

Квантовые эффекты в низкоэнергетическом делении тяжелых ядер

Ю.М.Ципенюк

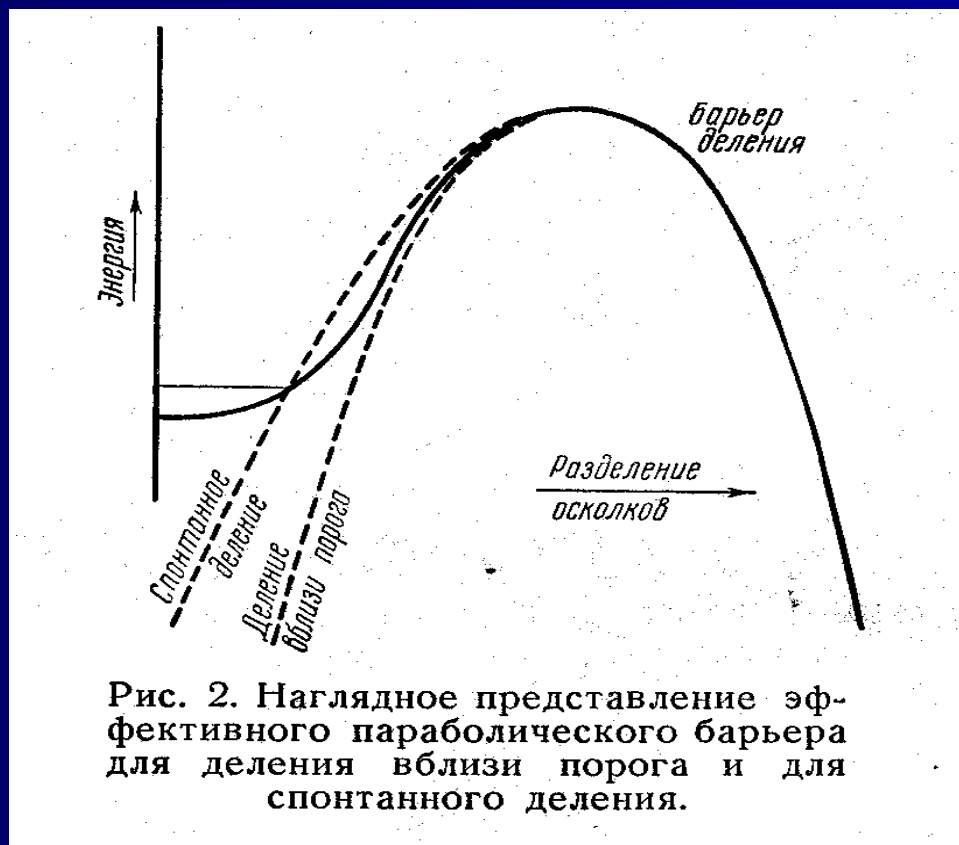
Институт физических
проблем им. П.Л.Капицы РАН

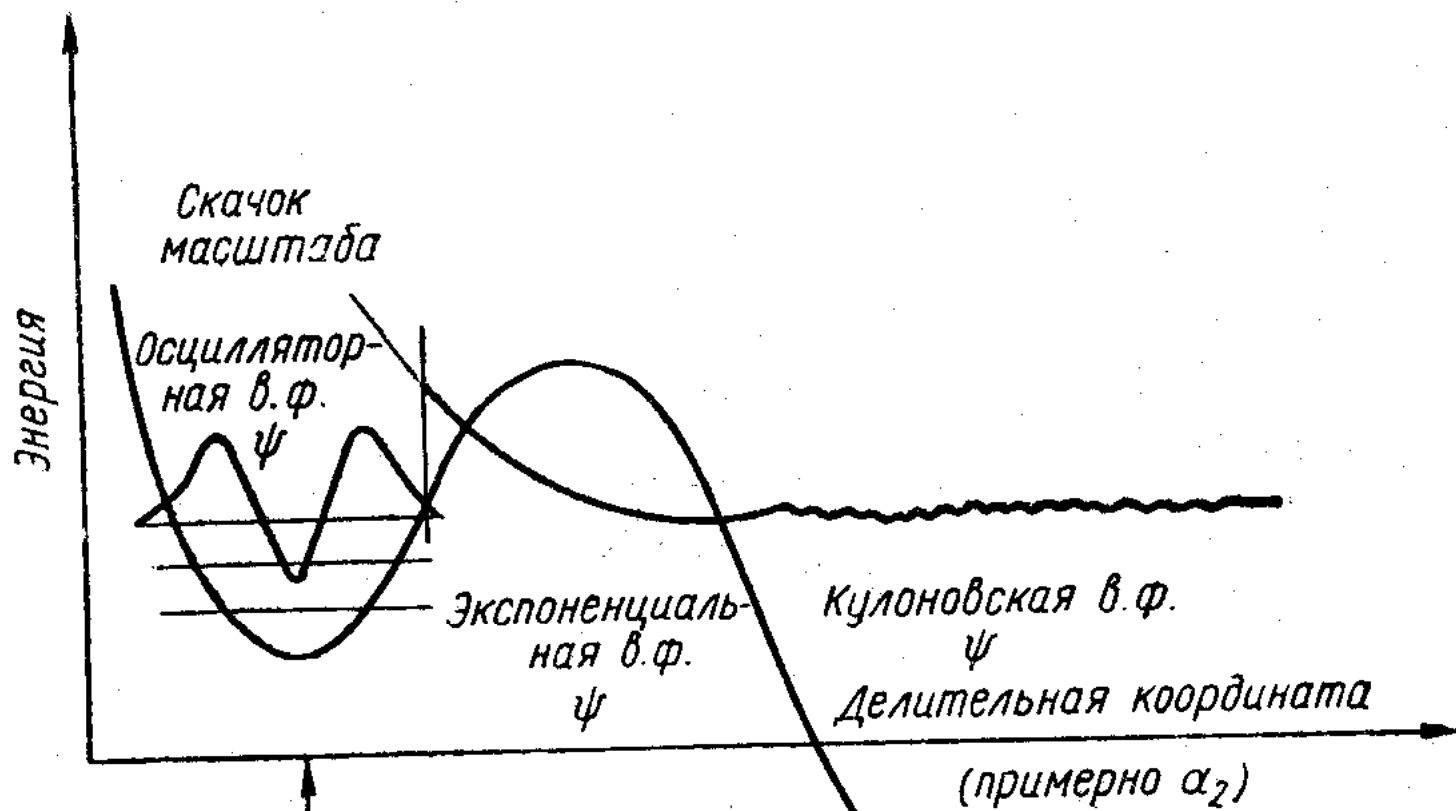
03.04.2012



- Введение
- 1. Феноменология деления
- 2. Каналы деления Оге Бора
- 3. Угловое распределение осколков при фотоделении четно-четных ядер
- 4. Квантовые поправки В.М.Струтинского и двугорбая структура барьера деления
- 5. Подбарьерное фотоделение
- 6. Изомерный шельф
- 7. Резонансная структура в фотоделении Th-232
- 8. Спонтанно-делящиеся изомеры
- 9. Массовое распределение осколков
- 10. Фотоделение трансуранов
- Заключение – остались ли белые пятна?

Феноменология процесса деления

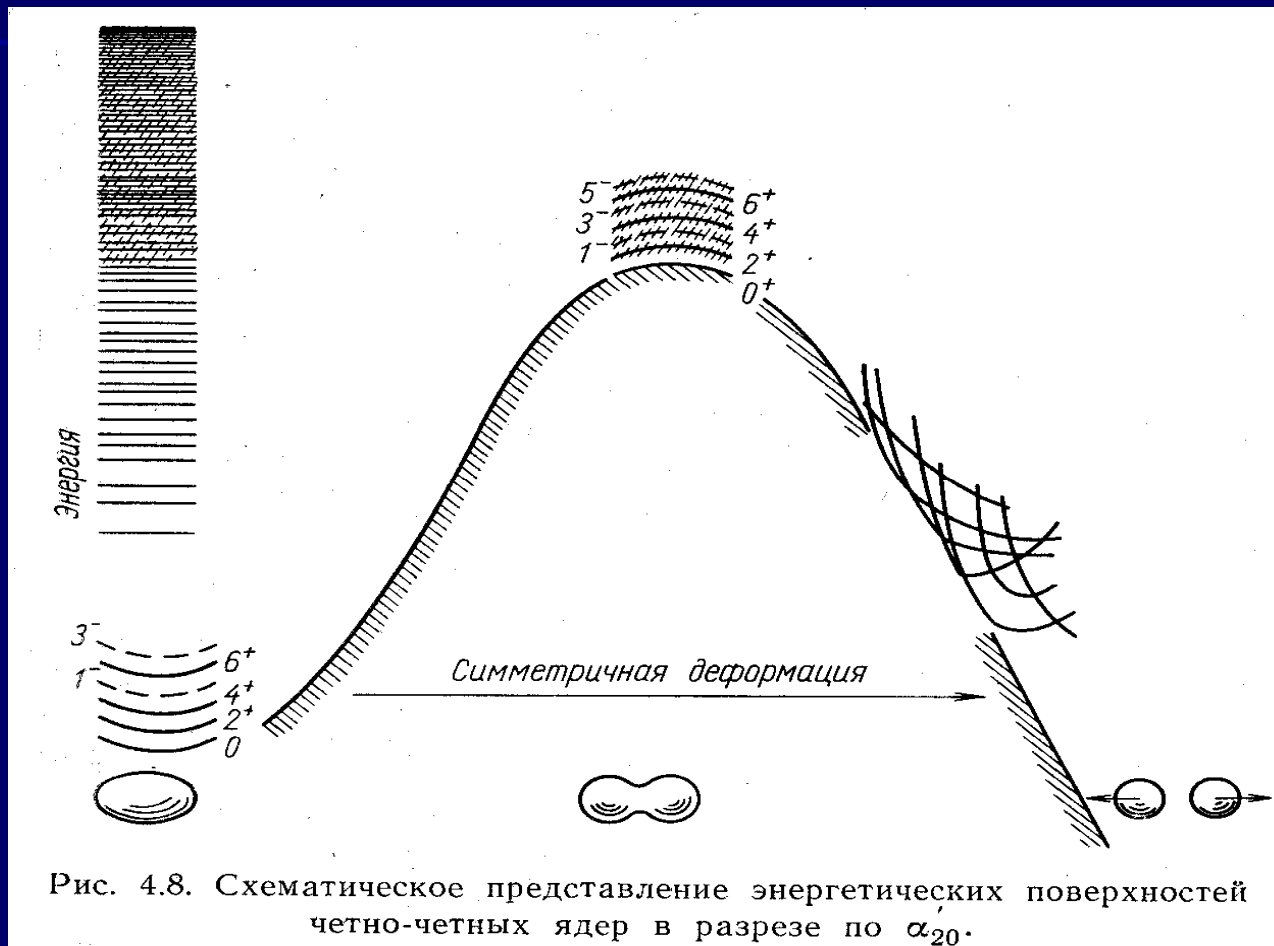




Проникновение частицы через потенциальный барьер ядра с энергией возбуждения ниже высоты барьера.

