

Fysikens 10 största

År 1900 uttalade den brittiske fysikern Lord Kelvin: "Det finns inget nytt att upptäcka inom fysiken. Allt som återstår är att mer exakt mäta dess storheter."

Samma år föddes kvantmekaniken och tre decennier senare hade den och Einsteins relativitetsteori totalt revolutionerat och omvandlat fysiken. Idag skulle knappt någon våga påstå att vår kunskap om universum är nästan komplett. Tvärtom, varje ny upptäckt verkar öppna en Pandoras ask av ännu större och djupare frågor.

Vilka frågor som är de mest utmanande och betydelsefulla kan naturligtvis diskuteras.

Här är tio som i alla fall hamnar mycket högt på listan över fysikens olösta gåtor.

Text Johan Hansson Bild AoV, SPL

KVANTGRAVITATION

Fysikens två stora och grundläggande teorier är relativitetsteori och kvantfysiken. Den första beskriver det stora - universum, big bang, gravitation med mera - och den andra beskriver det lilla - elementarpartiklar och de

krafter som verkar mellan dem.

Den fundamentala fysikens största olösta problem är hur gravitation och kvantfysik ska fås att samexistera i en och samma teori. Men att beskriva gravitation med hjälp av kvantfysik - kvantgravitation - är något som gäckat fysiker i 100 år.

Problemet är att den all-

männa relativitetsteori och kvantfysiken redan överlappar varandras domäner, men utan att passa ihop. Kvantgravitation krävs för att göra hela fysiken logiskt sammanhängande.

Den största utmaningen med kvantgravitation, ur vetenskaplig synvinkel, är att man inte kan göra de experiment som krävs. Till exempel måste en partikel-

accelerator som bygger på dagens teknik vara större än hela vår ga-

lax för att kunna testa de effekter som skulle kunna leda till en lösning på problemet. Det innebär att kvantgravitation idag ännu inte är naturvetenskap i egentlig mening - det går inte att göra experiment som kan testa och styra teoretiska idéer i rätt riktning. Historiskt sett vet vi att sådana rent teoretiska "framsteg" utan stöd i konkreta experiment oftast leder helt fel.

Einstein ägnade merparten av sitt liv åt att försöka beskriva hela naturen i en enda teori. Det var en dröm som fortfarande inte är uppfylld.

Många anser att den största utmaningen inom fysiken är att få in gravitationen i kvantfysiken. Den beskrivning av gravitation som fungerar bäst finns i relativitetsteori, men den är inte kompatibel med kvantfysiken.



olösta gåtor

“If you thought that science was certain - well that is just an error on your part.”

Richard Feynman

Partikelmassor

Den gällande teorin som beskriver naturen på mikroskopisk nivå kallas standardmodellen. I den finns materipartiklar och de partiklar som beskriver krafterna samlade. Standardmodellen är den mest fundamentala teori som är testad och som vi vet stämmer (inom de energier som testats, ska tilläggas). Hur väl testad standardmodellen än är, och hur väl den än stämmer, så finns det fortfarande många lösa trådar. Den innehåller bland annat värden som inte kan beräknas, så kallade fria parametrar.

Totalt finns det 18 sådana fria parametrar. Men om de svårfångade neutrinerna har en massa så krävs det ännu fler. Och i dagsläget verkar det som om de har en massa.

