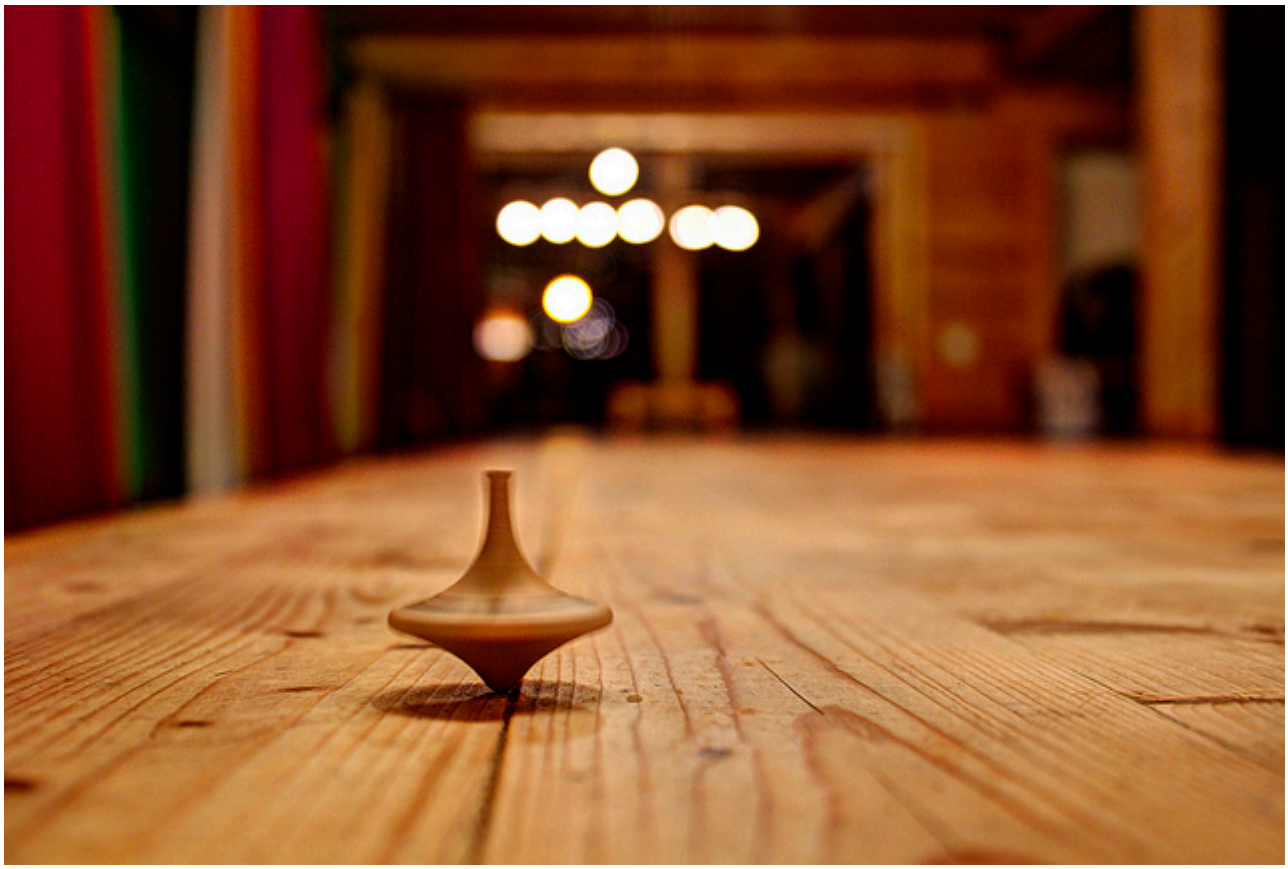
Tollen zijn geen kinderspel

Wie vaker over natuurkunde leest, in de krant of op het internet, kan de indruk krijgen dat de interessante problemen in de natuurkunde allemaal met relativiteitstheorie en quantummechanica te maken hebben. Deze onderwerpen zijn natuurlijk fascinerend, maar het is absoluut niet zo dat er in de rest van de natuurkunde niets interessants te beleven valt. Sterker nog: zelfs in eeuwenoude onderwerpen, zoals klassieke mechanica, zijn veel ingewikkelde en op het eerste gezicht verbazingwekkende verschijnselen te ontdekken.



