



MODELOS NUCLEARES

Alvarez Leandro, Collazzi Camilo, Donato Sebastian

Física Moderna 2024
Hugo Fort

ÍNDICE:

- Modelo de la gota
- Números Mágicos
- Modelo de Gas de Fermi



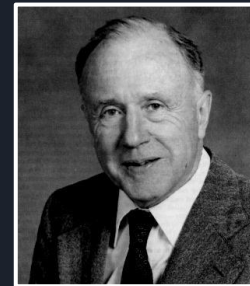
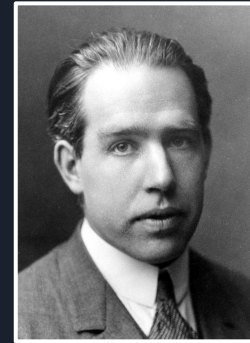
INTRODUCCIÓN

Aunque en las últimas décadas se han desarrollado ampliamente las teorías nucleares, aún no es posible construir una teoría completa de los núcleos. Sin embargo, existen varios modelos rudimentarios con validez limitada que pueden explicar un conjunto significativo de propiedades nucleares, especialmente en el caso de núcleos masivos.

MODELO DE LA GOTA

Propuesto por George Gamow en 1930.

Posteriormente desarrollado por Niels Bohr y John Archibald Wheeler en la década de 1930

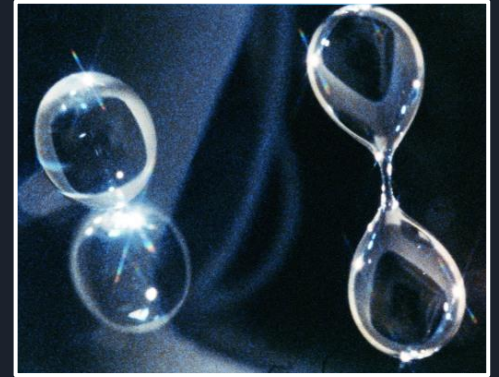


MODELO DE LA GOTA

Queremos una fórmula para calcular las masas de los núcleos.

Propiedades de los núcleos :

1. Densidades de masa interior aproximadamente iguales.
2. Las energías de enlace son aproximadamente constantes : $(\Delta E/A) \approx \text{Constante}$.





MODELO DE LA GOTA

El modelo de la gota aproxima el núcleo a una esfera con una densidad interior uniforme, que cae a cero bruscamente en su superficie.

Se tiene que : $V \propto A$, $S \propto A^{2/3}$, $r \propto A^{1/3}$, r: radio, S: superficie, V: volumen.

Como $m \propto A$, m masa, entonces $\rho = m/V \propto A/A = 1 \rightarrow \rho = \text{constante}$.



FÓRMULA

La fórmula para la masa consiste de una suma de seis términos :

$$M_{Z,A} = f_0(Z, A) + f_1(Z, A) + f_2(Z, A) + f_3(Z, A) + f_4(Z, A) + f_5(Z, A)$$

Donde M representa la masa de un átomo cuyo núcleo está especificado por Z y A.



MASA DE UN NÚCLEO

Experimentalmente, se observa que:

$$M_{Z,A} = Zp^+ + (Z - A)n - \frac{E_b}{c^2} < Zp^+ + (Z - A)n$$

Es decir que la masa del núcleo es menor a la suma de las masas de los protones y neutrones



¿ QUÉ REPRESENTA CADA TÉRMINO ?

$$f_0(Z, A) = 1.007825 Z + 1.008665 (A - Z)$$

Masa de las partes constituyentes del átomo

Donde el coeficiente de Z es igual a la masa del protón en términos de masa atómica (u) y el coeficiente de $(A-Z)$ es la masa del neutrón en las mismas unidades.

$$u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$u = 931.38 \text{ MeV}$$



PRIMER TÉRMINO DE CORRECCIÓN

$$f_1(Z, A) = -a_1 A$$

Término del volumen

Este corresponde a una energía de enlace proporcional a m o V , y describe la tendencia a que la energía de enlace de un nucleón sea constante. Como es negativo, disminuye la masa, por lo que aumenta la energía del enlace.



SEGUNDO TÉRMINO DE CORRECCIÓN

$$f_2(Z, A) = a_2 A^{\frac{2}{3}}$$

Término de la superficie

Este término corrige la energía de enlace para considerar el efectos de los nucleones en la superficie del núcleo, que no están completamente rodeados por otros nucleones.