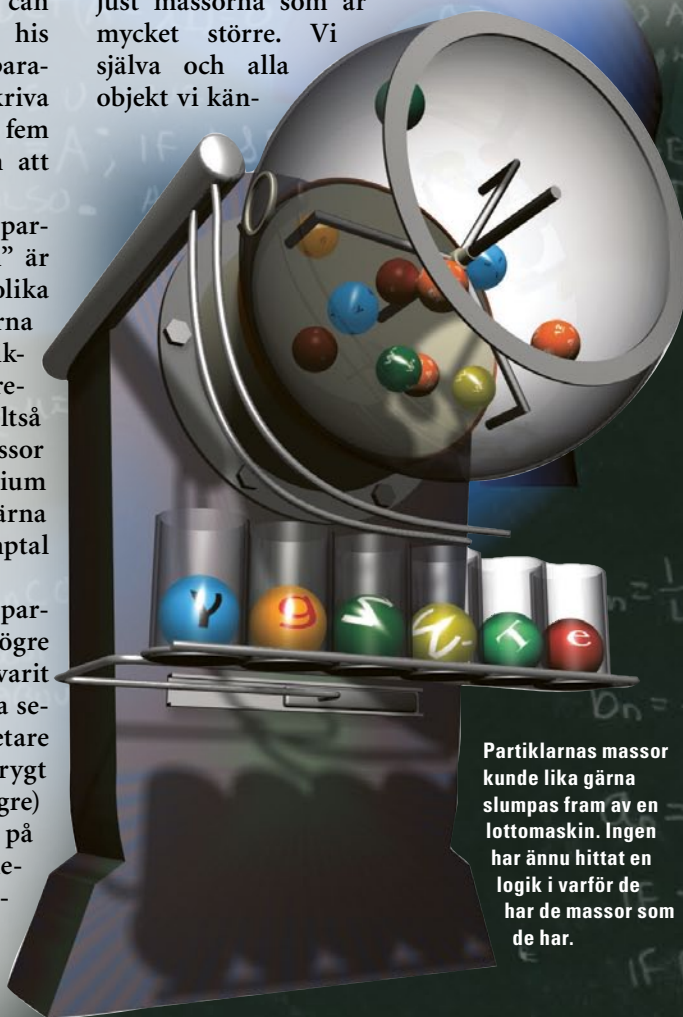
Dessa parametrar går alltså inte att beräkna eller förutsäga teoretiskt utan kan bara fås fram genom mätningar. Man kan se det som 18 inställningsrattar man vrider på för att bäst

anpassa teorin till kända mätdata. Problemet är att det är alldeles för många. Den kände matematikern John von Neumann sa en gång: ”With four parameters I can fit an elephant, and with five I can make him wiggle his trunk” (med fyra parametrar kan jag beskriva en elefant och med fem kan jag få honom att vifta med snabeln).

Den absoluta merparten av ”de aderton” är relaterade till de olika värdena på massorna hos elementarpartiklarna. Från en teoretisk synvinkel är alltså partiklarnas massor ett totalt mysterium – de skulle lika gärna kunna vara slumpat dragna ur en hatt. Upprepningen av partiklar med allt högre massor har också varit ett mysterium ända sedan elektronens fetare kusin myonen (drygt 200 gånger tyngre) upptäcktes redan på 1930-talet. Materiepartiklarna i standardmodellen kan ordnas i generationer eller famil-

jer. Den första generationen – som innehåller elektronen, elektronneutrino, upp-kvarken och ner-kvarken – följs av ytterligare två kopior som verkar identiska i allt utom just massorna som är mycket större. Vi själva och alla objekt vi kän-

ner till, både på jorden och i universum, består av enbart den första generationens partiklar. Så vad är de tyngre partiklarna i den andra och tredje generationen till för?



Partiklarnas massor kunde lika gärna slumpas fram av en lottomaskin. Ingen har ännu hittat en logik i varför de har de massor som de har.

MÄTPROBLEMET

I den märkliga världen av elektroner, fotoner och andra fundamentala partiklar är kvantmekaniken lag. I kvantvärlden beter sig inte partiklar som små kuler, utan som vågor spridda över ett stort område.

Varje partikel beskrivs av en vågfunktion som berättar vad dess läge, hastighet och andra egenskaper är mer benägna att vara. Alltså inte vilka dessa värden är, utan vad de sannolikt kan bli.

Partikeln har till exempel ett oräkneligt antal platser att be-

finna sig på, tills man experimentellt mäter dess läge - då kollapsar partikelns vågfunktion och den antar synbarligen slumpmässigt en enda väldefinierad plats.

Men hur och varför får en mätning på en partikel dess vågfunktion att kollapsa och därmed producera den konkreta verklighet som vi uppfattar? Denna fråga, kvantfysikens mätproblem, kan tyckas esoterisk. Men vår förståelse av vad verkligheten är, eller om den alls finns, hänger på svaret.

