

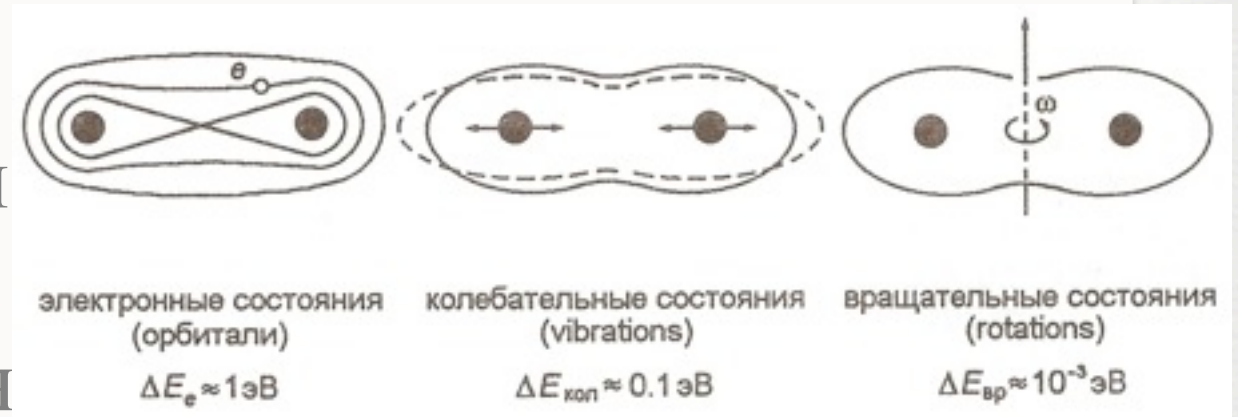
КОЛЛЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА

Р.М. Джилкибаев



КОЛЛЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА

- Колебательные и вращательные уровни ядра
- Сферическо-симметричные ядра (не деформированны)
- --> поверхностные колебания
- Деформированные ядра
- --> вращательные колебания
- Поляризационные колебания



СФЕРИЧЕСКОЕ ЯДРО

$$\frac{\partial \psi}{\partial \theta} = \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} = 0.$$

Так как оператор $\hat{\mathbf{L}}^2$ квадрата полного орбитального момента количества движения в сферических координатах имеет вид

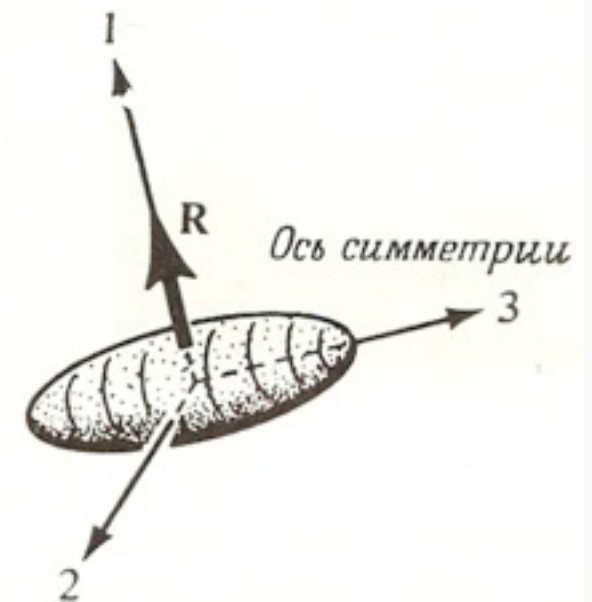
$$\hat{\mathbf{L}}^2 = -\hbar^2 \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right],$$