Como el término es positivo aumenta la masa y por ende reduce la energía del enlace. En una gota clásica este término representa el efecto de la tensión superficial.



TERCER TÉRMINO DE CORRECCIÓN

$$f_3(Z, A) = a_3 \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}$$

Término de la energía de Coulomb positiva del núcleo cargado.

Se supone que hay una distribución uniforme de carga cuyo radio es proporcional a $A^{(1/3)}$. El efecto de las repulsiones Coulombianas aumenta la masa y reduce la energía del enlace.

CUARTO TÉRMINO DE CORRECCIÓN

$$f_4(Z, A) = + a_4 \frac{(Z - A/2)^2}{A}$$

Término de asimetría.

Considera la diferencia entre el número de neutrones N y protones Z en el núcleo.

Cuando las cantidades son iguales el núcleo es más estable, las diferencias significativas causan inestabilidad y disminuyen la energía de enlace (*observaciones experimentales*).

QUINTO TÉRMINO DE CORRECCIÓN

$$=- f(A) \quad \text{si } Z \text{ par, } A-Z=N \text{ par}$$

$$= f_5(Z, A) = 0 \quad \begin{array}{l} \text{si } Z \text{ par, } A-Z=N \text{ impar} \\ \text{o } Z \text{ impar, } A-Z=N \text{ par} \end{array}$$

$$=+ f(A) \quad \text{si } Z \text{ impar, } A-Z=N \text{ impar}$$

Término de paridad

$$f(A) = a_5 A^{-1/2}$$

Los núcleos con números pares de protones y neutrones tienen una energía ligeramente mayor mientras que si ambos son impares, la energía es menor. (*experimentalmente*)

FÓRMULA SEMIEMPÍRICA DE LA MASA

$$M_{Z,A} = f_0(Z, A) + f_1(Z, A) + f_2(Z, A) + f_3(Z, A) + f_4(Z, A) + f_5(Z, A)$$



$$M_{Z,A} = 1.007825Z + 1.008665(A-Z) - a_1A + a_2A^{2/3} + a_3Z^2A^{-1/3} + a_4(Z-A/2)^2A^{-1} + \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ +1 \end{pmatrix} a_5A^{1/2}$$



FÓRMULA SEMIEMPÍRICA DE LA MASA

$$a_1 = 0.01691$$

$$a_2 = 0.01911$$

$$a_3 = 0.000763$$

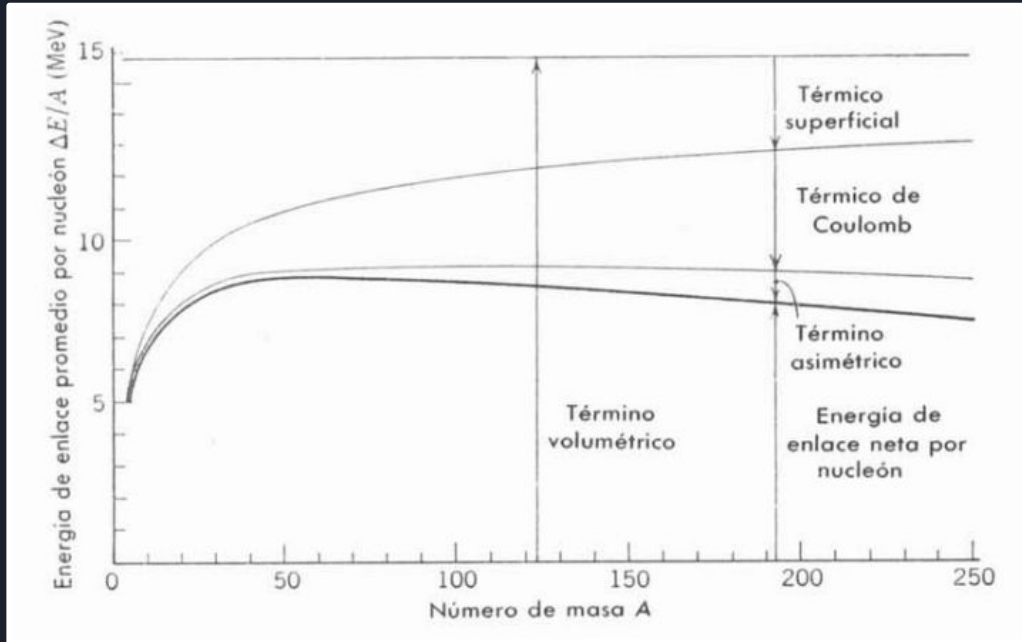
$$a_4 = 0.10175$$

$$a_5 = 0.012$$

En unidades de (u).

