draaiende voorwerp (in kg),  $v$  voor de baansnelheid van het voorwerp (in m/s) en  $r$  voor straal van de cirkelbaan en dat is in dit geval de afstand van het middelpunt tot het (middelpunt van) het LEGO-steentje (in m). Met deze uitdrukking kan de wrijvingskracht op het LEGO-steentje dus berekend worden, want de massa van het steentje, de baansnelheid en de straal van de cirkelbaan zijn bekend of eenvoudig te bepalen.

Hiermee ontstaat een fraai experiment om eens uit te proberen. Plaats een voorwerp in eerste instantie redelijk dicht bij het middelpunt van de platenspeler en zet de speler aan. Het steentje zal uiteraard in een cirkelbeweging komen, maar zal wel op de draaitafel blijven liggen. In een volgende stap kan de afstand van het voorwerp tot het middelpunt van de draaitafel wat vergroot worden en kan weer bepaald worden of het voorwerp al dan niet van de draaiende plaat af geslingerd zal worden. Het is zaak dit net zo lang te herhalen tot het moment dat het voorwerp wel loskomt en dus “uit de bocht” vliegt. Op die plek wordt de maximale waarde van de statische wrijvingskracht bereikt.

## Draaierige telefoon

In een mobiele telefoon zijn tal van sensoren opgenomen. Met een van deze sensoren kan de telefoon geschikt worden gemaakt als versnellings-sensor, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de app Phyphox. Deze app kan de versnelling meten in drie, loodrecht op elkaar staande, richtingen ( $x$ ,  $y$  en  $z$ ). Ook de totaal waargenomen versnelling kan door de app berekend worden en is hier het interessantst. Als de telefoon op de draaitafel van een platenspeler wordt geplaatst zoals in figuur 7, zal deze een eenparige cirkelbeweging uitvoeren met een bekend toerental (33, 45 of eventueel 78 rpm). De versnelling die door de sensor wordt waargenomen is daarbij de middelpuntzoekende versnelling. Deze kan berekend worden met behulp van de volgende

$$\text{formule: } a_{\text{mpz}} = \frac{v^2}{r}$$

In deze formule staat  $a_{\text{mpz}}$  voor de middelpuntzoekende versnelling (in  $\text{m/s}^2$ ),  $v$  voor de baansnelheid van de sensor in de mobiele telefoon (in  $\text{m/s}$ ) en  $r$  voor de afstand van de sensor tot het middelpunt van de cirkelbaan (in m). Probleem in dit experiment is daarbij wel dat de positie van de versnellingssensor in de telefoon niet goed bekend is. Een resultaat van een meting is weergegeven in figuur 8, waarbij halverwege het experiment de draaifrequentie van de platenspeler verhoogd is van 33 rpm naar 45 rpm.

Bij het verhogen van het toerental van de platenspeler zal ook de baansnelheid met dezelfde factor toenemen. Volgens de formule neemt de middelpuntzoekende versnelling dan toe met het kwadraat van de

verhouding tussen de baansnelheden en deze is:  $\left(\frac{45}{33}\right)^2 = 1,86$  en dat

komt heel aardig overeen met de meetresultaten in figuur 8. Met deze proef kan dus inzicht ontwikkeld worden in de middelpuntzoekende versnelling en de daarin aan de orde zijnde verbanden.



Fig. 7 Telefoon op draaitafel

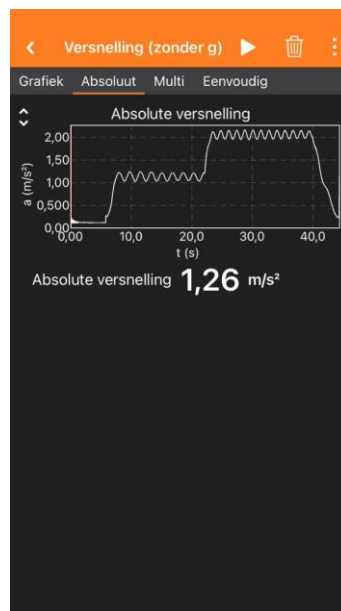


Fig. 8 Versnelling met Phyphox

## Draaien of zweven?

Op elke kermis en in elk pretpark is wel een zweefmolen te vinden. In een zweefmolen draai je rond, hangend aan kabels. Nu is het zo dat onze geliefde platenspeler ook rond draait, alleen hangen er geen kabels aan. Kijk eens naar de opstelling van figuur 9. Ik bouwde een mini-zweefmolen op de draaitafel van een platenspeler.