отсюда следует, что для сферически симметричного ядра

$$\hat{\mathbf{L}}^2 \psi = \hbar^2 L(L+1) \psi = 0.$$

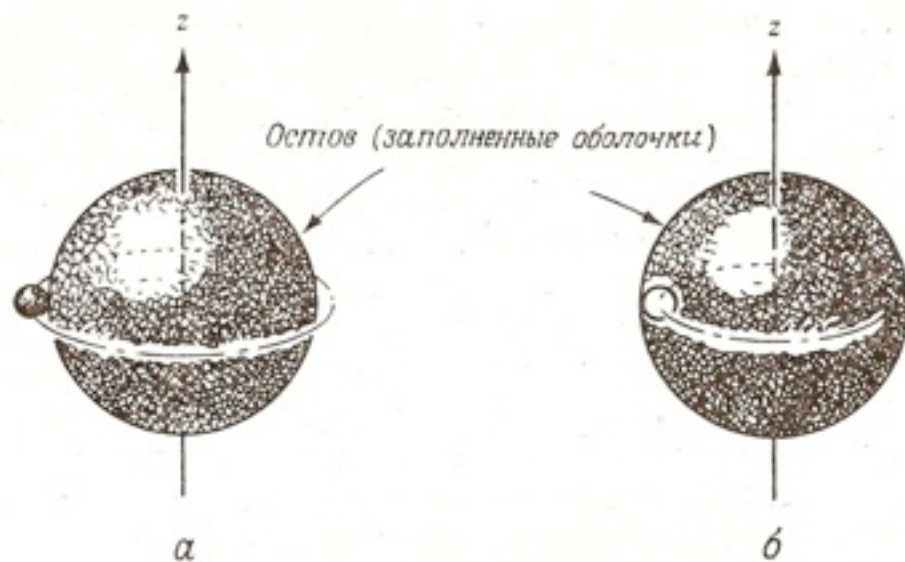
ДЕФОРМАЦИЯ ЯДЕР

- $Q = Z \int d^3r (3z^2 - r^2) \rho(r)$
- $Q = 2 / Z (b^2 - a^2)$ - однородно-заряженный эллипсоид
- $\Delta R = b - a, R = (a + b) / 2, \delta = \Delta R / R$
- $Q = 4 / 5 Z R^2 \delta, Q_{\text{rel}} = Q / (Z R^2)$
- $Q_{\text{rel}} = 4 / 5 \delta$