$$\frac{1}{R_{AB}}$$

Каналы деления О.Бора



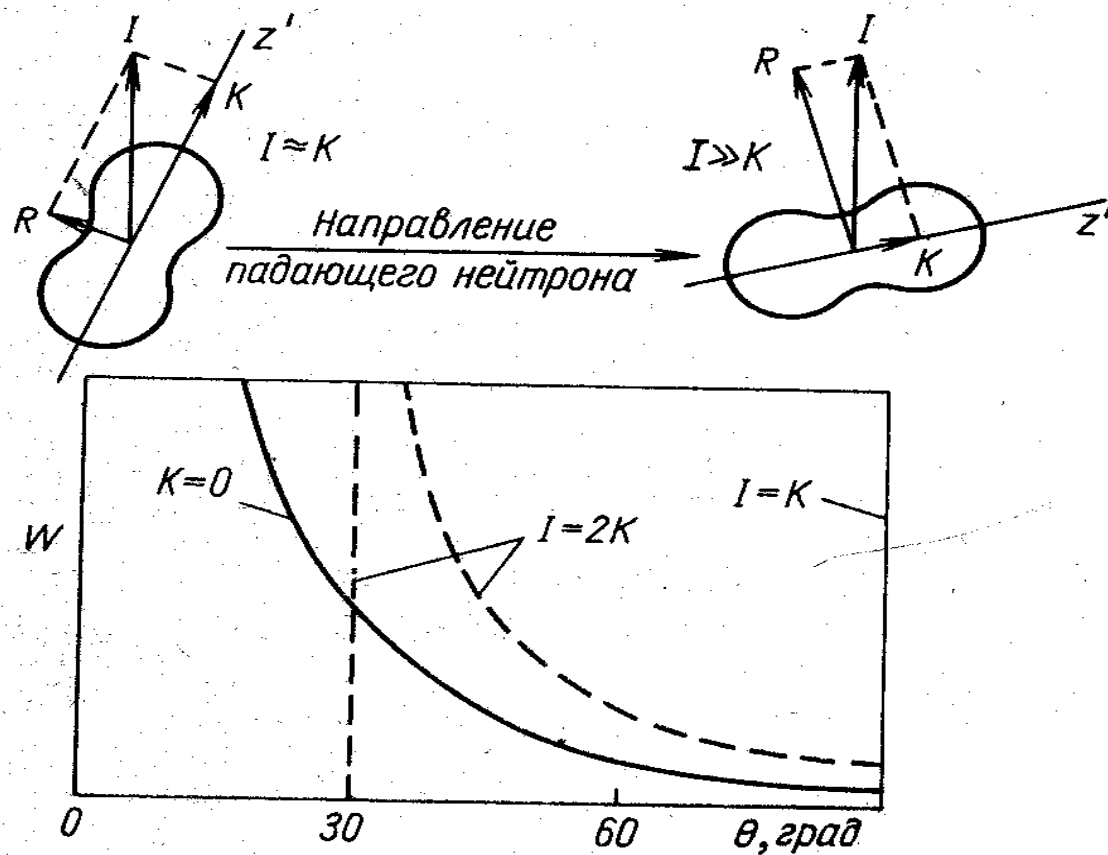


Рис. 4.5. Классификация векторов в модели Бора [78] для угловых распределений осколков деления, когда значения I и Ω однозначно определены (четно-четная мишень).

Спектр уровней на барьере



Угловое распределение осколков при фотоделении урана-238

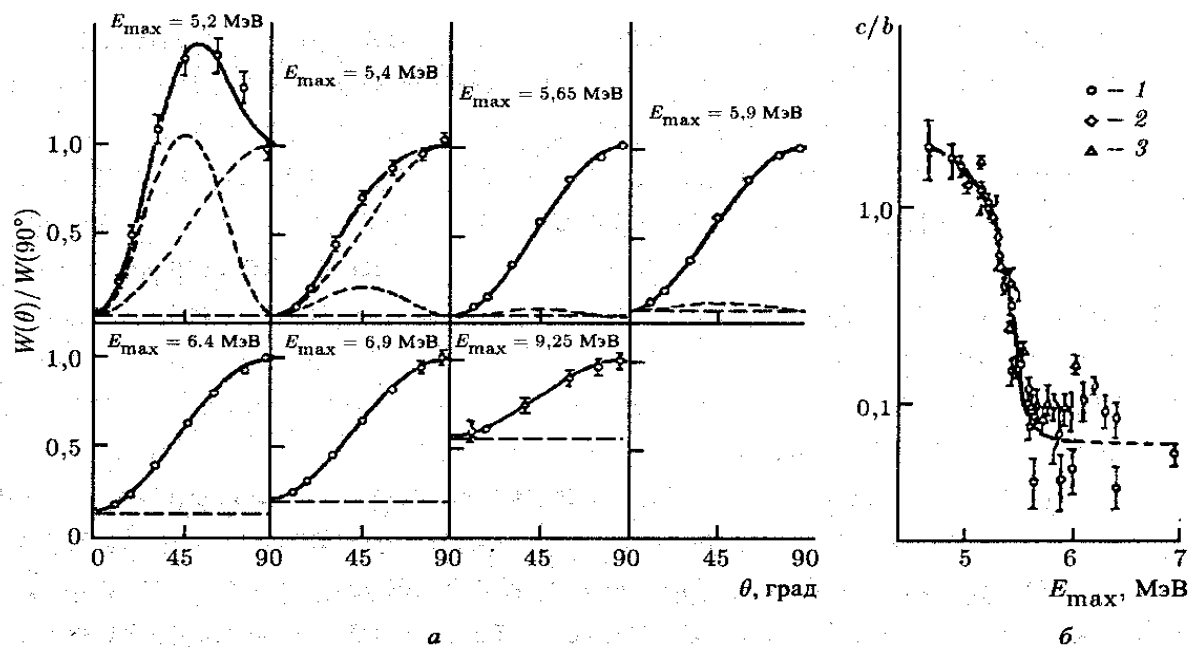


Рис. 13.4. *а* — угловые распределения осколков деления ядра ^{238}U в зависимости от энергии электронов. *б* — совокупность экспериментальных данных по энергетической зависимости отношения c/b

