

Hur tungt kan ett grundämne bli?

Per-Erik Tegnér, Stockholms universitet
Lärardagar om fysik, 31 oktober 2006

Vad är ett grundämne?

Ur nationalencyclopedin (NE):

“**grundämne**, *element*, ämne som uteslutande består av atomer med samma antal protoner i atomkärnan. Detta antal ges av grundämnets atomnummer. “

(= antal elektroner i den neutrala atomen)

“Grundämnen kan inte uppdelas i enklare beståndsdelar eller omvandlas i varandra genom kemiska reaktioner; det kan däremot ske genom kärnreaktioner.”

“Av ett givet grundämne kan det finnas flera olika *nuklider* eller *isotoper* beroende på antalet neutroner i atomkärnan”

Finns det ett tyngsta grundämne?

Vad sätter gränsen?

Elektronhöljets stabilitet

Z någonstans i området 170 till 210

Kärnans stabilitet

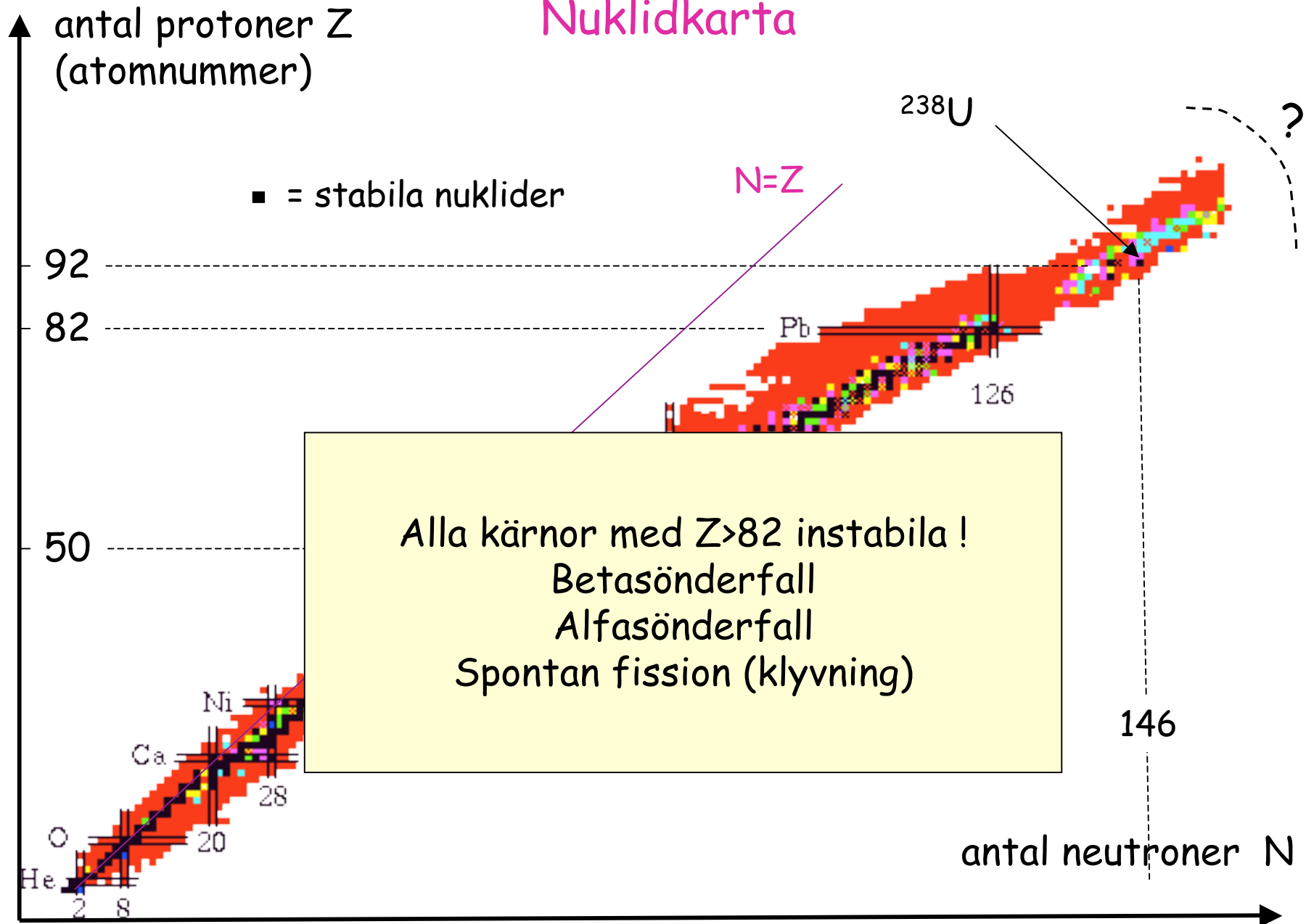
Z kring 120

Gränsen för kärnans stabilitet

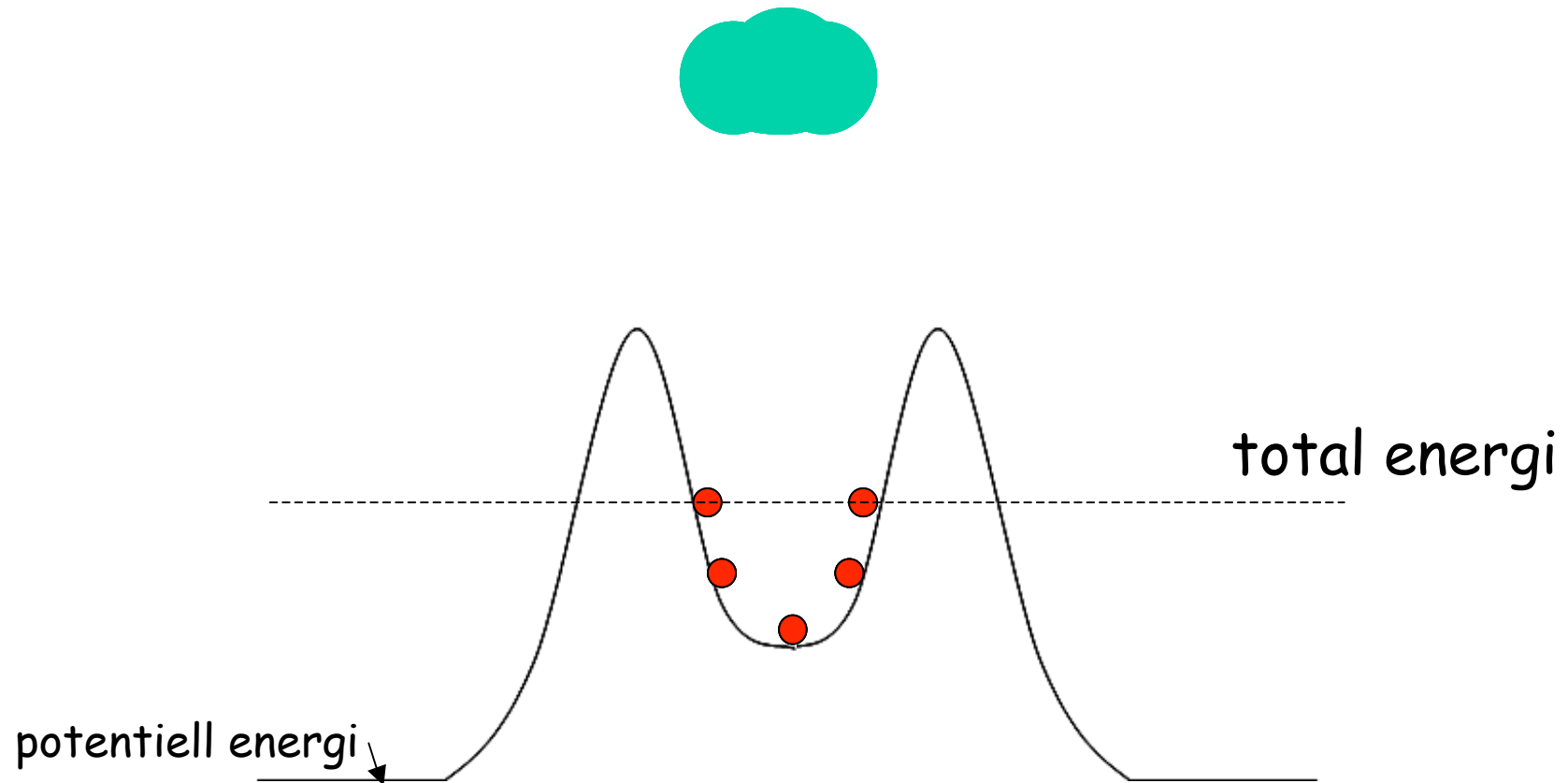
Kärnan består av protoner (Z st) och neutroner (N st),
kallas med ett gemensamt namn nukleoner ($N+Z = A$ st)

Balans mellan den **starka attraktiva kraften** mellan nukleonerna
och
den **repellerande kraften** mellan de positivt laddade
protonerna