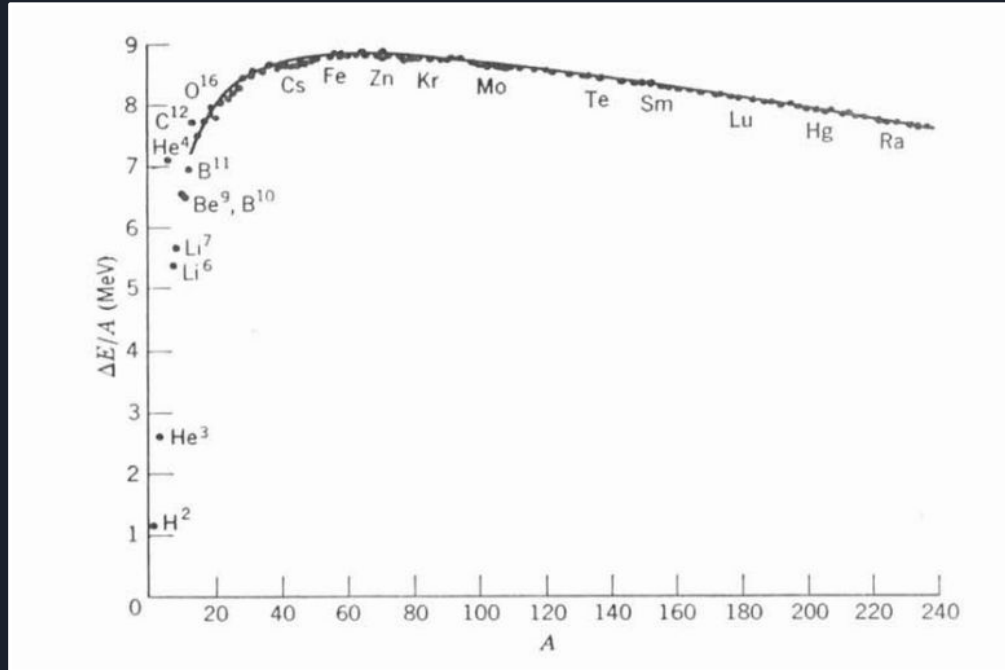
Proporcionando una gran concordancia con el comportamiento promedio de las masas medidas de todos los núcleos estables excepto aquellos con A muy pequeña.

FÓRMULA SEMIEMPÍRICA DE LA MASA



Los términos de volumen, superficie, Coulomb y asimetría de la fórmula se combinan para producir la energía de enlace por nucleón.

FÓRMULA SEMIEMPÍRICA DE LA MASA



Energía de enlace promedio por nucleón para núcleos estables. La curva suave se obtiene a partir de la fórmula anterior.



FÓRMULA SEMIEMPÍRICA DE LA MASA

- Modelo nuclear más antiguo y clásico.
- Desarrollada sin un conocimiento amplio de los núcleos.
- Parámetros totalmente empíricos.
- Descripción bastante exacta de la masa de cientos de núcleos con solo 5 términos.



NÚMEROS MÁGICOS





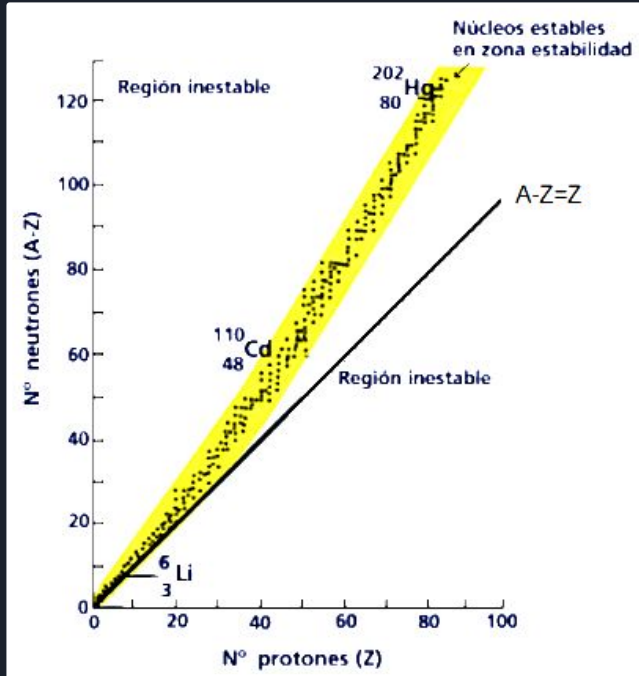
NÚMEROS MÁGICOS

Hay ciertos núcleos con valores de Z y/o N muestran desviaciones significativas a los resultados calculados.