Оболочечные поправки Струтинского

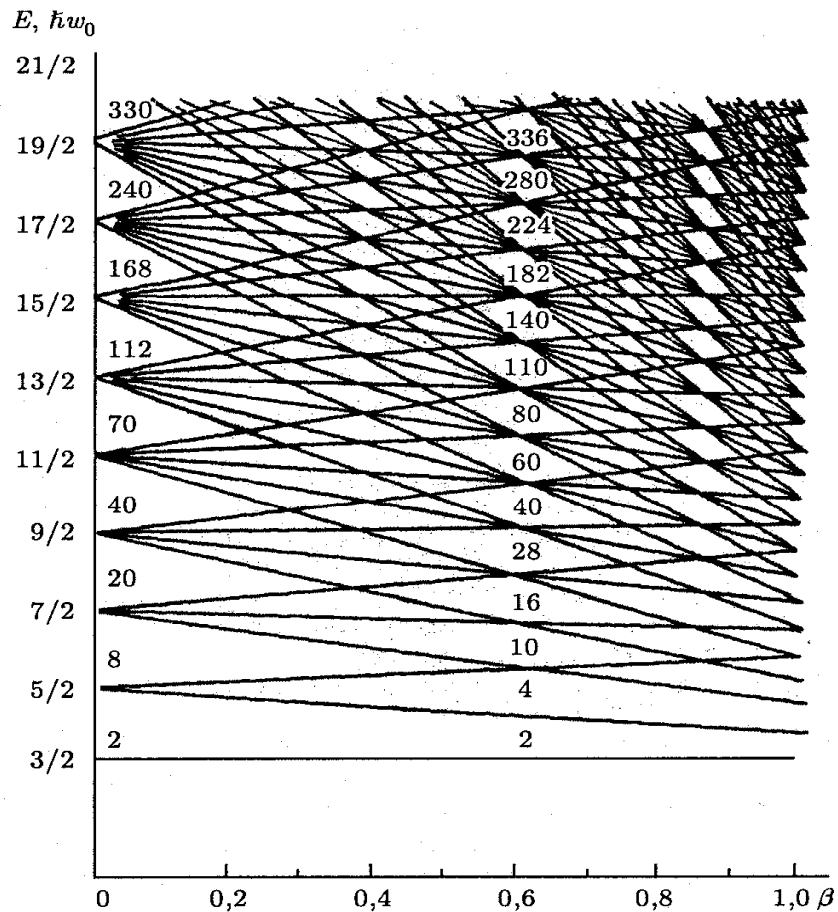
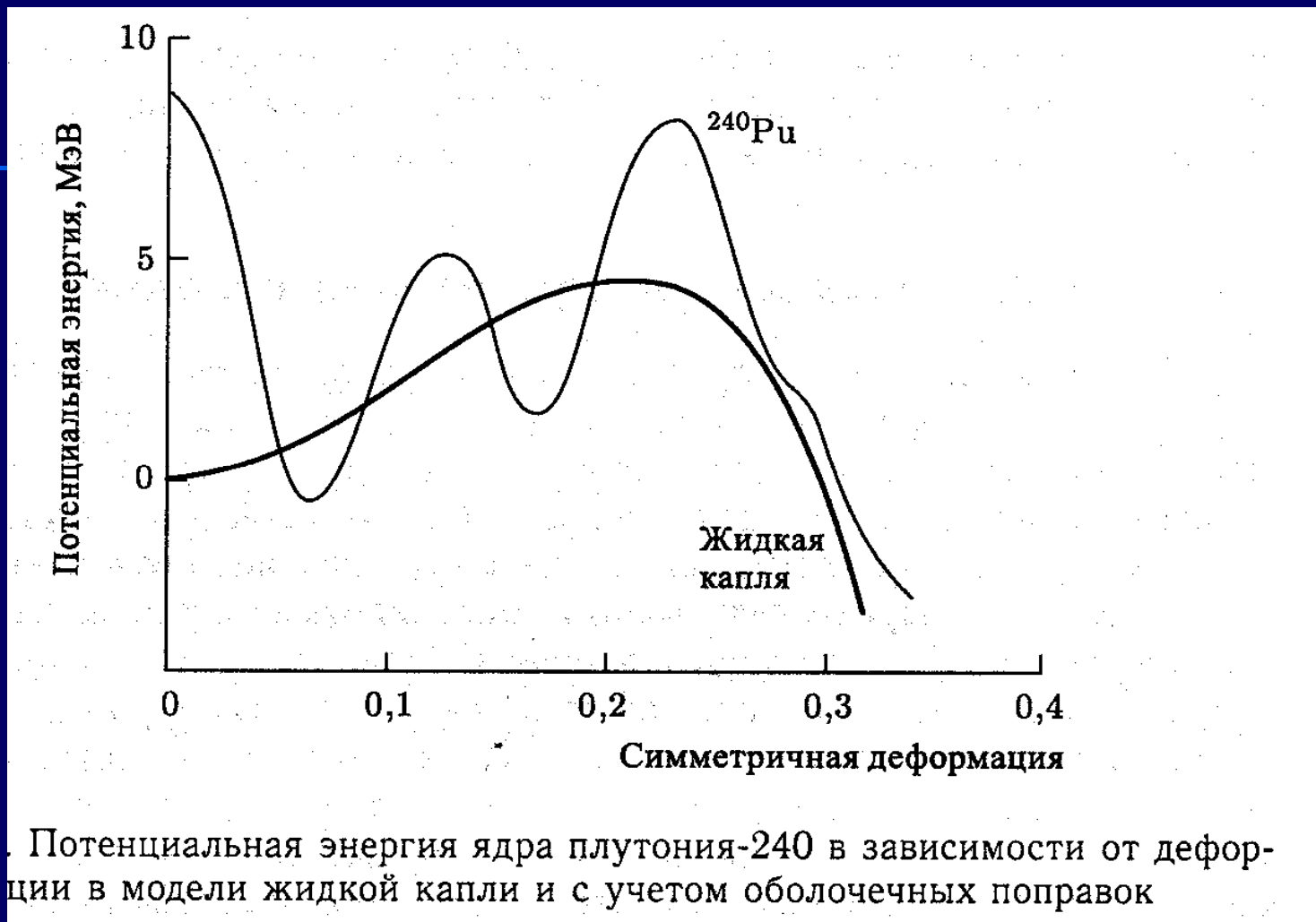
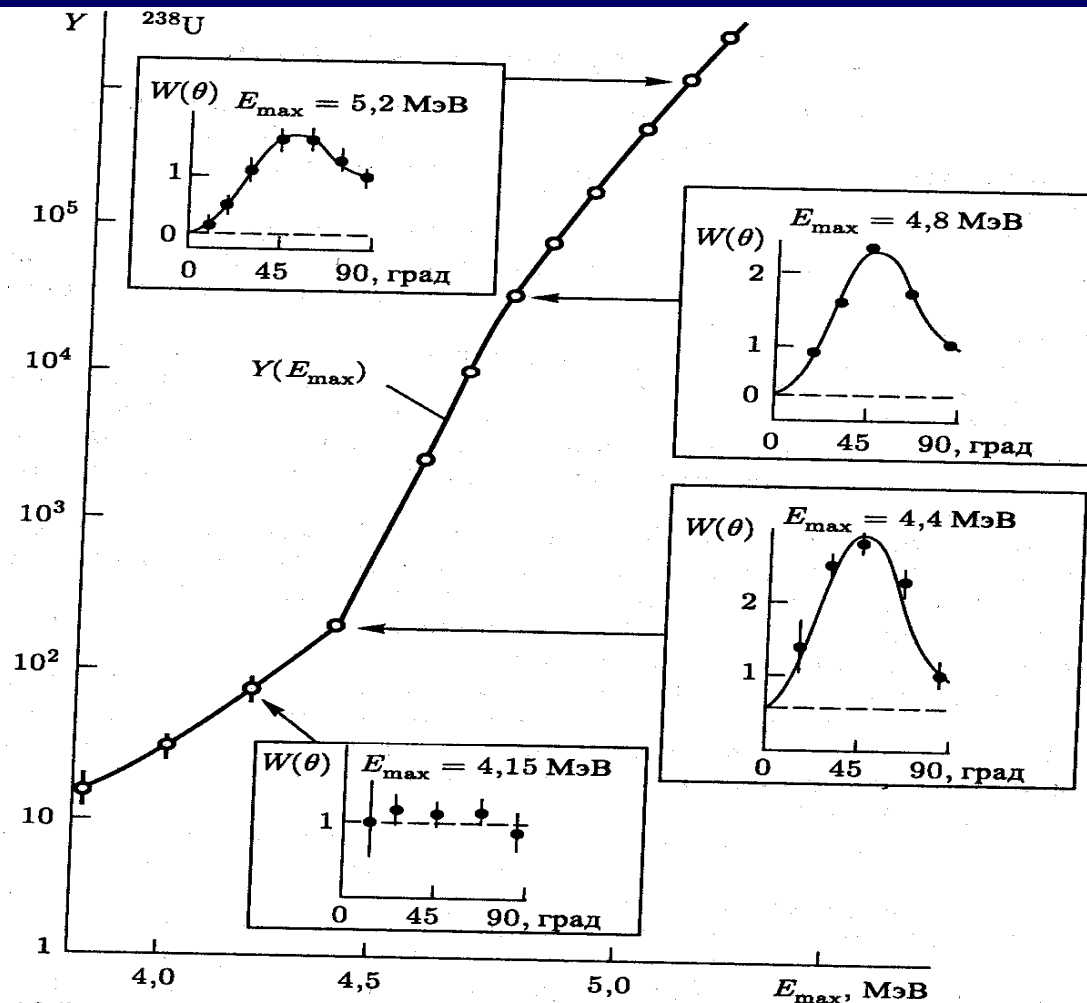


Рис. 13.1. Спектр возбужденных состояний ядра в зависимости от деформации в модели аксиально-симметричного гармонического осциллятора



Изомерный шельф



03.04.2012

Рис. 13.5. Изменение характера углового распределения $W(\theta)$ осколков при фотоделении ^{238}U (на вставках) по мере уменьшения энергии возбуждения и приближения к области изомерного шельфа в выходах $Y(E_{\max})$

Резонансная структура в фотоделении Th-232

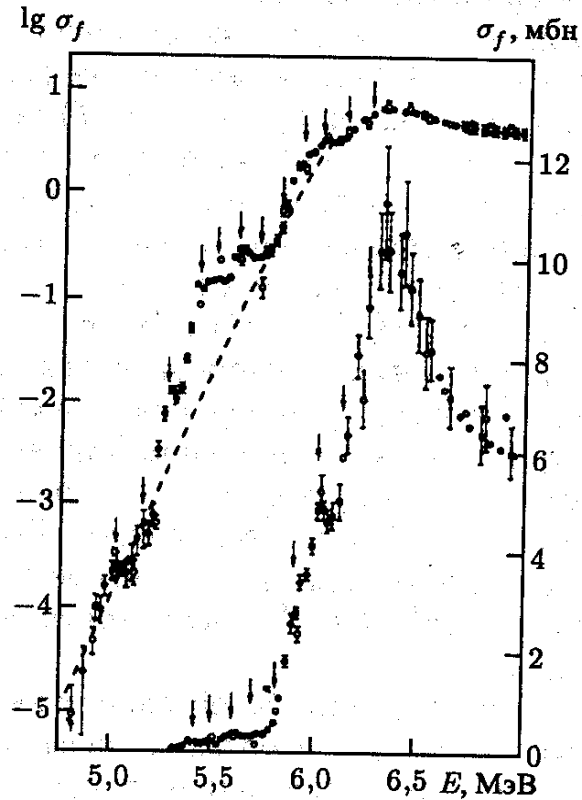
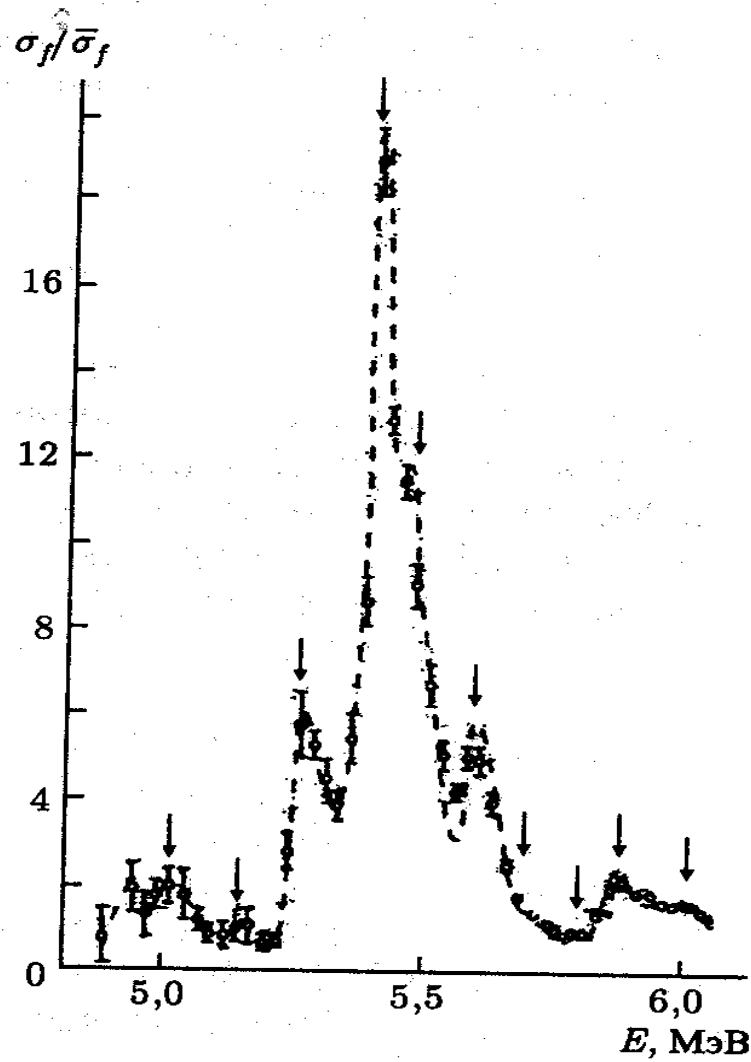


