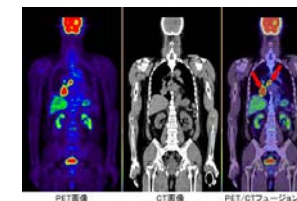




Warum ist es interessant?

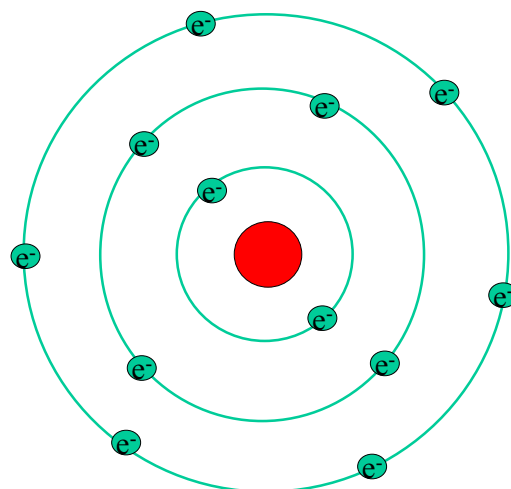
(Isotopendiagnostik)



Untersuchungen



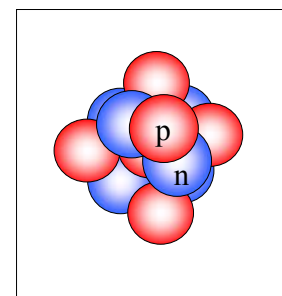
## Aufbau des Atoms



Elektronenschale  
=> chemische  
Eigenschaften

**Atomkern:**  
=> **Radioaktivität**

## Aufbau des Atomkernes



	Ladung	Masse
<b>Proton</b>	<b>+1 e</b>	<b>1 a.u.</b>
<b>Neutron</b>	<b>0</b>	<b>1 a.u.</b>

A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl  
Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl

→ 99  
→ 43 **Tc**

99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron

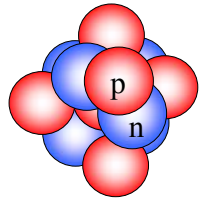


# Stabilität des Atomkernes

Coulomb-Kraft  
Kernkraft

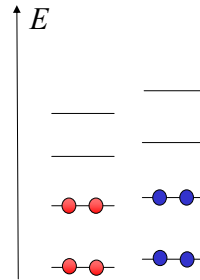
Abstoßung zw. Protonen  
Ladungsunabhängig  
kurze Reichweite

destabilisiert  
stabilisiert



Diskrete Energieniveaus

Typische Übergangsenergie-  
verte: einige MeV

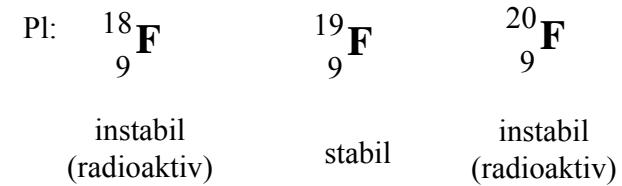


# Isotope

Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber  
unterschiedlicher Massenzahl

=> gleiche Protonenzahl unterschiedliche Neutronenzahl

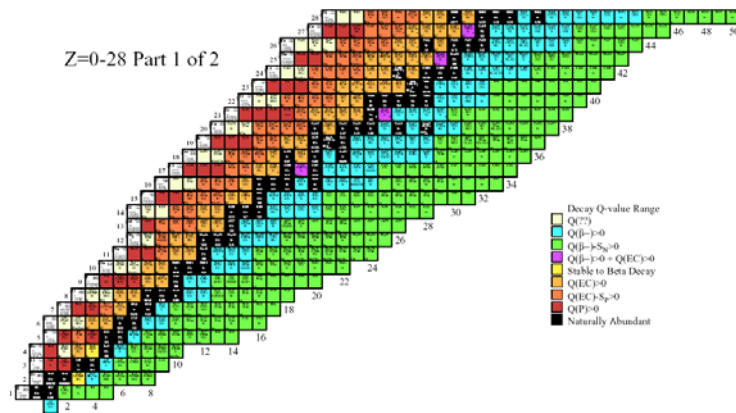
Varianten des gleichen Elementes => Chemische  
Eigenschaften sind identisch!