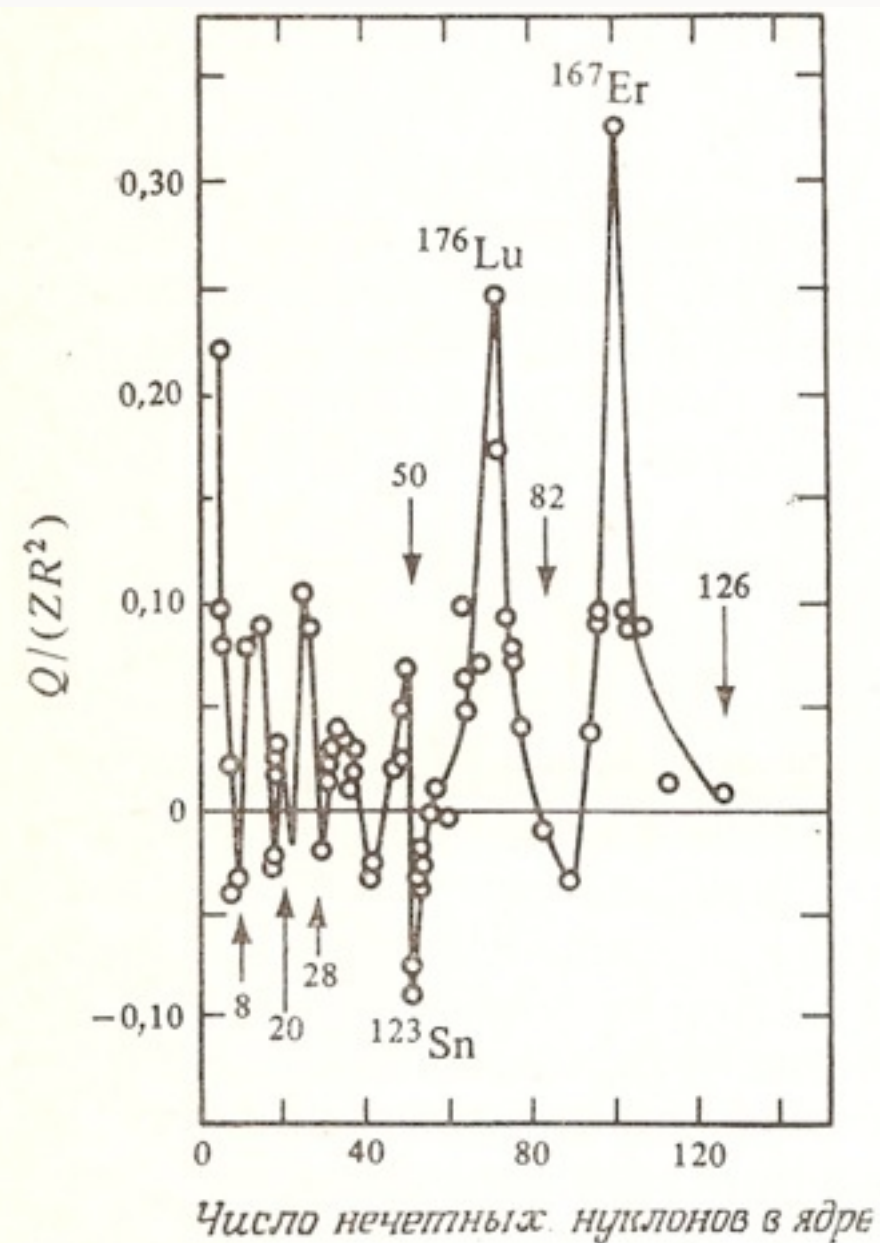


ДЕФОРМАЦИЯ ЯДЕР

- $Q_{\text{rel}}^{\text{p}} \sim -1/Z$
- $Q_{\text{rel}}^{\text{n}} \sim Z/A^2 Q_{\text{rel}}^{\text{p}}$



16.2. Квадрупольный момент, создаваемый остовом замкнутых оболочек и одним дополнительным нуклоном: *a* — протоном; *b* — протонной дыркой.



