

## ЗАДАЧІ З ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ.

1. Використовуючи ф-лу Вайцекера  $E = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 Z^2 A^{-1/3} - a_4 \frac{A - 2Z^2}{A} - a_5 \frac{\delta}{A^{3/4}}$  знайти коефіцієнт натягу ядра, якщо  $a_2 \approx 13.03 \text{ MeV}$ .
2. Використовуючи формулу Вайцекера знайти атомний номер стабільного ядра, якщо ядро містить 27 нуклонів.
3. Оцінити масу  $\pi$ - мезона, вважаючи, що мезон є переносником ядерних сил між двома нуклонами. Швидкість мезона вважати рівною швидкості світла.
4. Знайти оцінку для радіусу дії ядерних та слабких сил, якщо маса  $\pi$ - мезона 135 MeV, а масу  $W^\pm, Z^0$  бозонів вважати приблизно 100 GeV.
5. Гіромагнітні множники для протона і нейтрона рівні  $g_l = 1, g_s = 5.58$  і  $g_l = 0, g_s = -3.83$  відповідно. Знайти магнітні моменти нейтрона і протона.
6. Знайти магнітний момент системи двох нуклонів через їх магнітні моменти  $\mu_1, \mu_2$ .
7. Вважаючи, що різниця в енергіях зв'язку ядер тритія і  ${}^3\text{He}_2$ , котра дорівнює  $E = 0.8 \text{ MeV}$ , викликана енергією електростатичної взаємодії протонів, оцінити розмір ядра  ${}^3\text{He}_2$ .
8. В моделі Томаса-Фермі енергія фермі нуклонів у стабільному ядрі  $E_f \approx 40 \text{ MeV}$ . Оцінити швидкість нуклонів у ядрі і доцільність використання релятивіських поправок.
9. У газовій моделі ядра вважається, що нуклони утворюють газ, який займає об'єм ядра і підпорядковується розподілу Фермі. Оцінити з цих міркувань максимальну кінетичну енергію нуклонів у ядрі. Вважати число протонів рівним числу нейтронів.
10. Найпростішою моделлю ядерних сил є трьохвимірний гармонічний осцилятор. Вважаючи, що потенціальна яма ядра має глибину  $U_0 = -70 \text{ MeV}$ , а  $U_0(R) = 0$ , де  $R_0 = 10^{-13} \text{ см.}$ , оцінити енергію зв'язку нуклона для ядра кисню  ${}^{16}_8\text{O}$ . Яка енергія одонуклонного збудження у цій моделі?
11. За допомогою моделі атомних оболонок записати конфігурацію основних станів ядер  ${}^7\text{Li}_3, {}^{13}\text{C}, {}^{25}\text{Mg}_{12}$ .
12. Визначити за допомогою моделі ядерних оболонок спіни та парність основного стану ядер  ${}^{13}\text{C}, {}^{13}\text{N}$ .
13. За допомогою моделі ядерних оболонок знайти спіни та парність основного стану наступних ядер:  ${}^3\text{H}_1, {}^3\text{He}_2, {}^{15}\text{N}, {}^{15}\text{O}_8$ .
14. Сферично-симетрична яма з нескінченно глибокими стінками підпадає під малу деформацію, приймаючи вид еліпсоїда з півосями  $a=b$  і  $c$ . Знайти розщеплення рівня енергії в ямі для s-стану.

15. Представити сили Майорана, Гайзенберга, Бейтлера з взаємодії спінів і ізоспінів.
16. Знайти формули, які зв'язують енергії з лабораторної системи у систему центру інерції для випадку розсіювання двох частинок однакової маси.
17. Довести, що показник експоненти в законі радіоактивного розпаду має вигляд  $\alpha = -\frac{t}{\tau}$ , де  $\tau$  -- середній час життя  $\tau = \bar{t}$ .
18. Виходячи з закону радіаційного розпаду знайти ймовірність розпаду ядра за час  $t$ .
19. Як вплине на час напіврозпаду ізоотопу  $^{14}_6\text{C}$  який вважається рівним  $T_{1/2} = 5730 \pm 40$  років можлива зміна магнітного поля Землі, якщо кожен рік дипольний магнітний момент Землі змінюється приблизно на  $1/4000$ ? Якою була швидкість напіврозпаду 6000 років тому, якщо середнє напруження магнітного поля Землі складає приблизно 0,5 Гс.?
20. Знайти кількість нуклеїда  $N_2$ , якщо він виникає за рахунок розпаду нуклеїда  $N_1$  та знайти час за який нуклеїд  $N_2$  досягне своєї максимальної кількості.
21. У експерименті вимірюється перетин і відносні імпульси налітаючих і розсіяних частинок у реакції  $n + \nu^- \rightarrow p + e^-$  Знайти спин нейтрино, якщо перетин  $\sigma_{pe} \approx 4 \cdot 10^4 \sigma_{\nu n} \approx 0,2 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^2$ , а відносні імпульси  $p_{pe} \approx 2 \text{ MeV}$ ,  $p_{\nu n} \approx 4 \cdot 10^2 \text{ MeV}$ .
22. Ядро полонію розпадається на альфа-частинку та дочірнє ядро свинцю. При цьому дочірнє ядро опинилось безпосередньо в основному стані. Знайти повну енергію альфа-розпаду, якщо кінетична енергія альфа-частинки 8.34 MeV. Яка швидкість віддачі дочірнього ядра?
23. У деякому експерименті альфа розпад ядра полонію ( $^{211}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{208}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$ ) відбувається за двома каналами – один з утворенням стабільного дочірнього ядра, а другий з утворенням збудженого стану (ізомер). Знайти енергію гама-кванта та енергію реакції, якщо розпад проходить по каналах з енергією альфа-частинок 5.3 та 4.5 MeV відповідно.
24. Енергія реакції розпаду ізоотопу ядра гелію  $^6_2\text{He}$  дорівнює 3.5 MeV. Під яким кутом до напрямку руху електрона вилітає нейтрино, якщо електрон з енергією 0.6 MeV вилетів під прямим кутом до ядра віддачі.
25. Розрахувати порогову кінетичну енергію налітаючого протону частинки в реакції  $p + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + n$ . Енергія реакції  $Q = 17,6$  MeV.