Z y/o $N = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$

En términos de Z son : Helio, Oxígeno, Calcio, Níquel, Estaño, Plomo respectivamente,

NÚMEROS MÁGICOS

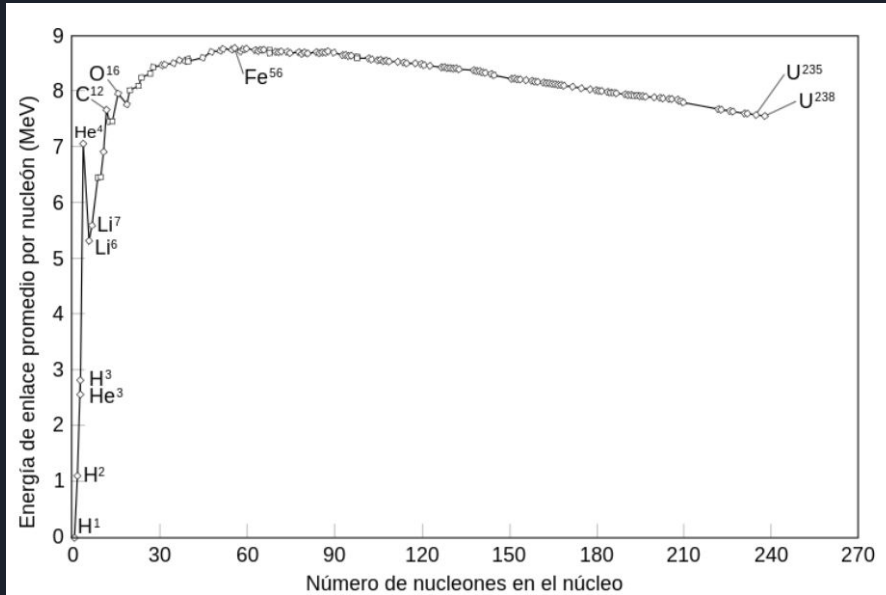


Distribución de los núcleos estables.

Los núcleos prefieren Z y/o N mágico.

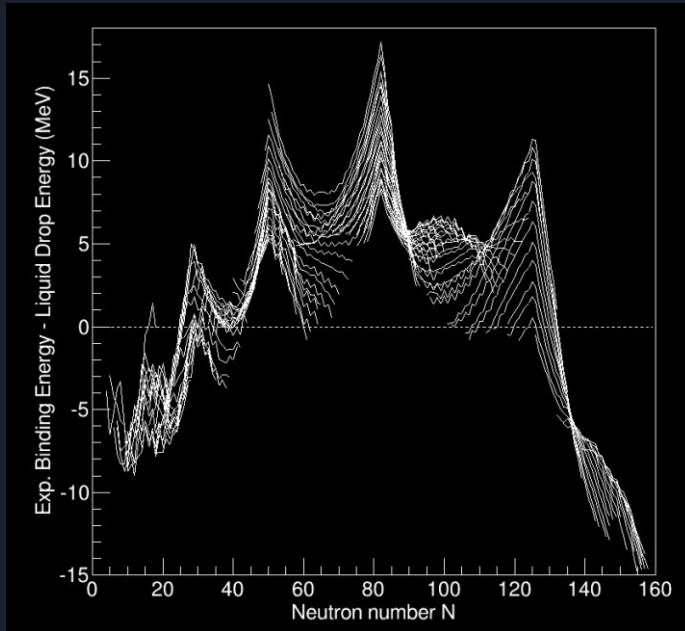
Entre más estable es un tipo de núcleo particular más abundante es.

NÚMEROS MÁGICOS



La energía promedio por nucleón es significativamente mayor para los núcleos con Z y/o $N = 2$ u 8 que lo que sería para sus vecinos.

