



Det fysikaliska tidsbegreppet

Matts Roos

I *Tieteessä tapahtuu* 1/2000 behandlade filosoferna Ilkka Niiniluoto och Simo Knuutila tidsbegreppet ur filosofiskt och historiskt perspektiv. Niiniluoto refererade också i korthet konsekvenserna av Einsteins speciella relativitetsteori, medan Knuutila avstod från att behandla tidsbegreppet ur fysikalisk synpunkt. Inspirerad av dessa två artiklar vill jag gärna bredda diskussionen genom att ta upp det fysikaliska tidsbegreppet.

Aristoteles må ha kommit nära en fysikalisk definition, vilket är av historiskt intresse, men modern fysik bygger inte på traditioner. Det vi förstår med begreppet tid måste ingå logiskt, motsägelsefritt och experimentellt verifierbart i den teoretiska fysiken. En tankegång som ger en bara delvis riktig bild av fysiken kan vara historiskt intressant, men den är värdelös jämförd med den helt riktiga tankegången.

Einsteins speciella relativitetsteori 1905 och hans allmänna relativitetsteori 1915 revolutionerade vårt tidsbegrepp på fyra sätt. (Liksom Niiniluoto utgår jag från att läsaren känner till den speciella relativitetsteorin.) För det första är ljusets hastighet ändlig, eller nära 300 000 km/s, medan kommunikation med ljussignaler tidigare ansågs vara samtidig. Om två personer X och Y på 3000 km avstånd från varandra hade helt synkrona klockor (hur det vore möjligt förbigår jag just nu) och kom överens om att sända en signal till varandra samtidigt vid tiden t , så skulle X uppfatta att Y's signal anlände 0,01 s senare än t , medan Y skulle uppfatta att X's signal anlände 0,01 s senare än t . Låt oss med Einstein antaga, att X tillsammans med sin ljussignal färdas till Y. När X startar upplever han ett *nu*, medan han färdas pågår detta *nu*, och när han kommer fram upplever han samma *nu* som vid starten eftersom det inte finns något sätt för honom att mäta någon tidsskillnad. För X existerar alltså tiden inte, här måste vi ge filosofen McTaggart rätt. Men av detta exempel följer, att begreppen *före* och *efter* inte är invarianta, emedan de har olika betydelser för olika observatörer. Man kan alltså inte använda dem för att definiera "A-seriens" händelser (som inträffar *före*, *nu* eller *efter*) eller "B-seriens" händelser (som inträffar *före* eller *efter*). Jag vet inte om McTaggart 1908 var omedveten om Einsteins arbete, eller om hans slutsatser kom sig av att han ansåg att filosofins tidsuppfattning ostraffat kunde få stå i strid med den fysikaliska sanningen.

För det andra framgår det av den speciella relativitetsteorin (vilket också Niiniluoto påpekade) att tiden går långsammare för en observatör i rörelse än för en observatör i vila (tidsdilatation), vilket betyder att de inte kan komma överens om vad klockan är. Exemplet med tvillingen i rymdfarkosten som återvänder yngre än sin hemmablivna broder torde vara allmänt bekant. Det låter som science fiction, och vi känner inga tvillingar som upplevt detta, så vi tenderar att förpassa historien till kuriosakabinettet. Men det är inte alls science fiction! Varje gång vi åker spårvagn åldras vi långsammare, det är ett mätbart faktum med vår tids mättingsprecision. Låt mig som exempel ta en person som gör en 24 timmars flygresa: ett medföljande precisionsur visar att han vunnit 0,01 mikrosekunder på resan (precisionsur mäter miljoner gånger kortare tider).

För det tredje utvidgade Einstein i den allmänna relativitetsteorin det tredimensionella rummet till ett fyrdimensionellt rum, där tiden utgör den fjärde dimensionen. Härav följer, att det inte är meningsfullt att mäta avståndet i tid mellan två händelser förutom i det speciella fall att mätningarna sker i samma punkt i den tredimensionella rymden. Analogt är det ju inte heller meningsfullt att ange avståndet mellan två punkter på jorden med endast en ryddimension, till exempel höjd över havet, förutom i det speciella fall att punkterna befinner sig på samma vertikallinje.