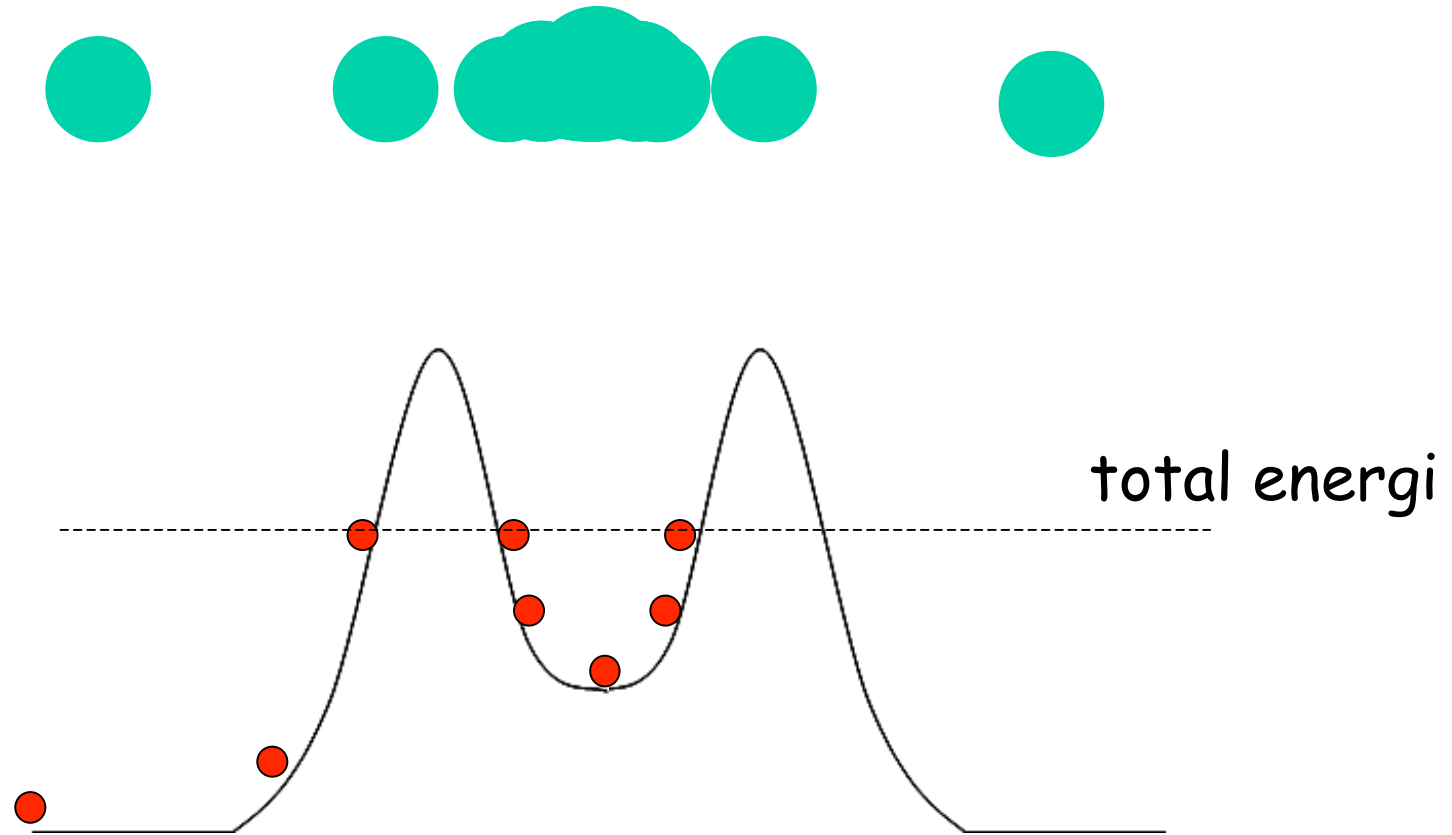
Nuklidkarta



Spontan fission energimässigt möjlig (dvs energi frigörs)
för $Z > \text{ca } 44$ (dvs grundämnet ruthenium)
Potentialbarriär försvårar



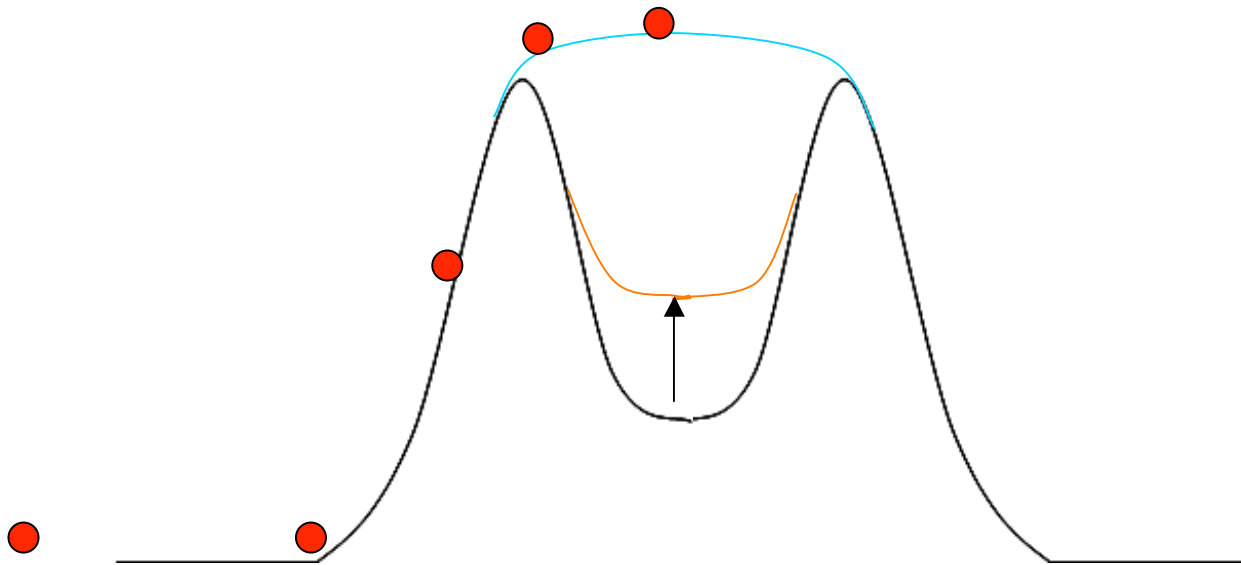
Atomkärnan är ett kvantmekaniskt system:
tunneling genom barriären är möjlig!
Observerat för Z kring 92 (uran) och tyngre.



