

Newton's love har givet os en fundamental forståelse af fænomenet "bevægelse", og hvorfor man f.eks. kan sende en rumfærge i kredsløb om Jorden.



Newton's love

Foto: NASA

Det er fysikkens allerstørste erkendelse, at f.eks. månens bevægelse, et penduls svingninger eller en bolds hoppen ikke bare må tages til efterretning, men følger en fysisk lov. Isaac Newtons formulering af denne lov i 1687 har haft kolossal indflydelse på eftertidens fysik.

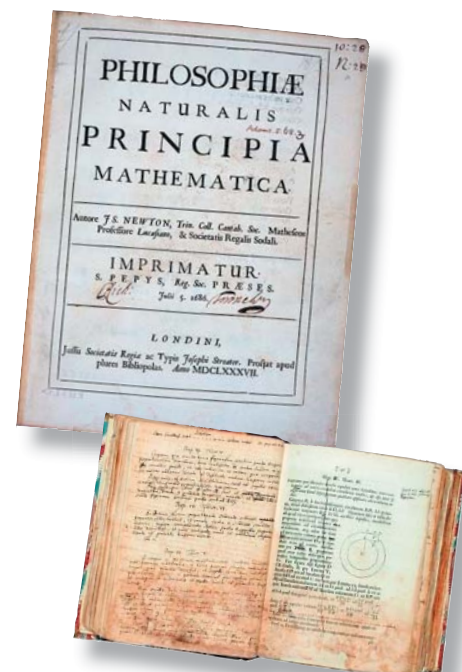
Af Klaus Mølmer

■ Efter behag kan man enten fascineres eller småkede sig ved at iagttage regelmæssigheden i et pendul, der svinger fra side til side, eller en bold, der hopper op og ned på et hårdt underlag. I årtusinder har mennesket set månen kredse om jorden – og jorden og de andre planeter kredse om solen – præcist som efter et urværk. Så præcist, at astronomer i almanakker f.eks. kan forudse sol- og månefor-

mørkelser langt ud i fremtiden.

Det er fysikkens allerstørste erkendelse, at disse og mange andre eksempler på fysisk bevægelse ikke bare må tages til efterretning, men at de følger en fysisk lov – under de givne omstændigheder kan de ikke andet. Den engelske naturvidenskabsmand Isaac Newton (1642-1727) opstillede i sit hovedværk *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (ofte

blot betegnet *Principia*) i 1687 mekanikkens bevægelseslove, sammenfattet i det følgende i den matematiske formel, $F=m \cdot a$, der bærer navnet "Newton's 2. lov": *Kraften på et legeme er lig med dets masse ganget med dets acceleration*. Den udgør det teoretiske grundlag for hele den klassiske mekanik og beskriver en lang række dagligdags såvel som meget tekniske og avancerede fysiske fænomener.





Newton's gravmonument i Westminster Abbey, England



Sir Isaac Newton [1642-1727].
Portræt fra 1689 af Sir Godfrey Kneller.

Newtons 2. lov er pensum på mange uddannelsesniveauer, og derfor en matematisk formel, som er kendt af mange. Det er vigtigt at slå fast, at formelen ikke betyder, at kraft er det samme som masse ganget med acceleration, men at to vidt forskellige fysiske begreber kan kvantificeres, og at de fremkomne størrelser opfylder den anførte ligning. Vi vil nu se på

ligningens elementer hver for sig, og derefter diskutere, hvad lighedstegnet betyder.

Kraft (F)

En strakt eller sammentrykket fjeder kan udøve en kraft og trække i eller skubbe til et legeme. Magneter tiltrækker jern. Vi er alle påvirkede af tyngdekraften og kan kun med besvær løfte tunge genstande.

