

Om partikelfysik och miljardsatsningar

Detta är en något utvidgad version av Håkans ”föreläsning” vid MAX IV och ESS i Lund. Det är ett försök att efter bästa förmåga beskriva atomfysikens nuvarande läge i någorlunda begripliga termer. Samt att kort beskriva vad miljardsatsningarna i Lund innebär. Jag vill heller inte påstå att jag har begripit allt. Och kom ihåg: Här serveras inga absoluta sanningar. Vetenskap är en teoribyggnad som ständigt förändras i ljuset av nya upptäckter. Eller för att citera Umberto Ecos romanfigur William av Baskerville: ”De enda sanningar som är till nytta, är redskap som man kan kasta.” (Som i sin tur har en verklig förebild, nämligen William av Ockham, en munk som levde på 1300-talet. Han är berömd för sin ”Ockhams rakkniv” nämligen att om du har flera gångbara förklaringar till ett fenomen, välj den enklaste. Eller, för att vara modern: KISS – keep it simple stupid! Medeltiden var nog inte fullt så mörk som vi vanligtvis tror.)

Håll till godo!

Atomer och joner och molekyler

All materia – åtminstone så som vi känner den här i vårt solsystem – består av atomer. Idén framkastades redan under antiken av en grekisk filosof vid namn Demokritos (och hans lärare Leukippos). Materien är alltså enligt honom inte en smetig kräm utan består av diskreta partiklar, som är de minsta beståndsdelarna (grekiska atomos = odelbar) som i sin tur bygger upp all materia.

Under 1700- och 1800-talen var det kemister som på indirekt väg konstaterade att atomteorin nog var användbar. Man lyckades isolera och renframställa vad man kallade grundämnen. Så småningom förstod man att det fanns ett begränsat antal grundämnen av vilka alla andra ämnen var uppbyggda, som salter och molekyler. Grundämnena kunde inordnas i det s k periodiska systemet, vilket alla plågades med i skolan.

Atomerna visade sig dock inte vara odelbara. Snart kunde man konstatera att de bestod av en atomkärna omgiven av elektroner. Varje grundämne karakteriseras av antalet elektroner som omger kärnan (från en elektron för väte till mycket tunga atomer med över hundra elektroner).

Atomkärnan då? Jo, den visade sig innehålla positivt laddade protoner (som balanserar de negativt laddade elektronerna) och oladdade neutroner. Antalet protoner (och elektroner) bestämmer vilket grundämne det är. Antalet neutroner kan variera även för samma grundämne. Dessa varianter kallas isotoper.

Om en atom blir av med en eller flera elektroner (eller lägger beslag på elektroner från omgivande atomer blir de laddade joner, som i sin tur kan bilda salter. Eller också uppstår bindningar genom att atomer delar på en eller flera elektroner och bildar molekyler. Dessa salter och molekyler är olika kemiska ämnen (som koksalt NaCl och andra oorganiska ämnen eller alla typer av organiska ämnen som är uppbyggda av kolledjor).

Så långt har nog de flesta av oss hängt med i skolan.

Elementarpartiklar

En del isotoper är instabila och deras atomkärnor faller sönder i en bestämd takt. Halveringstiden kan vara från delar av sekunder till tusentals år men den är karakteristisk för varje radioaktivt grundämne. Man kan alltså mäta halveringstiden för en större mängd av en viss isotop men man vet aldrig när en enskild atom kommer att sönderfalla. Upptäckten av radioaktivitet gav som bekant upphov till både atombomber och kärnreaktorer. Men samtidigt upptäckte man att en sönderfallande atomkärna gav inte bara ifrån sig protoner och neutroner utan en hel del andra fragment som man så småningom har lyckats identifiera. Ännu bättre gick det när man med hjälp av kraftfulla partikelacceleratorer kunde slå sönder atomkärnor under kontrollerade förhållanden. Allteftersom fler partiklar förutsades och upptäcktes behövdes det allt kraftigare doningar och den verkliga storsläggan finns nu i närheten av Geneve – CERNs LHC ((Large Hadron Collider). Det är en jättelik cirkelformad accelerator där man kan accelerera upp protoner åt båda hållen till nära ljusets hastighet och sedan låta dem kollidera head on antingen med varandra eller med atomkärnor av bly. Splittret från kollisionerna analyseras på olika sätt för att fastställa vad det består av.