Рис. 13.6. Сечение фотоделения σ_f ядра ^{232}Th как функция энергии γ -квантов E . Стрелками показаны резонансные энергии, штриховая кривая — зависимость $\sigma_f^*(E)$ согласно выражению (13.6)



7. Отношение $\sigma_f(E)/\sigma_f^*(E)$. Стрелками показаны резонансные энергии

Фотоделение трансуранов

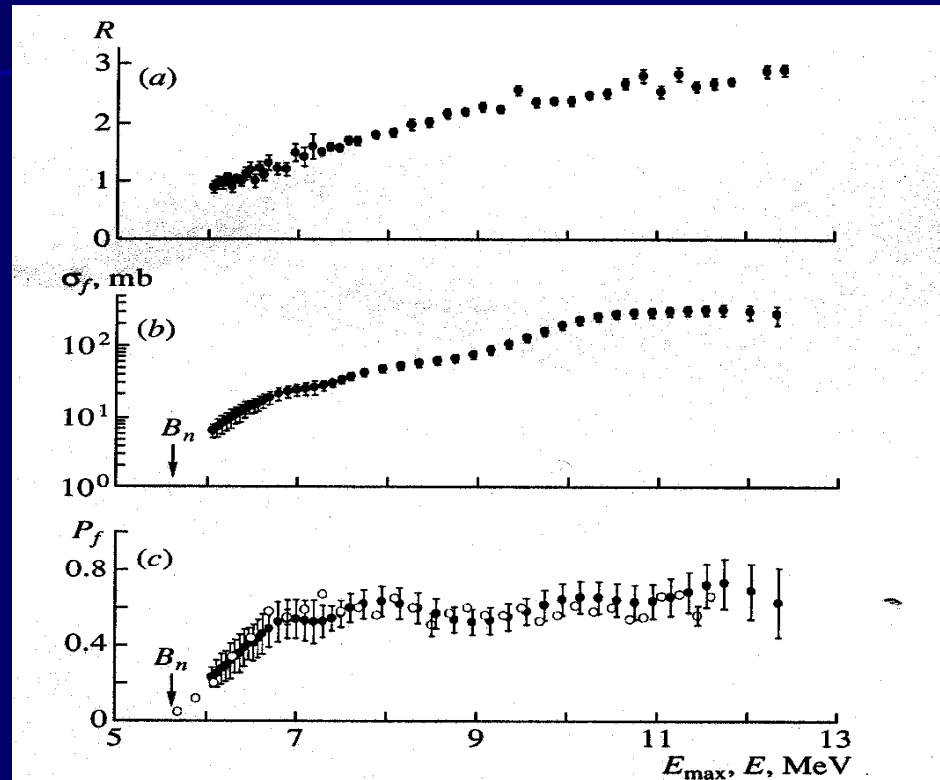


Fig. 1. (a) Ratio $R(E_{\max})$ of the yields from ^{243}Cm and ^{238}U photofission as a function of the endpoint bremsstrahlung-spectrum energy E_{\max} . (b) Cross section $\sigma_f(E)$ for ^{243}Cm photofission as a function of energy. (c) Fissility $P_f(E)$ of ^{243}Cm as a function of energy. In all of the panels, closed circles represent the photofission data of the present study. The open circles in Fig. 3c correspond to data from [14] that were obtained by studying the relevant direct ($^3\text{He}, tf$) reaction. In this figure and in the next three ones (Figs. 2–4), B_n is the neutron binding energy.

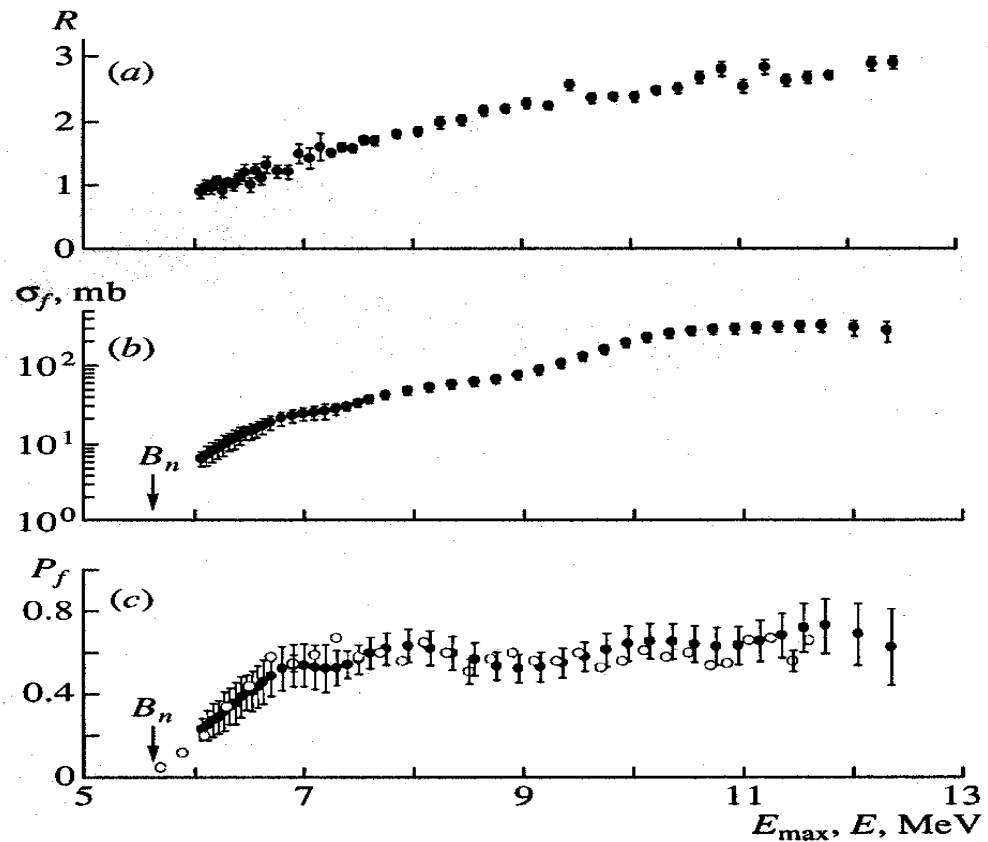


Fig. 1. (a) Ratio $R(E_{\max})$ of the yields from ^{243}Cm and ^{238}U photofission as a function of the endpoint bremsstrahlung-spectrum energy E_{\max} . (b) Cross section $\sigma_f(E)$ for ^{243}Cm photofission as a function of energy. (c) Fissility $P_f(E)$ of ^{243}Cm as a function of energy. In all of the panels, closed circles represent the photofission data of the present study. The open circles in Fig. 3c correspond to data from [14] that were obtained by studying the relevant direct ($^3\text{He}, tf$) reaction. In this figure and in the next three ones (Figs. 2–4), B_n is the neutron binding energy.

