

# Hur de nya grundämnena upptäcktes

Det finns idag 118 grundämnen. Alla som är tyngre än bly Pb är instabila så hur har man upptäckt de allra tyngsta grundämnena och hur detekteras de?

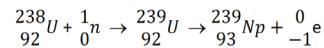
## Grundämnena i naturen

I naturen hittas grundämnena med atomnummer upp till uran (92), samt kortlivade isotoper av neptunium (93) och plutonium (94). Flera av dessa "lätta" grundämnena finns bara i små mängder på grund av att de är radioaktiva och har kort halveringstid; Fr, Ra, Po, Tc, Rn, Pm, Ac, Pa, At, Np och Pu. Dessa element bildas i naturen genom sönderfall av kalium-, torium- och uranisotoper. Samtliga aktinider tyngre än uran har upptäckts genom laboratorieexperiment liksom alla de så kallade supertunga grundämnena  $\geq 104$ , dessa upptäckter är gjorda efter 1940.

## Hur tyngre grundämnena bildas

I atomkärnan repellerar protonerna varandra elektrostatiskt. Den kraft som attraherar både neutroner och protoner kallas stark växelverkan och är bara verksam över mycket korta avstånd. Nettoenergin mellan dessa krafter kallas bindningsenergin. Nuklider med fler än 20 protoner (Ca) måste ha fler neutroner än protoner för att motverka den elektrostatiske repulsionen mellan protoner. Till slut blir kärnan för stor för att vara stabil och därför har inget av de tunga elementen någon stabil isotop, se Figur 1. De tunga grundämnena som inte har några stabila isotoper har upptäckts antingen genom neutroninfångning eller genom fusionsreaktioner där lättare element har slagits ihop för att bilda ett tyngre. Partiklarna som skall kollideras måste ha så hög energi att man överträffar repulsionskrafterna mellan kärnans laddade partiklar. Denna höga energi fås genom acceleration i en cyklotron eller en linjär accelerator. Ernest Rutherford konstruerade den första cyklotronen på 1930-talet i Berkeley, Kalifornien, se

Figur 2. Neutroninfångning kan skapa element upp till fermium ( $Z=100$ ) följt av  $\beta^-$ -sönderfall via reaktioner som denna,



Det var Edwin McMillan och Philip Abelson vid Berkeley, Kalifornien som framställde neptunium (93), det första grundämnet med högre nummer än 92. Efter denna upptäckt framställdes plutonium (94) av Glenn Seaborg, Edwin McMillan mfl genom att bombardera uran med  $\alpha$ -partiklar. Artikeln skickades för publicering 1941 men drogs tillbaka då det stod klart att en isotop Pu-239 fissionerats på ett sätt som kunde ge en explosiv kedjereaktion och därför kunna användas i en atombomb. Grundämnena einsteinium (99) och fermium (100) upptäcktes inte via acceleratorförsök utan i sönderfallsprodukter från en amerikansk provsprängning av en vätebomb 1952 på atollen Bikini i Stilla Havet.

## Hur de allra tyngsta grundämnena bildas

För syntes av de riktigt tunga grundämnena fungerar inte tekniken med neutroninfångning, då dessa element har för korta halveringstider på grund av fission och  $\alpha$ -sönderfall, utan andra tekniker har utvecklats. De supertunga elementen ( $Z \geq 104$ ) har halveringstider från 0,69 ms (118) till 29h (105).

Fyra laboratorier står för upptäckterna av elementen med atomnummer  $>92$ .

