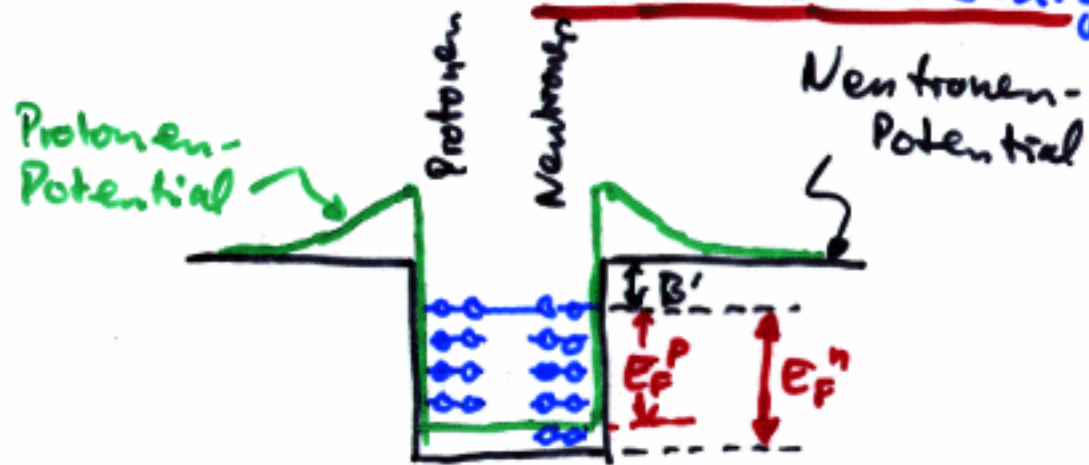


17. Aufbau der Kerne

Nukleonen bewegen sich mit ca 250 MeV/c quasi-frei im Kern
schwache Bindung; mittlerer Abstand zwischen Nukleonen $\gg$ Radius der hard core.

$\Rightarrow$ Kerne als entartetes Fermigas



Fermi-Impuls $P_F \approx 250 \text{ MeV/c}$

Fermi-Energie $E_F = \frac{P_F^2}{2m}$
 $\approx 33 \text{ MeV}$

Bindungsenergie $B/A \approx 7-8 \text{ MeV}$

$\Rightarrow$ Fermi-Gas-Modell beschreibt Volumen-, Coulomb- und Asymmetrie-Term der Weizsäcker-Massenformel.

Fermi-Gas-Modell beschreibt auch Neutronensterne!

Neutronensterne

Coulomb-Energie fehlt; Zusätzlich Gravitation $\Rightarrow$ resultierende Dichte ca. 10^x größer

Explosion einer Supernova: ausgebranntes Zentrum eines Sterns, ca. 1-2 Sonnenmassen aus Eisen, bricht durch Gravitation zusammen

Hohe Dichte, Fermi-Energie der Elektronen steigt so hoch, dass inverse β -Zerfall stattfindet: $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$, Umkehrreaktion $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ durch Pauli-Prinzip verboten: ${}^{56}_{26}\text{Fe} + 26 e^- \rightarrow 56 n + 26 \nu_e$

Implosion wird bei $\rho = 10^{18} \text{ kg/m}^3$ durch Fermi-Druck der Neutronen gestoppt. Wenn Masse > 2 Sonnenmassen, Gravitation so stark, dass auch dieses nicht standhält $\Rightarrow$ SCHWARZES LOCH