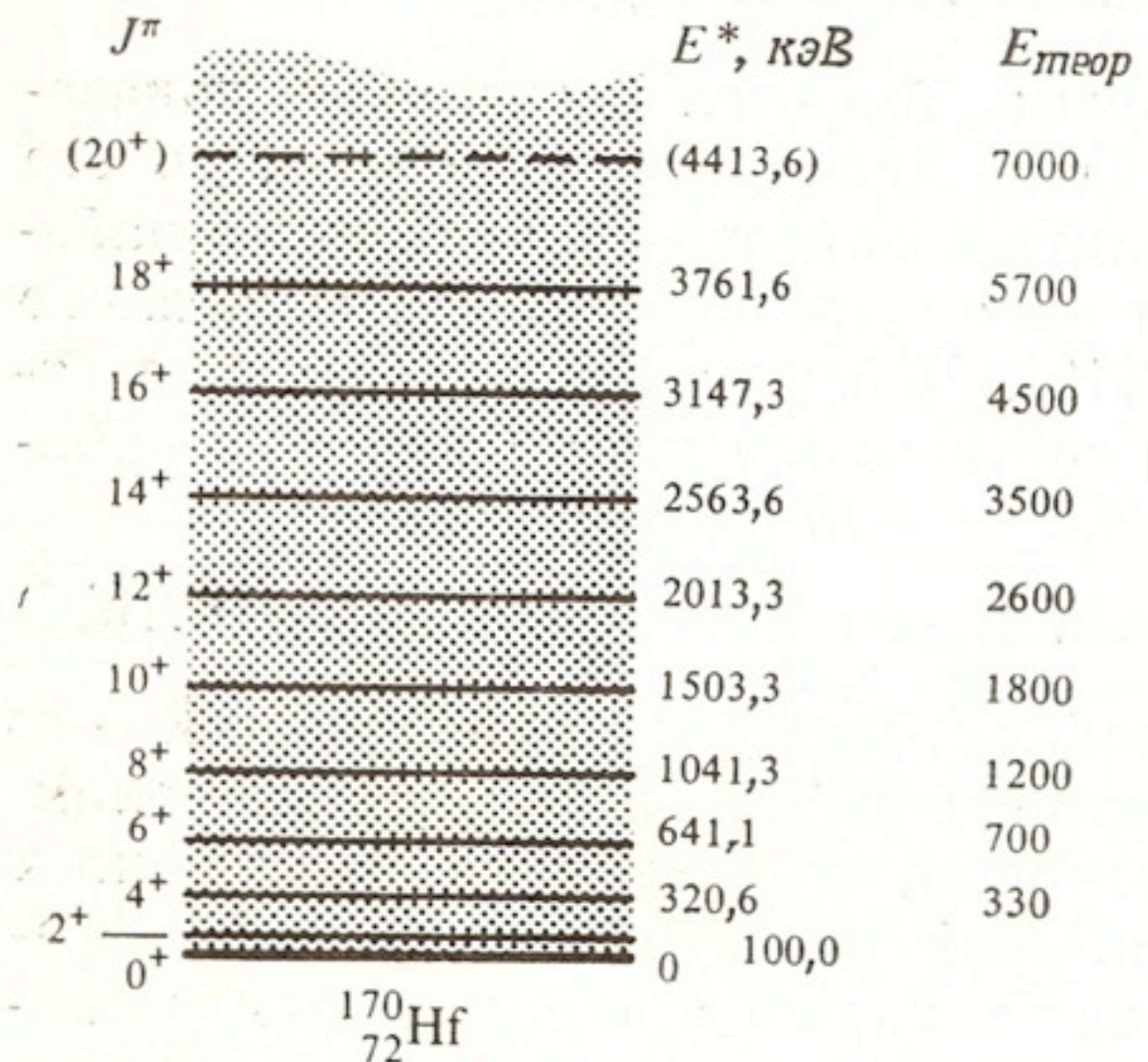
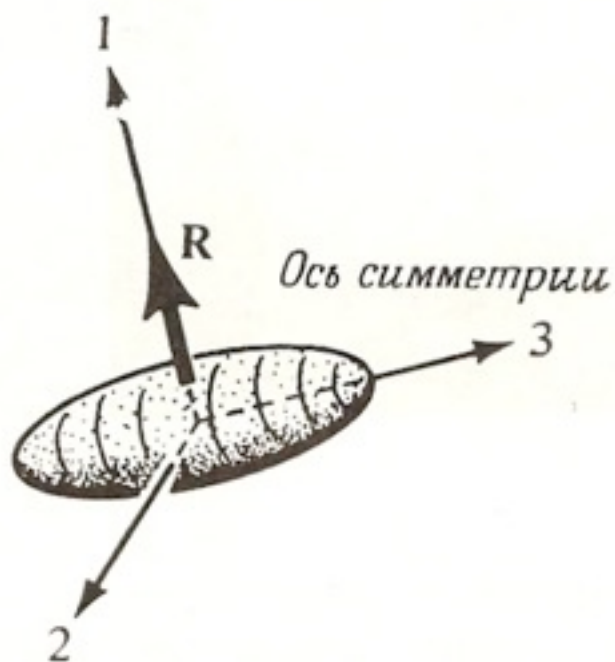
ОДНОЧАСТИЧНЫЙ КВАДРУПОЛЬНЫЙ МОМЕНТ

Экспериментально наблюдаемые и теоретически предсказываемые
одночастичные квадрупольные моменты

| Ядро | Z | N | Характеристика ядра | J | $Q_{\text{эксп}},$ фм ² | $Q_{\text{о.ч}},$ фм ² | $\frac{Q_{\text{эксп}}}{Q_{\text{о.ч}}}$ |
|-------------------|----|-----|---|-------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| ¹⁷ O | 8 | 9 | Двойное магическое + 1 ней- трон | $5/2$ | -2,6 | -0,1 | 20 |
| ³⁹ K | 10 | 20 | Двойное магическое + 1 про- тонная дырка | $3/2$ | +5,5 | +5 | 1 |
| ¹⁷⁵ Lu | 71 | 104 | Наполовину заполненная обо- лочка | $7/2$ | +560 | -25 | -20 |
| ²⁰⁹ Bi | 83 | 126 | Двойное магическое + 1 про- тон | $9/2$ | -35 | -30 | 1 |

ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ БЕССПИНОВЫХ ЯДЕР

■ $E_J = \frac{\hbar^2}{2G} J(J+1)$



ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ БЕССПИНОВЫХ ЯДЕР

- $G_{\text{ТВ}} > G_{\text{exp}} > G_{\text{жид}}$
- ${}_{70}\text{Yb}^{170}$, $G_{\text{exp}} = 5.5$ $G_{\text{жид}} = 0.45$ $G_{\text{ТВ}}$
- ядро - смесь сверхтекучей и
- вязкой жидкости

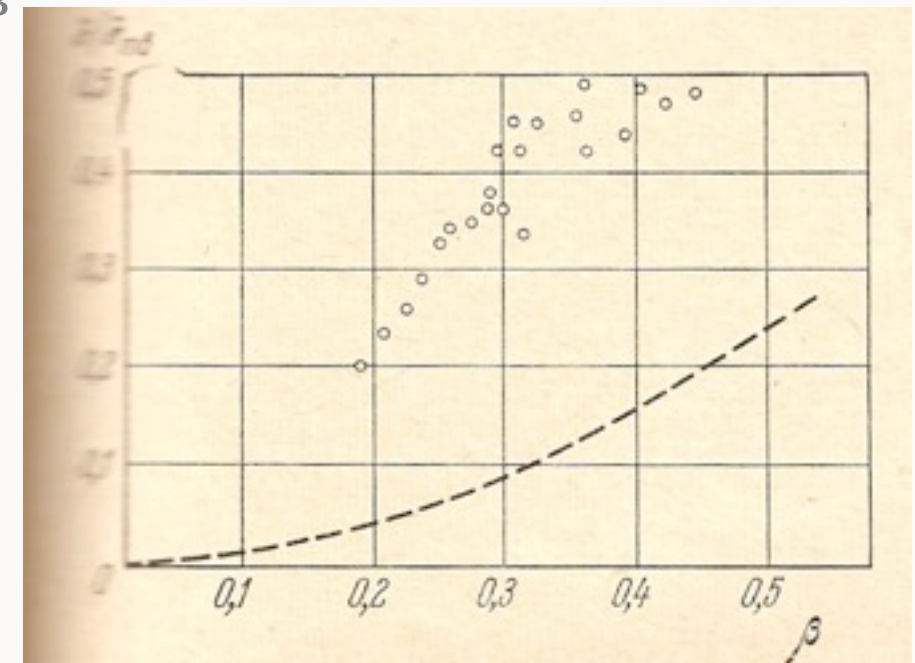
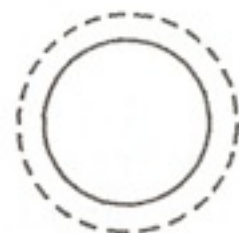


Рис. 3.5. Зависимость момента инерции от деформации для некоторых четно-четных ядер.

Кружкам соответствуют экспериментальные данные. Пунктирная кривая описывает зависимость момента инерции жидкой капли от деформации.

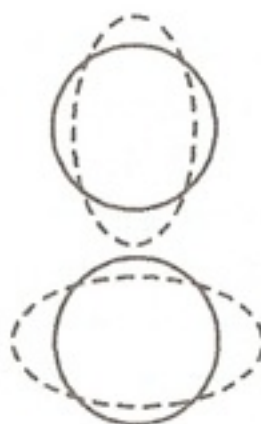
КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР

$$R = R_0 \left[1 + \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{+l} \alpha_{lm} Y_l^m(\theta, \varphi) \right].$$



$J=0$

монопольные



$J=2$

квадрупольные



$J=3$

октупольные

Рис. 7.15. Сплошной линией показана равновесная (сферическая) форма ядра, а пунктиром два крайних (различающихся половиной периода) состояния, которые принимает ядро в процессе колебаний