Vad händer när Z ökar?
Barriären lägre, sannolikheten
för tunnling ökar!

För Z större än ngt kritiskt Z

Ingen barriär: kärnan kan inte existera!
I en förenklad modell (vätskedroppe) sker
detta för Z ungefär 123.



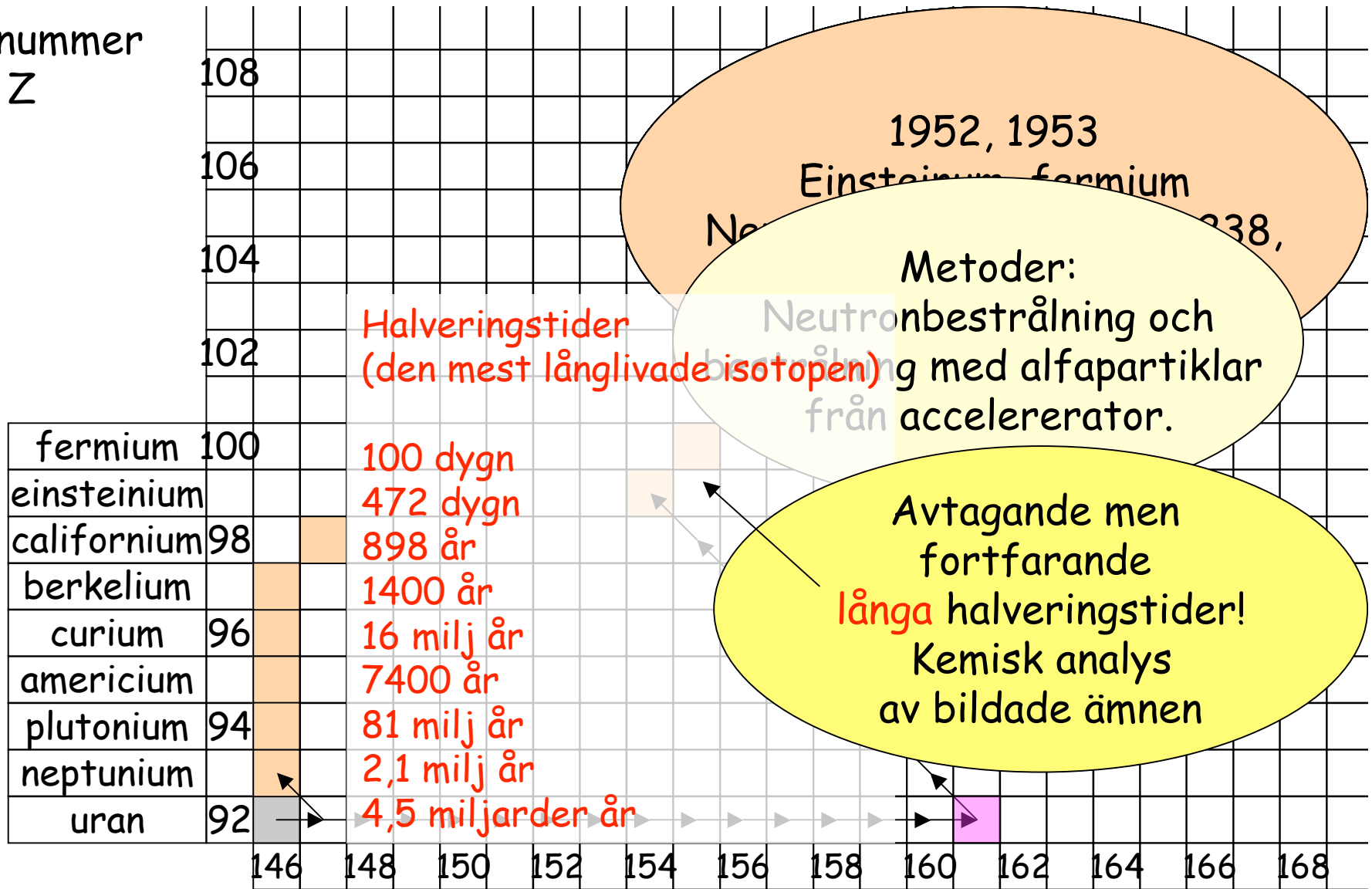
Uran är det tyngsta kända grundämnet som finns i några mängder i naturen.