Typ. Radius eines Neutronensterns: 10 km

innerer Kern: entartete Neutronen-Flüssigkeit

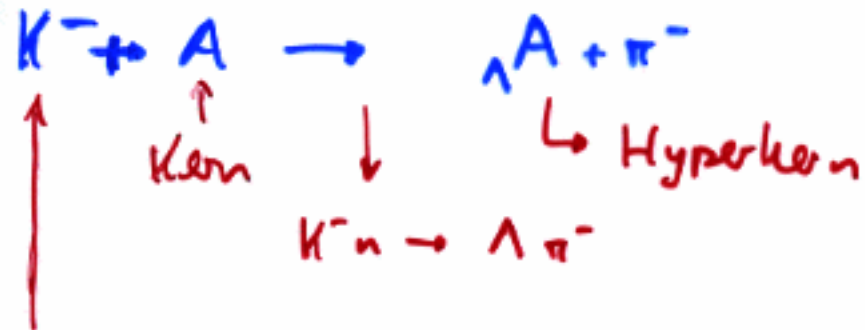
ca 1 km dicke Kruste aus Atomen im festen Aggregatzustand.

Realistisches Modell: im Kernzentrum so hohe Dichten, dass sich die „hard cores“ der Neutronen berühren $\Rightarrow \frac{1}{2}$ Fermi-Druck, $\frac{1}{2}$ $\bar{S}\bar{S}$ -Abstoßung

Hyperkerne

Ersetze einzelne Nukleonen durch Hyperonen

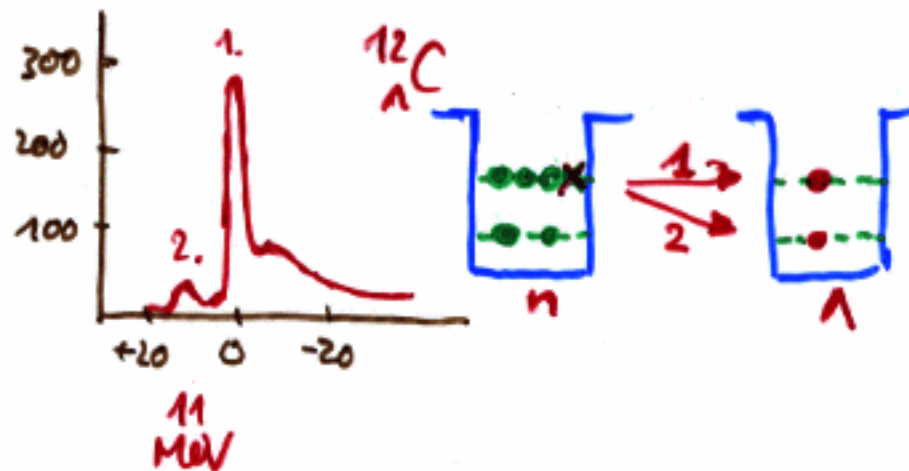
Hyperon ist von p, n unterscheidbar und unterliegt daher nicht dem Pauli-Prinzip $\Rightarrow$ Ein-Teilchen-Spektroskopie machbar!



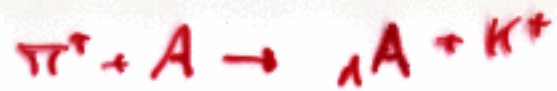
ca 500 MeV Impuls $\Rightarrow$ Impulsübertrag klein gegen Fermi-Impuls der Nukleonen

Energiebilanz:

$$B_{\Lambda} = B_n + E_{\pi} - E_K + (M_{\Lambda} - M_n) + \text{Rückstoß}$$



- 1.) bleibt auf höherem Niveau
- 2.) fällt auf Grundzustandsniveau
(ist nicht durch Pauli-Prinzip verboten!)