ENERGÍA DE ENLACE DEL ÚLTIMO NEUTRÓN O PROTÓN



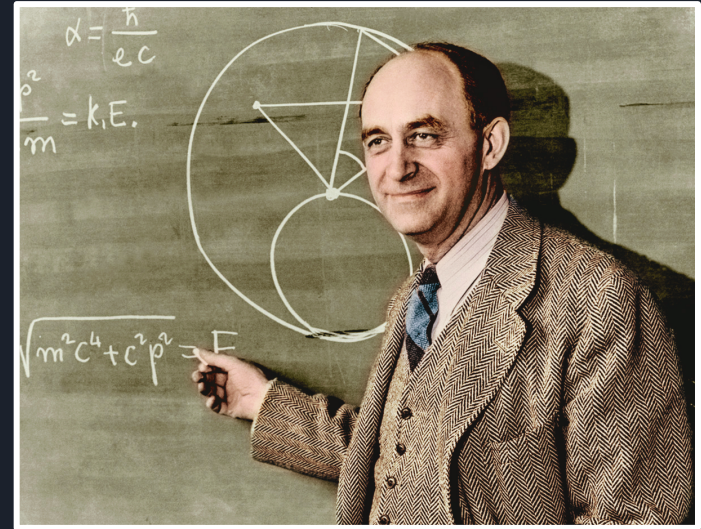
La rara estabilidad de los núcleos con $N=28, 50, 82, 126$ se muestra excepcionalmente grande en energía requerida para extraer su último neutrón.



NÚMEROS MÁGICOS

Presentan como característica principal la mayor estabilidad del núcleo y por ende mayor abundancia de isótopos e isótonos.

MODELO DE GAS DE FERMI





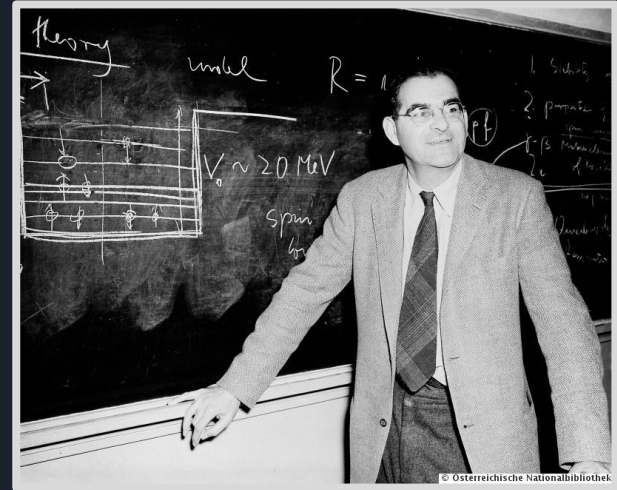
MODELO DE GAS DE FERMI

El Modelo del Gas de Fermi aplicado a los núcleos atómicos se deriva de un modelo más general de un gas de fermiones. Este modelo describe un grupo de fermiones no interactuantes contenidos en un pozo de potencial. Los fermiones, que incluyen partículas como electrones, protones y neutrones, obedecen el Principio de Exclusión de Pauli.

VICTOR WEISSKOPF

Weisskopf fue el primero en señalar que existe una explicación simple de cómo los nucleones se pueden mover libremente en el núcleo.

La explicación se basa en el *modelo del gas de Fermi del núcleo*





MODELO DEL GAS DE FERMI

Cada nucleón se mueve en un *potencial neto atractivo* que representa el efecto promedio de sus interacciones con otros nucleones.

Este tiene una profundidad constante dentro del núcleo y cero fuera de él.

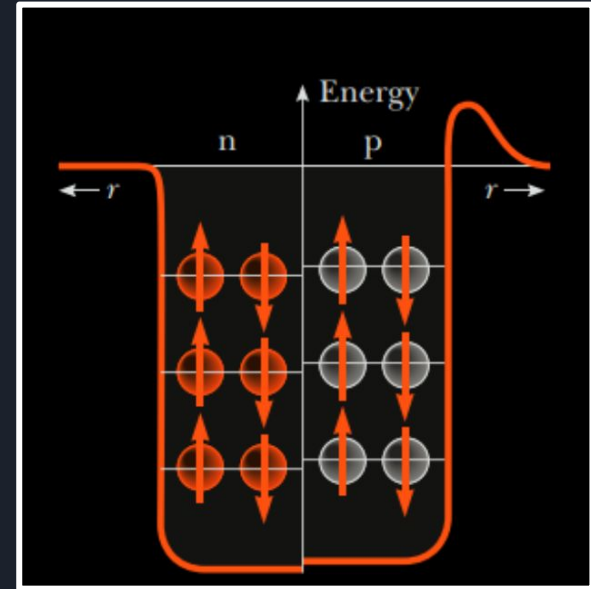
Pozo cuadrado finito tridimensional.