Ännu värre är att

det enligt kvantfysiken borde vara omöjligt att någonsin få ett bestämt värde för någonting alls. Det typiska för kvantfysiken är att många olika tillstånd samexisterar, tillstånden överlagras i något som brukar kallas superposition. Problemet är bara att kvantmekaniken ska vara universell, det vill säga ska gälla oavsett storlek hos sakerna man beskriver. Varför ser vi då inte spöklika överlagringar av objekt även på vår nivå? Som katter som är både levande och döda samtidigt. Detta pro-

blem är fortfarande olöst. Man kan också ställa sig den bedrägligt enkla frågan: när kan något sägas ha hänt? Kvantfysiken levererar då det irriterande svaret: aldrig. Utan extra antaganden utöver kvantfysiken kan inget någonsin hända! Det beror på att vågfunktionen matematiskt beskrivs av så kallade linjära ekvationer, där alla tillstånd som någonsin har samexisterat kommer att göra det för evigt. Trots detta vet vi ju att specifika utfall är fullt möjliga, och dessutom sker

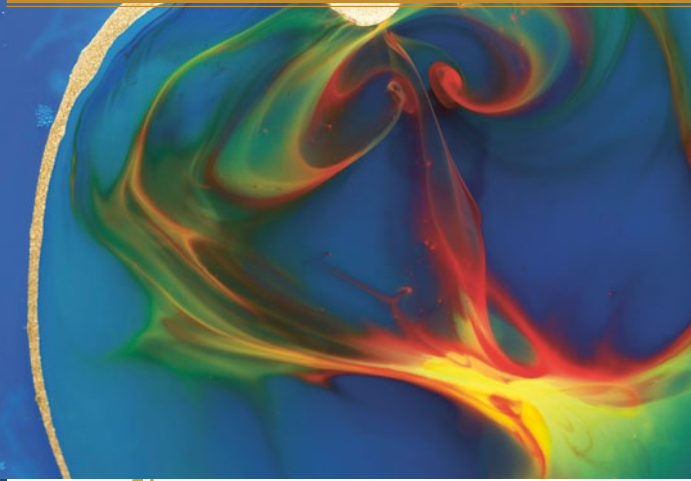
hela tiden. Det märkliga är också att kvantfysikens osäkerhet uppstår först vid mätningen. Innan dess är den precis lika deterministisk som den klassiska fysiken, eller till och med mer eftersom den är exakt linjär och således "enkel".

Först då vi förstått hur vår objektiva makroskopiska värld uppstår ur den spöklika mikroskopiska världen, där allt som inte är strikt förbjudet är obligatoriskt, kan vi säga oss veta hur naturen verkligen fungerar.

Det klassiska exemplet på mätproblemet är Schrödingers katt. Det är ett tankeexperiment där en katt stängs in i en låda tillsammans med en behållare med giftgas. Gasen löses ut av någon kvantmekanisk effekt, till exempel ett radioaktivt sönderfall. Efter en viss tid är sannolikheten 50 procent att den skett ett radioaktivt sönderfall, vilket betyder att det finns en överlagring av två olika kvanttillstånd (sönderfall och inte sönderfall). Först när man mäter uppstår ett bestämt tillstånd. Problemet är att detta kopplas vidare till katten, som då både är död och levande tills man tittar efter. Det finns ingen självklar lösning på hur det är med den döda och levande katten, utan bara olika tolkningar.



Turbulens



Turbulens är något som irriterat fysiker länge. Den som kan beskriva fenomenet matematiskt på ett generellt sätt kan räkna med både rikedom och berömmelse. Bild: SPL

Den kände fysikern Werner Heisenberg sägs på sin dödsbädd ha yttrat: "Gud! Varför relativitet? Varför turbulens?"

Turbulens brukar kallas det sista olösta problemet inom den klassiska fysiken, den fysik där kvantmekanikens märkliga fenomen inte ställer till det. Turbulens finns överallt omkring oss - luftströmlarna som avgör vad det ska bli för väder, havsströmmar, vattenfall och så vidare kan vara turbulenta. Alla fluider (vätskor och gaser)

nikens märkliga fenomen inte ställer till det. Turbulens finns överallt omkring oss - luftströmlarna som avgör vad det ska bli för väder, havsströmmar, vattenfall och så vidare kan vara turbulenta. Alla fluider (vätskor och gaser)

som strömmar kan plötsligt börja bete sig kaotiskt och oförutsägbart vilket gör det svårt att beräkna vad det är som händer.

Det finns ekvationer som beskriver beteendet hos fluider, men problemet är att de är svårösta. Kanske till och med olösbare.

Matematiskt uttryckt är det inte känt om en generell lösning av dessa (till exempel Navier-Stokes ekvationer för inkompressibla fluider) ens existerar. Och om det finns en lösning,

huruvida den helt beskriver fluiderna eller innehåller i sig ovetbara punkter - singulariteter.