De platenspeler kan op drie standen (nog steeds 33, 45 en 78 rpm) draaien en dat geeft tevens drie standen te zien van het koordje dat aan de zweefmolen bevestigd is. Het gevoel zegt dit al, maar het is de formele natuurkunde die het ook nog eens bevestigt. Laten we daartoe eens naar de krachten kijken die op het zwevende voorwerp werken. Zie figuur 10 voor de werkende krachten op het voorwerp. Dat zijn er twee: de zwaartekracht en de spankracht. Deze spankracht kan ontbonden worden in een verticale component en een horizontale component. De verticale component van de spankracht is gelijk aan de

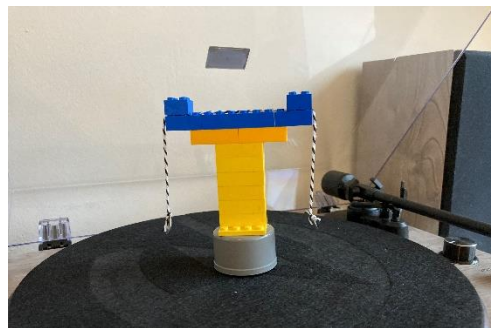


Fig. 9 Een zweefmolen op een draaitafel

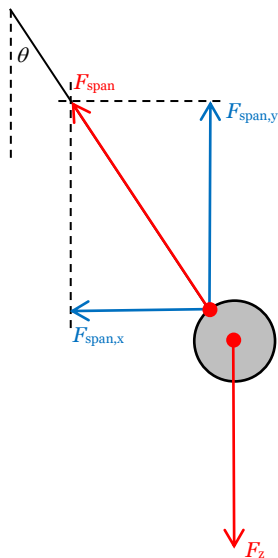


Fig. 10 Krachtwerking in een zweefmolen

zwaartekracht die op het draaiende voorwerp werkt. Er geldt:

$$F_{span,y} = F_z = mg$$

Met wat eenvoudige goniometrie kan vervolgens de horizontale component van de spankracht berekend worden. Daarvoor geldt:  $F_{span,x} = F_{span,y} \cdot \tan \theta = mg \tan \theta$

Het is de horizontale component van de spankracht die in deze situatie de middelpuntzoekende kracht levert. Er geldt dus:

$$F_{span,x} = F_{mpz}$$

$$mg \tan \theta = \frac{mv^2}{r} \quad \rightarrow \quad \tan \theta = \frac{v^2}{rg}$$

In deze uitdrukking staat  $\theta$  voor de hoek tussen het koordje en de verticaal (in  $^\circ$ ),  $v$  voor de baansnelheid (in m/s),  $r$  voor de straal van de baan (in m) en  $g$  voor de valversnelling (9,81 m/s<sup>2</sup>). Belangrijker is echter dat de uitdrukking laat zien dat er een verband bestaat tussen de stand van het koord en de snelheid en dat maakt het experiment erg geschikt voor een kwalitatieve benadering. Een meer kwantitatieve benadering kan echter ook.

## Verplaatsing en afgelegde weg met Fermi

Kunnen rekenen en schatten is een essentiële vaardigheid voor leerlingen als zij aan de slag gaan in de natuurkunde. En laten we eerlijk zijn, de rekenvaardigheid van de leerlingen laat vaak behoorlijk te wensen over en het schatten van een bepaalde grootte is nogal eens teveel gevraagd. Dit kan hen flink belemmeren in het leren van het vak natuurkunde. Het is daarom aan te bevelen in de lessen regelmatig aandacht te besteden aan rekenvaardigheid en/of het vermogen waarden te kunnen schatten. Fermi-problemen kunnen daartoe een fraaie gelegenheid bieden.

In een Fermi-probleem (zie figuur 11) wordt een bepaald probleem voorgesteld en is de uitkomst veelal een concrete getalwaarde. Op weg naar de uitkomst dient vaak een aantal schattingen en/of aannamen te worden gedaan. Het doel daarbij is niet te komen tot een exacte uitkomst, maar tot een waarde die in grootte orde het juiste antwoord heel aardig benadert.