93-101: Lawrence Berkeley National Laboratory, Kalifornien, USA

107-112: Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt, Tyskland

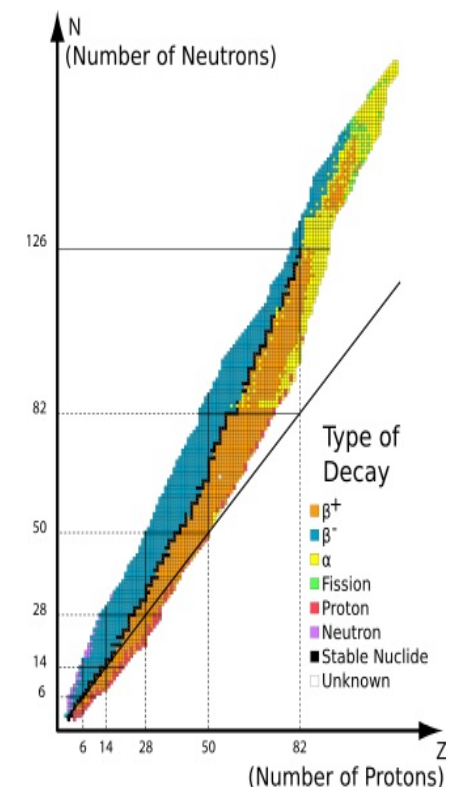
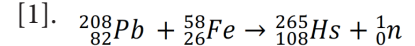
113: Rikagaku Kenkyusho (RIKEN), strax norr om Tokyo, Japan

102, 114-118: Joint Institute of Nuclear Research (JINR), Dubna, Ryssland.

103-106 Lawrence Berkeley National Laboratory tillsammans med JINR.

## "Cold fusion"

En teknik som utvecklats kallas "cold fusion" vilket i sammanhanget betyder låg excitationenergi (10-20 MeV) och innebär att isotoper av medeltunga element (Fe, Ni eller Zn) accelereras mot mål bestående av Pb eller Bi. Det är denna teknik som använts i Darmstadt och vid RIKEN [1].

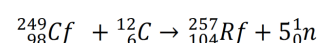


Figur 1: Stabiliteten hos en isotop beror på kombinationen av antal protoner och neutroner. Ju tyngre ett grundämne är desto fler neutroner krävs för att det skall vara stabilt. Bly (82) är det tyngsta stabila grundämnet. Vismut (83) är inte stabilt men har en halveringstid på  $1,9 \times 10^{19}$  år vilket är mer än en miljard gånger längre än universums ålder ( $1,38 \times 10^{10}$  år) och brukar därför betraktas som stabilt.

Bild från Wikimedia Commons

## "Hot fusion"

är termen som används då isotoper av lätta element accelereras mot mål bestående av aktinider (Cf, Am) [2]. Här krävs en högre excitationenergi (40-50 MeV).



Vid syntes av grundämnena 114-118 har isotopen Ca-48 accelererats mot olika aktinider i Dubna, Ryssland. Aktinidisotoperna som användes som måltavla för kalciumisotoperna vid dessa experiment har framställts vid Oak Ridge-laboratoriet i USA. Det tog ca två år att framställa de 20mg berkelium som användes vid syntesen av teness (117).

### Hur ett nytt grundämne godkänns

Det är IUPAC som godkänner nya grundämnen genom att en kommission tillsätts som granskar experimentella data. IUPAC har vid ett par tillfällen varit för snabba med att godkänna ett nytt grundämne, tex nobelium som fyra olika grupper hävdade att de upptäckt. IUPAC fick ta tillbaka sitt beslut och ge prioritet till en annan grupp. Numera är det en rigorös procedur bakom godkännandet av ett nytt grundämne och det tar ofta lång tid efter upptäckten till ett grundämne är godkänt och har fått ett namn. Ett krav för att ett nytt grundämne skall godkännas är att experimentet ska ha repeterats av ett oberoende laboratorium. I några fall har endast några enskilda atomer kunnat framställas.

### Namngivning av nya grundämnen

Den grupp som får ge ett namnförslag är den grupp som IUPAC ger äran att först ha upptäckt ett grundämne och sedan är det IUPAC som godkänner namnet. Flera av dessa tunga grundämnen har fått namn efter platser där experimenten har gjorts såsom Db (Dubnium efter Dubna), Ds (Darmstadtium efter Darmstadt) och Bk (Berkelium efter Berkeley) samt efter kända forskare såsom Mt (Meitnerium efter Lise Meitner), Rg (Röntgenium efter Wilhelm Conrad Röntgen). Det är bara två grundämnen som fått namn efter levande personer; seaborgium, Sg, efter Glenn Seaborg och oganesson, Og, efter Yuri Oganessian. Glenn Seaborg och hans grupp vid University of California, Berkeley syntetiserade sju nya grundämnen; Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Md och #106 som senare fick namnet seaborgium. Yuri Oganessian är den ende nu levande person som har gett

namn åt ett grundämne. Han har varit ledande vid samarbetet mellan Dubna, Berkeley och Oak Ridge vid framställningen av de allra tyngsta grundämnena.