Turbulensens typ av kaos - i både tid och rum - är fortfarande en gåta. Men man har börjat ana att till exempel vädret inte bara är svårt att förutsäga, utan fundamentalt omöjligt. Det går att göra statistiska beräkningar för de närmaste dagarnas väder, och frågan är om det går att komma så mycket längre än kanske tio dagar innan osäker-

heten blir så stor att man lika gärna kan kasta tärning.

Överstiger turbulens människans fysikaliska förståelse och matematiska förmåga, eller blir det hela begripligt om man bara tacklar det med rätt metoder?

Det finns också en rent världslig aspekt på problemet: en prissumma på 1 000 000 dollar från Clay Institute väntar den som hittar en generell lösning till Navier-Stokes ekvationer.

Mörk ENERGI

För 50 år sedan ansåg man att universum dominerades av vanlig materia. Redan i slutet av 1920-talet upptäcktes det att universum expanderar, och då materia fungerar som en broms på grund av sin attraktiva gravitationskraft var alla överens om att universums expansionstakt borde avta. Om expansionen avtog tillräckligt snabbt var ett rimligt slut för universum att all materia skulle klumpa ihop sig i en omvänd big bang, en "big crunch".

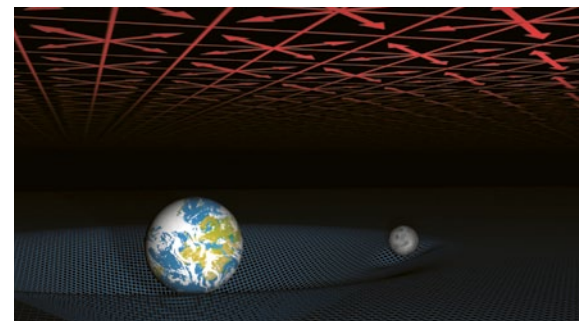
Så sent som 1998 publicerades två stora studier

som hade till syfte att noggrannare än någonsin mäta denna inbromsning. Förvåningen var därför total när observationsdata istället verkade indikera att universum accelererar, det vill säga ökar sin expansionstakt - som om kosmos rätt nyligen flyttat foten från bromspedalen till gaspedalen. För att driva

på denna acceleration krävs någon form av okänd energi.

När man satte in de nya värdena i den kosmologiska standardmodellen (framtagen redan på 1920-talet av Friedmann, Lemaitre, Robertson och Walker) visade det sig att cirka 70 procent av universums energi tycktes finnas i denna helt okända form, som fick namnet mörk energi.

Einstein var först med att introducera en sådan energi. Han kallade det för den kosmologiska konstanten, och precis som mörk energi

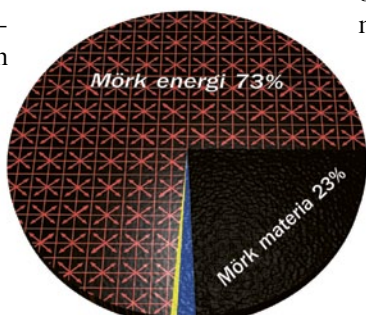


Mörk energi är en kraft som i motsats till gravitationen får universum att öka sin expansionstakt. Vad den är, om den nu existerar, finns det ingen som har en susning om.

representerar den en form av repulsiv vakuumergergi. Einstein använde den dock för att hindra att hans ekvationer skulle beskriva ett universum som redan borde imploderat av sin egen gravitation. Han kunde dock ta bort sin kosmologiska konstant när det visade sig att universum expanderar och på så

sätt balanserar gravitationen. Men det var en kort tid av lycka för fysiken - när det visade sig att expansionen accelererar fick Einsteins idé återkomma i form av mörk energi.

Gåtan är att ingen vet vad den mörka energin är. Eller om den ens finns. Det kanske är något fel på våra modeller istället.



Stjärnor, intergalaktisk gas, planeter mm 0,4%

Fördelningen av energi i universum enligt de rådande teorierna (materia är enligt Einsteins berömda formel också energi).

KOMPLEXITET

Komplexitet är komplicerat. Det mesta vi ser omkring oss är komplexa system, till exempel en människa som är uppbyggd av miljarder celler som samverkar. Varje enskild cell är också ett komplext system av olika organeller, som i sin tur består av molekyler, vilka är uppbyggda av atomer. Som består av elementarpartiklar.

