

物理科疑難問題討論

褚德三
國立交通大學理學院

國立編譯館轉來曾俊昌君致行政院消費者保護委員會函，經請褚主任委員釋復特將問答刊錄如下，以享讀者。

行政院消費者保護委員會 鈞鑒：

- 一、事由：為關於高中物理課本，湯川位能 $1.5 F$ （即 1.5×10^{-15} 公尺），究竟是核子與核子間的作用距離，還是 π 介子（Pion）與核子間之作用距離？懇請國立編譯館賜教 由。
- 二、主文及理由：參考①影本（教科書）指 $1.5 F$ 為核子間之作用半徑。參考②指 $1.5 F$ 為實驗得出之湯川位能。敝人兒子就讀建中，因參加清華大學物理輔導，提早對核子物理接觸，一般書皆謂核與核間作用距離為 $2 F$ （未見過小於 $1.75 F$ ）。而湯川位能各書本未有大於 $1.55 F$ 。覺得 $1.5 F$ 與 $2 F$ 係兩碼數據，偏差 33%，應不可能為同一物理意義之量。（附影本壹張）。
- 三、敝人謹以法定代理人身份代為陳述，請見諒。敬請 貴會幫忙。

醫師 曾俊昌 敬上

參考一 高中物理課本，附錄G 基本粒子 p.149

ΔE 的能量而不被察覺。也即是說介子在被放出及吸收之間存在的時間必須小於

$\frac{h}{2\pi mc^2}$ 。在這段時間內其能行進的距離 $\leq c \frac{h}{2\pi mc^2} = \frac{h}{2\pi mc}$ ，所以兩核子間

強交互的作用的作用半徑約為

$$r_0 = \frac{h}{2\pi mc} \quad (G-9)$$

將實驗所得 $r_0 \cong 1.5 \times 10^{-15}$ 公尺（約等於原子核的大小）代入上式，可得介子的質量約為

$$2 \times 10^{-28} \cong 220 m_e \quad (G-10)$$

從以上的討論可知，在以上的描述中介子只能有“短瞬之存在”，因此無法由實驗中測得，而是所謂的虛介子。

介子場的強度

湯川求一介子場，使兩個核子間在短距離 ($r \approx 10^{-15}$ 公尺) 時的作用，遠大於庫倫排斥力。電磁場作用的強度 (兩電荷的作用)，乃由 e^2 (或用無因次的常數 $\frac{e^2}{hc}$) 表之。對核子和介子場的關係，我們同樣的引入一個「介子荷」 f (替代

電荷 e)，故用 $\frac{f^2}{hc}$ (無因次的) 常數作為介子作用的強度指標。

湯川的基本假設是 f^2 約為 e^2 的 100 倍。

我們現稱核子間 (經介子場) 的作用為強作用。

參考二 量子物理學，單溥，陳自強，黃棟洲譯著 (復漢出版社)

17-4 裡將指出對分隔的距離 r 的較大值，核位能應該遵循湯川位能

$$V(r) = -g^2 \frac{e^{-r/r'}}{r} \quad (17-9)$$

其中

$$\text{湯川位能 } r' = \frac{\hbar}{m\pi c} \approx 1.5 F$$

位能的距離 r' 被理論所確定，而有一值符合例 17-3 的簡單論點與實驗，位能的總括強度係常數 g^2 ，此值並非藉理論來決定而是藉能符合實驗的最佳值而決定，以沒有單位的數量 g^2/hc 而言，被估計的值为

$$g^2/hc \approx 15 \quad (17-10)$$

圖 17-18 繪出湯川位能，可注意到 $V(r) \propto e^{-r/r'}/r$ 隨 r 之增加而逐漸的減少，但比長距離的庫倫位能 $V(r)$ 正比 $\frac{1}{r}$ 要更為迅速的減小。

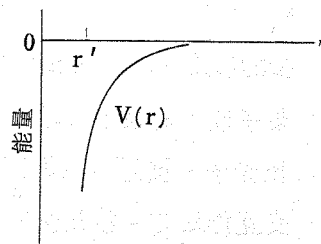


圖 17-18 湯川位能，對於與 $r' = \hbar/m\pi c \approx 1.5 F$ 相當或大約此值之 r ，核子位能應有此型式。

曾醫師：

你所問的問題回答如下，若尚有不解之處，隨時歡迎來函指教。

- (1) 你信上所稱「湯川位能 $1.5 F$ (即 1.5×10^{-15} 公尺)」的說法不很正確，比較正確的說法是「湯川位能的作用範圍是 $1.5 F$ 」。

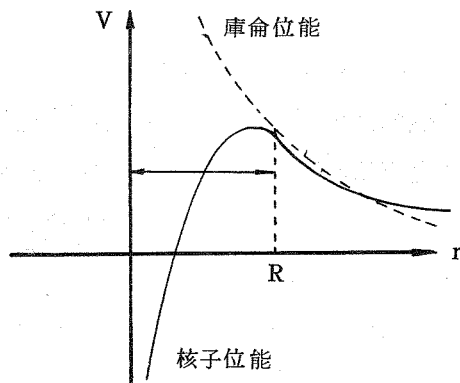
- (2) 你所附參考資料(1)中的 $r_0 = \frac{h}{2\pi m c}$ (即你信上所稱的核子間的作用半徑)，

與你信上所附參考資料(2)中的 $r' = \frac{\hbar}{m_{\pi} c}$ (即你信上所稱的湯川位能)，兩者

具有相同意義，均是指核子與核子間交互作用的範圍(有時稱為交互作用的距離)，或是核子位能的有效範圍(或說半徑)的約略值。核子與核子間交互作用距離約為 $1.5 F$ ，此約等於原子核的大小。這僅是大略的值，因為原子核的半徑比較準確的經驗公式應為 $r = r_0 A^{1/3}$ ， A 是質量數， $r_0 \approx 1.4 F$ 。故原子核半徑與其質量數有關，質量數愈大，則原子核半徑也愈大，但核子與核子間的交互作用有效距離則大致是一定的值。

- (3) 令公子所看到的書中稱核與核間作用距離為 $2 F$ (或 $1.75 F$) 或「湯川位能」(實際應修正為湯川位勢的有效範圍)小於 $1.55 F$ 等看起來不相等，但如(2)中所言，因平常談到這個物理量僅以數量級即可令人滿意，故 $1.5 F$ 、 $1.4 F$ 或 $1.6 F$ 事實上沒有什麼差別。事實上，若要準確的定義它反而有些困難，因為較妥當的定義可由下圖來說明：

一般稱核子與核子交互作用的有效距離乃是當核子位能與庫倫位能約略相等時的距離(如圖中的 R)，因此你可以看到， R 稍大些或稍小些，事實上不會差別顯著。



- (4) 核子間的交互作用力的理論，首由日本人湯川秀樹於 1935 年提出，他是仿照較早的電荷間交互作用理論的形式。兩個電荷間的交互作用，一般相信是藉一電磁場作用，這電磁場有量子性，其量子即稱為光子，兩個電荷的電磁交互作用，可看成為一個電荷放出光子，被另一個電荷所吸收，兩電荷間不斷的放出或吸收光子而構成其間的交互作用力。湯川仿照這種想法，假設兩個核子間存在有一種量子化的波色子 (下轉第 73 頁)