Afbeelding 1. Een ronddraaiende tol.Foto: Pierre Réveillé.

In dit stuk nemen we één zo'n verschijnsel onder de loep: een ronddraaiende tol. Dat klinkt misschien weinig spectaculair, maar het beschrijven van de beweging van een draaiende tol

is misschien wel een van de moeilijkste problemen in de ‘ouderwetse’ natuurkunde zoals die aan het begin van de twintigste eeuw bekend was. Zoals James Clerck Maxwell in 1857 schreef:

> Voor hen die de voortgang van de exacte wetenschap volgen is een draaiende tol een symbool van het werk en de verwondering van hen die met succes de doolhoven van de planeetbanen doorkruist hebben. In hun zoektocht naar waardige problemen vonden de moderne wiskundigen in het speelgoed uit hun jeugd een flinke uitdaging voor hun grootste wiskundige vaardigheden.

Maar waarom is dit probleem zo ingewikkeld? Om dit te begrijpen is het handig om de beweging van een draaiende tol tol te vergelijken met een andere beweging, zoals het traject dat een kogel aflegt als die uit een kanon geschoten wordt. Op zo’n kanonskogel werkt tijdens zijn vlucht, als we de luchtwrijving verwaarlozen, maar één kracht: de zwaartekracht. Die kracht is altijd even groot en werkt altijd in dezelfde richting: de kanonskogel wordt naar beneden getrokken, naar de aarde toe. Wiskundig betekent dat dat je, om de baan van een kanonskogel te bepalen,maar één enkele vergelijking hoeft op te lossen. Alle mogelijke banen die de kogel kan afleggen hebben als gevolg daarvan ook sterke overeenkomsten.

Iedereen die wel eens met een tol heeft gespeeld, weet echter dat de situatie daar heel anders is. Lang niet alle bewegingen zijn hetzelfde: als je de tol op de juiste manier aan het draaien brengt, kan hij lange tijd bijna helemaal ‘stilstaan’, maar als je net iets te veel of te weinig kracht geeft, of net de verkeerde richting op draait, gaat de tol alle kanten op. De beweging hangt dus heel sterk af van de richting en de grootte van de kracht waarmee de tol aangezwengeld wordt. Vervolgens zijn de vergelijkingen die opgelost moeten worden ook nog eens een stuk ingewikkelder. Er is nu meer dan één kracht in het spel: de draaiing van de tol kan tegen de zwaartekracht in werken om de tol rechtop te houden.

Het feit dat de krachten die werken op draaiende objecten, zoals een tol, ingewikkelder zijn dan die van objecten die in een rechte lijn bewegen, maakt dat het soms moeilijk is om puur op intuïtie te voorspellen hoe zo’n draaibeweging eruit gaat zien. Krachten zijn altijd *vectoren*, wat betekent dat ze een bepaalde grootte en een bepaalde richting hebben. Voor rechtlijnige bewegingen is het effect van de richting van een kracht vaak redelijk duidelijk –

de beweging zal eenvoudigweg in die richting afgebogen of versneld worden – maar voor een draaiend object kan dit een stuk ingewikkelder zijn. Mede om die reden bedacht Maxwells land- en tijdgenoot Oliver Heaviside een manier om over het ‘product’ van twee vectoren na te denken. Kijk maar eens naar het volgende filmpje, waar dit product een belangrijke rol speelt in een heel bijzondere beweging van een fietswiel:

De wisselwerking tussen krachten en draairichting is wat de beweging van een tol zo moeilijk te beschrijven maakt. Een nog vreemder effect van de subtiele werking van krachten op draaiende objecten is bijvoorbeeld het “tennisracketeffect”, waar Mirte van der Eyden in dit stuk over schreef.

Je ziet: je hoeft lang niet altijd met quantummechanica of relativiteitstheorie aan de slag te gaan om ingewikkelde en verrassende natuurkundige verschijnselen tegen te komen!