

原子核内的特征振荡

王如琳

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文用符拉索夫方程和广义泊松方程得出原子核内具有特征振荡。其共振峰的位置随不同原子核略有变化。经计算与实验上观察到的巨四极共振峰的位置符合较好。

它

何

一、实验的启示

早在1947年^[1]就在光核反应中发现有巨共振。七十年代初期,用核子甚至轻离子轰击原子核也发现有巨共振。有趣的是,对于同一种靶核,不同能量的不同粒子入射,这些共振峰的位置差别很小,如表1^[2]

表1 巨共振峰的实验值^[2]

反 应	入射能 (MeV)	共振峰位置的实验值 (以激发能计) MeV
$^{40}\text{Ca}(pp')$	182	~17
$^{40}\text{Ca}(^3\text{He}, ^3\text{He}')$	71	~17
$^{40}\text{Ca}(\alpha\alpha')$	115	~18

要

上述实验结果使人想到,这些巨共振是原子核本身所具有的特性,而入射粒子不论是核子甚至是光子,只不过起了个诱导的作用。

二、符拉索夫方程与广义泊松方程

原子核起初处于平衡状态,当小扰动一出现,使核物质的分布函数 $f_0(\mathbf{v})$ 发生一些小变化 $f^{(1)}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$ 。核物质总的分布函数 $f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$ 为

$$f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) = f_0(\mathbf{v}) + f^{(1)}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t). \quad (1)$$

由于核物质的疏密变化,产生一剩余核场 φ ,它满足广义泊松方程:

$$(\nabla^2 - k_0^2)\varphi(\mathbf{r}, t) = -4\pi n_0 \mu \int f^{(1)}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) d\mathbf{v} \quad (2)$$

式中 k_0 为介子质量, n_0 为核子密度, μ 为介子荷。在这剩余核场的作用下,核物质要回到

原来位置,使之恢复均匀分布,但是由于惯性它们将在平衡位置附近振荡.

本文借用符拉索夫方程来研究上述现象. 该方程线性化后为

$$\frac{\partial f^{(1)}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f^{(1)}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)}{\partial \mathbf{r}} - \frac{\mu \nabla \varphi}{m} \cdot \frac{\partial f_0(\mathbf{v})}{\partial \mathbf{v}} = 0, \quad (3)$$

利用傅里叶变换和拉普拉斯变换解方程 (2)、(4), 得色散关系

$$1 - \frac{4\pi n_0 \mu^2}{m(q^2 + k_0^2)} \int \frac{\mathbf{q} \cdot \frac{\partial f_0(\mathbf{v})}{\partial \mathbf{v}}}{-\omega^2 + \mathbf{v} \cdot \mathbf{q}} d\mathbf{v} = 0. \quad (4)$$

它决定核物质的特征振荡. $\hbar\omega$ 就是振荡能量.

三、色散关系的求解

为简单起见, $f_0(\mathbf{v})$ 取作半径为费米速度 $v_F = 0.266c$ 的费米球分布, (4) 式中无任何可调参数, 式中常数分别取为

$$n_0 = 0.17 \text{ 核子数 } fm^{-3}$$

$$k_0 = 140 \text{ MeV}$$

$$m = 939 \text{ MeV}$$

$$\mu^2 = 0.08$$

符拉索夫方程只适用于连续介质, 可以振荡波的波长必须大于核子间距. 另一方面, 要使振荡在核内发生, 波长必须小于原子核的大小. 令波长等于原子核半径

表 2 巨共振峰理论与实验比较

靶	反 应	入 射 线 (MeV)	自旋宇称	共振峰的实验值 (MeV) (以激发统计)	本工作之计算值 $\hbar\omega$ (MeV)
^{40}Ca	(p, p')	182	2+	~17	17.1
^{40}Ca	(e, e')	150—250	2+	10~25	17.1
^{40}Ca	($^3\text{He}^3\text{He}'$)	71		~17	17.1
^{40}Ca	(α , α')	115		~18	17.1
^{54}Fe	(pp')	62		~16	15.6
^{54}Fe	($^3\text{He}^3\text{He}'$)	71		~16	15.6
^{56}Fe	(pp')	61	2+ 或 0+	~16	15.4
^{58}Ni	(pp')	60	2+	16.4	15.2
^{58}Ni	($^3\text{He}^3\text{He}'$)	71		~16	15.2
^{106}Pd	(ee')	183		~13	12.6
^{114}Cd	(ee')	183		~13	12.3
^{116}Sn	(ee')	183		~13	12.2
^{120}Sn	(pp')	~ 62	2+	~13.5	12.1
^{120}Sn	($^3\text{He}^3\text{He}'$)	71		~13.5	12.1
^{122}Sn	($^3\text{He}^3\text{He}'$)	71		~13.5	12.0
^{144}Sm	(pp')	67	2+	12.8	11.4
^{152}Sm	(ee')	150—250	2+ 或 0+	11.5	11.2
^{154}Sm	(pp')	67	2+	12.5	11.1
^{197}Au	($^3\text{He}^3\text{He}'$)	75	2+	~11	10.3
^{197}Au	($^3\text{He}^3\text{He}'$)	71	2+	~11	10.3

离子表
，这些

MeV

不论是

一些小

(1)

(2)

要回到

$$q = \frac{1}{R} = \frac{1}{1.12} A^{-\frac{1}{3}}$$

将计算结果列于表 2.

四、讨 论

等离子体中,特征振荡的频率除随温度略有变化外,几乎是个常数,因此其能量也几乎是个常数.在原子核中,特征振荡的相速度几乎是个常数,

$$1.2v_F < \frac{\omega}{q} < 1.28v_F$$

其频率和能量则随不同原子核而变化.

原子核中,特征振荡的相速度略大于费米速度.若用 $\frac{\omega}{v_F q} \leq 1$ 的条件,相应的色散关系无解,这点从量子力学观点也是可以理解的,因为在费米海之下的那些能级都是填满的,已无活动的余地.

本工作从经典概念出发,与实验符合较好,但是不能确定自旋与宇称,这有待于进一步的研究.

参 考 文 献

- [1] G. C. Baldwin & G. S. Klaiber, *Phys. Rev.*, 71 (1974), 3.
[2] G. R. Satchler, *Phys. Rep.*, 14C (1974), 97.

THE OSCILLATION IN NUCLEI

WANG RU-LIN

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Vlasov equation and generalized Poisson equation are used here to obtain the energies of oscillations in nuclei. They vary slightly with different nuclei. Comparison of our calculated results and the experimental energies of the giant quadruple resonances is quite good.

题 1-4

1

千伏.

焦,聚

小间距

介槽在

包聚

2

第 4 册

高的交

等离