Ämnet uran upptäcktes år 1789 av den tyske apotekaren Martin Heinrich Klaproth.

För 100 år sedan var uran fortfarande det tyngsta kända grundämnet.

Upptäckten av radioaktivitet - Becquerel 1896
Grundämnen kan **omvandlas spontant** - Rutherford,
Soddy 1902
Omvandling med hjälp av alfa-partiklar - Marsden,
Rutherford 1919

atomnummer
Z



neutronal N

Förutsägelser finns att för vissa områden i Z (och N) ökar stabiliteten, dvs halveringstiderna blir större igen.

"Island of stability"

kring $Z=114$ eller 120 eller 126 och $N=184$ (skaleffekter)

Tidigare förutsades halveringstider på upp till miljarder år!
I så fall kan de finnas kvar i mineral på jorden!

Periodic Table of the Elements

1	New												13	14	15	16	17	18											
IA	Original												IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA											
1 H Hydrogen 1.00794																			2 He Helium 4.002602										
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797												
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948												
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.8457	27 Co Cobalt 58.933195	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.9216	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80												
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29												
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 to 71		72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.222	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.96657	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)											
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 to 103		104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 Ds Darmstadtium (267)	111 Rg Roentgenium (268)	112 Cn Copernicium (269)	113 Nh Nihonium (270)	114 Uuq Ununquadium (285)	115 Mt Moscovium (286)	116 Uuh Ununhexium (289)	117 Uu Ununseptium (290)	118 Uuo Ununoctium (293)											
Atomic masses in parentheses																													
<p style="text-align: center;">Z=114 kemiskt likt bly</p> <p style="text-align: center;">Spår från fission av Z=114 i gamla fönster som innehåller blyglas?</p>																													
<p style="text-align: center;">Web Page Design Copyright © 1997-1999 Michael Dayah. http://www.dayah.com/periodic/</p>																													
<p>Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 110-118 are the Latin equivalents of those numbers.</p>																													
57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Att skapa tunga atomkärnor i laboratoriet:

Långa halveringstider (dagar, $Z < 101$)

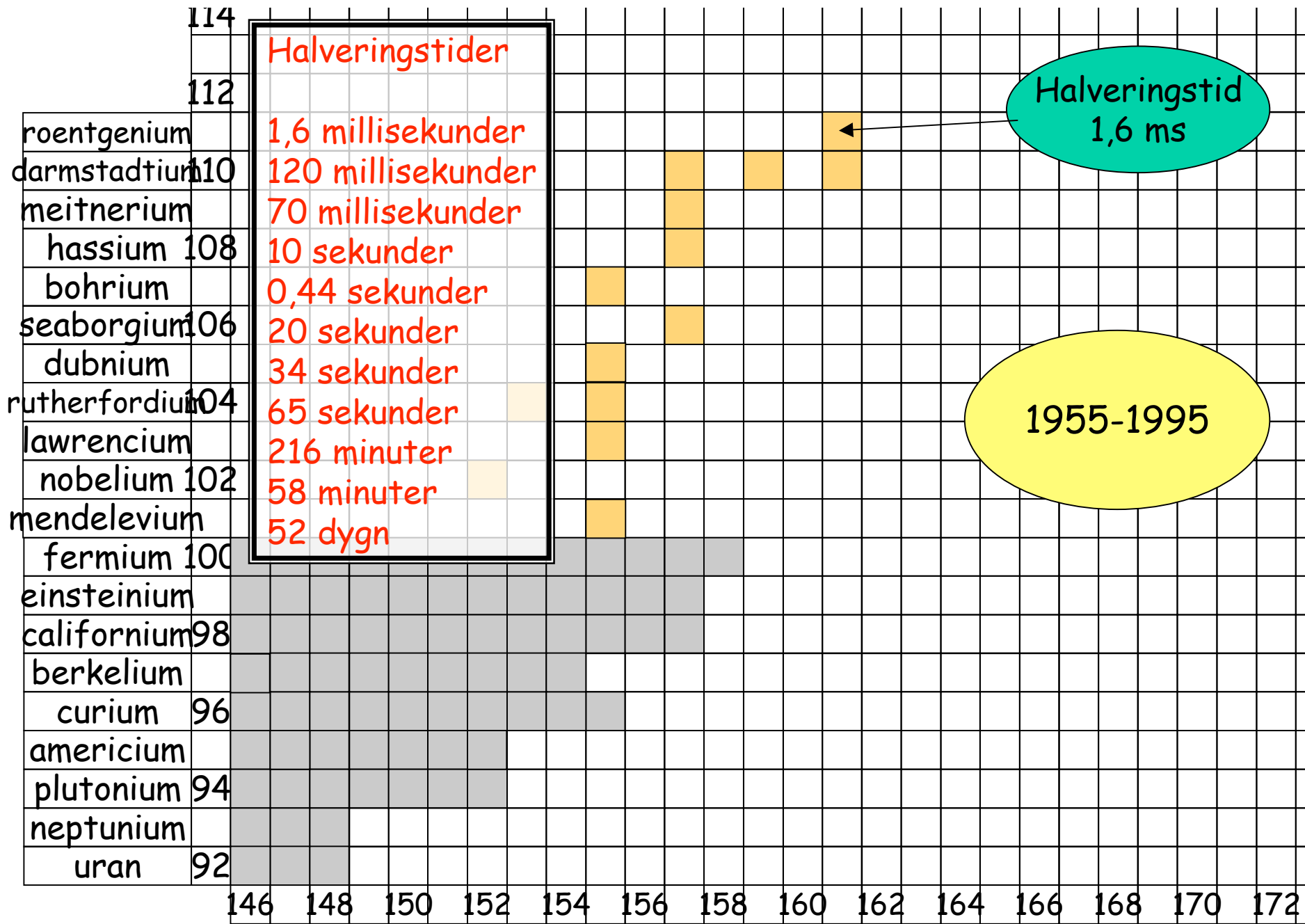
Kemisk separering av de bildade atomslagen möjlig.

