

Fisica Nucleare

- interazione forte: tiene insieme protoni nel nucleo
- interazione debole: origine del decadim. dei nuclei
prove speriment. del neutrino

$$e^{\pm}, p, \bar{p}, n, \gamma + \nu, \bar{\nu}$$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <div><div><div>1</div><div>H</div><div>Hydrogen</div><div>1.008</div></div><div><div>3</div><div>Li</div><div>Lithium</div><div>6.94</div></div><div><div>4</div><div>Be</div><div>Beryllium</div><div>9.012</div></div><div><div>11</div><div>Na</div><div>Sodium</div><div>22.990</div></div><div><div>12</div><div>Mg</div><div>Magnesium</div><div>24.305</div></div><div><div>19</div><div>K</div><div>Potassium</div><div>39.098</div></div><div><div>37</div><div>Rb</div><div>Rubidium</div><div>85.468</div></div><div><div>55</div><div>Cs</div><div>Cesium</div><div>132.905</div></div><div><div>87</div><div>Fr</div><div>Francium</div><div>[223]</div></div><div><div>2</div><div>He</div><div>Helium</div><div>4.003</div></div><div><div>6</div><div>C</div><div>Carbon</div><div>12.011</div></div><div><div>7</div><div>N</div><div>Nitrogen</div><div>14.007</div></div><div><div>8</div><div>O</div><div>Oxygen</div><div>15.999</div></div><div><div>9</div><div>F</div><div>Fluorine</div><div>18.998</div></div><div><div>10</div><div>Ne</div><div>Neon</div><div>20.180</div></div><div><div>13</div><div>Al</div><div>Aluminum</div><div>26.982</div></div><div><div>14</div><div>Si</div><div>Silicon</div><div>28.085</div></div><div><div>15</div><div>P</div><div>Phosphorus</div><div>30.974</div></div><div><div>16</div><div>S</div><div>Sulfur</div><div>32.06</div></div><div><div>17</div><div>Cl</div><div>Chlorine</div><div>35.45</div></div><div><div>18</div><div>Ar</div><div>Argon</div><div>39.948</div></div><div><div>21</div><div>Sc</div><div>Scandium</div><div>44.956</div></div><div><div>22</div><div>Ti</div><div>Titanium</div><div>47.867</div></div><div><div>23</div><div>V</div><div>Vanadium</div><div>50.942</div></div><div><div>24</div><div>Cr</div><div>Chromium</div><div>51.996</div></div><div><div>25</div><div>Mn</div><div>Manganese</div><div>54.938</div></div><div><div>26</div><div>Fe</div><div>Iron</div><div>55.845</div></div><div><div>27</div><div>Co</div><div>Cobalt</div><div>58.933</div></div><div><div>28</div><div>Ni</div><div>Nickel</div><div>58.693</div></div><div><div>29</div><div>Cu</div><div>Copper</div><div>63.546</div></div><div><div>30</div><div>Zn</div><div>Zinc</div><div>65.38</div></div><div><div>31</div><div>Ga</div><div>Gallium</div><div>69.723</div></div><div><div>32</div><div>Ge</div><div>Germanium</div><div>72.630</div></div><div><div>33</div><div>As</div><div>Arsenic</div><div>74.922</div></div><div><div>34</div><div>Se</div><div>Selenium</div><div>78.97</div></div><div><div>35</div><div>Br</div><div>Bromine</div><div>79.904</div></div><div><div>36</div><div>Kr</div><div>Krypton</div><div>83.798</div></div><div><div>39</div><div>Y</div><div>Yttrium</div><div>88.906</div></div><div