### Går det att hitta tyngre grundämnen än 118?

För att hitta tyngre grundämnen än oganesson (118) så går det inte längre att använda sig av kalciumisotoper på grund av att det helt enkelt inte finns någon tillräckligt stabil aktinid isotop tyngre än Cf-249 att använda som mål. Vid JINR planerar man istället att använda sig av en Ti-isotop att beskjuta Bk och Cf för att skapa 119 och 120. En ny cyklotron konstrueras som dels skall ha förbättrade detektionsmöjligheter och dels kunna generera en stråle av lätta element med betydligt högre intensitet än vad som hittills varit möjligt [3]. Vid RIKEN har försök redan påbörjats för framställning av grundämne 119, de använder en annan teknik än den JINR planerar. Japanerna bombarderar curium (96) med vanadin (23) i hopp om att de två atomerna ska smälta samman. Dessa potentiella nya element förväntas ha mycket kort halveringstid. Halveringstiden måste vara längre än ca 1 $\mu$ s för att den skapade atomkärnan skall hinna nå fram till detektorn innan den sönderfaller och detta sätter en praktisk gräns för hur tunga element som kan skapas. Richard Feynman gjorde beräkningar som satte 137 som gräns för hur tunga grundämnen som kan finnas. Beräkningarna byggde på att när atomkärnan blir större så måste de innersta elektronerna ha högre och högre hastighet och när man når en viss storlek så måste elektronerna gå fortare än ljushastigheten vilket är fysiskt omöjligt. Andra beräkningar med en icke sfärisk atomkärna förutsäger att den övre gränsen är 170. Det har förutsagts att det finns stabilitetsöar vid atomnummer 120, 124 eller 126 och att dessa grundämnen med ett magiskt antal protoner skulle kunna vara betydligt mer stabila än omkringliggande element om de samtidigt också har det magiska antalet 184 neutroner. Ett stort exper-

imentellt problem är dock att det helt enkelt inte finns två startämnen (isotoper) som tillsammans ger tillräckligt många neutroner för att komma till en sådan stabilitetsö.

### Referenser

- [1] S. Hofmann, "Synthesis of superheavy elements by cold fusion", Russian Chemical Reviews 78 (2009) 1123-1138.
- [2] K. Chapman, Chemistry World, 14 (2017) 22-32.
- [3] K. Krämer, Chemistry World, March (2016) 10.

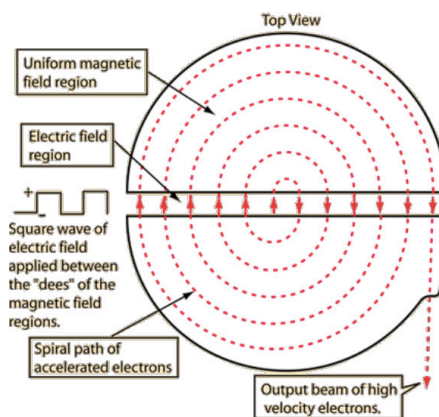


foto: Monica Johansson

### Mats Johansson

är professor på institutionen för material- och miljö kemi vid Stockholms Universitet. Mats är intresserad av grundämnenas upptäckthistoria och hur synen på materia har utvecklats under århundradena. Hans forskning rör för närvarande syntes och karakterisering av nya oorganiska föreningar med intressanta optiska eller magnetiska egenskaper samt elektrokemisk vattensplittring och oxidation av glycerol till mer värdefulla organiska föreningar. [mats.johansson@mmk.su.se](mailto:mats.johansson@mmk.su.se)