Laten we eens een voorbeeld bekijken met de vraag: “Hoe groot is de omtrek van de aarde?”, zie figuur 12 (net als onze geliefde platenspeler draait ook de aarde rond, dus met dit voorbeeld kom ik hier wel weg). Al redenerend kunnen we dit probleem oplossen. We nemen daartoe de afstand van New York naar Los Angeles.

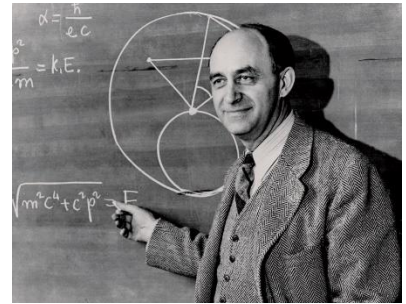


Fig. 11 Enrico Fermi



Fig. 12 De omtrek van de aarde

Deze twee steden liggen op een afstand van 4800 km van elkaar. Als je van New York naar Los Angeles (of omgekeerd) vliegt, passeer je 3 tijdzones. De afstand die je aflegt over één tijdzone is dus 1600 km. Als we denkbeeldig een rondje rond de aarde vliegen passeren we 24 tijdzones. Er zitten immers 24 uur in een etmaal. Elke tijdzone kende een afstand van 1600 km, dus een volledige ronde komt overeen met een afstand van 38.400 km. Als we er dan een tabellenboek op naslaan, vinden we daar een omtrek van de aarde van 40.075 km en dan kunnen we alleen maar de conclusie trekken dat we akelig dicht in de buurt komen.

En dan nu een Fermi-probleem waarbij we wat dichter bij de platenspeler blijven en waarbij we ook nog eens inzicht kunnen krijgen in de relatieve beweging van de naald ten opzichte van de plaat. De plaat draait immers onder de naald door en daarmee legt de naald een bepaalde afstand af over de plaat. Welke afstand dit precies is, is nog niet zo eenvoudig te bepalen. De verplaatsing van de naald ten opzichte van de plaat gedurende het afspelen is wel wat sneller in te zien. De vraag is dus: Wat is de verplaatsing en de afgelegde weg van de naald ten opzichte van de plaat gedurende het afspelen?

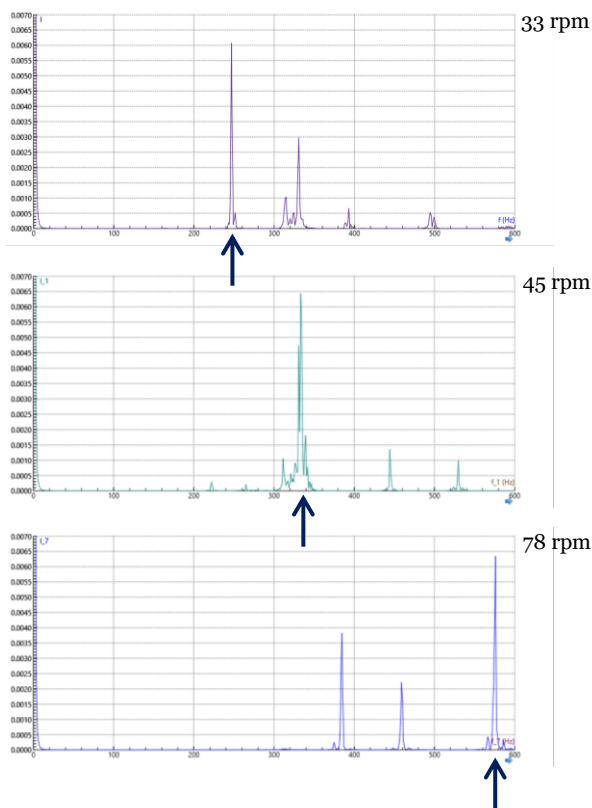
## 33 rpm – 45 rpm – 78 rpm

Het fraaie van platenspelers is dat de omloopfrequentie waarmee de draaitafel wordt rond gedraaid is vastgelegd. De standaardfrequenties zijn 33 rpm (omwentelingen per minuut) en 45 rpm, maar er zijn ook platenspelers die de stokoude frequentie van 78 rpm ter beschikking hebben. Op een omloopfrequentie van 33 rpm worden langspeelplaten gedraaid en voor singles gebruikt men 45 rpm.