MODELO DEL GAS DE FERMI

p^+ y n : fermiones con spin $s=1/2$.

Ocupan los niveles de energía minimizando la energía total sin violar el principio de exclusión de Pauli.

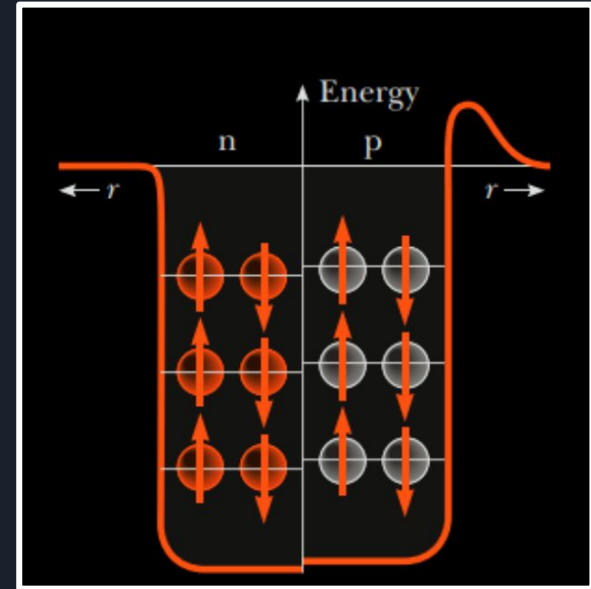
Como los protones son distinguibles de los neutrones cada uno tienen una representación de los estados cuánticos independiente.



MODELO DEL GAS DE FERMI

Los nucleones comenzarán a llenar sus niveles de energía hasta alcanzar el máximo nivel (Nivel de Fermi) sobre el cual el nucleón se desprende.

Las colisiones entre dos partículas idénticas dentro del núcleo, no resultará en un cambio neto de la energía total de la configuración del sistema.



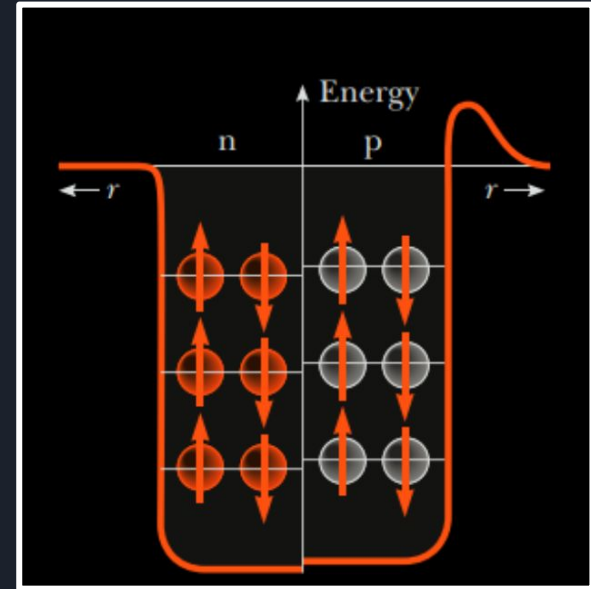
MODELO DEL GAS DE FERMÍ

Energía del Nivel de Fermi :

$$E_F = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2M} \left(\frac{3}{\pi} \rho \right)^{\frac{2}{3}}$$

Con valores aproximados de 43 y 33 MeV para los neutrones y protones respectivamente.

La profundidad del pozo es de aproximadamente 50 y 40 MeV respectivamente.





CONCLUSIONES

- Los **modelos nucleares** , aunque son **teóricos**, tienen una parte fundamentalmente **experimentales**.
- El **modelo de la gota** permite obtener valores para las **energías de ligadura** y las **masas de los núcleos atómicos**.
- Los **números mágicos** son ciertos **valores de Z y/o N** que muestran ser particularmente **estables**.
- El **Modelo de Gas de Fermi** nos permite estudiar nucleones libres en niveles de energía cuantizados, según el Principio de Exclusión de Pauli.

BIBLIOGRAFÍA

Eisberg, R. M., Resnick, R., & Cota Araiza, L. (1994). Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. Limusa-Wiley

Capítulo 15.