När man väl har nått ner till elementarpartiklarnas nivå så lyder de under de fyra kända fundamentala krafterna i naturen (gravitation, elektromagnetism, stark kärnkraft och svag kärnkraft) som alla är hyfsat enkla. Men det är nästan alltid omöjligt att direkt

ur dem i detalj förutsäga beteendet hos enskilda komplexa system, långt från människans eller cellens komplexitet.

Är detta en verklig aspekt av naturen, eller bara en konsekvens av att vi hittills formulerat våra teorier på ett sätt som inte är särskilt optimalt?

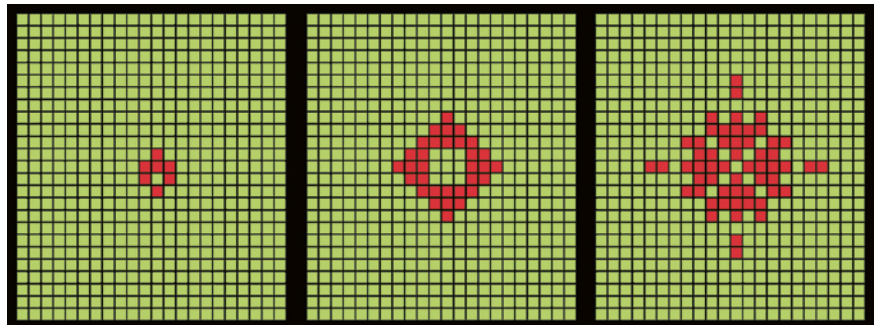
Den logiska möjligheten finns också att världen inte är reduktionistisk (eller snarare "konstruktivistisk"), det vill säga att en handfull fundamentala lagar inte är tillräckligt för att bygga upp (rekonstruera) all komplexitet som vi ser runtomkring oss. Kanske måste lagarna kompletteras med nya okända principer på olika skalor.

Man vet dock, både från observationer och teoretiska modeller, att vissa komplexa system kan uppvisa förvånansvärt enkla kollektiva beteenden, som när till exempel tusentals eldflugor spontant börjar blinka i takt utan någon dirigent som styr dem. Oordning som

synbarligen spontant självorganiserar sig till ordning, stick i stäv med den traditionella bilden att oordningen/entropin alltid måste öka. Ett klassiskt exempel är datorspelet "Game of life" där enskilda punkter lyder under några mycket enkla lagar, men tillsam-

mans börjar uppvisa komplexa mönster.

Många tror att detta forskningsfält kommer att vara oombärligt för att förstå och förklara sådana fenomen som livets uppkomst (och vad liv egentligen är) samt hur medvetande kan uppstå från själlösa atomer i hjärnan.



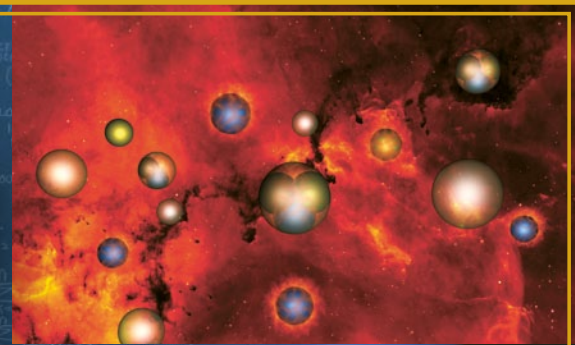
Datorspelet, eller snarare simulationen, Game of Life bygger på ett par enkla regler: en levande cell med två eller tre grannar överlever, i alla andra fall dör den. Om en tom cell har tre grannar föds en levande cell där. Med dessa regler kan komplicerade mönster uppstå. På bilden har reglerna upprepats fem gånger från den första till den andra bilden, och åtta gånger från den andra till den tredje bilden.