Med tiden har det utkristalliserats en ”standardmodell” för hur materien är uppbyggd och vilka elementarpartiklar som det finns. Se figuren nedan.

Schemat är indelat i grupper: den blå gruppen kallas **kvarkar** och den gröna för **leptoner**. Dessa kan betraktas som partiklar som utgör byggstenarna i större partiklar. De röda **bosonerna** till höger är snarare krafter än partiklar och hjälper till att hålla ihop strukturerna.

Vi kan känna igen ett par av dessa kryptiska byggstenar. Uppe till höger finns fotonen, alltså vanligt ljus. Och nere till vänster återfinns vi vår gamla vän elektronen. Övriga kan vi lämna därhän efter att ha konstaterat att t ex en **proton** är uppbyggd av två upp- och en nerkvark (uud) och en **neutron** är uppbyggd av två ner- och en uppkvark (ddu). Sådana sammansatta partiklar kallas **hadroner**, vilket ger oss en förklaring till namnet på CERNs stenkross **Large Hadron Collider**.

Tre generationer materia (Fermioner)

	I	II	III	
massa→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
laddning→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spinn→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
namn→	u upp	c charm	t topp	γ foton
Kvarkar	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d ner	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s sär	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b botten	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e elektron-neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ myon-neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau-neutrino	91.2 GeV 0 1 Z Z-boson
Leptoner	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ myon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tauon	80.4 GeV ± 1 1 W W-boson
				Bosoner (Krafter)

Partikelfysik är emellertid inte bara stenkrosseri utan även avancerad matematik och spekulation. Redan på 1980-talet var det därför en man vid namn Higgs som med matematisk logik förutsade ytterligare en partikel som inte finns med i standardmodellen. Som bekant har man nu med hjälp av LHC kunnat hitta spår även av denna partikel – Higgs boson.

Två saker att hålla i minnet

1. Att prata om "partiklar" kan vara vilseledande. För det första kan vi inte se dem, inte ens med de bästa instrument som finns. Man noterar deras existens genom olika indirekta metoder. De är förstås inte heller partiklar i vanlig mening. En mer adekvat beskrivning kanske är att de är något slags kombination av massa och energi. Och, eftersom Einstein redan för mer än hundra år sedan fastslog att massa är en form av energi ($E=mc^2$), så kan man lika gärna prata om olika energiformer som uppenbarar sig – och samspelar – på olika sätt.

2. Alla vet att ljus (fotoner) kan uppfattas som både partiklar och elektromagnetiska vågor. Det gäller även övriga elementarpartiklar – och, vilket vi senare får användning för, även hadroner som protoner och neutroner. Denna dubbelnatur på atomär nivå har vissa konsekvenser och bekymrade en del kärnfysiker för hundra år sedan. Det fick Heisenberg att formulera sin berömda osäkerhetsprincip. Den säger att det är omöjligt att med exakt precision bestämma en elektrons (eller annan elementarpartikels) **position och rörelsemängd (energi) samtidigt**. Mäter man den ena exakt så blir den andra mätningen inexakt. Detta har gett upphov till en del konstiga och svårbegripliga förklaringar (som att mätningen påverkar partikeln) men är egentligen ganska enkelt. En atomär partikel är alltså inte en partikel i likhet med en kanonkula, vars läge och rörelsemängd går att beräkna och mäta exakt i varje ögonblick (Newton). Den är något annat som ibland kan uppfattas som en partikel och ibland som en vågrörelse men i själva verket är båda samtidigt. Om man vill mäta en vågrörelses energi d v s dess frekvens så måste man mäta minst en hel våg och helst flera för att få ett mått på våglängden. Samtidigt som man gör detta, kan man inte få ett exakt mått på läget, eftersom vågen rör sig under tiden som man mäter våglängden. Ju fler våglängder man mäter desto exaktare värde på energin och desto diffusare värde på läget. Och tvärtom. Tänk att kvantmekanik kan vara så enkelt.