Daarbij overkomt het elke vinylleefhebber weleens dat een single op een te lage omloopfrequentie wordt gedraaid of een langspeelplaat juist op een te hoge frequentie. De muziek klinkt dan niet volgens verwachting en na de blinde paniek dat er iets met de plaat aan de hand is, daalt veelal snel het besef in dat de omloopfrequentie verandert dient te worden om wel de muziek zoals door de muzikant beoogd te kunnen beluisteren.

Bij het draaien van een single op 33 rpm klinkt het geluid lager en is het ritme trager, terwijl bij het draaien van een langspeelplaat op 45 rpm het geluid juist hoger en gehaast klinkt. Laten we dat eens vastleggen met een meting.

In figuur 13 is het frequentiespectrum weergegeven van de eerste seconden van het nummer “Nescio” van de band Nits. Dit nummer begint met een wat langere toon en is daarom voor de bepaling van een frequentiespectrum erg geschikt. In het bovenste spectrum werd het nummer gedraaid op 33 rpm, in het middelste spectrum op 45 rpm (hier de juiste omloopfrequentie) en in het onderste spectrum op 78 rpm. De verwachting is dat de grondtoon, hier gedefinieerd als de sterkst voorkomende frequentie en aangegeven met een pijl, bij 33 rpm met een factor  $45/33$  verlaagd zal zijn. Een blik op de figuur (desnoods zonder het daadwerkelijk aflezen van de aan de orde zijnde frequenties) leert dat dit vrij aardig klopt. Ook bij een omloopfrequentie van 78 rpm lijkt de verhouding van  $78/45$  heel aardig te kloppen. Volgende keer maar meteen de juiste omloopfrequentie kiezen!



**Fig. 13** Het nummer “Nescio” (Nits) op 33, 45 en 78 rpm

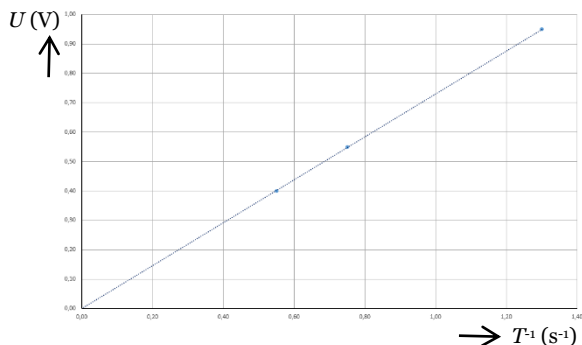
## Draaiende Faraday



**Fig. 14** Platenspeler, magneet en spoel

ontstaat in de spoel de bekende piek geeft bij het naderen van de magneet en een tegengestelde piek als de magneet weer van de spoel af beweegt. Er is ook mooi te zien dat de tijdsduur van de passage afneemt bij toenemend toerental van de platenspeler en dat is natuurlijk logisch. Ook is te zien dat de pieken hoger worden als de passage van de magneet (en dus de optredende fluxverandering) sneller verloopt. Ook dat is geen verrassend resultaat en volledig zoals voorspelt wordt door de inductiewet van Faraday.

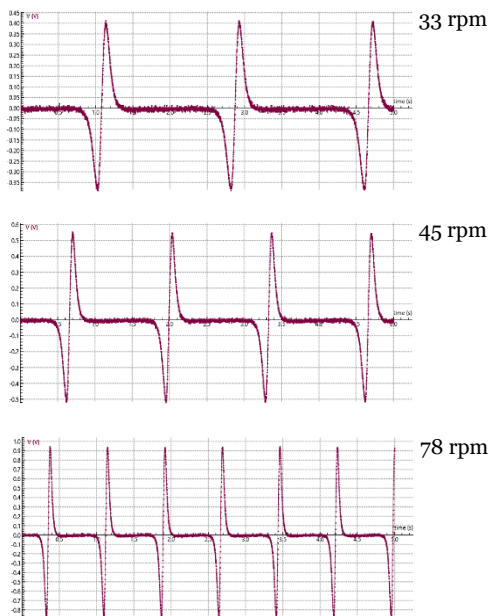
Als we nu de maximale waarde voor de inductiespanning uitzetten tegen de omloopfrequentie van de platenspeler



**Fig. 16** Inductiespanning tegen omloopfrequentie

Bij al een flink aantal experimenten hebben we gebruik gemaakt van het feit dat een platenspeler rond draait en dat gaan we nu ook weer doen. Op de draaitafel leggen we een magneet en naast de platenspeler positioneren we een spoel, zoals ook te zien is in figuur 14. Elke keer als de magneet de spoel passeert, genereert deze een inductiespanning en deze kan gemeten worden. Als functie van de tijd. De resultaten bij de drie bekende draaisnelheden van de platenspeler zijn te zien in figuur 15.