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР

$$R = R_0 \left[1 + \sum_{m=-2}^2 \alpha_{2m} Y_2^m(\theta, \varphi) \right].$$

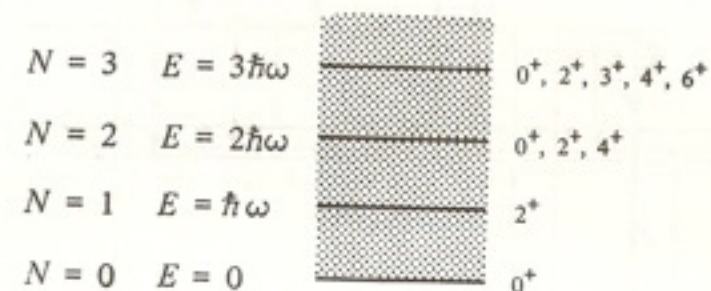
Квадрупольная деформация задается пятью параметрами с $\alpha_{2m} = 0$ при $m \neq 0$ имеем формулу

$$R(t) = R_0 \left[1 + \alpha_{20} \left(\frac{5}{16\pi} \right)^{1/2} (3 \cos^2 \theta - 1) \right]$$

$$H = \frac{1}{2} B \sum_m |\dot{\alpha}_{2m}|^2 + \frac{1}{2} C \sum_m |\alpha_{2m}|^2.$$

- $E_N = (N + 5/2) \hbar \omega,$

- $\hbar \omega = (C/B)^{1/2}$



16.13. Колебательные уровни. Колебательный фотон имеет момент количества движения 2 и положительную четность. Уровни характеризуются числом фотонов N . Энергия основного состояния положена равной нулю.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР

$$E=2\hbar\omega \quad \xrightarrow{n=2} \quad 0^+, 2^+, 4^+$$

$$E=\hbar\omega \quad \xrightarrow{n=1} \quad 2^+$$

$$E=0 \quad \xrightarrow{n=0} \quad 0^+$$

$$\begin{array}{l} 4^+ \\ 2^+ \\ 0^+ \end{array} \xrightarrow{n=2} \begin{array}{l} 1.28 \text{ МэВ} \\ 1.21 \\ 1.13 \end{array}$$

$$2^+ \xrightarrow{n=1} 0.56 \text{ МэВ}$$

$$0^+ \xrightarrow{n=0} 0$$

$^{114}_{48}\text{Cd}$

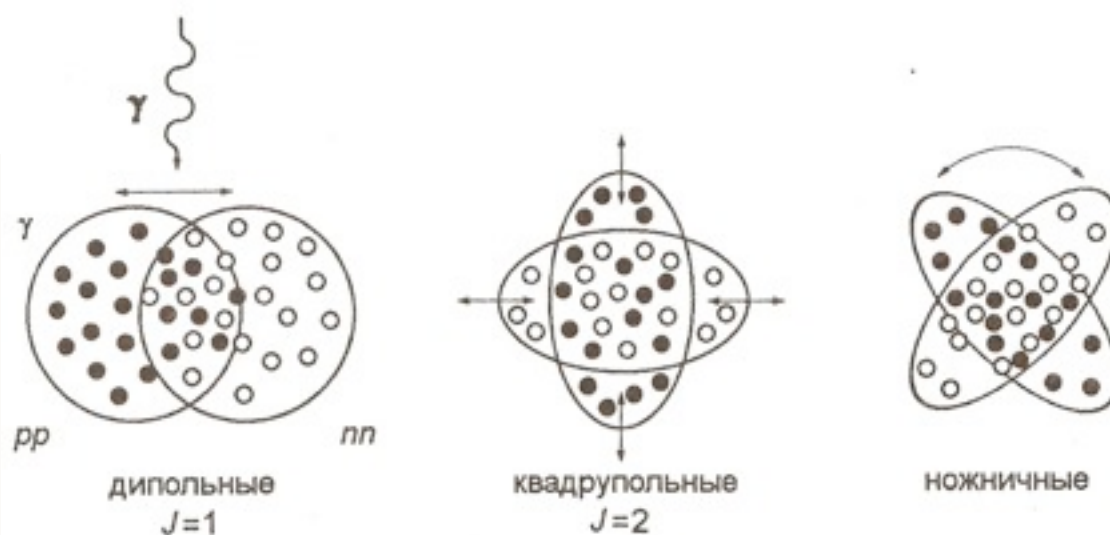


Рис. 7.18. Поляризационные колебания ядер

МОДЕЛЬ НИЛССОНА

- сферически-сим.

$$V(r) = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2 - C \mathbf{l} \cdot \mathbf{s};$$

- аксиально-сим.