Den fjärde konsekvens, som den allmänna relativitetsteorin har, är att tiden rör sig med olika hastighet i gravitationsfält av olika styrka. Den går långsammare i ett svagare gravitationsfält, som t.ex. på högre höjd över havet. Den tid vi upplever fysiologiskt är således kortare om vi bosätter oss i Alperna än i Helsingfors, med kanske en biljontedel. När Mössbauer visade detta experimentellt ungefär 1960, var mätnoggrannheten redan så god att han använde sig av en höjdskillnad på endast



2 meter.

Man kan kanske tycka att det är småaktigt att hålla reda på så obetydliga tidskorrektioner, men principiellt är det av betydelse att vara exakt. Detsamma gäller för de stora tidsskalor som naturvetenskapen rör sig inom: människans ursprung ligger kanske 150 000 år i fortiden, jordens och solsystemets ålder är 4,7 miljarder år, de äldsta stjärnornas ålder omkring 12 miljarder år.

Tiden är en kontinuerlig variabel

Tiden är en kontinuerlig variabel. Temperaturen utanför mitt vardagsrumsfönster är en kontinuerlig funktion av t vare sig jag tittar på termometern eller inte. Temperaturförändringen eller tidsderivatan är också en kontinuerlig funktion av t , förändringens förändring eller andra tidsderivatan är också en kontinuerlig funktion av t , etc. Ingen derivata kräver ändliga tidsintervaller för sin definition, i princip kan varje ändligt intervall betraktas som en summa av ett oändligt antal intervaller av längden noll. Det är detta som avses med begreppet differentialekalkyl (som Niiniluoto också refererade till). När vi studerar t.ex. geologiska formationer är vi intresserade av magmans avsvlningshastighet, av den tid som olika mineraler behöver för att kristalliseras, av den tid som Alperna behövt för att resa sig som en följd av kontinentalplattornas rörelser och kollisioner, kort sagt, vi är intresserade av att beskriva ett förlopp i det förgångna eller i framtiden som en och samma funktion av tiden t .

Varje tidpunkt t är ett nu , varje nu är en tidsrymd av längden noll. Endel filosofer förefaller att anse, att en punkt på tidsaxeln med längden noll inte kan existera. Men häri ligger ingen motsägelse: också en matematisk punkt i rymden är väldefinierad trots att den har utsträckningen noll, och en linje i rymden är väldefinierad trots att den har bredden noll. Den filosofiska diskussionen tycks implicera, att begreppet nu kräver någons närvaro, någon person som upplever detta nu . I naturvetenskapen behövs inget sådant vittne, en funktion av t är inte beroende av hur människan uppfattar begreppen *före*, nu , *efter*.

Filosoferna har grubblat över om universum existerat och kommer att existera under en ändlig eller en oändlig tid. För kosmologerna är tidpunkten och mekanismen för universums uppkomst ett tills vidare olöst problem. Enligt den allmänna relativitetsteorin uppstod både universum och tiden vid Big Bang, tiden var då noll och någon föregående tid är en omöjlighet. All den energi som universum nu består av var då fixerad i en matematisk punkt, en singularitet, energitätheten var oändlig och temperaturen oändlig. Men detta resonemang är absurt, och vi känner en orsak härtill: när vi går bakåt till Plancks tid, en punkt 0,000...0001 sekunder efter Big Bang - det skall finnas 43 nollor i det här talet - så är universum lika litet som en elektron, och under sådana omständigheter måste vi ta kvantmekaniken till hjälp. (Låt mig här notera, att det är rimligare att använda en logaritmisk tidsskala för mycket korta tider. Då är avståndet mellan 0,01 och 0,1 sekunder efter Big Bang lika långt som mellan 0,001 och 0,01 sekunder, eller mellan 0,000001 och 0,00001 sekunder. På den skalan kommer man aldrig fram till tiden noll.)