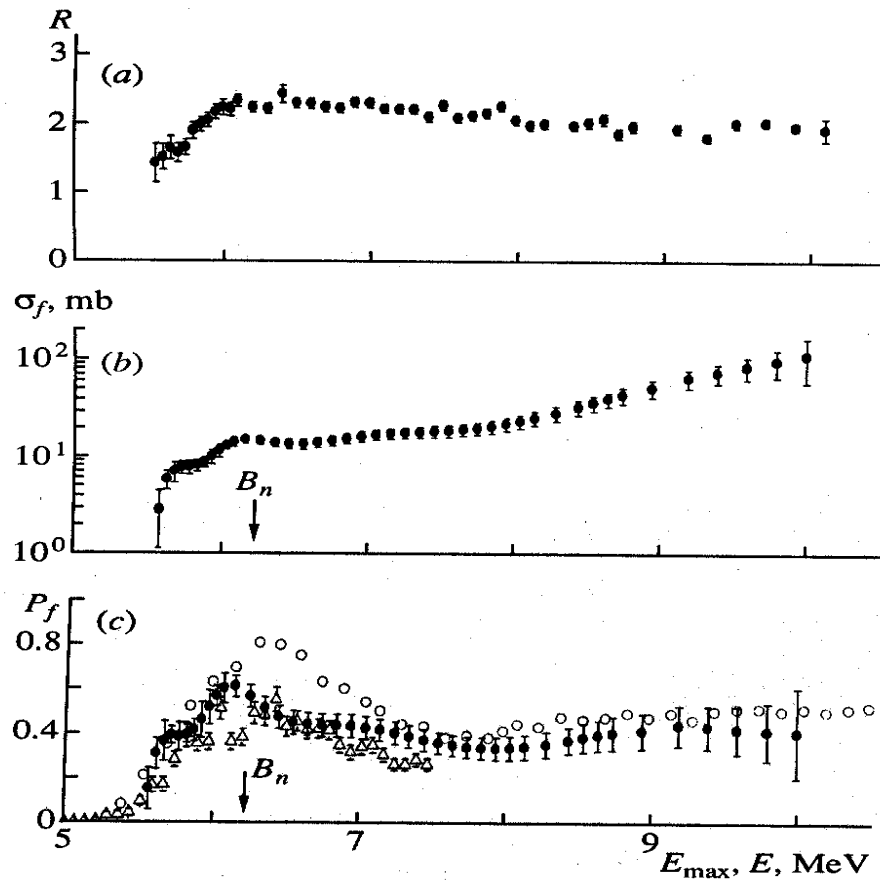


Fig. 3. (a) Ratio $R(E_{\max})$ of the yields from the photofission of ^{249}Bk and ^{238}U as a function of the endpoint bremsstrahlung-spectrum energy E_{\max} . (b) Cross section $\sigma_f(E)$ for ^{249}Bk photofission as a function of energy. (c) Fissionity $P_f(E)$ of ^{249}Bk as a function of energy. In all of the panels, closed circles represent photofission data of the present study. The open circles and triangles in Fig. 3c correspond to data obtained by studying the relevant direct ($^3\text{He}, df$) reaction in [19] and [20], respectively.

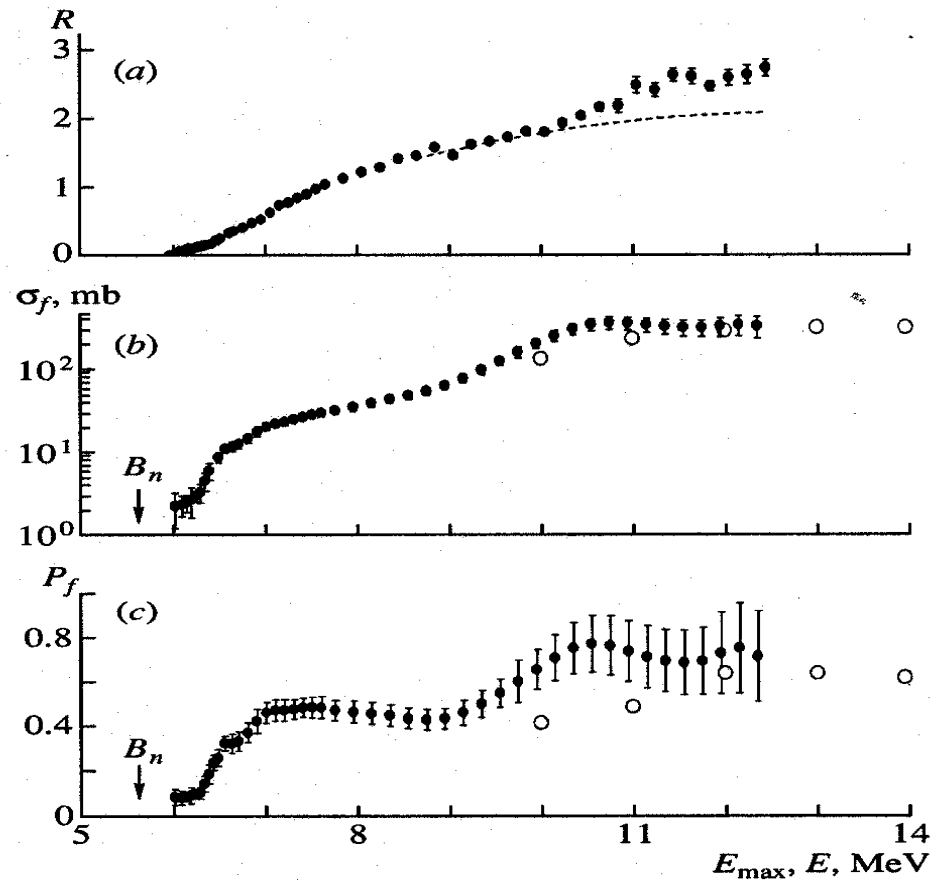


Fig. 4. (a) Ratio $R(E_{\max})$ of the yields from the photofission of ^{249}Cf and ^{238}U nuclei as a function of the endpoint bremsstrahlung-spectrum energy E_{\max} . The meaning of the dashed curve is explained in the main body of the text (see subsection devoted to californium-249). (b) Cross section $\sigma_f(E)$ for ^{249}Cf photofission as a function of energy. (c) Fissility $P_f(E)$ of ^{249}Cf as a function of energy. Points represent photofission data from (closed circles) the present study (in all of the panels) and (open circles) [21] (b, c).

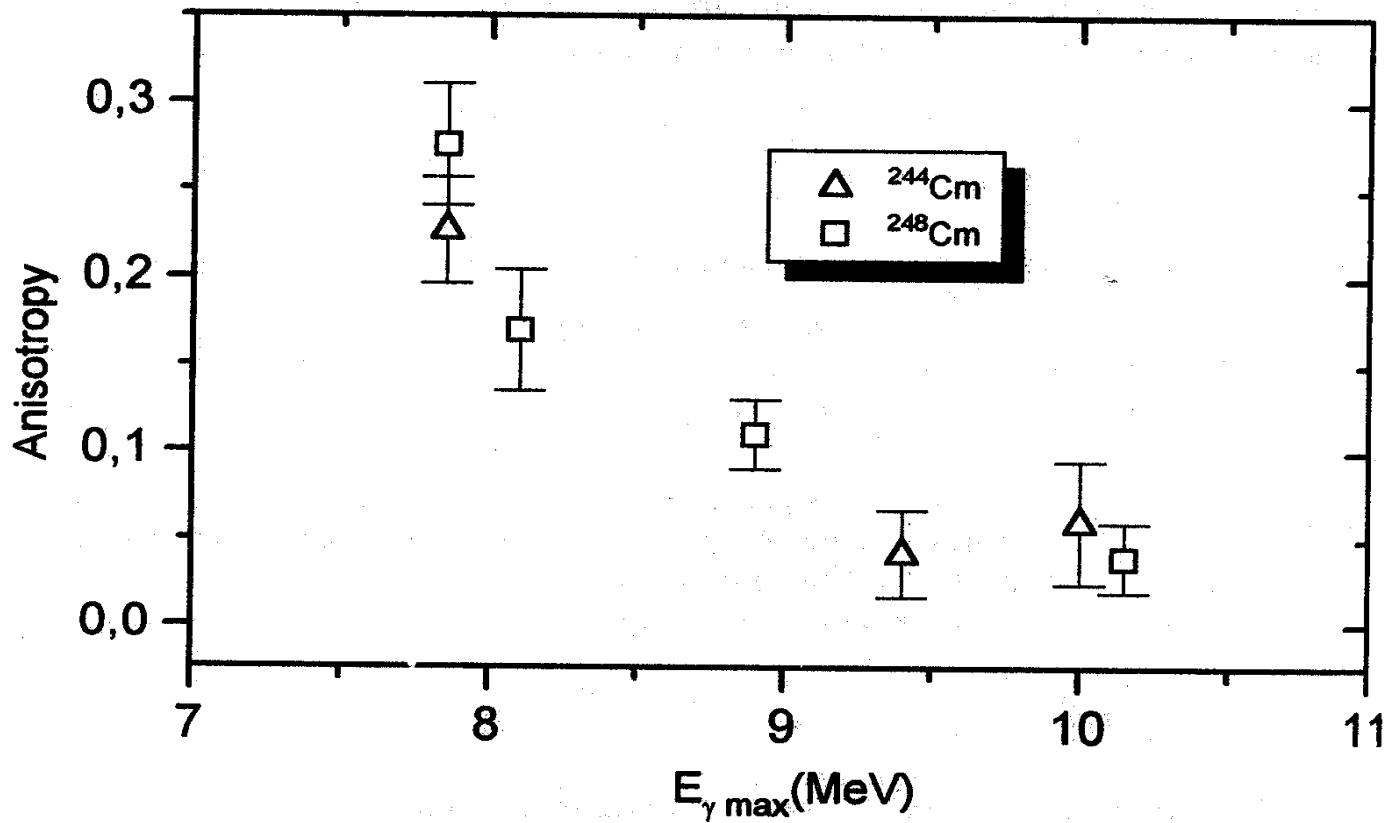


Fig. 1. The dependence of fragment angular anisotropy ($A = b/a$) for curium isotopes upon the bremsstrahlung endpoint energy