schwere Hyperkerne

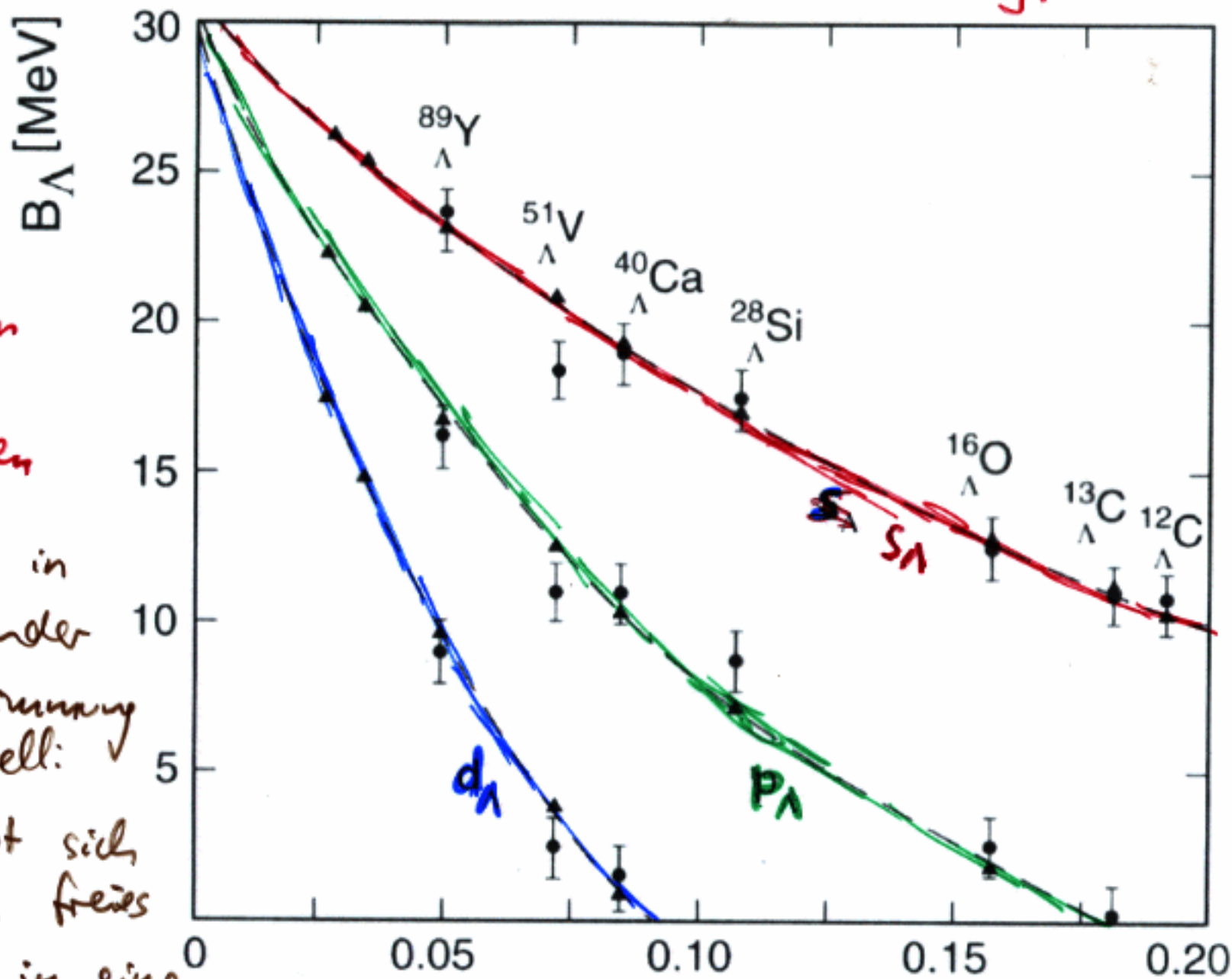
Linien:
Fermi-Gas-
Modell;
 Λ in
Einteilchen
s, p, d-
Zuständen

Messungen in
herausragender
Übereinstimmung
mit Modell: ✓

Λ bewegt sich
wie ein freies

Teilchen in einem

Potentialtopf, obwohl Kern dicht gepackt ist... $A^{-2/3}$



Das Schalenmodell

Hypokerne: definierte Energieniveaus für 1-Baryonen.

→ auch für Nukleonen gültig!