In de grafieken is mooi te zien dat de inductiespanning die



**Fig. 15** Meetresultaten inductie platenspeler

ontstaat de grafiek van figuur 16. Het feit dat hier een recht evenredig verband optreedt, is geen verrassing, want de wet van Faraday stelt dat het verband tussen de inductiespanning en de tijd omgekeerd evenredig is. Bij een reciproke waarde geeft dat dus een recht evenredig verband te zien.

## Platenspeler voor een euro

Om maar meteen met de deur in huis te vallen, bovenstaande titel is wat misleidend, want om die hier beschreven platenspeler te maken, is wel ook een andere platenspeler nodig.

De werking is echter eenvoudig en berust op het principe van resonantie. Dit verschijnsel spreekt voor veel leerlingen tot de verbeelding, maar is niet voor iedereen even makkelijk te doorgronden. Kort omschreven betreft het altijd situaties waarin het ene voorwerp mee gaat trillen met het andere voorwerp en daarvan zijn talloze voorbeelden te bedenken.

De naald van een platenspeler volgt het spoor in de groef van de plaat en trilt dus als het ware mee met hetgeen er op de plaat geperst is. In een platenspeler wordt de trilling van de naald omgezet in een elektrisch signaal, maar dat moet ook veel eenvoudiger kunnen. Door de naald te verbinden met een object dat mee kan trillen en dus in resonantie met de naald kan komen, kunnen we onze eigen platenspeler creëren. Zie voor een voorbeeld van een mogelijke aanpak figuur 17.



Fig. 17 Platenspeler voor een euro



Fig. 18 Grammofoon

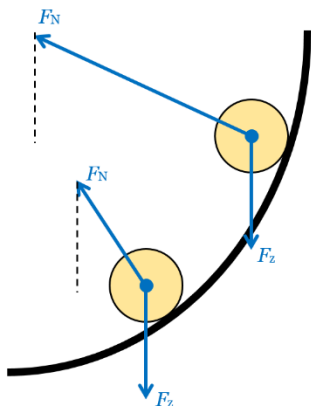
Deze huis-, tuin- en keukenplatenspeler is gemaakt van een stuk karton dat in de vorm van een conus is gevormd. Het gebruik van een kartonnen feesthoedje werkt ook erg goed en scheelt (toch best lastig) vouwwerk. Door het spitse uiteinde van de conus wordt een naald geprikt, waarbij het in het kader van stevigheid aan te bevelen is deze vast te lijmen aan de binnenzijde van de conus. De naald kan vervolgens in de groef van een draaiende plaat geplaatst worden en wees eerlijk dan ontstaat toch een beetje het beeld van een ouderwetse grammofoon, zoals te zien in figuur 18. Daarbij is het wel de uitdaging om de juiste druk te vinden die met de naald moet worden uitgeoefend op de plaat. Een te kleine druk geeft niet het beoogde effect en een te grote druk vertraagd en bekrast de plaat. Dat laatste aspect vormt tevens een waarschuwing. Het gebruik van duur vinyl bij dit experiment is zeer af te raden en zelfs, volgens elke vinyl liefhebber, ten strengste verboden!

## Deeltje in een doosje

Over het hier beschreven experiment moet ik bekennen dat het helaas mislukt is. Toch vind ik het de moeite waard het te beschrijven want ik daag de lezer uit er zelf mee aan de slag te gaan. In dit experiment wordt een paraboolvormige schaal op de platenspeler geplaatst, zoals te zien is in figuur 19. In de schaal ligt een balletje. Als de platenspeler wordt ingeschakeld en de schaal dus gaat roteren, zou het balletje een positie op moeten zoeken ergens langs de rand van de schaal. Bij een hogere draaisnelheid van de platenspeler zou deze positie hoger moeten liggen, omdat de baan waarop het balletje ligt daar steiler is.