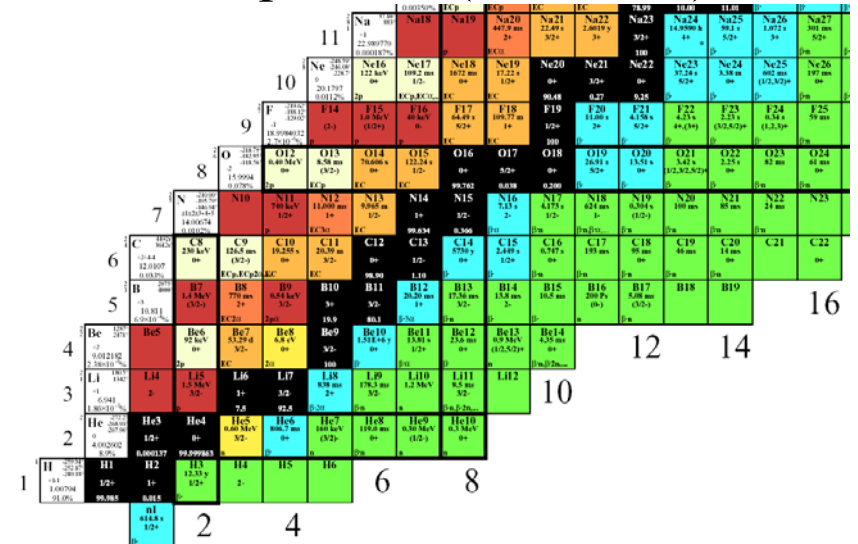
Isotop <-> radioaktives Isotop

# Isotoptabelle

Table of Isotopes (1998)



# Isotoptabelle (Abschnitt)



# Zerfälle und radioaktive Strahlungen

$\alpha$  - Zerfall       $\alpha$  - Teilchen =  ${}^4_2\text{He}$  Atomkern

$\beta$  -Zerfall:  $\beta^-$        $\beta^-$  Teilchen = Elektron  
 $\beta^+$        $\beta^+$  Teilchen = Positron

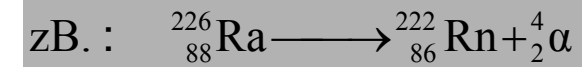
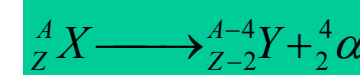
K-Einfang      charakteristische Röntgenstrahlung

Isomere Kernumwandlung       $\gamma$ -Strahlung

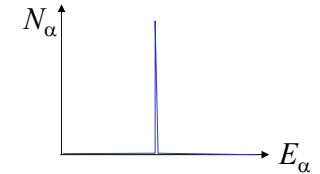
## $\alpha$ - Zerfall

Hierbei treten  ${}^4\text{He}$  Atomkerne aus dem Atomkern aus. Damit erhöht sich die Stabilität des Kernes

Massenzahl  $\downarrow 4$       Ordnungszahl  $\downarrow 2$



Energiespektrum: Linienspektrum  
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$



**$\beta^-$  - Zerfall**

Neutronenüberschuss

bleibt im Atomkern      treten aus

zB.:  ${}^{20}_9\text{F}$   
 ${}^{32}_{15}\text{P}$   
 ${}^{59}_{26}\text{Fe}$   
 ${}^{131}_{53}\text{I}$

${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu}$

${}^1_0 n \longrightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu}$

zB.:  ${}^{32}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu}$

$\beta^-$ -Strahlung

Kontinuierliches Energiespektrum

$\beta^- = {}^0_{-1}\beta = e^-$

$N_\beta$

$E_{\max}$

$E_\beta$

**$\beta^+$  - Zerfall**

Protonenüberschuss

bleibt im Atomkern      treten aus

pl:  ${}^{11}_6\text{C}$   
 ${}^{15}_8\text{O}$   
 ${}^{18}_9\text{F}$   
 ${}^{52}_{26}\text{Fe}$

${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1}\beta + \nu$

${}^1_1 p \longrightarrow {}^1_0 n + {}^0_{+1}\beta + \nu$

zB.:  ${}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\beta + \nu$

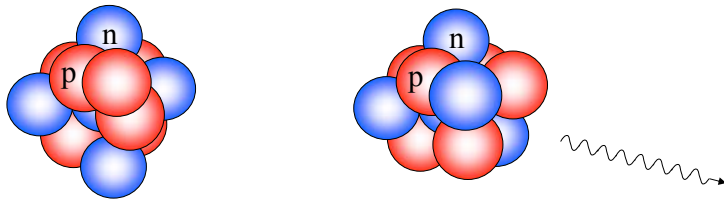
$\beta^+$  Strahlung

Kontinuierliches Energiespektrum

## Promte $\gamma$ -Strahlung

Nach dem Zerfall kann die Anordnung der Nukleonen **energetisch ungünstig** sein

Umordnen der Nukleonen: ein niedrigeres Energieniveau wird erreicht, (z.B. weniger coulombsche Abstoßung) => die überflüssige Energie wird in Form von  $\gamma$ -Strahlung ausgestrahlt.