Analog zum Atom: Elektronen im Zentralpotential des Kerns
hier: Nukleonen im "mean field" aller Nukleonen

Atom: Schalenstruktur

Kern: auch ... besonders stabil sind Kerne mit Z oder/und N
aus $(2, 8, 20, 28, 50, 82, 126)$ „magische Zahlen“

Doppelt magische Kerne:

4	He ₂
2	
16	O ₈
8	
40	Ca ₂₀
20	
48	Ca ₂₈
28	
208	Pb ₁₂₆
82	

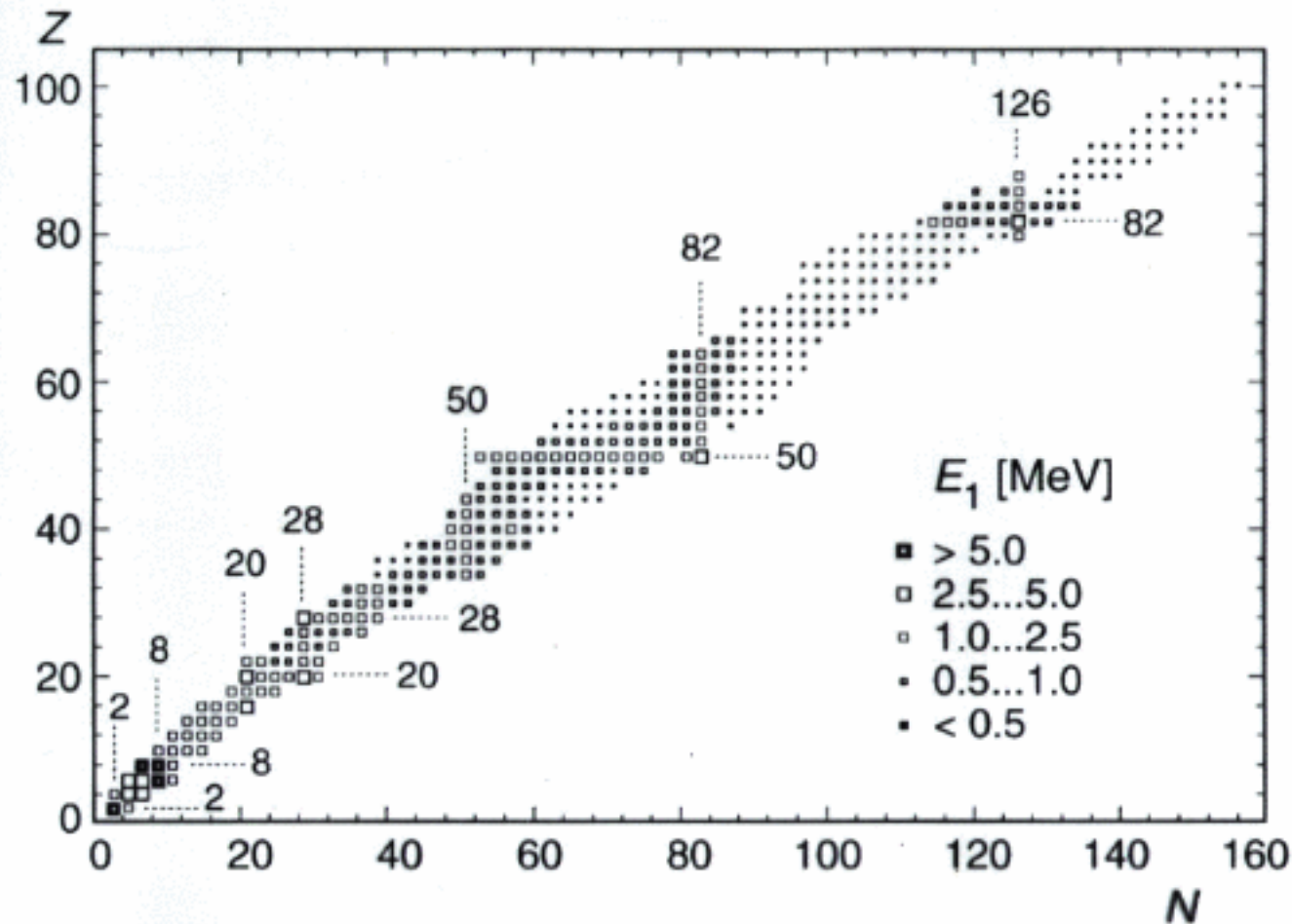


Abb. 17.5. Energie E_1 des ersten angeregten Zustands in gg-Kernen. In Kernen mit „magischer“ Protonen- oder Neutronenzahl ist diese Anregungsenergie besonders groß. Die angeregten Zustände haben üblicherweise die Quantenzahlen $J^P = 2^+$. Ausnahmen sind die ersten angeregten Zustände in ${}^4_2\text{He}_2$, ${}^{16}_8\text{O}_8$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}_{20}$, ${}^{72}_{32}\text{Ge}_{40}$ und ${}^{90}_{40}\text{Zr}_{50}$ (0^+) sowie in ${}^{132}_{50}\text{Sn}_{82}$ und ${}^{208}_{82}\text{Pb}_{126}$ (3^-) und in ${}^{14}_6\text{C}_8$ und ${}^{14}_8\text{O}_6$ (1^-). Weiter entfernt von den „magischen“ Zahlen wird E_1 klein, mit fallender Tendenz, je schwerer der Kern wird (Daten aus [Le78]).

Eigenzustände im Kernpotential

$$\psi_{nlm}(\vec{r}) = R_{nl}(r) \cdot Y_l^m(\theta, \varphi)$$

Zahl der Knoten + 1

Bahndrehimpuls

Energie unabhängig von m
 $= [-l \dots l]$
 Parität $(-1)^l$

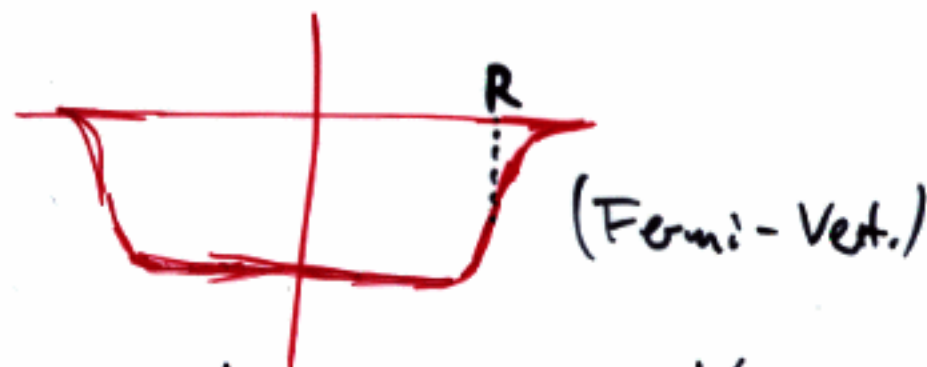
n, l -Niveaus $2 \cdot (2l+1)$ -fach entartet.

Potential ~~hier~~ $V(r)$



Gauss-förmig für leichte Kerne $A \leq 7$
 $\Rightarrow$ harmonischer Oszillator $E = (N_x + N_y + N_z + \frac{3}{2}) \cdot \hbar \omega$
 $N = 2(n-1) + l$

Woods-Saxon-Potential für schwere Kerne:

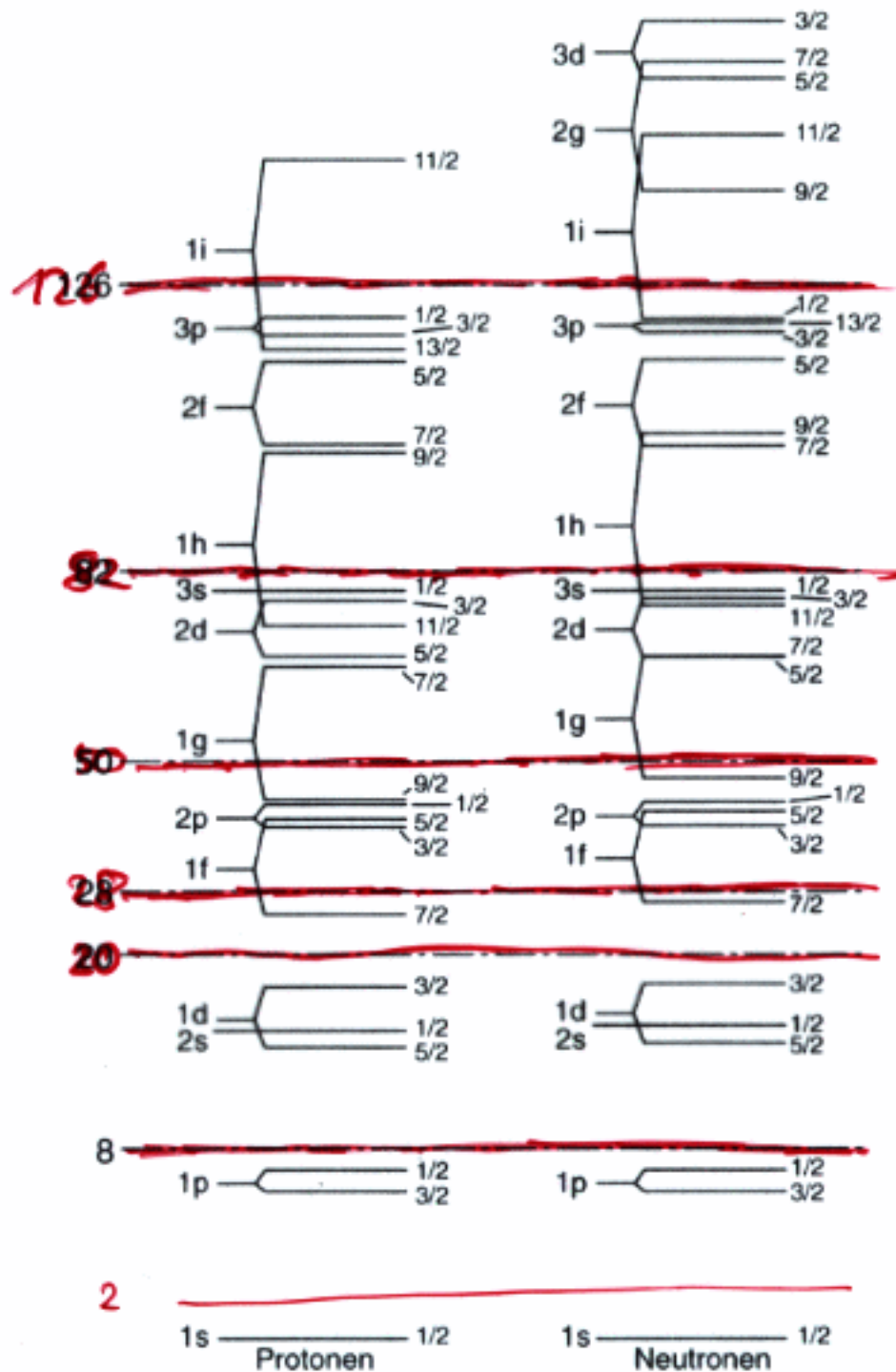


$$V_{\text{Woods-Saxon}}(r) = \frac{-V_0}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}}$$

n, l -Entartung aufgehoben:
 erste 3 magische Zahlen
 (2, 8, 20) erklärbar.

Inkl. Spin-Bahn-WW
 können mag. Zahlen erklärt werden...

magische Zahlen:
 besonders großer
 Abstand zum
 nächsten
 Anregungszustand.



Kerne mit
 magischen Zahlen
 haben mag.
 Moment $\mu = 0$
 (weil Nukleonen
 in abgeschlossener
 Schale zu $J=0$
 koppeln)

Hat man ein
 zusätzliches
 Nukleon (Lepton-
 nukleon), ist μ
 von dem gegeben.
 Fehlt gerade eines,
 verhält es sich
 wie ein "Loch".