><div>40</div><div>Zr</div><div>Zirconium</div><div>91.224</div></div><div><div>41</div><div>Nb</div><div>Niobium</div><div>92.906</div></div><div><div>42</div><div>Mo</div><div>Molybdenum</div><div>95.95</div></div><div><div>43</div><div>Tc</div><div>Technetium</div><div>[97]</div></div><div><div>44</div><div>Ru</div><div>Ruthenium</div><div>101.07</div></div><div><div>45</div><div>Rh</div><div>Rhodium</div><div>102.905</div></div><div><div>46</div><div>Pd</div><div>Palladium</div><div>106.42</div></div><div><div>47</div><div>Ag</div><div>Silver</div><div>107.868</div></div><div><div>48</div><div>Cd</div><div>Cadmium</div><div>112.414</div></div><div><div>49</div><div>In</div><div>Indium</div><div>114.818</div></div><div><div>50</div><div>Sn</div><div>Tin</div><div>118.710</div></div><div><div>51</div><div>Sb</div><div>Antimony</div><div>121.757</div></div><div><div>52</div><div>Te</div><div>Tellurium</div><div>127.60</div></div><div><div>53</div><div>I</div><div>Iodine</div><div>126.905</div></div><div><div>54</div><div>Xe</div><div>Xenon</div><div>131.29</div></div><div><div>71</div><div>Lu</div><div>Lutetium</div><div>174.967</div></div><div><div>72</div><div>Hf</div><div>Hafnium</div><div>178.49</div></div><div><div>73</div><div>Ta</div><div>Tantalum</div><div>180.948</div></div><div><div>74</div><div>W</div><div>Tungsten</div><div>183.84</div></div><div><div>75</div><div>Re</div><div>Rhenium</div><div>186.207</div></div><div><div>76</div><div>Os</div><div>Osmium</div><div>190.23</div></div><div><div>77</div><div>Ir</div><div>Iridium</div><div>192.22</div></div><div><div>78</div><div>Pt</div><div>Platinum</div><div>195.084</div></div><div><div>79</div><div>Au</div><div>Gold</div><div>196.967</div></div><div><div>80</div><div>Hg</div><div>Mercury</div><div>200.592</div></div><div><div>81</div><div>Tl</div><div>Thallium</div><div>204.38</div></div><div><div>82</div><div>Pb</div><div>Lead</div><div>207.2</div></div><div><div>83</div><div>Bi</div><div>Bismuth</div><div>208.980</div></div><div><div>84</div><div>Po</div><div>Polonium</div><div>[209]</div></div><div><div>85</div><div>At</div><div>Astatine</div><div>[210]</div></div><div><div>86</div><div>Rn</div><div>Radon</div><div>[222]</div></div><div><div>103</div><div>Lr</div><div>Lawrencium</div><div>[262]</div></div><div><div>104</div><div>Rf</div><div>Rutherfordium</div><div>[261]</div></div><div><div>105</div><div>Db</div><div>Dubnium</div><div>[262]</div></div><div><div>106</div><div>Sg</div><div>Seaborgium</div><div>[266]</div></div><div><div>107</div><div>Bh</div><div>Bohrium</div><div>[264]</div></div><div><div>108</div><div>Hs</div><div>Hassium</div><div>[277]</div></div><div><div>109</div><div>Mt</div><div>Meitnerium</div><div>[268]</div></div><div><div>110</div><div>Ds</div><div>Darmstadtium</div><div>[281]</div></div><div><div>111</div><div>Rg</div><div>Roentgenium</div><div>[282]</div></div><div><div>112</div><div>Cn</div><div>Copernicium</div><div>[285]</div></div