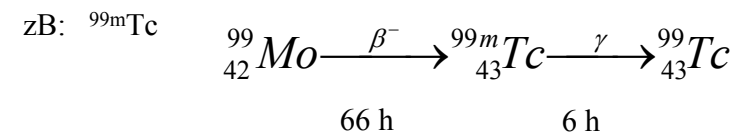
Protonenzahl u. Neutronenzahl sind unverändert!

## Isomere Kernumwandlung

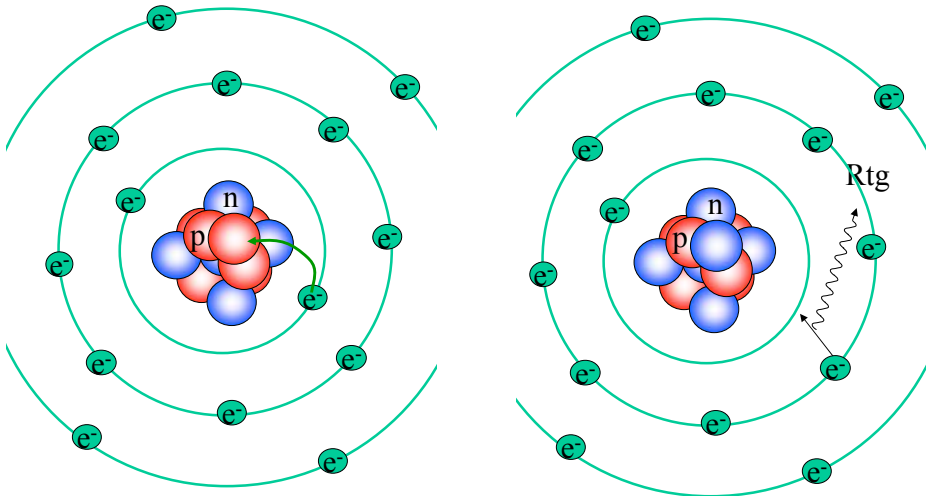
Wenn die Umordnen nicht einfach vor sich gehen kann, entsteht  $\gamma$ -Strahlung nicht sofort, sondern erst nach einer gut messbaren Zeit.

Die zwei Prozesse ( $\alpha$ -oder  $\beta$ -Zerfall,  $\gamma$ -Strahlungsemission) können separiert werden.

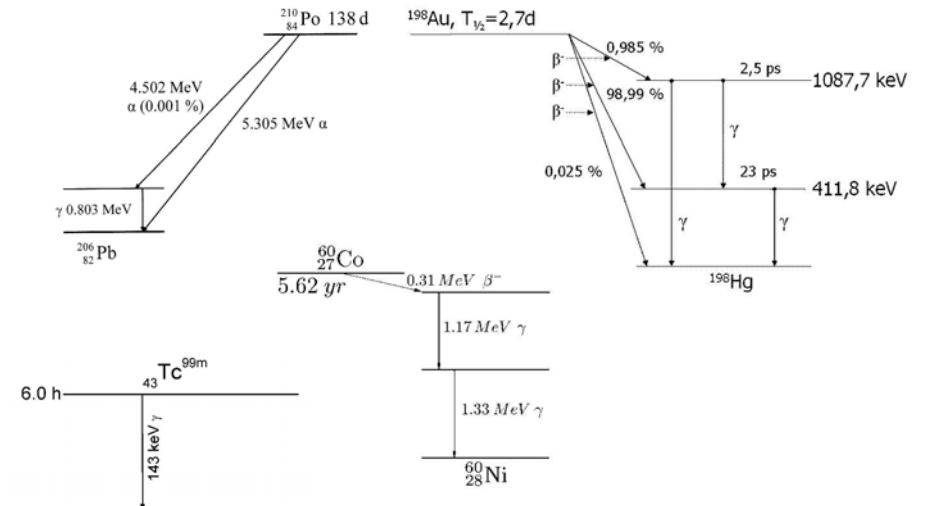
**Man kann ein reines  $\gamma$ -strahlen Isotop herstellen!**  
=> **Isotopendiagnostik**



## K-Einfang



## Beispiele



## Aktivität

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| \quad \left( = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \right)$$

N = Anzahl der Zerfallsfähigen Atomkerne  
t = Zeit

$\Delta N$  die Anzahl der während  $\Delta t$  Zeit zerfallenen Atomkerne

Einheit: Becquerel Bq  
1 Bq = 1 Zerfall/sec

Bq, kBq, MBq, GBq, TBq

## Zerfallsgesetz

$\Delta N \sim N$  N Anzahl der zerfallsfähigen Kerne

$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$   $\lambda$ : Zerfallskonstante  
Zerfallswahrscheinlichkeit[1/s]  
 $1/\lambda = \tau$  Zeit! durchschnittlicher Lebensdauer