Nåja, i själva verket är kvantmekaniken en teoribyggnad på mycket hög matematisk nivå. Tyvärr finns den många klåpare som har försökt sig på att tillämpa den relativistiska aspekten av kvantmekaniken på alla möjliga andra områden från filosofi och psykologi till andlighet, och missförstått det hela kapitalt.

Därmed lämnar vi nu kvantfysiken.

Higgs boson förresten: Den finns inte med i schemat ovan, dels för att den är nyupptäckt, dels för att den inte riktigt passar in. Dess funktion är nämligen att ge alla andra elementarpartiklar massa. Utsmetad över hela universum liksom. Be mig inte att förklara hur.

Optik

Vi måste nog ta lite optik också. Vi tar fotonen som exempel. Enligt kvantfysiken är ljus inte en konstant ström av energi utan den kommer i form av ljuskvanta (fotoner) d v s energiflödet kan inte delas i hur små bitar som helst. Men det som intresserar oss nu är dess egenskaper i form av elektromagnetisk strålning. Från skolan kommer vi ihåg att om man skickar ljus genom ett prisma (eller en smal spalt) så delas det upp i ett spektrum. De olika färgerna i spektrum motsvarar egentligen olika energinivåer. UV-ljus och röntgenstrålning är energirikare och har kortare våglängd än infrarött och radiovågor. Alltså kort våglängd är lika med hög energi.

Likaså kommer vi ihåg att man i ett mikroskop inte kan se föremål som är mindre än ljusets våglängd. Därför använder man elektronmikroskop (högenergetiska elektroner med kort våglängd) för att kunna "se" diverse saker som inte går att se med vanliga mikroskop.

För det tredje: om man skickar ljus av en viss våglängd (monokromt) genom ett gitter (en uppsättning smala spalter) med spalter vars bredd närmar sig ljusets våglängd, kommer man att på andra sidan kunna se ett spridningsmönster som blir beroende på hur tätt spalterna sitter. Med hjälp av mönstret kan man baklänges räkna ut hur gittret ser ut. Detta fenomen har man använt inom röntgenkristallografin för att se hur kristallstrukturer ser ut.

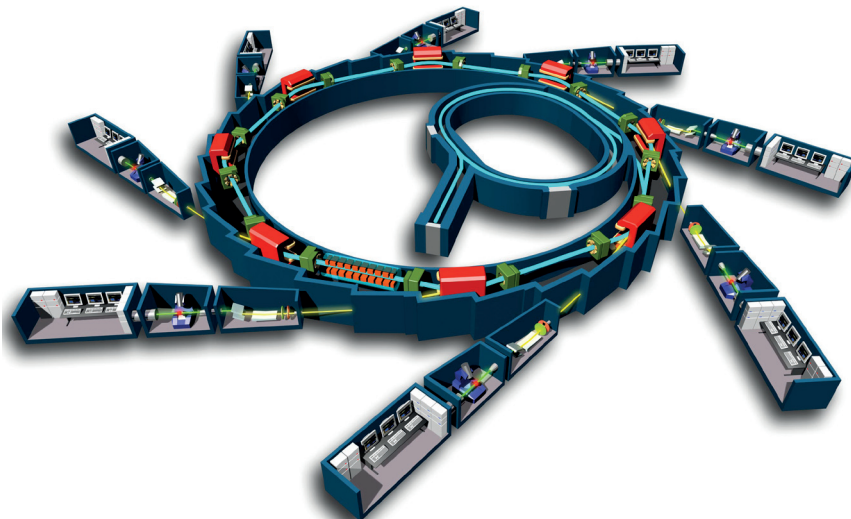
Men ännu har vi inte sett en enda atom. För den sakens skull behöver vi strålning som är både mycket monokrom och har mycket hög energi (d v s kort våglängd) och som dessutom är tillräckligt intensiv. Och då kommer vi till Lund.