><div><div>113</div><div>Nh</div><div>Nihonium</div><div>[286]</div></div><div><div>114</div><div>Fl</div><div>Flerovium</div><div>[289]</div></div><div><div>115</div><div>Mc</div><div>Moscovium</div><div>[289]</div></div><div><div>116</div><div>Lv</div><div>Livermorium</div><div>[293]</div></div><div><div>117</div><div>Ts</div><div>Tennessine</div><div>[293]</div></div><div><div>118</div><div>Og</div><div>Oganesson</div><div>[294]</div></div></div> <div><div>Atomic Number</div><div>6</div></div> <div><div>Symbol</div><div>C</div></div> <div><div>Name</div><div>Carbon</div></div> <div><div>Average Atomic Mass</div><div>12.011</div></div> <div><div>metals</div><div>nonmetals</div><div>metalloids</div></div> <div><div>*Lanthanide series</div><div>**Actinide series</div></div> <div><div>57</div><div>La</div><div>Lanthanum</div><div>138.905</div></div> <div><div>58</div><div>Ce</div><div>Cerium</div><div>140.116</div></div> <div><div>59</div><div>Pr</div><div>Praseodymium</div><div>140.908</div></div> <div><div>60</div><div>Nd</div><div>Neodymium</div><div>144.24</div></div> <div><div>61</div><div>Pm</div><div>Promethium</div><div>[145]</div></div> <div><div>62</div><div>Sm</div><div>Samarium</div><div>150.36</div></div> <div><div>63</div><div>Eu</div><div>Europium</div><div>151.964</div></div> <div><div>64</div><div>Gd</div><div>Gadolinium</div><div>157.25</div></div> <div><div>65</div><div>Tb</div><div>Terbium</div><div>158.925</div></div> <div><div>66</div><div>Dy</div><div>Dysprosium</div><div>162.500</div></div> <div><div>67</div><div>Ho</div><div>Holmium</div><div>164.930</div></div> <div><div>68</div><div>Er</div><div>Erbium</div><div>167.259</div></div> <div><div>69</div><div>Tm</div><div>Thulium</div><div>168.934</div></div> <div><div>70</div><div>Yb</div><div>Ytterbium</div><div>173.045</div></div> <div><div>89</div><div>Ac</div><div>Actinium</div><div>[227]</div></div> <div><div>90</div><div>Th</div><div>Thorium</div><div>232.038</div></div> <div><div>91</div><div>Pa</div><div>Protactinium</div><div>[231]</div></div> <div><div>92</div><div>U</div><div>Uranium</div><div>238.029</div></div> <div><div>93</div><div>Np</div><div>Neptunium</div><div>[237]</div></div> <div><div>94</div><div>Pu</div><div>Plutonium</div><div>[244]</div></div> <div><div>95</div><div>Am</div><div>Americium</div><div>[243]</div></div> <div><div>96</div><div>Cm</div><div>Curium</div><div>[247]</div></div> <div><div>97</div><div>Bk</div><div>Berkelium</div><div>[247]</div></div> <div><div>98</div><div>Cf</div><div>Californium</div><div>[251]</div></div> <div><div>99</div><div>Es</div><div>Einsteinium</div><div>[252]</div></div> <div><div>100</div><div>Fm</div><div>Fermium</div><div>[257]</div></div> <div><div>101</div><div>Md</div><div>Mendelevium</div><div>[258]</div></div> <div><div>102</div><div>No</div><div>Nobelium</div><div>[259]</div></div> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Chimica: dipende da Z : num. di elettroni dell'atomo

