

Det er Massen, der gør det!

Hurra - Higgs-partiklen er funden! Partiklen, der giver alting masse.
Efter begejstringen har lagt sig, melder eftertanken sig:
Hvad er det nu lige, begrebet masse dækker?
Lad os antyde de tanker, der i den anledning er gjort i tidens løb.

Nyhedsjournalisterne var for et par år siden ved at falde over deres egne ben i iver for at lancere meddelelsen om, at forskerne på Cern havde fundet den efterstræbte elementarpartikel – Higgs-partiklen. Et fund, der retfærdiggjorde de kostbare eksperimenter, der til stadighed foregår på forsøgsinstitutionens LHC-accelerator i Geneve. Man fik det indtryk, at Jordens befolkning lever i en stadig forundring over, at ting har masse, og at nu var løsningen endelig indtrådt. Men forholder det sig sådan? Det kan man nu godt tvivle på. Hvem ofrer overhovedet begrebet masse den mindste opmærksomhed i en hverdag med Facebook og børnepasning? Ikke mange, tror jeg.

I 1959 mødte jeg første gang begrebet masse; nemlig i 2.g i forbindelse med den mekaniske fysik. Der var endda to slags masse; nemlig den tunge masse, der bruges i Newtons universelle gravitationslov og som måles på en ligearmet skålvægt, og den træge masse, der indgår i Newtons anden lov og i bevæ-

gelsesmængden (impulsen eller inertien), der jo er lig produktet af hastigheden og den træge masse. Denne sidste må bestemmes ved besværlige, dynamiske forsøg fx stød. Galileis faldforsøg viser som bekendt, at legemers frie fald i lufttomt rum forløber ens, uafhængigt af deres forskel i masse, og dermed, at de to slags masse er proportionale, og derfor kan man ved valg af enhedssystem sætte dem til en og samme værdi. Men begrebsmæssigt er de altså forskellige. Selvom jeg allerede dengang var meget interesseret i fysik, må jeg vedgå, at denne diskussion var gået fra Eriksen & Sijkjærs lærebog, via mit hoved, og i den tykke glemmebog. Den nylige genlæsning afslørede min manglende indlevelse i emnet i gymnasietiden.

Newton's cirkeldefinition

Nu var min nysgerrighed imidlertid blevet vakt: Hvad sagde de gamle (jeg mener, de rigtig gamle) om massebegrebet? Hvad sagde eksempelvis Isaac Newton om massen? Fat i *Principia* og slå op!

Def. I.

Quantitas Materiae est mensura ejusdem orta ex illius Densitate & Magnitudine conjunctim.

Eller, hvis latinen er blevet lidt rusten, i Andrew Mottes oversættelse fra 1729:

DEF. I.

The Quantity of Matter is the measure of the same, arising from its density and bulk conjunctly.

Forfatter



Carl-Erik Sølberg er lic.techn i elektrofysik fra DTH og pensioneret lektor i fysik ved Aalborg Universitet. cesolberg@webspeed.dk

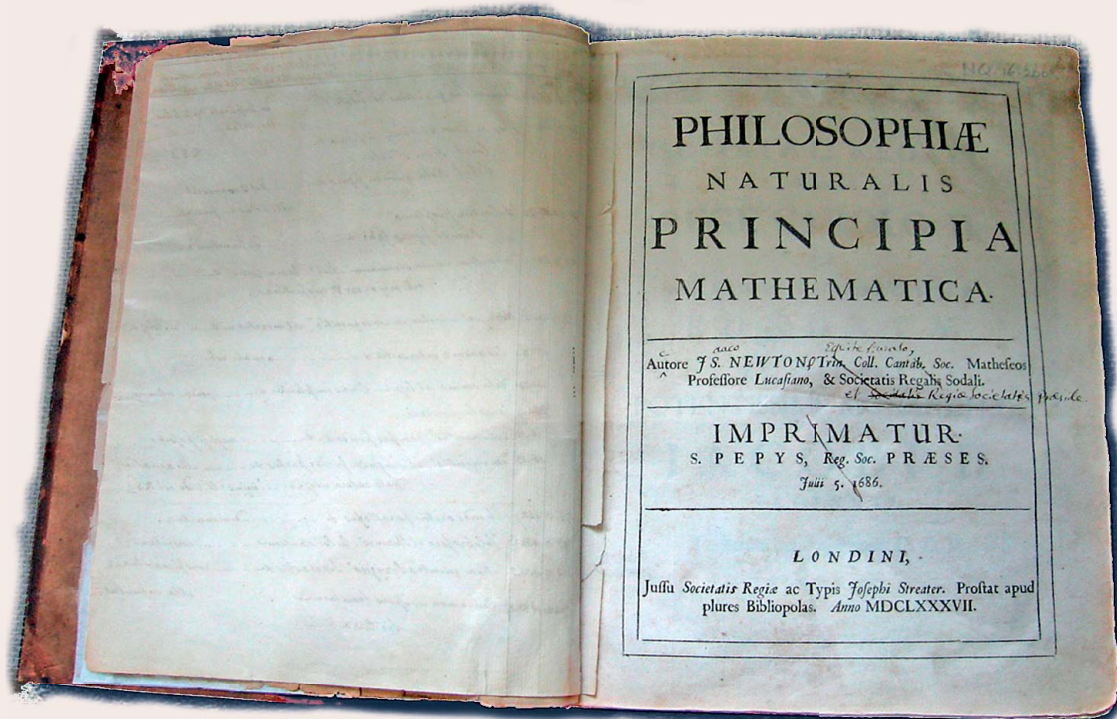
Hvilket er udlagt:

Mængden af stof er målet af samme, der fremkommer af dets tæthed og rumfang i forening.

Eller kort og godt:

Massen er lig produktet af massetætheden og rumfanget.

Denne definition har selvfølgelig givet anledning til indvendingen: For at bestemme massefylden skal man vide, hvad masse er! Altså er der tale om en cirkeldefinition, som hævdede af Ernst Mach i hans *Die Mechanik in ihrer Entwicklung* fra 1901.



Newtons egen førsteudgave af *Principia* fra 1687 med håndskrevne rettelser til 2. udgaven.

Mens Mach er kompromisløs i sin kritik af Newtons manglende logik er senere analytikere af *Principia* blidere og søger, som F. Cajori diskuterer det i sin reviderede udgave fra 1934 af Mottes udgave af *Principia*, forskellige mulige forklaringer på Newtons bagvedliggende mening. Blandt andet kan en mulighed være, at han har forestillet sig legemet opbygget af hårde partikler alle med samme masse og rumfang. Så beregner vi massefylden ud fra de to størrelser og multiplicerer dernæst med rumfanget af legemet og hokuspokus: Så har vi massen af legemet! Tilbage står problemet med den hårde partikels masse. Vi er faktisk lige vidt.

Udviklingen i det attende århundrede

De idéer, som Newton lancerer med *Principia*, vækker bestyrtelse i naturfilosoffernes kreds og deler den i Cartesianere og Newtonister. Blandt den sidste gruppe er Leonhard Euler den drivende kraft og forener Newtons bevægelseslove med hans og Leibniz's infinitesimalregning. Leonhard Eulers projekt beskrives i hans *Mechanika* fra 1736, hvor der i Wolfers oversættelse fra 1822 argumenteres ad Newtons baner, hvad angår massebegrebet. Alt i alt var de gamle ikke så nøjeregnende med at skelne mellem "masse" og det blødere udtryk "mængden af materie". Således skriver Euler:

Satz 17.

Lehrsatz.

§. 142. Die Kraft der Trägheit jedes Körpers ist der Menge der Materie, woraus er besteht, proportional.

"Die Kraft der Trägheit" er modstanden mod ændring af bevægelsestilstanden eller af bevægelsesmængden.

Den norsk-danske filosof *Jens Kraft* vendte efter en tur til Tyskland og Frankrig hjem med Newtons mekanik i en form, der umiddelbart minder om Eulers, og den er ligeså upræcis i sin omgang med "massen". Han skriver således:

»Alt Materielt derfor, indeholder under sin ydere Omkreds Dee, som have lige Bequemhed til at staae Bevægelsen imod, og at tage imod den. De ere det, som vi i det følgende vil kalde Materien eller Massen.«

Krafts *Mekanik* fra 1763, der var skrevet til brug på Det ridderlige Akademi i Sorø, var den første fremstilling af Newtons Mekanik på dansk. Og netop

fordi den var på dansk, forblev den også ret ukendt. Det, at den ikke blev brugt på universitetet og desuden krævede matematisk indsigt, gjorde også sit til dens manglende udbredelse.