Synkrotroner och acceleratorer

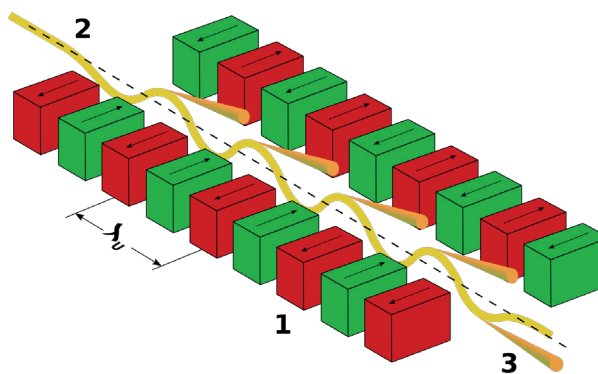
Både **MAX IV** och **ESS** är i grund och botten anordningar för att åstadkomma just detta. I MAX IV använder man fotoner i form av extremt energirik röntgenstrålning och i ESS använder man neutroner av lämplig våglängd. I båda fallen kan man med hjälp av denna strålning "se" hur olika ämnen är uppbyggda på atomär nivå. Atomstrukturen utgör alltså ett slags gitter som sprider strålarna på olika sätt – om strålningen har en våglängd som är ungefär lika stor som avstånden mellan atomerna. På samma sätt som i optikfallet ovan kan man med hjälp av spridningsmönstret räkna ut hur atomstrukturen ser ut. Och det har massor av tillämpningar inom materialvetenskap, biologi och medicin m fl områden.

Hur gör man då? Och varför krävs det sådana miljardsatsningar?

MAX IV är i grunden en **synkrotron**. En synkrotron består av en elektronkälla där man accelererar upp elektroner till hög hastighet och sedan matar in dem i en cirkulär tunnel (s k lagringsring) där de med hjälp av elektriska och magnetiska fält fås att röra sig i cirkel. När en elektron tvingas att böja av (gira) avger den energi i form av ljus (synkrotronstrålning). Detta ljus är sammansatt av alla våglängder från radiovågor till röntgen. Med hjälp av gitter och speglar kan man sortera ut vissa våglängder och använda dem i olika försöksstationer runt lagringsringen.



Ett smart sätt att öka på synkrotronstrålningen (förutom att höja elektronernas hastighet) är att ha partier i lagringsringen där elektronerna tvingas att wobbla – d v s ett snabbt och våldsamtt girande fram och tillbaka. Det ger ett extremt starkt synkrotronljus på just det stället. Den tekniken utnyttjas i MAX IV.



Det som gör MAX IV speciell (och dyr) är summan av:

- att den är **större** än tidigare liknande anläggningar
- att den innehåller **två lagringsringar** med olika egenskaper (bättre än befintliga) och nya högteknologiska lösningar
- att den **matas kontinuerligt** med högenergetiska elektroner till skillnad från tidigare anläggningar där man bara kan putta in enstaka ”skyfflar” av elektroner som falnar innan man matar in nästa ”skyffel”. Vid MAX IV kan man alltså köra sina experiment oavbrutet dygnet runt.
- att den primära elektronkanonen är **kraftfullare**
- att **synkrotronljuset** i stora ringen är intensivare, kortvågigare och bättre fokuserat än i andra anläggningar (man kan se mindre detaljer tydligare)
- att man i en speciell tillbyggnad kan ta ut synkrotronljus i **mycket korta pulser** (1 femtosekund = en miljarddels miljarddels sekund), vilket gör att man kan studera kemiska reaktioner i realtid. Inte illa!