$Z \equiv \#$ protoni nel nucleo

massa atomica: massa elettroni + massa nucleare + em. legame.

$$\frac{m_e}{m_p} \approx \frac{1}{1836}$$

$m_A \approx m_{\text{nucleare}}$ con buona appross.

nucleo: Z , massa.

Z : legge di Moseley

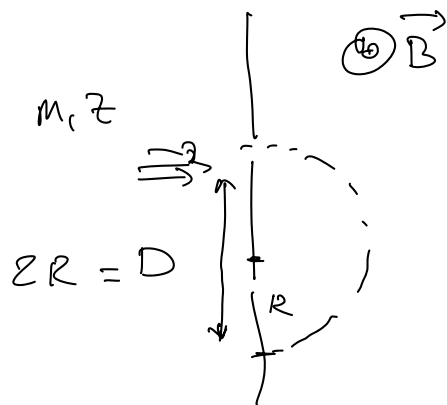
$$E_e = \frac{3}{4} R_y (Z-1)^2 \approx 10 \text{ eV} (Z-1)^2$$

Energie elettroni interni

\Rightarrow misure di E_e estatto dell'atomo \Rightarrow misure di Z elettroni

massa: spettroscopia di massa.

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



$$ma = m \frac{v^2}{r}$$

Nuclei: ${}^A_Z N$

A: numero di massa

Z: num. di Carica = #p = #e⁻

(A, Z): nuclidi

Abbondanza in natura

isotopi: ${}^{12}_6 C$
 ${}^{13}_6 C$
Z₁ = Z₂
A₁ ≠ A₂

0.989

0.011

nuclidi con la stessa
chimica perché le stesse Z

nuclidi $\begin{cases} \text{instabili: vite medie } \tau, \text{ tempo dimezzamento } T_{1/2} \\ \text{stabili} \Rightarrow \text{studiare la chimica} \end{cases}$

isotopi: Z = cost. A₁ ≠ A₂ dello stesso elemento chimico

isobari: A = cost. Z₁ ≠ Z₂ elem. diversi; con la stessa massa.

$$\text{masse nuclide } m(Z, A) \leq Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$$

sperimentalmente dalla spettroscopia.

A: num totale di nucleoni nel nucleo

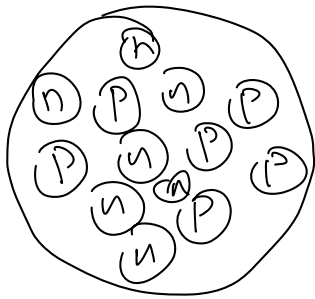
Z: # protoni

A - Z: # neutroni

Definizione energia di legame nucleare:

$$m(Z, A) = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - B(Z, A)$$

$$B(Z, A) \geq 0 \text{ per definizione}$$



$$Z = 2 \quad (P) (P)$$

$$F_C \approx \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2}$$

Forza Coulomb repulsiva: $\propto \frac{1}{r^2} > 0$

$$U_C \approx \frac{\alpha}{r} = \frac{\alpha}{1 \text{ fm}}$$

$$1 = 200 \text{ MeV} \times \text{fm}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{1 \text{ fm}} \approx 200 \text{ MeV}$$

$$\Rightarrow U_C \approx \frac{200 \text{ MeV}}{137} \approx 1.5 \text{ MeV}$$

Rutherford: $R_N \leq 30 \text{ fm}$

$$R_N = r_0 A^{1/3} \quad r_0 \approx 1.2 \text{ fm}$$

ragg. b nucleone

nucleo con Z protoni

$$\frac{Z(Z-1)}{2} \text{ termini repulsivi}$$

\Rightarrow esistenza di nuclei \Rightarrow esistenza di forze nucleari forti

Forza forte agisce a piccole distanze

$$\Rightarrow U_{\text{forte}} \propto \frac{e^{-mr}}{r}$$

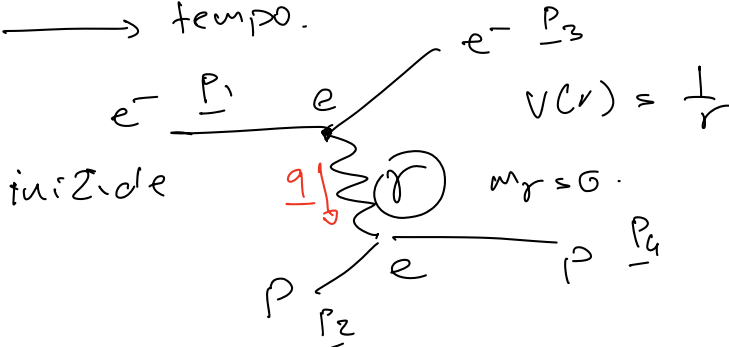
$$[m] = [L]^{-1} = [E]$$

pot Coulomb $\frac{1}{r} \Rightarrow m_\gamma = 0$

Forza forte confinata a piccole dist $\Rightarrow m \neq 0$ per mediatore forza nucleare

\longrightarrow tempo.