Mörk MATERIA

Observationer tyder på att cirka 90 procent av materien i universum utgörs av en exotisk, okänd sort som varken absorberar eller avger ljus. Mörk materia, som den kallas, kan därför inte ses direkt, och har heller aldrig upptäckts. Istället är existensen av mörk materia hypotetisk och dess stora mängd härleds från gravita-

tionella effekter på synlig materia, strålning och universums strukturformation. Bland annat roterar galaxer så fort att stjärnorna borde slungas iväg om det inte finns tio gånger mer massa (och därmed gravitation) än vi kan se. Denna märkliga materia är tänkt att inte bara genomsläpper utkan-

ten av galaxer, utan hela universum. Det finns i nuläget två huvudidéer om vad den består av - wimps och machos. Wimps står för "weakly interacting massive particles" och är hypotetiska partiklar med stor massa som växelverkar med andra partiklar på ett sätt som gör att de (ännu?) inte kan upptäckas. Machos står för "massive astrop-



Vad mörk materia består av är ett mysterium. En hypotes är att det är okända småpartiklar med stor massa men som är obenägna att växelverka med den materia vi känner till och därmed svårupptäckta.

physical compact halo objects", alltså stora och massiva objekt - likt neutronstjärnor och svarta hål, fast okända.

Det finns nu flera experiment världen runt som är på jakt efter både wimps och machos.

Materia-antimateria asymmetrin

Frågan om varför det finns så mycket mer materia än dess motsatt laddade spegelbild, antimateria, är faktiskt den mycket viktiga frågan om varför någonting existerar överhuvudtaget.

Man antar att universum då det föddes behandlade materia och antimateria symmetriskt. Således borde det vid tidpunkten för den stora skrällen big bang

ha producerats lika andelar materia och antimateria. Detta borde då resulterat i en total förintelse av all materia: protoner skulle ha annihilerat med antiprotoner, elektroner med antielektroner (positroner), neutroner med antineutroner, och så vidare. Vilket skulle ha lämnat efter sig ett strukturlöst hav av fotoner i ett materielöst tomrum. Men av någon anledning fanns

ett litet överskott materia som inte förintades. Och här är vi. Detta har ännu ingen förklaring.

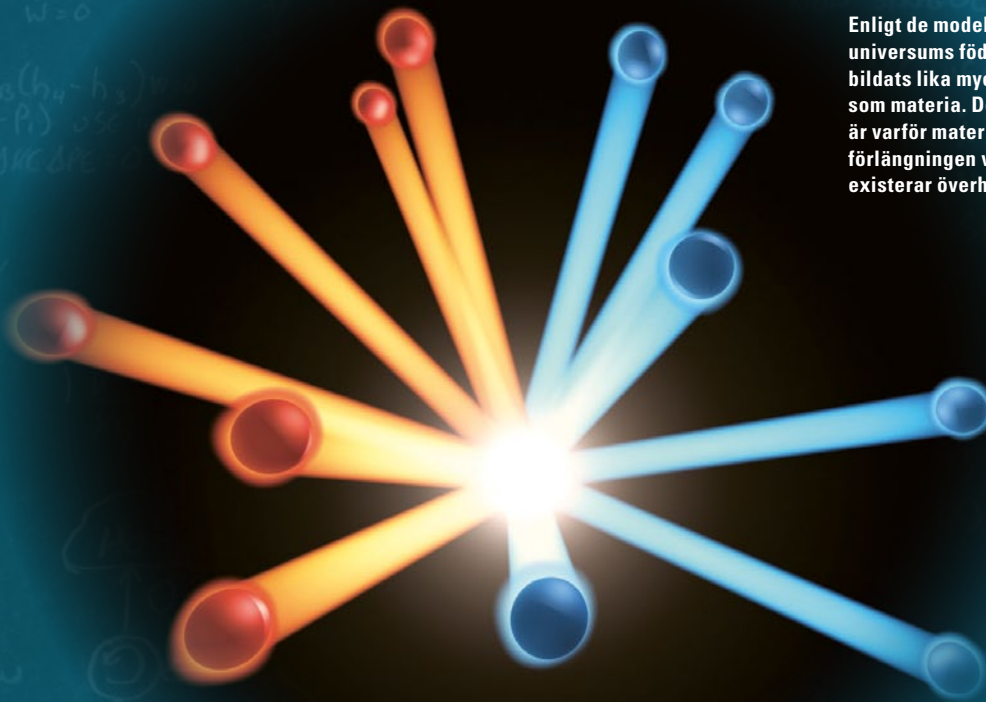
Vad vi kallar materia och antimateria är bara vår egen definition - vi kunde lika gärna ha fått ett universum som domineras av antimateria. Det medför i sin tur att svaret på denna gåta måste innehålla en fundamental tidsriktning. Universum går inte att spela bak-

länges eftersom två helt olika sluttillstånd (materia eller antimateria) då skulle ha uppstått ur samma begynnelsestillstånd.