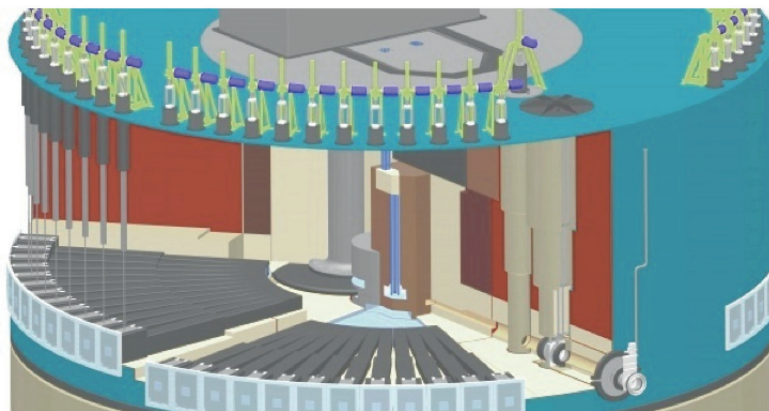
Med denna anläggning kan man alltså faktiskt ”se” enskilda atomer i olika molekyler och materialstrukturer.

MAX IV är en helsvensk satsning som går löst på sådär 3 miljarder SEK.

ESS är i grunden en neutronkälla, där man använder neutroner i stället för fotoner för att titta på atomstrukturer – ungefär i samma syfte. Dock har neutroner lite annorlunda egenskaper än fotoner, vilket gör att de passar bättre för vissa typer av strukturstudier.

Neutroner kan man visserligen plocka ut ur en kärnreaktor – det är ju neutronproduktionen som håller igång kärnklyvningen – men det är rätt bökigt och reaktorn kan inte slås av och på lika lätt. Här åstadkommer man neutroner på ett annat sätt. ESS betyder European Spallation Source. Och ”spallation” är ett annat ord för att slå sönder atomkärnor med högenergetiska partiklar. I det här fallet använder man protoner för att slå sönder wolframatomer, vilket resulterar i mängder av neutroner.

Protonkällan är en kraftfull accelerator som kräver sådär 5 MW elenergi. Protonerna skickas in i en komplicerad anordning där det finns en roterande wolframcylinder. Två svårigheter måste lösas. Dels produceras det en hel del radioaktivitet som måste tas om hand, dels måste neutronerna (som far åt alla håll) styras och hastighetskorrigeras så att man får ut fokuserade strålar med enhetlig hastighet. Det första löser man med en stålcyllinder som väger 7000 ton. Det andra fixar man med sk moderatorer (bromsmaterial) och speglar av olika slag. Att detta inte är så enkelt som det låter framgår kanske av denna bild:



Eftersom man här rör sig med högre energinivåer än i tidigare liknande anläggningar kommer ESS att innehålla en del nya och oprövade tekniska lösningar. Text så måste man ju kyla bort de 5 MW som man pumpar in.

När man väl har fått till sina neutroner, bromsat ner dem till låga hastigheter (ca ljudhastighet faktiskt) och fokuserat dem, så kan man använda dem för materialstudier ungefär som vid MAX IV. Även här handlar unikteten om att man får ljusstarkare och bättre fokuserade neutronstrålar än tidigare och därmed får bättre upplösning.

ESS är en internationell satsning som går lös på åtminstone 20 miljarder SEK. Sverige bidrar med ca 30%.

Datorkraft

Det bör kanske tilläggas att i ingendera fallet blir det några tjugiga foton som tas (som på en röntgenavdelning). Detektorerna vid de olika experimentstationerna samlar enorma mängder med data som sedan måste bearbetas av kraftfulla datorer innan man får fram något som liknar fysiska bilder av materialet.

Vad är det för bra med det här då?

Kortfattat skulle man – lite vanvördigt – kunna säga att dessa två anläggningar är två enorma mikroskop med vilka man kan se atomstrukturen i olika material. De arbetar med olika slags belysning och kompletterar därför varandra. Instrumenten kommer att användas av forskare och företag som vill veta mer om strukturen i nya konstruktionsmaterial, proteiner, celler, bakterier, virus, läkemedel, you name it ... Eller hur ett läkemedel interagerar med en cellvägg eller ett protein. Eller hur biologiska processer går till i detalj. Och framförallt kommer man nog att upptäcka nya saker – ungefär som när Antonie van Leeuwenhoek på 1670-talet hade konstruerat sitt mycket förbättrade mikroskop och plötsligt upptäckte en ny värld – mikroorganismerna.