

Een 8 voor vliegen

HOE DE LIBEL IN DE LUCHT BLIJFT

Een libel vliegt, maar hoe? Jarenlang hebben natuurkundigen zich er het hoofd over gebroken, maar nu is er een verklaring. De vleugels van de libel bewegen op en neer én draaien rond.

Rob van den Berg

IK WAS ERG verbaasd toen ik hoorde dat insecten als hommels en libellen volgens de wetten van de aerodynamica helemaal niet zouden kunnen vliegen. Dat wetenschappelijke broodje-aap verhaal dat al meer dan vijftig jaar oud is, heeft me altijd dwars gezeten, vandaar dat ik me voorgenomen had om het te ontzenuwen."

Jane Wang, assistant professor in de toegepaste wiskunde aan Cornell University, houdt zich bezig met modelberekeningen aan stromende vloeistoffen en gassen. Het 'hommelprobleem' had tot nu toe iedereen afschrikt, omdat het zo ingewikkeld is. Wang: "Lucht die langs een vliegtuigvleugel stroomt, is betrekkelijk stabiel. Achter het vliegtuig ontstaan weliswaar wervelingen, maar daar heeft het vliegtuig geen last van. Insecten daarentegen vliegen in een zee van wervelingen die ze zelf opwekken en die ze nodig hebben om in de lucht te blijven. Zeker wanneer ze in de lucht stilstaan."

Daar komt nog bij dat insecten zo klein zijn dat ze veel last hebben van de viscositeit (stropigheid) van de lucht: vliegen wordt dan iets als zwemmen in een bak met stroop.

Toch kan iedereen met zijn eigen ogen zien dat hommels geen enkel probleem hebben om in de lucht te blijven. En geen natuurkundige die betwijfelt dat de wetten die stromingen beschrijven (de Navier-Stokesvergelijkingen) ook opgaan voor de luchtstroming rond de vleugel van een insect. Maar het is razend ingewikkeld om met behulp van de computer die instabiele stroming rond een bewegende vleugel te berekenen. In haar lezing tijdens een conferentie van de American Physical Society in Minneapolis vertelt Wang dat de laatste jaren niettemin veel meer duidelijkheid is ontstaan over de precieze aard van de wervelingen rond de vleugels.

Dat is te danken aan experimenten met schaalmodellen. Door de insecten (of alleen de vleugels) in het groot na te bouwen en in een windtunnel de vlieg-beweging zo nauwkeurig mogelijk na te bootsen, kan met behulp van rook de stromende lucht worden afgebeeld. Wang: "De grote uitdaging voor theoretici was te modelleren hoe dergelijke wervelingen worden opgewekt en vooral hoe ze het insect in de lucht houden." Experimenten met een mechanische vleugel van een fruitvliegje gaven haar vorig jaar een belangrijke aanwijzing. Ze brachten aan het licht dat er nooit voldoende lift kan worden verkregen wanneer de vleugels alleen maar op en neer te bewegen. Essentieel was

dat tegelijkertijd een draaiing om de lengte-as werd uitgevoerd, zodanig dat het uiteinde ervan de vorm van het getal 8 beschrijft.

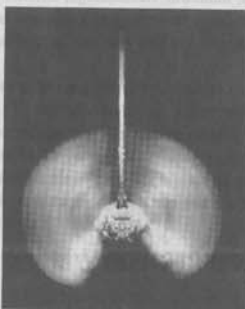
De beweging mocht dan min of meer vaststaan, daarmee was lang niet duidelijk hoe de luchtstroming kon worden berekend. Om het probleem hanterbaar te houden, ging Wang uit van een tweedimensionaal vleugelmodel – een doorsnede dus. Al haar collega's hadden die stap niet willen zetten: algemeen werd aangenomen dat een vleugel in twee dimensies sowieso nooit in de lucht zou kunnen blijven. Maar Wang zag dat alleen met haar aanpak de rekenkundige technieken vielen te testen die nodig waren om de complexe stromingspatronen te kunnen beschrijven. Uitbreiding naar drie dimensies kon altijd later nog. Bij zo'n simulatie moet er rekening worden gehouden met twee effecten. Allereerst oefent stromende lucht een kracht uit, omdat de 'luchtdeeltjes' een snelheid hebben. Daarnaast zijn er wrijvingskrachten omdat luchtdeeltjes met verschillende snelheden langs elkaar heen bewegen.