I kvantmekaniken kan ingenting fixeras exakt till en punkt. Ju exaktare man försöker placera en elektron i centrum av en atom, desto obestämdare blir dess hastighet, enligt Heisenbergs osäkerhetsrelation. Men den allmänna relativitetsteorin har inte utvecklats för att beskriva atomfysik, och därför innehåller den inte Heisenbergs osäkerhetsrelation. För att beskriva universum före Plancks tid behöver vi en teori som förenar relativitetsteorin och kvantteorin, men en sådan har ingen ännu lyckats formulera.

Extra dimensioner

På frågan om hur länge universum ännu kan tänkas existera, finns det ett helt nytt och överraskande svar. Universum expanderar i dag och expansionen kommer inte att upphöra, eftersom det tydligen finns för lite materie för att utvidgningen skall stoppas av materiens gravitationella attraktion. Ännu för några år sedan fanns möjligheten att expansionen en dag skulle upphöra och förbytas i kontraktion, alltså en retur till Big Bang. Genom att studera fjärran supernovors expansionshastighet har man nyligen fått belägg för att expansionen tvärtom tycks accelerera. Rymden omkring oss

kommer alltså att bli allt tommare med tiden, och tiden kommer alltid att finnas.

Ett annat olöst problem som väl kunde vara besläktat med Big Bang-problemet är vad som händer i centrum av ett svart hål. Inga upplysningar kan nå oss därifrån, men enligt allmänna relativitetsteorin finns också där en absurd singularitet.

Moderna spekulationer går ut på att universum kanske har fler än fyra dimensioner. Extra dimensioner representerar genvägar: när vi rör oss på Finlands (lokalt) plana yta är det lång väg till Australien, men om vi använder oss av den tredje dimensionen och borrar en tunnel genom jorden så är det en genväg till Australien. Rör vi oss rakt fram på jordytan kommer vi också förr eller senare till Australien, och till och med hem igen utan att behöva vända. Vi har då följt en cirkel i den tredje dimensionen. Om det finns för oss okända dimensioner, en viss teori väntar sig rentav 11 dimensioner, så måste de vara så små att vi inte märker dem. Men de kunde tänkas ha spelat en viktig roll vid Plancks tid och kunde förändra vår uppfattning om Big Bang totalt. Universum kanske har följt en cirkel i en högre dimension och kommit någon annanstans ifrån. På samma sätt kan man tänka sig att det i centrum av svarta hål finns genvägar via högre dimensioner till andra universa. Resonemanglet låter oerhört spekulativt, men klarar vi oss utan den lika spekulativa teorin om Big Bang så är något vunnet.

Enligt samma resonemang kunde det också finnas fler än en tidsdimension, så att den vanliga tiden som består av rörelse framåt (mot ökande entropi) längs en tidsaxel, kompletteras med rörelse till höger eller vänster längs en tvärgående tidsaxel eller tidscirkel. (Dock inte så, att vi skulle kunna resa med tidsmaskiner bakåt eller framåt längs den normala tidsaxeln.) Kom universum kanske från någon annan rymdtid? Finns det genvägar i tiden som använder sig av extra tidsdimensioner? Den helt obesvarbara frågan om vad som hände före Big Bang ersätts då med den helt meningsfulla frågan om vad som hände före Plancks tid.

De närmaste åren kommer att ge svaren på några av kosmologins gåtor, även om vi naturligtvis inte får några upplysningar om vad som verkligen hände vid Plancks tid. Men så länge den teoretiska fysiken brottas med teoretiska omöjligheter, så är det en intellektuell utmaning att skapa nya motsägelsefria teorier där det omöjliga och det absurda eliminerats. Vi kan stå inför rätt stora omvälvningar i vår förståelse för universum. I de här diskussionerna borde också filosoferna delta.

Författaren är emeritus professor i partikelfysik vid Helsingfors universitet.