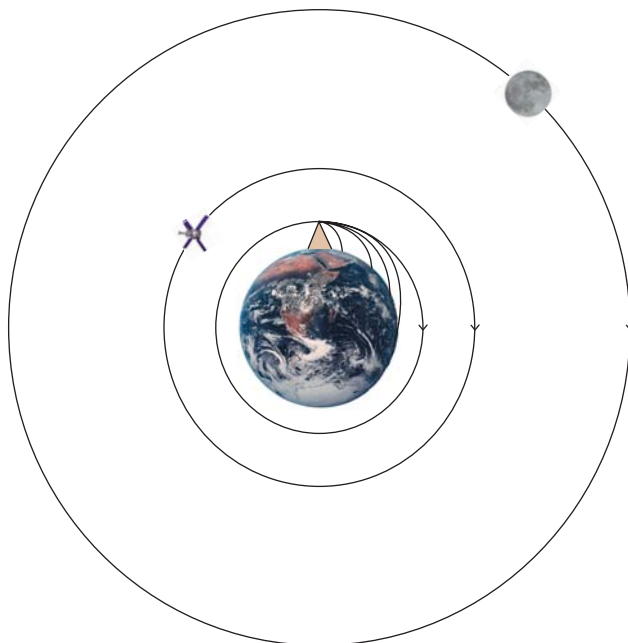
Faldskærmsudspringerens fald bremses af vindmodstanden, etc. Uanset deres forskellige oprindelse kan de forskellige kræfter behandles som et og samme fysiske fænomen og tillægges talværdier efter deres retning og styrke. Vi kan sammenligne kræfter, og specielt kan vi ved addition bestemme den samlede effekt af flere forskellige kræfter, der virker samtidigt. Man

kan kvantitativt sætte tal på en ukendt krafts styrke ved at se, om den kan holde et passende tungt legeme løftet eller ved at modarbejde den med en fjeder og registrere fjederens udstrækning. Blandt kræfter tæller også vores muskelkræfter, som kan måles ved den vægt, vi er i stand til at løfte, eller ved hvor meget vi kan sammentrykke fjedrene i forskellige fitnessinstrumenter.

Tyngdekraften og det frie fald

På denne "moderniserede" udgave af en af Isaac Newtons illustrationer vises banerne for objekter, der kastes ud fra et højt bjerg. Ved lav hastighed ses det velkendte frie fald mod jorden, men ved høj hastighed kan faldet kun i mindre grad følge med jordens krumning og ved en vandret hastighed på ca. 28.000 km/t fås "et konstant frit fald" i en cirkelbane få hundrede km over jordens overflade. Med den kredsløbshastighed tager rumfærgen ca. halvanden time om at nå rundt om jorden. I større afstand fra jorden bliver hastighederne mindre, således at månen i sit kredsløb 384.400 km fra jorden tager ca. en måned om sit omløb.

I 1798 "vejede" den engelske fysiker, Sir Henry Cavendish (1731-1810) jorden ved i laboratoriet at måle den meget svage tyngdekraft mellem kugler med kendte masser. Cavendish benyttede måleresultatet og den kendte tyngdekraft fra jorden til at bestemme jordens masse og efterfølgende dens massefylde.



Ud fra solens evne til i 150 millioner kilometers afstand at holde jorden i en bane med en omløbstid på et år og ud fra den observerede bevægelse af Mæl-

kevejens stjerner giver Cavendish's måling og den klassiske mekaniks bevægelseslove også massen af solen, Mælkevejen og andre astronomiske objekter!

Masse (m)

Efter en lang udvikling med forskellige historiske vægtmål angives masse, eller vægt, videnskabeligt – og i dagligdagen i de fleste europæiske lande – i enheden kilogram (eller blot kilo). Tyngdekraften på jorden gør, at masse simpelt kan vejes med en bade- eller køkkenvægt. Kan astronauter i vægtløs tilstand mærke forskel på tunge og lette genstande, som jo alle vil svæve frit omkring i rumskibet, eller giver masse kun mening, hvis man er påvirket af tyngdekraften fra jorden eller en anden planet? Svaret står i Newton's 2. lov, idet massen angiver forholdet mellem alle slags kræfter og den resulterende acceleration. Astronauten vil derfor kunne mærke forskel, hvis han skubber til legemerne.