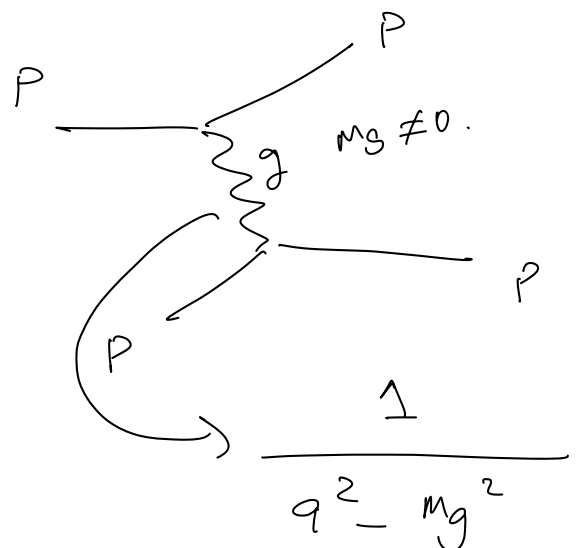
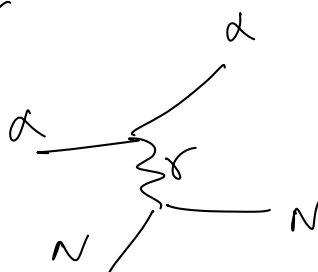
finale

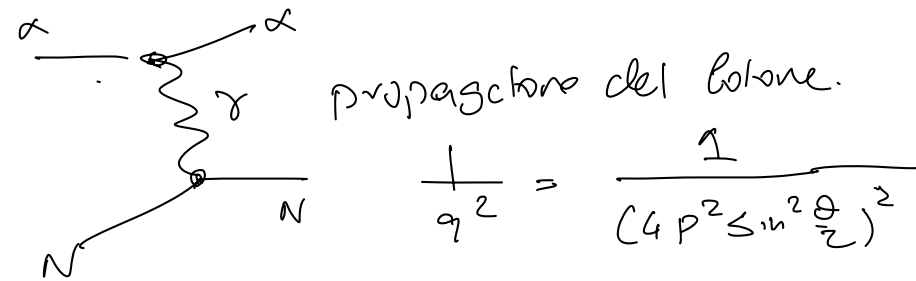


$$\underline{q} = \underline{p}_1 - \underline{p}_3 \text{ impulso scambiato tramite } \gamma$$