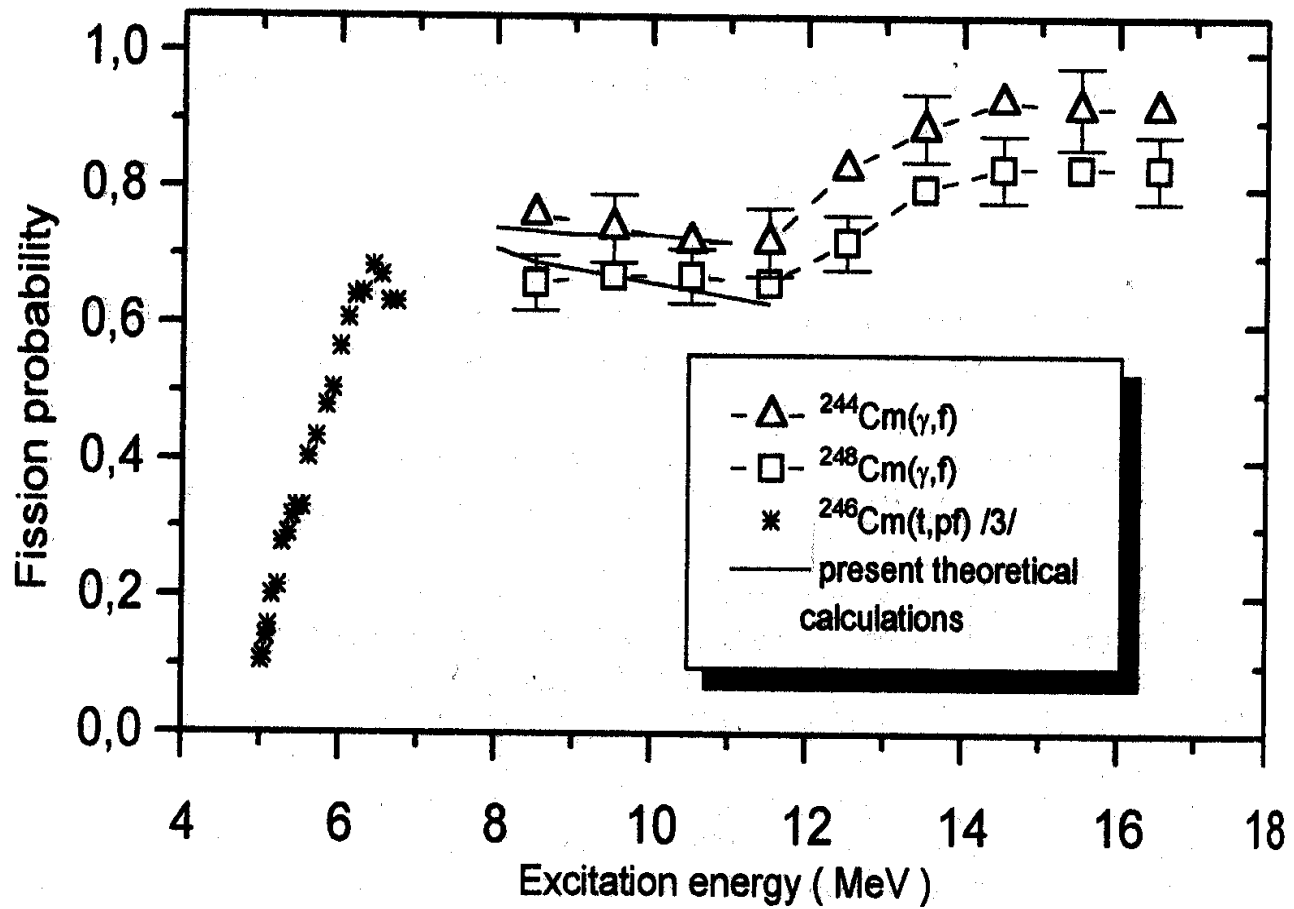
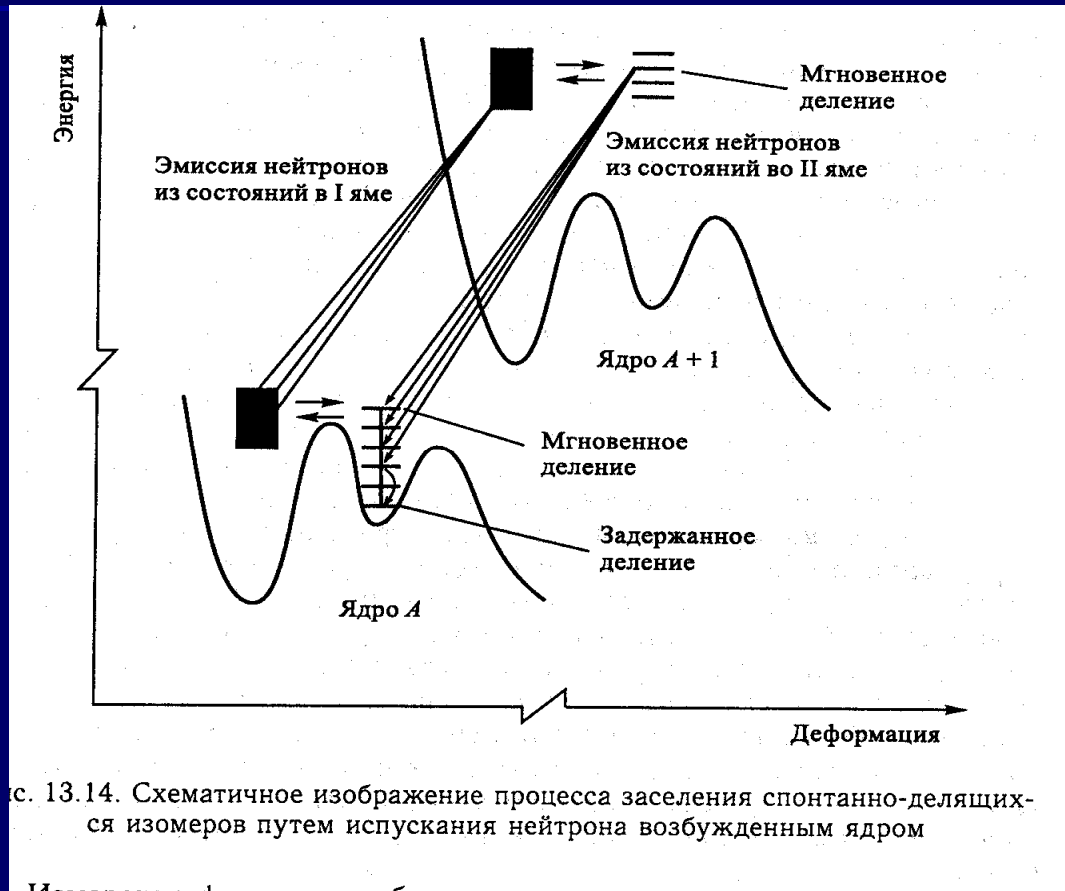


Fig.2. Fission probabilities of curium isotopes.

Спонтанно-делящиеся изомеры



с. 13.14. Схематичное изображение процесса заселения спонтанно-делящихся изомеров путем испускания нейтрона возбужденным ядром

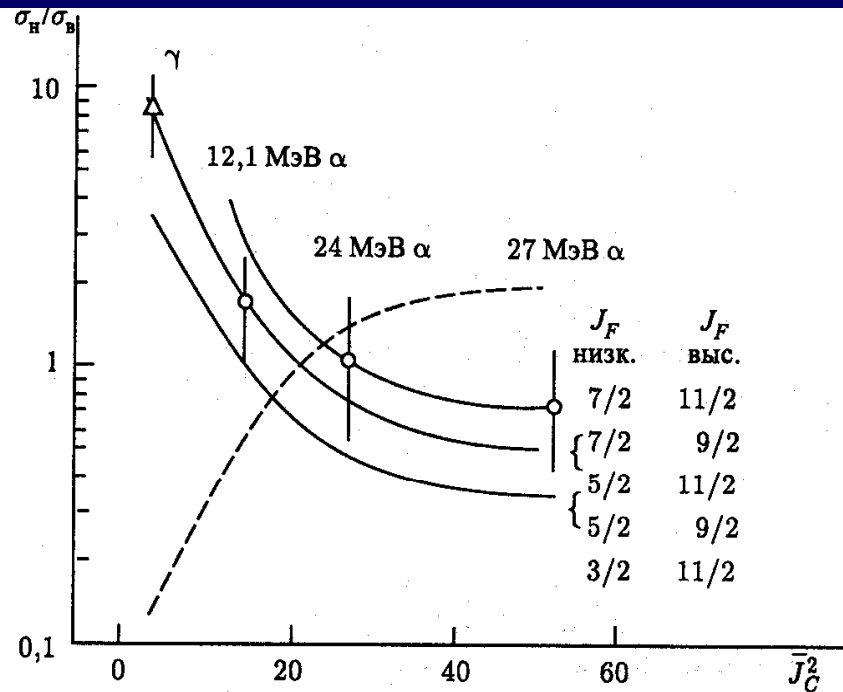


Рис. 13.15. Относительные вероятности заселения двух изомеров ^{237}Pu в зависимости от величины углового момента J : сплошные линии — результаты расчетов, пунктирная линия — зависимость при обратном сочетании спинов 5/2 и 11/2

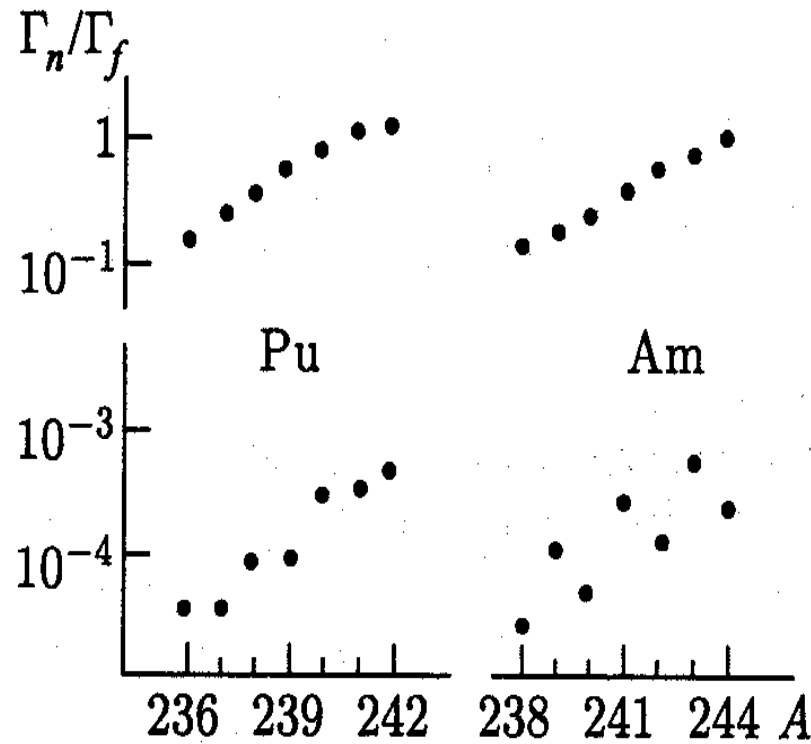


Рис. 13.16. Зависимость отношения Γ_n/Γ_f от массового числа A в первой (вверху) и второй (внизу) ямах