Acceleration (a)

En Porsche 911 Turbo accelererer fra 0 til 100 km/t på 3,7 sekunder. Accelerationen er et mål for, hvor hurtigt, hastighed



Den italienske maler Pelagius indtryk af Newtons opdagelse af lysets brydning – illustreret ved et barns leg med en sæbeboble. Optikken var et andet område af fysikken, som Newton gav afgørende bidrag til.

ændres. På samme måde som man kan bevæge sig med varierende hastighed, kan man også have en varierende acceleration. En præcis definition af accelerationen på et givet tidspunkt fås ved at undersøge, hvordan hastigheden ændrer sig i løbet af et ganske kort tidsrum og dividere med dette tidsrum. Newton indså betydningen af en præcis definition, hvor man lader det omtalte tidsrum blive uendeligt kort. Hermed gav han anledning til en ny matematisk operation, differentiationen, som i dag danner grundlag for differentialregningen, en af matematikkens store discipliner med vidt forgrenede anvendelser.

Sammenhængen ($F = ma$)

$F=ma$ udtrykker en sammenhæng mellem vidt forskellige fysiske størrelser, og kan med udbytte læses "i begge retninger": Hvis man kender kræfterne på et legeme (venstre side af ligningen), kan man herudfra beregne accelerationen ved at dividere med massen. Herefter kan man bestemme den tidlige variation i legemets hastighed

og efterfølgende legemets bevægelse i rummet. I den klassiske mekanik kan man altså ud fra kendte startværdier for et legemes sted og hastighed og ud fra kendskab til de forekommende kræfter forudsige systemets fremtidige opførsel.

Hvis man, med stopur og målebånd eller mere avanceret måleudstyr, kan bestemme et legemes bevægelse og derudfra beregne dets acceleration (højre side af ligningen), kan man ved at benytte Newton's 2. lov bestemme størrelsen af den kraft, der påvirker legemet.

Gælden til Newton

Danskeren Tycho Brahes (1546-1601) planetobservationer blev af den tyske astronom og matematiker Johannes Kepler (1571-1630) brugt til at konkludere, at planeter bevæger sig i ellipsebåner om solen. Newton viste, at det netop er løsningen til hans ligning, hvis man indfører en tyngdekraft hvis styrke er omvendt proportional med kvadratet på afstanden mellem planeterne og solen. Newton's indsigt, at det er den samme kraft, som får et æble til at falde

mod jorden, og som holder jorden i sin bane om solen, er en kortslutning i vores beskrivelse af naturens opførsel på ekstremt forskellige skalaer. Den franske fysiker Charles Augustin Coulomb (1736-1806) viste, at en tilsvarende kraft virker mellem elektrisk ladede partikler, og Niels Bohr redegjorde senere for atomernes opbygning ved en tilpasning af Newton's mekanik for disse kræfter. Den klassiske mekanik kommer til kort ved bevægelse nær lysets hastighed og i ekstremt stærke tyngdefelter og den er ikke fyldestgørende ved bevægelse af objekter af mikroskopisk, atomar størrelse. I sådanne ekstreme situationer må vi ty til det 20. århundredes store bidrag til fysikken, relativitetsteorien og til kvantemekanikken. Nødvendige, fascinerende, overraskende og matematisk mere komplicerede teorier, men i fuldkommen afhængighedsgæld til Newton's klassiske mekanik hvad angår fysiske begreber og matematiske metoder og specielt selve ideen om en udtømmende matematisk modellering af den fysiske verden. ■

Om forfatteren



Klaus Mølmer er professor ved Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet
Tlf.: 8942 3679
E-mail: moelmer@phys.au.dk

F = ma

Videre læsning:

Den gode og lettilgængelige: "Isaac Newton and the Scientific Revolution" af Gale E. Christianson.
Den omfattende og roste: "Never at Rest" af Richard S. Westfall.