För $Z > 101$ antagligen korta halveringstider.
För att komma vidare krävs förfinade metoder.
Kollisioner mellan lättare kärnor vid acceleratörer,
sammansmältning (fusion) till tyngre kärnor.

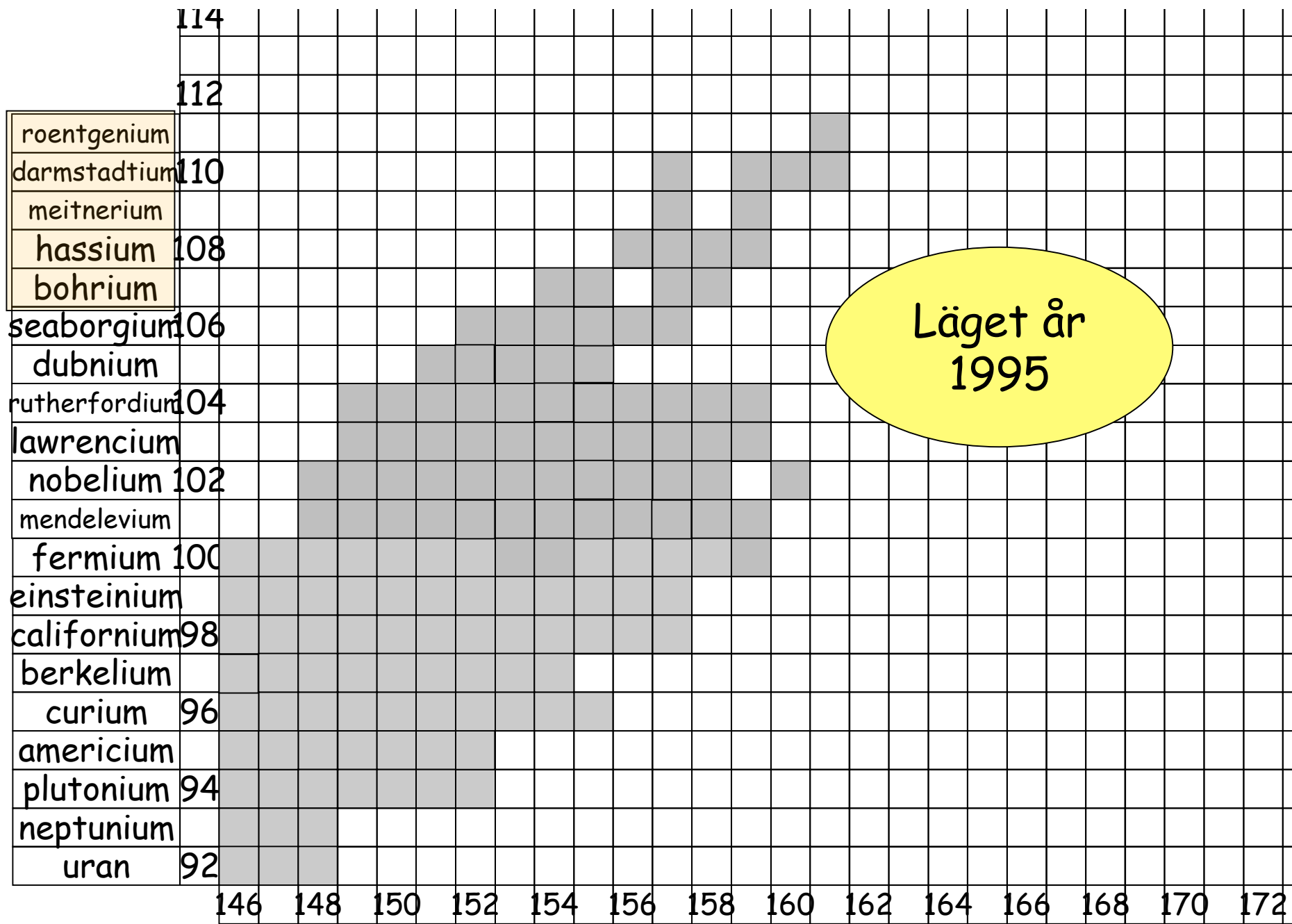
KRÄVS:

Rätt kombination av lättare kärnor.