Массовое распределение осколков



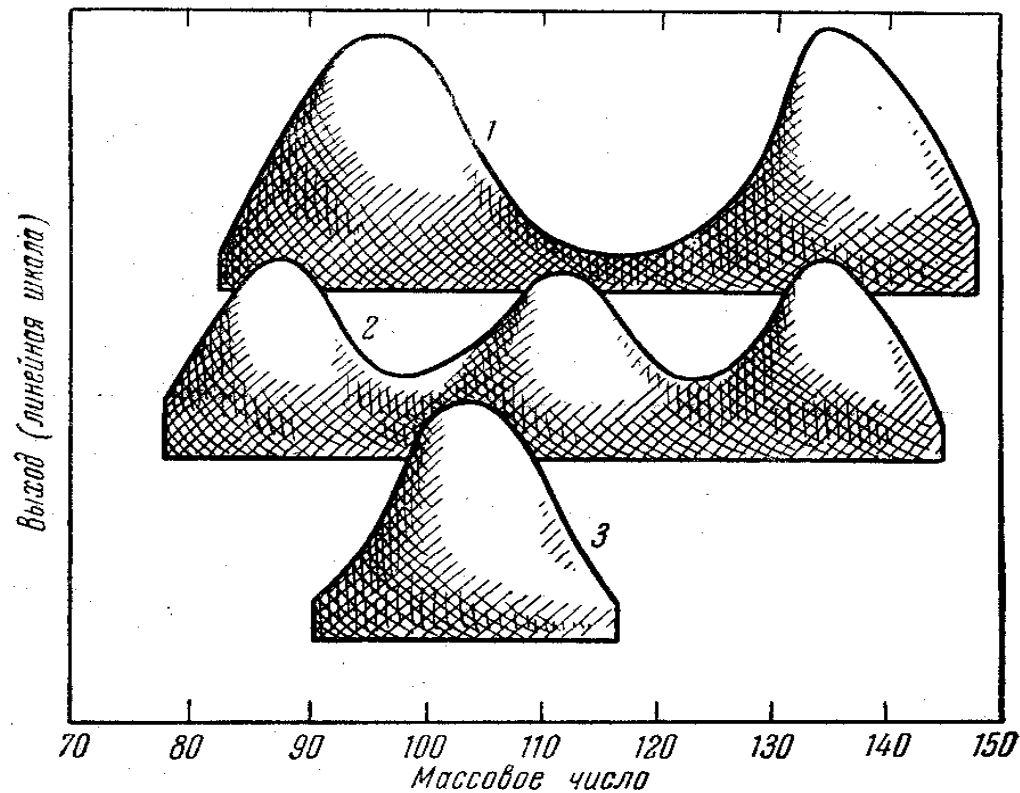


Рис. 25. Распределение масс для деления при средних энергиях возбуждения.

По мере уменьшения атомного номера мишени относительный вклад «симметричного деления» возрастает. Поперечное сечение быстро уменьшается по мере уменьшения атомного номера мишени. 1—деление U^{235} нейтронами с энергией 14 Мэв [124]; 2—деление Ra^{226} протонами с энергией 11 Мэв [140]; 3—деление Pb^{209} дейтронами с энергией 22 Мэв [140].

Радий-226

распределении в околорядерной области.

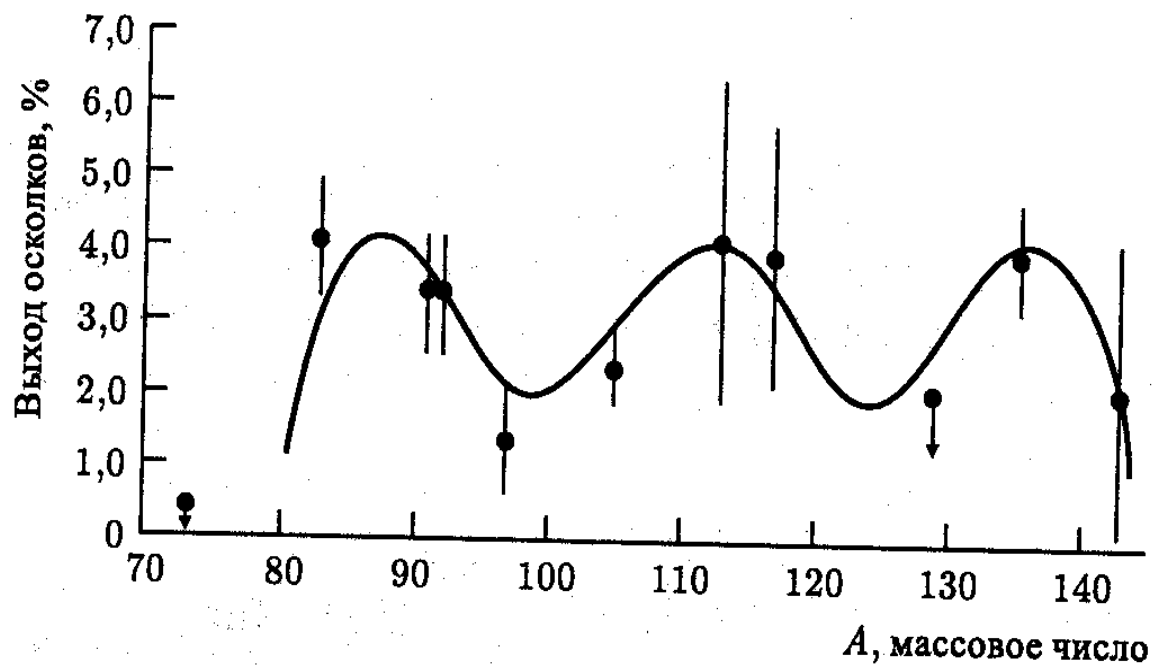


Рис. 13.8. Массовое распределение осколков фотоделения для ядра ^{226}Ra тормозными гамма-квантами при энергии электронов 23 МэВ [13.25]

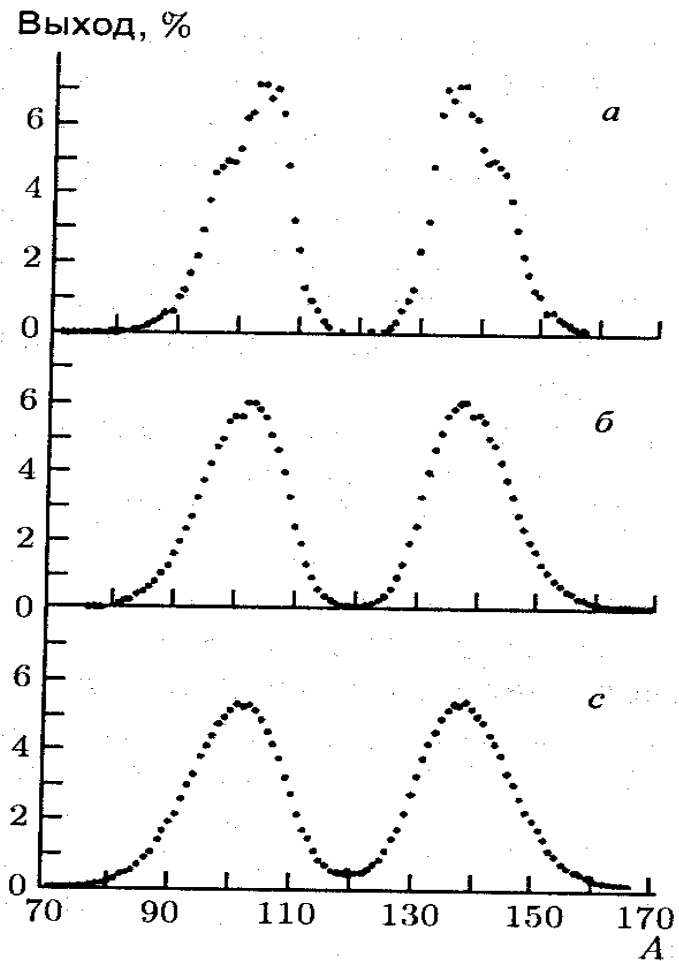


Рис. 13.10. Массовые распределения осколков деления ядра ^{240}Pu : *a* — спонтанное деление, *б* — деление тепловыми нейтронами, *в* — деление под действием тормозного излучения электронов с энергией 20 МэВ

Уран-236

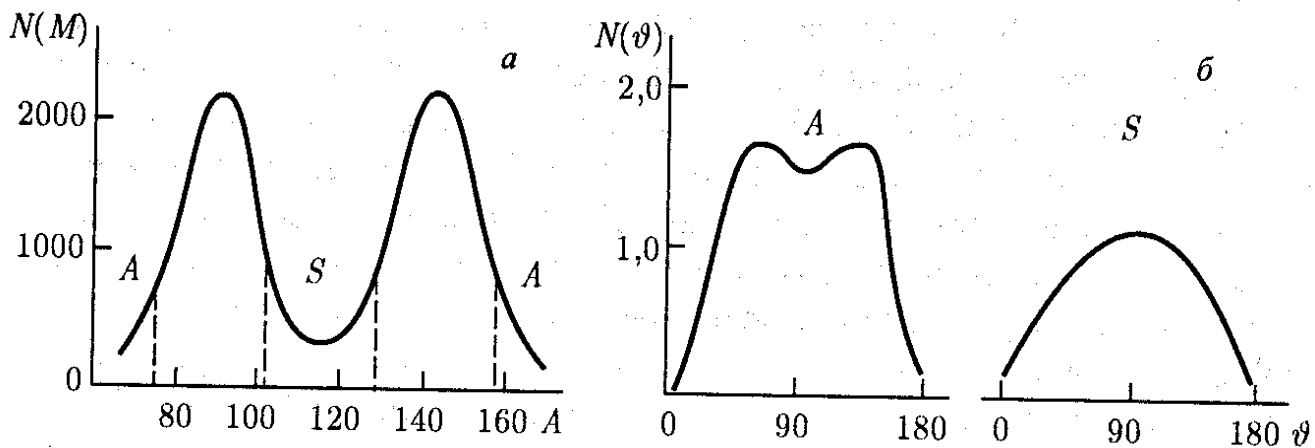


Рис. 13.11: *a* — массовое распределение осколков фотоделения ядра ^{236}U ; *б* — угловые распределения осколков в областях *A* (асимметричная компонента) и *S* (симметричная компонента).