Udviklingen i det nittende århundrede

Lad os vende os mod Frankrig for at se om der dér er nye opfattelser. Vi slår ned på Simon Dennis Poissons, som i sin *Traité de Mechanic* fra 1811, oversat, skriver:

»Massen af et legeme er mængden af materie, hvoraf den består.«

Altså stadig den samme melodi!

Leonhardt Euler (tv) og den norsk-danske filosof Jens Kraft.



På Københavns Universitet herskede i årene op mod 1800 C. G. Kratzenstein i faget medicin med pligt til at tage sig af fagene fysik og kemi. Han havde en eksperimentel tilgang til mekanikken, og han indlod sig ikke med at definere de begreber, han anvendte. Men efter ham træder så H. C. Ørsted ind på banen, idet han blev udnævnt til extraordinaire professor i fysik omkring 1805. Ja, han skal faktisk grundlægge fysik- og kemistudierne, hvorfor han til det brug skal skrive lærebøger. Kemi lå hans hjerte nærmest, og allerede i 1809 ligger den kemiske del på bordet. Først i 1844 er den mekaniske del færdigskrevet og endda ikke af ham selv, men af den polytekniske kandidat C. Petersen. Hvad skriver så Ørsted, eller rettere hans assistent, om massen?

»Mængden af den Materie, som indeholdes i et Legeme, kalde vi dets Masse.«

Altså nærmest en gentagelse af Poisons ord fra ende til anden uden en stramning af massebegrebet. Carl

V. Holten overtager faget efter Ørsted og udgiver *anden udgave af den mekaniske del* i 1854. Den ligger tæt op ad Ørsteds, og hans ord om massen er da også blot en gentagelse af læremesterens. Universitetets næste fysikprofessor er Christian Christiansen, der i 1892 i omtalen af massen kort og godt meddeler, at:

»Newton maaler da Massen ved Legemets Vægt, maalt ved hjælp af en skaalvægt.«

At dette ikke er en tilstrækkelig begrundelse for at kunne tillægge et legeme eller partikel en masse er én ting, men vi ser jo af det tidligere, at det end ikke er korrekt.

Udviklingen i det tyvende århundrede

Martin Knudsen, der følger Chr. Christiansen i embedet, gør sig i 1923 ingen overvejelser angående det ønskelige (nødvendige) i massemålingens uafhængighed af tyngdens rolle. Tværtimod skriver han:

MAALING AF MASSE

Vægte. Det Apparat, som benyttes til Maaling af Masse, kaldes en Vægt, men det maa erindres, at dette Ord ogsaa kan betyde noget ganske andet, nemlig den Kraft, hvormed Tyngden virker paa et Legeme.

Med E.S. Johansens *Grundrids af den almindelige Bevægelseslære* fra 1924 får piben en anden lyd. Der skelnes nu mellem tung og træg masse. Ydermere måles den sidste nu dynamisk, idet han følger Galileis skråplansforsøg og ved variation af kraften på legemet gennem elevationen af skråplanen og efterfølgende måling af den tilhørende acceleration viser, at kraft og acceleration er proportionale.

Hvad en kraft er, har han fra statikken. Den tunge masse måles på traditionel vis ved hjælp af den ligearmede skaalvægt.

Den træge masse optræder, som antydet tidligere, i Newtons anden lov:

$$ma=F$$

Antager vi, at den eneste størrelse, vi kender på forhånd, er den kinematiske, altså accelerationen **a**, er

opgaven at fastlægge m uden brug af F . Det ser vi i Danmark første gang gennemført ved DTH på Polyteknisk Lærestalt i Jakob Nielsens *Rationelle Mekanik* fra 1934. Hele argumentationen bliver hængt op på følgende tankeeksperimenter:

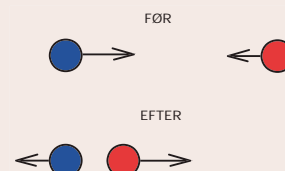
Med udgangspunkt i to isolerede legemer, der indbyrdes udfører stød, dannes kvotienten mellem de to partiklers hastighedstilvækster – hastigheden efter stødet fratrukket hastigheden før. Det viser sig, at uanset stødets nøjere beskaffenhed fås samme værdi (inden for måleusikkerheden). Dernæst skifter man den ene partikel ud med en tredje og forsøget gentages med en ny kvotient som resultat, stadig en kvotient, der er uafhængig af stødomstændighederne. Den tilbageværende partikel udskiftes med den udskiftede fra første stødserie, og alt gentager sig. Nu står man tilbage med tre kvotienter med den overraskende egenskab, at den første er lig produktet af de to sidste. Dette faktum frister til at fremsætte den hypotese, at kvotienterne alle tre kan skrives som forhold mellem to tal, der hver især er særegen for hver partikel. Denne skalære størrelse får benævnelsen masse. På grundlag af det allerede opnåede kan man "udlede" bevægelsesmængdebevarelsen for et isoleret partikelsystem, den dynamiske definition på en kraft og Newtons anden lov. Når ordet "udlede" er i anførselstegn skyldes, at antagelserne og hypoteserne i bagklogskabens klare lys kan vælges ud fra viden om, at resultatet af tankeeksperimentet skal give Newtons 2. og 3. lov. Første lov bringes faktisk i spil allerede i indledningen, da man bør forudsikke den bemærkning, at stødeksperimenterne skal beskrives fra et referencesystem, hvori inertiens lov er gyldig.

Jakob Nielsens fremstilling følges nøje i tresserne af Jørgen Schiellerup i hans lærebogssystem til brug ved Danmarks Ingeniørakademis filialafdelinger i Aalborg, hvor rigtigheden af tankeeksperimentets "resultater" underbygges af laboratorieøvelsers virkelige resultater indhentet fra stødeksperimenter på luftpudebænken.

Det fine i denne fremgangsmåde er, at den som udgangspunkt hverken kræver brug af begreberne masse eller kraft. At metoden er sjældent brugt ses af det faktum, at hverken Einstein og Infeld i deres populærvidenskabelige bog *The Evolution of Physics* fra 1938 eller *Richard Feynman* i sin *Lectures on Physics* fra 1964 bruger den, men griber til knebet med at inddrage kraften i forudsætningerne. Efter anden verdenskrig synes det i øvrigt i mekanikbøgerne almindeligt at danne accelerationskvotienterne mellem to isolerede, men vekselvirkende partikler, og derudfra måle den ene partikels træge masse ved den andens. Vi ser det således i Keith R. Symons *Mechanics* fra 1963 og i en af de senere danske mekanikbøger nemlig *Mekanik* af Gunnar Christensen et al. fra 1990.



Fidusen ved den vandrette luftpudebænk er, at "vognen" rider på en pude af luft, der strømmer ud af et utal små huller på bænken overside. Den derved manglende friktion betyder, at vognen er uden påvirkning af kræfter i bænken retning; den er isoleret i den retning. I lodret retning ophæves tyngden af luftens kraft på vognen; nu i opadgående retning. Den trekantede form af vogn og bænk forhindrer sideværts bevægelse. To vogne vil altså kun udveksle bevægelsesmængde (impuls), når de ramler ind i hinanden (eller i endeklodserne). Stødets art varieres ved at variere begyndelseshastighederne eller ved at ændre indretningen af de sammenstødende vogner: fjedrene, monterede magneter, dobbeltsidet tape. Diagrammet viser princippet i stødet mellem vogne på bænken; før og efter kontakten. Hele fysikøvelsen understreger mekanikkens eksperimentelle grundlag!



Har tendensen til en solid definition på den træge masse så bredt sig til gymnasieundervisningen? Uden at have set i alle de nyere bøger er min opfattelse den, at spørgsmålet helt gled ud ved lanceringen af Pihl & Storms lærebogssystem midt i tresserne. Et system, der ellers på andre punkter agtedes højt.

Den fremtidige udvikling

Efter denne gennemgang må man håbe, at selve det klassiske massebegreb står klarere i forståelsen således, at man er rede til at tage fat på Einsteins ækivalens mellem masse og energi i den specielle relativitetsteori og gravitationens sammenhæng med rummets krumning i den generelle; for slet ikke at tale om hvorledes Standardmodellen via Higgsfeltet giver masse til de øvrige elementarpartikler. Skelnes der overhovedet mellem tung og træg masse i disse moderne teorier, eller er det en og samme ting? Befolkningerne står og tripper i spænding på en klarlægning af disse spændende spørgsmål. ■

Videre læsning
Jørgen Schiellerup (1969): *Fysik 1*, Polyteknisk Forlag 1969

Gunnar Christensen et al. (1990): *Mekanik*, Danmarks Tekniske Højskole 1990.