$$V_{\text{деф}} = \frac{1}{2} m [\omega_{\perp}^2 (x_1^2 + x_2^2) + \omega_3^2 x_3^2] + C (\mathbf{l} \cdot \mathbf{s}) + D l^2.$$

- $\omega_3 = \omega_0 (1 - 2/3 \varepsilon)$

$$\hbar \omega_0 \approx 41 A^{-1/3} \text{ МэВ},$$

$$C \approx -0,1 \hbar \omega_0, \quad D \approx -0,02 \hbar \omega_0.$$

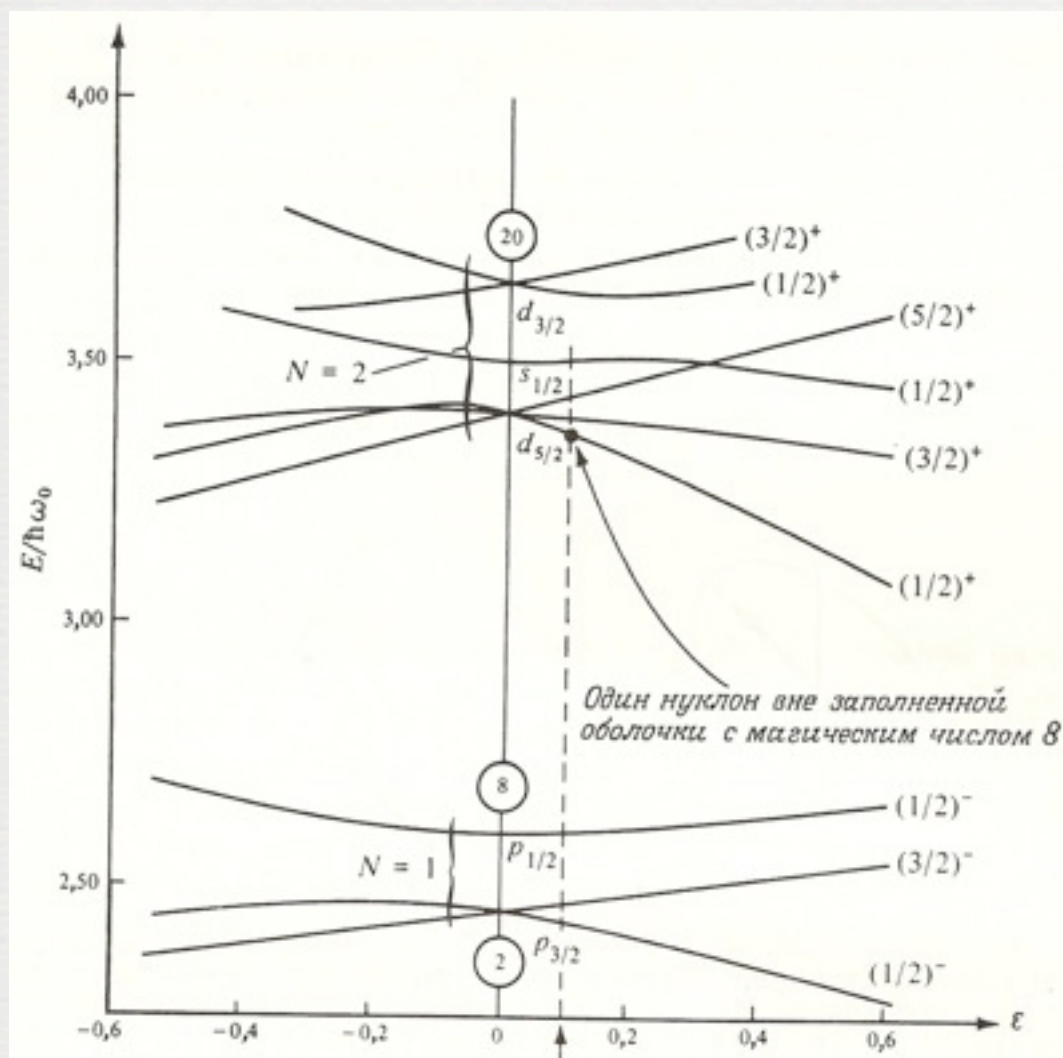
- $\omega_{\perp} = \omega_0 (1 + 1/3 \varepsilon)$