Kombination av **snabb och effektiv uppsamling** av de bildade atomkärnorna och **snabb analys**.



neutronal N



Läget år
1995

neutrontal N

Fallet $Z=112$

Experiment vid GSI, Darmstadt, Tyskland

Fusion av två kärnor:

Strålpartikel ^{70}Zn : $Z=30$ $N=40$

Strålmål (folium) ^{208}Pb $Z=82$ $N=126$

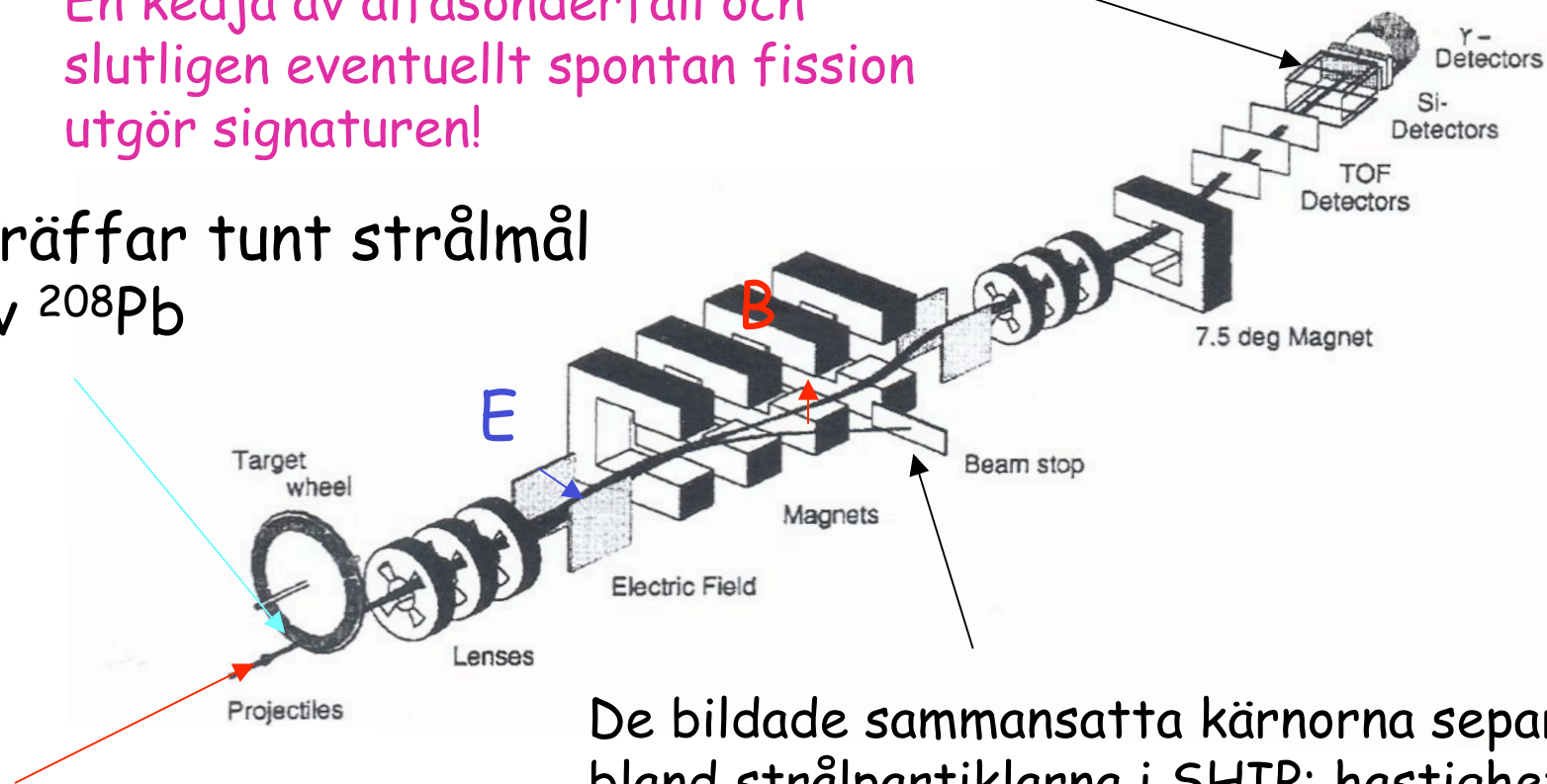
Fusionerad kärna: $Z=112$ $N=166$

Separatorenn SHIP

Den bildade kärnan implanteras i en detektor som kan registrera kärnans sönderfall

En kedja av alfasönderfall och slutligen eventuellt spontan fission utgör signaturen!