Differentialgleichung

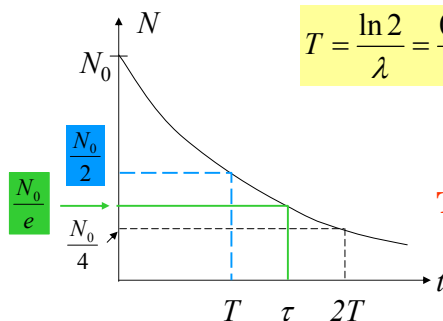
Lösung:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{Exponentialfunktion!}$$

$N_0$  Anzahl der zerfallsfähigen Kerne am Anfang ( $t=0$ )

## Zerfallsgesetz

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$



$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$\lambda$  Zerfallskonstante  
 $T$  Halbwertszeit

Theoretisch erreicht es nie 0 !

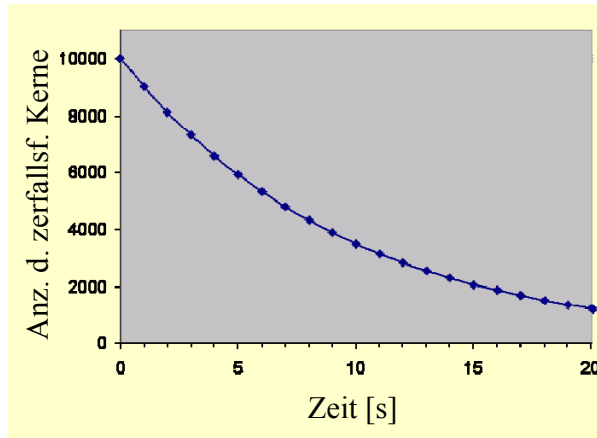
## Beispiel

- Sei  $N_0=10000$   $\lambda=0,1 \text{ 1/s}$
- nach 1 sec: 9000 (10000x0,1=1000 sind zerfallen)
- nach 2 sec: 8100 (9000x0,1=900 sind zerfallen)
- nach 3 sec: 7290 (8100x0,1=810 sind zerfallen)
- nach 4 sec: 6561 (7290x0,1=729 sind zerfallen)
- ....



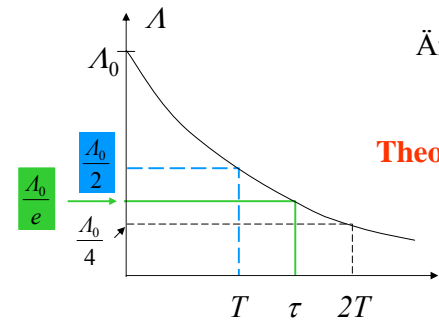
## Beispiel

- Sei  $N_0 = 10000$   $\lambda = 0,1 \text{ 1/s}$
- 1 sec 9000
- 2 sec 8100
- 3 sec 7290
- 4 sec 6561
- ....



## Zeitliche Änderung der Aktivität

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{-\frac{t}{T}}$$



Änderung wie bei N!

**Theoretisch erreicht es nie 0!**

ca. 10 T => zerfällt auf 1/1000 Teil!

## Einige Beispiele für Halbwertszeit

$^{232}\text{Th}$	$1,4 \cdot 10^{10} \text{ J}$	$^{60}\text{Co}$	5,3 J
$^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9 \text{ J}$	$^{59}\text{Fe}$	1,5 M
$^{40}\text{K}$	$1,3 \cdot 10^9 \text{ J}$	$^{56}\text{Cr}$	1 M (28 T)
$^{14}\text{C}$	5736 J	$^{131}\text{I}$	8 T
$^{137}\text{Cs}$	30 J	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 h
$^3\text{H}$	12,3 J	$^{18}\text{F}$	110 min
		$^{11}\text{C}$	20 min
		$^{15}\text{O}$	2 min
		$^{222}\text{Th}$	2,8 ms

Nicht auswendig lernen!

## Teilchenenergie

Gemessen in Elektronenvolt (eV).

$\text{eV} = \text{Ladung eines Elektrons} \times 1 \text{ Volt} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Typische Teilchenenergiewerte (die bei Kernumwandlungen freigesetzte Energie) bewegen sich in **MeV** Größenordnungen.

$\alpha$  und  $\beta$ :  $E = E_{\text{kin}}$   
je höher ist die Teilchenenergie desto größer Reichweite