$$\underline{p}_4 = \underline{p}_2 + \underline{q}$$

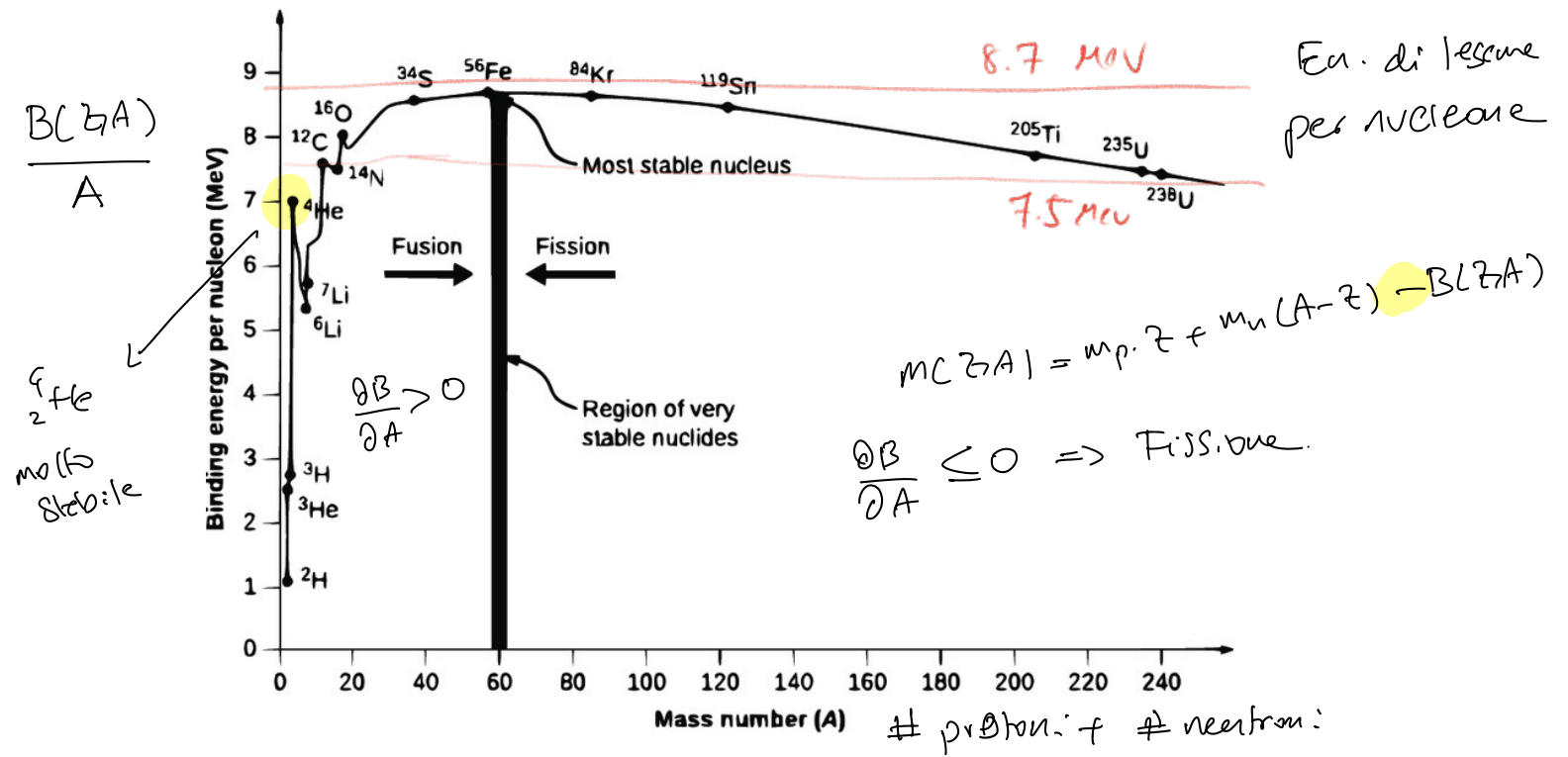
momento trasferito





Rutherford

$B(Z, A)$: en. di legame nucleare per nucleide (Z, A)



${}^1_1\text{H}$: nessun en. di legame. $B(1, 1) = 0$

Deuterio: ${}^2_1\text{H}$ e^-

Deuterone: nucleo di deuterio ${}^2_1\text{H}^+$

$$\frac{B(Z=1, A=2)}{A=2} = 1 \text{ MeV}$$

Tritio: ${}^3_1\text{H}$ $Z=1$ $A=3 \Rightarrow 2$ neutroni

isotopi dell'idrogeno: ${}^1_1\text{H}$, $D = {}^2_1\text{H}$, $T = {}^3_1\text{H}$

${}^4_2\text{He}$ $Z=2$, $A-Z=2$ elio

$$B({}^4_2\text{He}) = B(4, 2) = 4 \times 7 \text{ MeV} = 28 \text{ MeV}$$

Fusione: ${}_{Z_1}^{A_1}X + {}_{Z_2}^{A_2}Y \longrightarrow {}_{Z_1+Z_2}^{A_1+A_2}N$ possibile se $\frac{\partial B}{\partial A} \geq 0$
 prime di $A = 60$

Fissione: ${}_{Z}^A N \longrightarrow {}_{Z_1}^{A_1}X + {}_{Z_2}^{A_2}Y$:

conserv. num. barioni, Carice: $A = A_1 + A_2$
 $Z = Z_1 + Z_2$

Decadimento α : ${}_{Z}^A N \longrightarrow {}_{Z-2}^{A-4}X + \alpha = {}_2^4\text{He}$

Decadimento γ : (processo EM)

${}_{Z}^A N^* \longrightarrow {}_{Z}^A N + \gamma$ $E_\gamma \approx 1-10 \text{ MeV}$
 Diseccitazione EM di un livello nucleare.