INSECTEN VLIEGEN

IN EEN ZEE VAN

WERVELINGEN DIE ZE

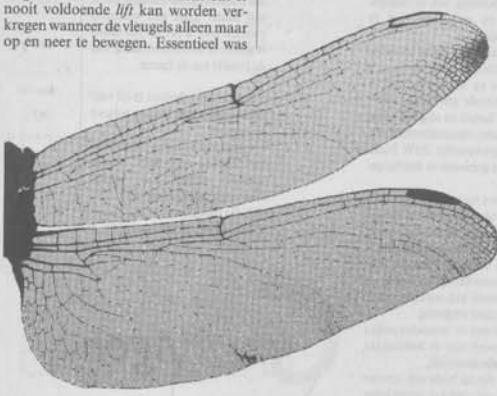
ZELF OPWEKKEN



Geheel boven Vrouwje van de watersnuffel (*Enallagma cyathigerum*)

Boven Opname van de vleugelslag van een fruitvlieg

Onder Uitgespreide vleugels van een libelle



Om de vergelijkingen die beide effecten beschrijven op te lossen, paste Wang een paar slimme rekentruc toe. Daarna moest er nog honderden uren gerekend worden op een supercomputer.

Allereerst testte Wang haar model in een eenvoudige situatie: een bewegende cilinder. Toen dat resultaten gaf die goed met de werkelijkheid overeen kwamen, ging ze een stap verder. Wang: "Al bij de eerste uitkomsten werd me duidelijk dat ik op de goede weg was. De beweging in de vorm van een acht bleek voor het insect cruciaal om in de lucht te blijven. Door de neergaande beweging worden er aan de uiteinden twee tegen elkaar indraaiende wervelingen opgewekt. Zo'n werveling is essentieel omdat die zorgt voor een drukverlaging boven de vleugel. Maar dezelfde wervels zouden de vleugel bij de opgaande beweging hinderen, waardoor de vlucht instabiel zou worden."

ROTATIE

Iets dergelijks vindt plaats wanneer een blaadje naar beneden dwarrelt. Omdat het voortdurend in wisselwerking komt met de wervels die het zelf opwekt, wordt het onmogelijk de neergaande beweging te voorspellen. Maar juist omdat de vleugel van de libel niet alleen op- en neergaat, maar tegelijk roteert, keert dit potentiële probleem in dit geval juist ten goede. De rotatie zorgt er namelijk voor dat de wervelingen samenkomen en gezamenlijk naar beneden toe worden afgevoerd. Dat genereert de lift die het insect nodig heeft. Bovendien zijn die wervelingen zo net op tijd verdwenen en interfereren ze niet met de volgende vleugelslag.

Hierna was het geen probleem meer om de krachten die tijdens het vliegen op de vleugel werken ook daadwerkelijk te berekenen. De totale lift per vleugel bleek voor een libel ongeveer een millinewton te bedragen, een kracht die overeenkomt met het gewicht van 100 milligram. Nu weegt een libel ruim 200 milligram, maar ook beschikt hij over vier vleugels. Ruim voldoende dus om in de lucht te blijven. Wang kon verder laten zien dat er heel nauw op aankomt hoe de op- en neergaande en de draaiende beweging gekoppeld zijn. Als ze niet precies in fase is, dan verandert de lift in een naar beneden gerichte kracht en stort het insect ter aarde. Ook bleek de totale uitwijking van de vleugel belangrijk, die moet minstens anderhalve centimeter bedragen. Voorlopig zijn deze conclusies nog gebaseerd op tweedimensionale berekeningen, maar Wang werkt op dit moment hard aan een volledig driedimensionale verificatie.

Een onverwachte test van haar berekeningen zou wel eens kunnen voortvloeien uit experimenten die worden uitgevoerd aan de Universiteit van Washington in Seattle. Daar is een kleurstof ontwikkeld die gevoelig is voor luchtdruk: hoe meer zuurstof in de buurt komt, hoe minder licht ze zien is onder een ultraviolette lamp. Door de vleugels van bijen aan te tippen met verf waarin deze kleurstof is opgelost, hopen onderzoekers meer te weten te komen over de krachten die op de vleugels werken. Voor dit ambitieuze project is meer dan twee miljoen dollar beschikbaar. Dat komt omdat het begrip van instabiele stromingen rond bewegende objecten op nog veel meer plaatsen tekort schiet, bijvoorbeeld in het bloed rond hartkleppen.

Ook Wang wijst op een onverwachte toepassing van haar werk: "Er wordt veel onderzoek gedaan naar kleine en ultralichte vliegmachientjes die gebruikt zouden kunnen worden voor spionagedoeleinden, voor het in de gaten houden van het verkeer of bij het opsporen van slachtoffers na een aardbeving. Tot nog toe moest elk nieuw ontwerp daadwerkelijk worden gebouwd en in de windtunnel worden getest. Nu de computer ingewikkelde stromingspatronen kan berekenen, zijn ontwerpen virtueel te testen. Dat scheelt een smak geld."