**Fig. 19** Een schaal op een platenspeler



**Fig. 20** Krachtwerking op de bal

Dit kunnen we begrijpen door naar figuur 20 te kijken. Bij een steilere helling kan de normaalkracht een grotere middelpuntzoekende kracht leveren en deze is ook nodig bij een grotere baansnelheid. De positie van de bal in de schaal hangt daarmee af van draaisnelheid. Onze platenspeler kan roteren op drie verschillende snelheden en dat zou dus ook drie verschillende posities op moeten leveren. Mooie proef toch!? Helaas is de werkelijkheid weerbarstiger, want de draaisnelheid van de platenspeler is te klein om het balletje in positie te brengen. Ook het aanbrengen van bijvoorbeeld een soort gootje waarin het balletje op en neer kon bewegen gaf geen soelaas. Toch geven we niet op! Als dat balletje harder moet, dan gaat het harder. In een tweede versie van de proef plaatste ik de schaal met het balletje op een met de hand te draaien platform (gekocht bij Ikea voor een tientje) zoals te zien in

figuur 21. En wat schetst mijn verbazing!? Het werkt (enigszins)! Met die kanttekening dat het verkrijgen van een constante draaisnelheid schier onmogelijk is. Maar toch is er een proef ontstaan waarbij een voorwerp een andere positie inneemt bij een andere energie. Dat lijkt een (heel klein) beetje op een “deeltje in een doosje” dat we kennen uit de kwantummechanica, met dat belangrijke verschil dat de energie van het “doosje” nu variabel is en het “deeltje” zich daarop aanpast. Let er dus wel op dat het een model is (maar niet voor fysisch puristen)!



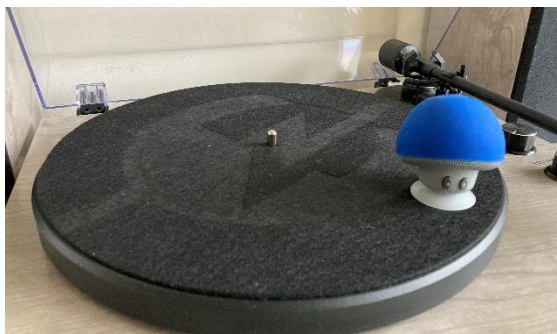
**Fig. 21** Een schaal op een draaitafel

## Losse plaatjes

Aan het einde van een project wil men het nog weleens over “losse eindjes” hebben, maar in het kader van het thema “Natuurkunde op volle toeren!” leek me het aardiger het “losse plaatjes” te noemen. Dus zie hier! In de voorgaande delen hebben we het vooral gehad over het draaien van een platenspeler en welke experimenten daarmee zoal mogelijk zijn. Op een platenspeler is echter ook een zogenaamde toonarm bevestigd. Aan het uiteinde hiervan, is de naald vastgemaakt die de trilling van de plaat volgt. Om een echt goede geluidskwaliteit te krijgen, dient de naald de plaat net te raken. Als er geen contact is tussen de naald en de plaat is er immers ook geen geluid. Als de naald te zwaar op de plaat leunt, ontstaat er ook geen optimaal geluid en is de kans op beschadiging aan de plaat aanzienlijk. De positionering van de naald op de plaat komt dus erg nauw. Om die reden is er bij wat duurdere platenspelers een contragewicht bevestigd aan het achterste uiteinde van de toonarm. Op de foto van figuur 22 is een dergelijke toonarm te zien. Niet elke plaat is immers even dik en zo kan per plaat de meest optimale instelling opgezocht worden (wat vaak nog een heel gedoe is). Het contragewicht kan iets naar voren of naar achteren verplaatst worden en volgens de hefboomwet verandert hiermee ook de kracht die de plaat uitoefent op de naald (en dus ook de kracht die de naald uitoefent op de plaat). Dit is toch wel een fraai stukje natuurkunde.



**Fig. 22** De toonarm van een platenspeler met contragewicht



**Fig. 23** Bluetooth luidspreker op draaitafel

En nu gaan we weer rondjes draaien! We hebben al van alles op de draaitafel van de platenspeler gelegd, van blokjes naar magneten en van bakjes water naar kaarsjes, dus daar kan nog wel wat bij. Plaats maar eens een bluetooth luidspreker op de draaitafel, zoals te zien is in figuur 23 (let weer op het goed vastplakken). Via een app, bijvoorbeeld Phyphox, kan een toon met een constante frequentie door de luidspreker geproduceerd worden. Nu zetten we de platenspeler aan en laten we de luidspreker rondjes draaien. En wat is er nu waar te nemen? Juist, het dopplereffect!