Decadimento β^\pm (interazione debole)

β^- : ${}_{Z}^A N \longrightarrow {}_{Z+1}^A X + e^- + \bar{\nu}_e$
 $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

β^+ : ${}_{Z}^A N \longrightarrow {}_{Z-1}^A X + e^+ + \nu_e$
 ~~$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$~~

non possibile energeticamente

$$A \rightarrow B + C$$

$$E_A = E_B + E_C$$

nel NF solide con A. $\vec{p}_A = \vec{0}$

$$E_A = m_A = E_B + E_C = m_B + T_B + m_C + T_C$$

$$= m_B + m_C + T_B + T_C$$

$$Q = m_A - m_B - m_C = T_B + T_C \geq 0 \quad \text{perché decadim. è possibile.}$$

Esempio: $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ β^+ del protone.

$$Q = \underbrace{m_p - m_n - m_{e^+} - m_\nu}_{-1 \text{ MeV}} = -1 - 0.5 \text{ MeV} - \cancel{m_\nu} < 0$$

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$Q = m_n - m_p - m_e - m_\nu = 1 \text{ MeV} - 0.5 \text{ MeV} > 0.$$

In generale: β^+ : ${}_Z^A N \rightarrow {}_{Z-1}^A X + e^+ + \nu_e$

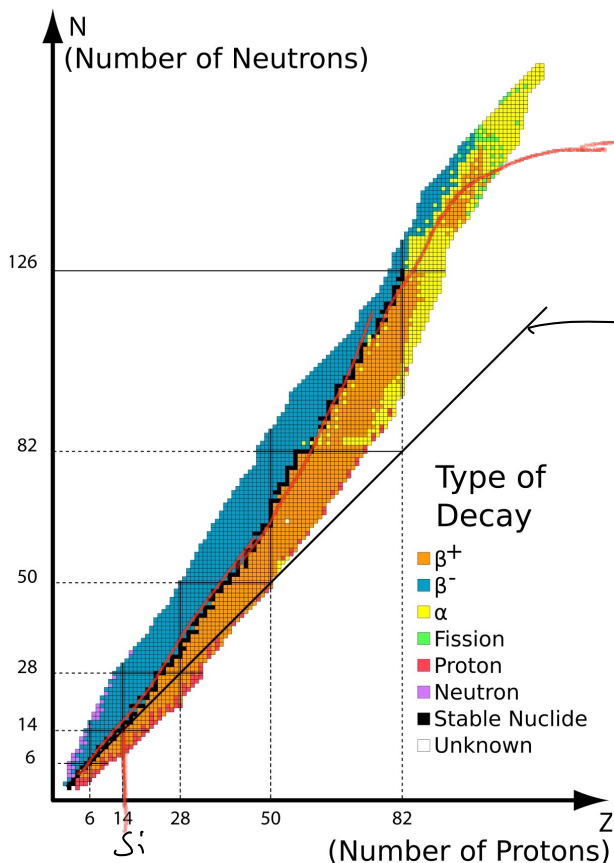
$$Q = m({}_Z^A) - m_X - m_{e^+}$$

$$= \cancel{Z} m_p + (\cancel{A-Z}) m_n - B(\cancel{Z}, A) - (\cancel{Z-1}) m_p - (\cancel{A-Z+1}) m_n + B(\cancel{Z-1}, A) - m_{e^+}$$

$$= m_p - m_n - B(Z, A) + B(Z-1, A) - m_{e^+}$$

$$= -1.5 \text{ MeV} - B(Z, A) + B(Z-1, A)$$

Carta di Segrè



$> 1.5 \text{ MeV}$ per α (con: ${}_Z^A$)

valle di stabilità

$$A - Z \equiv N = Z$$

$$\beta^+: (A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + e^+$$

$$\beta^-: (A, Z) \rightarrow (A, Z+1) + e^-$$

per $A \leq 28$ $Z \approx A - Z$.

$$\frac{Z}{A} \approx \frac{1}{2} \text{ per } A \leq 28$$