- $\varepsilon \ll 1, \quad \omega_{\perp}^2 \omega_3 = \omega_0^3$

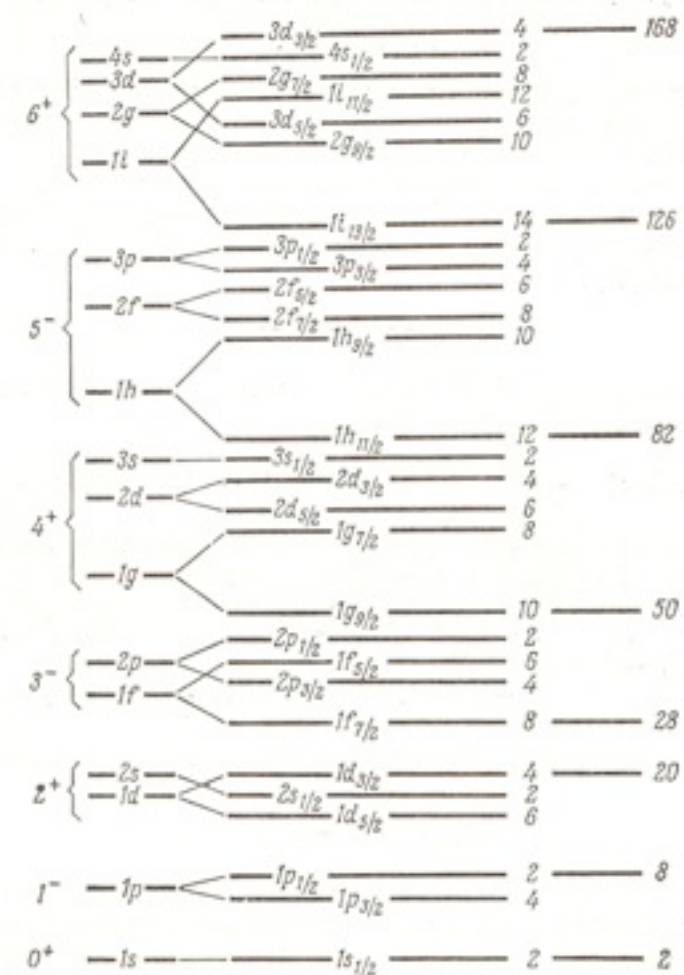
$$Q = \frac{4}{3} Z \langle r^2 \rangle \varepsilon \left(1 + \frac{1}{2} \varepsilon \right).$$

- $\delta = \delta R / R = \varepsilon (1 + 0.5 \varepsilon)$

МОДЕЛЬ НИЛССОНА



Деформированные ядра при $A \approx 23$



Фиг. 15.10. Примерный вид диаграммы энергетических уровней для протонов и нейтронов. Указаны числа протонов и нейтронов на каждом уровне, а также суммарные числа. Осцилляционная группировка уровней показана слева. Нейтроны и протоны имеют примерно одинаковые диаграммы уровней вплоть до $A = 50$. Для больших значений A начинаются различия. Уровни для нейтронов с малыми моментами количества движения лежат ниже уровней для протонов с малыми моментами количества движения.

| Ядро | Z | N | Q, фм² | $\delta \approx \varepsilon$ | Квантовые числа основного состояния | | |
|------------------|----|----|--------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------|
| | | | | | эксперимент | оболочечная модель | модель Нилссона |
| ^{19}F | 9 | 10 | | | $(1/2)^+$ | $(5/2)^+$ | $(1/2)^+$ |
| ^{21}Ne | 10 | 11 | 9 | 0,09 | $(3/2)^+$ | $(5/2)^+$ | $(3/2)^+$ |
| ^{21}Na | 11 | 10 | | | $(3/2)^+$ | $(5/2)^+$ | $(3/2)^+$ |
| ^{23}Na | 11 | 12 | 14 | 0,11 | $(3/2)^+$ | $(5/2)^+$ | $(3/2)^+$ |
| ^{23}Mg | 12 | 11 | | | $(3/2)^+$ | $(5/2)^+$ | $(3/2)^+$ |