Уран-238

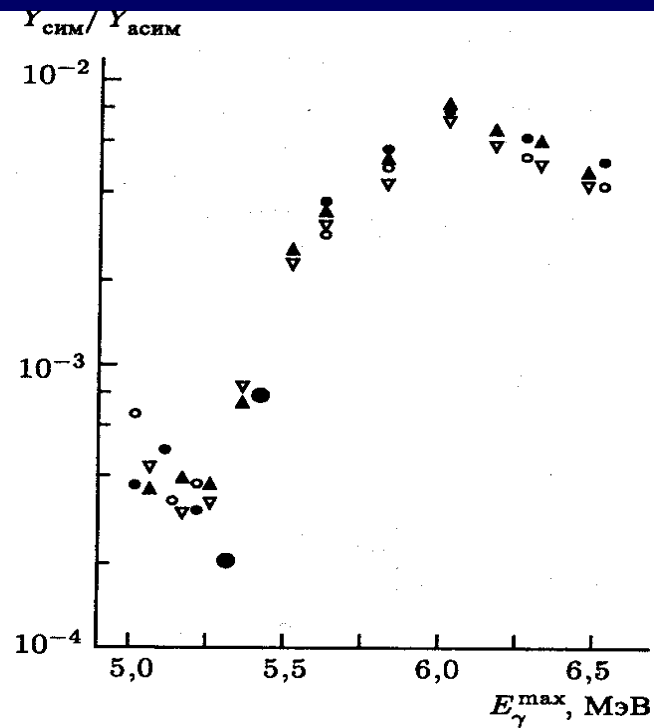


Рис. 13.9. Отношение выходов $Y_{\text{сим}}$ симметричного ($^{115,117}\text{Cd}$) и $Y_{\text{асим}}$ асимметричного ($^{139,140}\text{Ba}$) фотоделения ядра ^{238}U : ○, ● — [13.28], ▽, ▲ — [13.29]

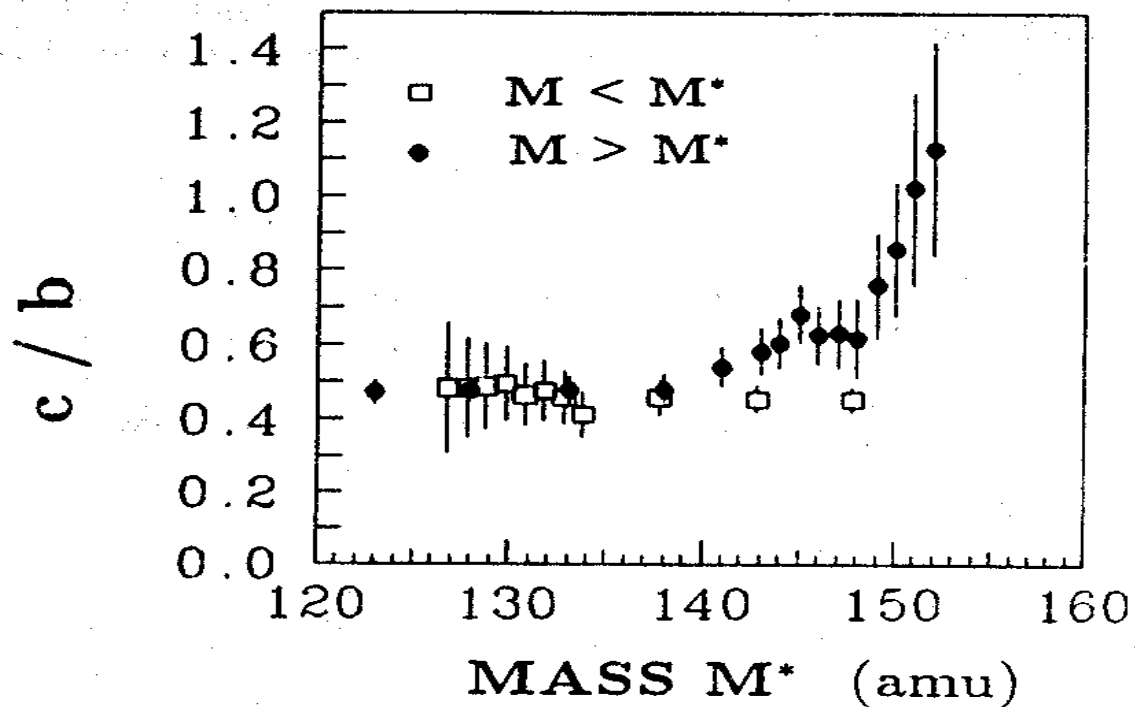
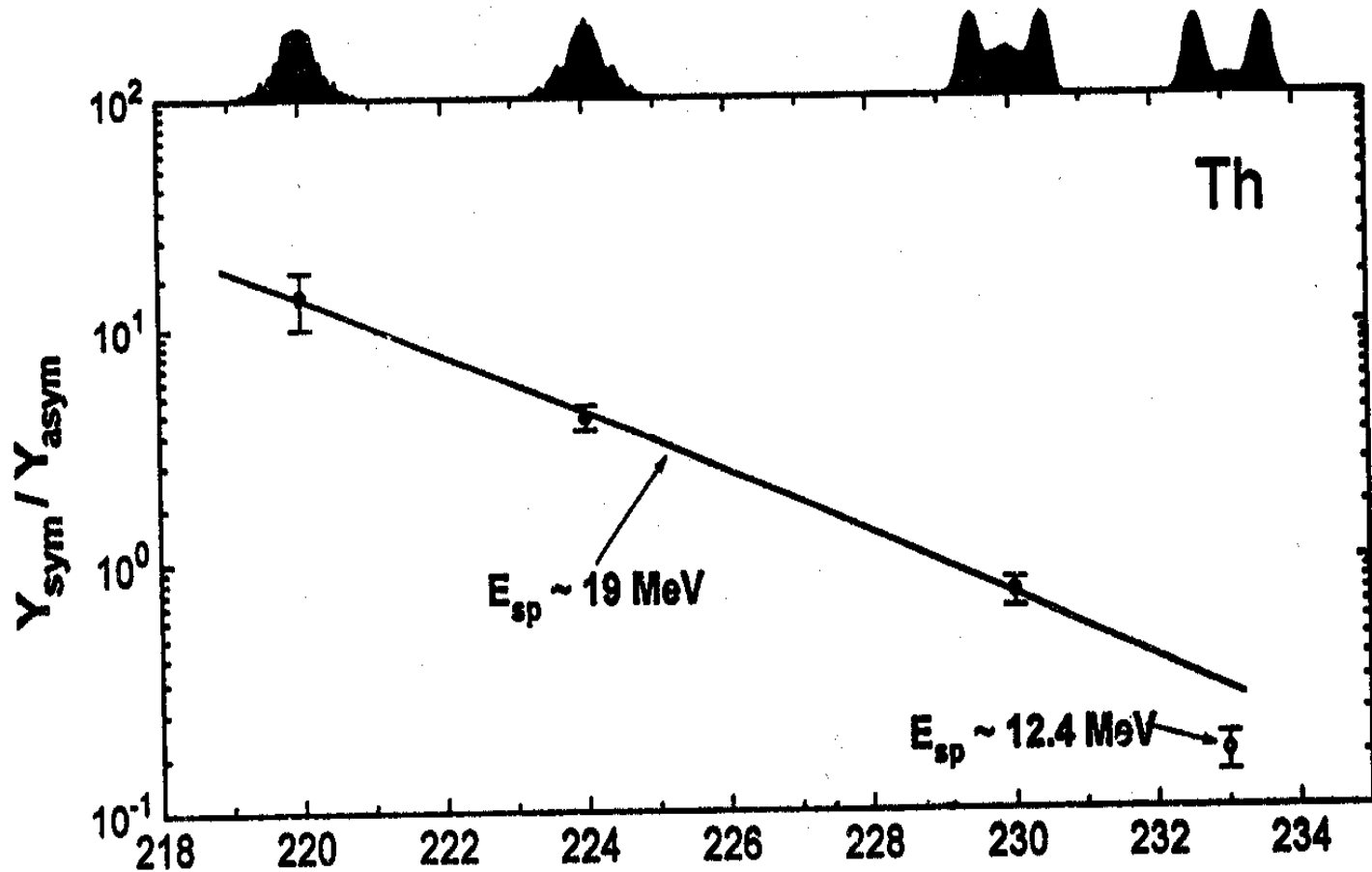


Figure 1 : Relative quadrupole contribution c/b as a function of a variable mass M^* which divides the mass distribution into mass regions $M < M^*$ and $M > M^*$, respectively. The data were observed for $^{236}\text{U}(\gamma, f)$ at a bremsstrahlung endpoint energy of $E_{BS} \approx 5.7 \text{ MeV}$ ^{10.}).

Массовое распределение изотопов тория



■ Спасибо за внимание