Ett krångligare sätt att säga samma sak är att dagens mest fundamentala teori är CPT-invariant, det vill säga likadan om man samtidigt ändrar partiklarnas laddningar (C), speglar deras tillstånd (P), och kastar om tidsriktningen (T). Och

eftersom vi vet att CP-symmetrin kan brytas, så måste också T göra det, annars behålls inte CPT-symmetrin. Det betyder att teorin/naturen är asymmetrisk i tidsriktningen.

Problemet är att det kända CP-brottet (som finns i den svaga kärnkraften) är alldeles för litet för att förklara varför materien vann.



Enligt de modeller som finns för universums födelse, så bör det ha bildats lika mycket antimateria som materia. Den stora frågan är varför materia "vann". Och i förlängningen varför någonting existerar överhuvudtaget.

Och hur ser då lösningarna ut?

Min egen kristallkula säger att flera av de stora gåtorna inte är oberoende utan kan, bör eller till och med måste lösas samtidigt. Jag tror lösningen stavs ickelinjäritet. I en linjär teori är helheten exakt lika med summan av delarna. I en ickelinjär teori är helheten mer (eller mindre) än summan av delarna.

Alla klassiska teorier är fundamentalt ickelinjära (friktion, gravitation, turbulens och så vidare), samtidigt som kvantfysiken är exakt linjär (superposition, Schrödingers katt, kvantsammanflätning, med mera).

Möjligheten finns alltså att svaren på gåtorna fås ur en framtida universell teori för övergången mellan linjärt och ickelinjärt, det vill säga mellan kvantmekaniskt och klassiskt.

Komplexitet uppstår i system med någon ickelinjär feedback. Och detsamma kan mycket väl gälla partikelmassor.

Man kanske inte heller behöver mörk energi för att förklara kosmologiska data. Materien i universum är i verkligheten inte helt jämnt fördelad, vilket är det grundantagande i kosmologins standardmodell som gör Einsteins starkt ickelinjära ekvationer mycket enklare. Det finns ansamlingar av materia (galaxer med mera) som bryter den idealiserade bilden, dessutom växer skillnaden mellan tomrummen och ansamlingarna automatiskt då universum expanderar - ickelinjäriteterna ökar med tiden. Dessa "klumpar" i det verkliga universum

kan dessutom ge en effekt som "härmar" en acceleration i ett helt jämnt utsmetat, idealiserat, universum.

"We are not to tell nature what she's gotta be. ... She's always got better imagination than we have."

Richard Feynman

FRIKTION, TURBULENS OCH MÄTNING

Än så länge finns ingen fundamental förklaring av friktion - återigen för att den fundamentala förståelsen av övergången linjärt till ickelinjärt saknas. På samma sätt är det med turbulensens gåta - ett laminärt (nästan linjärt) beteende övergår

till ett gravt turbulent (starkt ickelinjärt).

Det finns till och med en chans att sammanlänka allt med den kanske största gåtan av alla - det kvantmekaniska mätproblemet; hur, när och varför den spöklika och obestämnda kvantvärlden genererar vår konkreta, bestämda makroskopiska värld. Det vill säga hur det vi kallar verkligheten blir till.

När man kyler en viss typ av helium till nästan absoluta nollpunkten blir det kvantmekaniskt superflytande och strömmar helt utan friktion; höj temperaturen lite och det betar sig som en vanlig (ickelinjärt) vätska. Vore det inte coolt, i bokstavlig bemärkelse, om man i denna övergång kunde studera och

förstå gåtorna friktion, turbulens, tidspilen, komplexitet, kvantmekanikens mätproblem ... som flera feta flugor i en och samma smäll?

Principen är linjärt till ickelinjärt, och jag säger som Wolfgang Pauli som i ett brev till Werner Heisenberg skrev: "bara tekniska detaljer saknas ..." på ett i för övrigt tomt blad.

Men vi bör också komma ihåg Freeman Dysons varnande ord: "Folk frågar mig ofta vilket nästa stora vetenskapliga genombrott kommer att bli, men det är naturligtvis något helt oväntat. Alla verkligt viktiga upptäckter kommer som stora överraskningar. Vad jag än skulle nämna så skulle det uppenbart inte vara något överraskande." w☺



JOHAN HANSSON

Professor i teoretisk fysik

verksam vid bland annat Luleå tekniska universitet. Han kan nås via www.funphysics.se