Träffar tunt strålmål av ^{208}Pb



De bildade sammansatta kärnorna separeras ut bland strålpicklarna i SHIP: hastighetsfilter (elektriska och magnetiska fält)

^{70}Zn accelereras i acceleratoren UNILAC

Två (!) sådana sönderfallskedjor för $Z=112$
registrerades under 1996.

Har verifierats av forskare i Japan.
Halveringstid $240 \mu\text{s}$.

Det hittills tyngsta grundämnet som accepterats av IUPAC
(International Union of Pure and Applied Chemistry),
men ej namngivits.

Forskare i Dubna, Moskva, har med liknande metoder rapporterat att de registrerat:

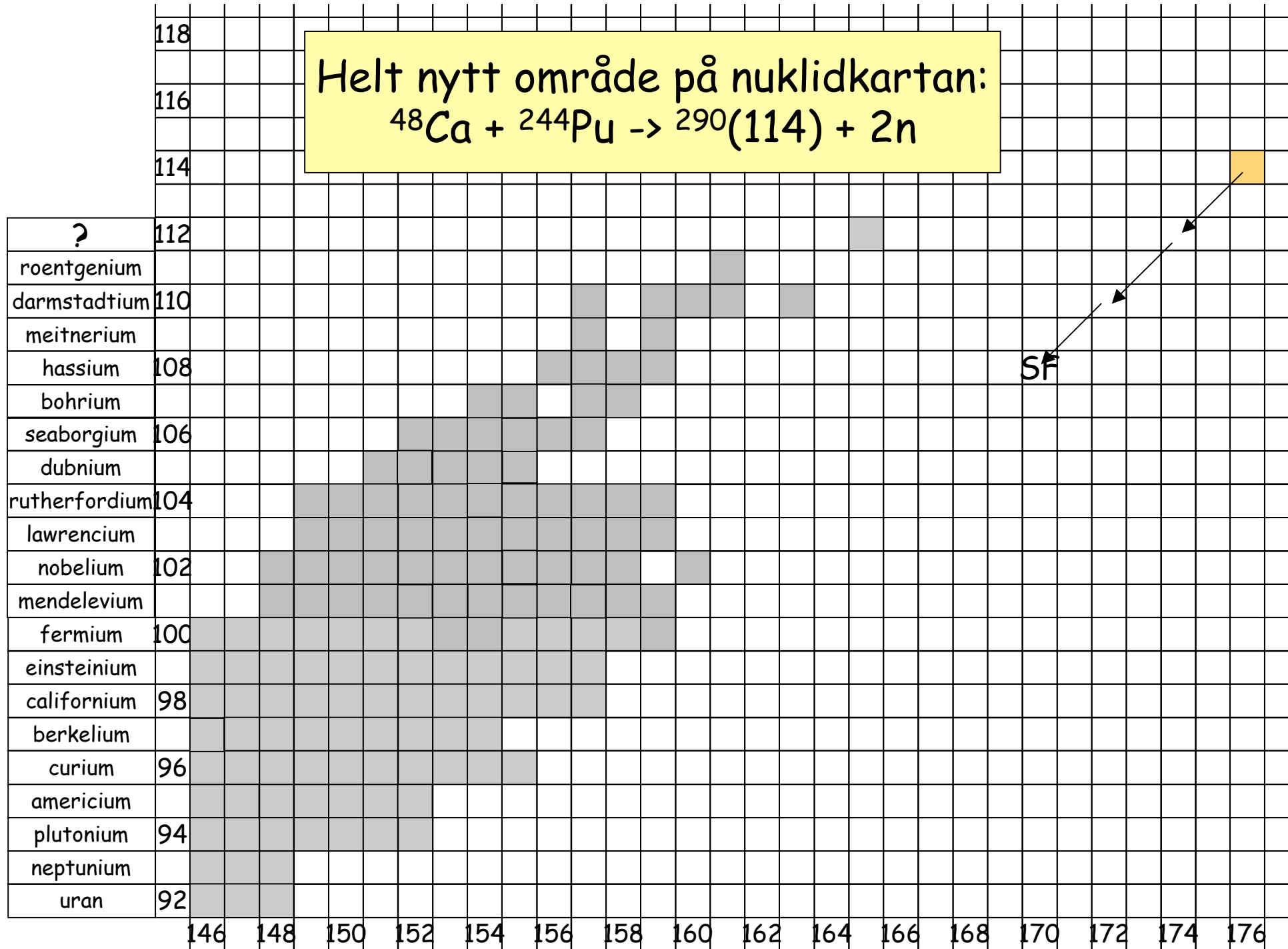
Z=114 år 2000 (N=176) halveringstid 21 s!

Z=116 år 2001

Z=118 år 2002 (rapport 1999 från Berkeley baserad
 på falska data)

Inga oberoende verifierande mätningar ännu.

Helt nytt område på nuklidkartan:
 $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu} \rightarrow ^{290}(114) + 2n$



Framtiden

Förbättrade metoder: högre strålintensitet,
radioaktiva strålar

Undersökning av kemiska egenskaper

Nytt acceleratorcenter i Darmstadt, FAIR,
är planerat.