26. Розрахувати максимальний імпульс електрона, який утворився в результаті  $\beta$  - розпаду ядра берилію ( ${}^9_4\text{Be}$ ), якщо відомо, що дочірні ядра опинились у основному стані. Енергія реакції 8 MeV.
27. Ядра нуклеїда після  $K$ -розпаду перетворюються в дочірні ядра та нейтрино. Знайти кінетичну енергію дочірніх ядер. Енергією " $K$ -зв'язку" електрона у ядрі знехтувати.
28. Альфа-частинка з кінетичною енергією  $K_0 = 1 \text{ MeV}$  пружно розсіюється на нерухомому ядрі літію  ${}^7\text{Li}$ . Знайти кінетичну енергію ядра віддачі, яке відлетіло під кутом  $30^\circ$  до руху альфа-частинки.
29. Мішень  ${}^7\text{Li}$  бомбардується нейтронами з кінетичною енергією  $T_0 = 1 \text{ MeV}$ . Знайти енергію збудження ядер, яка виникає під час непружного зіткнення, якщо енергія нейтронів, розсіяних під прямим кутом до налітаючого пучка, дорівнює  $T = 0.33 \text{ MeV}$ .
30. Знайти геометричний переріз розсіяння для частинки з енергією  $E$  на ядрі радіусу  $R$ .
31. Після того, як мюон потрапив у свинцеву пластинку, він дуже швидко уповільнюється, опиняючись на  $K$ -оболонці ядра  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  і існує там приблизно  $\bar{t} = 10^{-8} \text{ с}$ . Цей час приблизно в 30 раз менший за час життя вільного мюона. Порівняйте розміри мюонної оболонки з розмірами ядра свинцю. Взаємодія з яким із нуклонів обмежує час існування мюона? Написати відповідну реакцію і оцінити повний переріз розсіяння.
32. Аргон розпадається за рахунок  $K$ -захвату. Час його життя дорівнює 32 дні. Оцінити переріз слабкої взаємодії в реакції  $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$ .
33. Знайти переріз розсіяння нейтронів з енергією до  $E = 5 \text{ MeV}$  у лабораторній системі координат.
34. Довести, що розсіяння нейтронів з енергією до  $E = 5 \text{ MeV}$  сферично-симетричне у системі центра мас.
35. Знайти функцію розподілу налітаючих нейтронів енергією  $T_0 \leq 5 \text{ MeV}$  після другого зіткнення.
36. Знайти середню довжину пробігу нейтронів  $\langle l \rangle$ , енергією  $T_0 = 10 \text{ MeV}$  у воді.
37. Нейтрони енергією  $T_0 = 14 \text{ MeV}$  розсіюються на платиновій мішені. Знайти повний перетин розсіяння, вважаючи, що при цих енергіях  $\kappa \approx \kappa_0$ , та  $\Gamma = \Gamma_n + \Gamma_\gamma + \Gamma_\alpha + \dots \approx \Gamma_n$ .
38. За кімнатної температури приблизно  $f = 20\%$   $\gamma$ -розпадів  ${}^{119}\text{Sn}_{50}$  в сполученні з  $\text{BaSnO}_3$  відбувається без віддачі. Оцінити, якою повинна бути товщина джерела, для того щоб в ньому не відбувалося помітного самопоглинання месбауерських  $\gamma$ -квантів. Густина

$BaSnO_3$   $\rho = 3 \text{ г/см}^3$ , процентна частина ізоотопу  $^{119}\text{Sn}_{50}$  в природній суміші  $\varepsilon = 8\%$ , енергія  $\gamma$  - квантів  $E = 25 \text{ KeV}$ .

39. Джерело теплових нейтронів встановлено в центрі графітового куба. З плином часу нейтрони після багаторазового розсіювання на ядрах вуглецю та часткового поглинання розповсюджуються по всьому об'ємові. Оцінити ефективний розмір області, що в результаті займають нейтрони, якщо ефективний переріз розсіювання нейтронів  $\sigma_s = 4.8 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ , поглинання  $\sigma_a = 4.8 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ . Густина графіту  $\rho = 2.2 \text{ г/см}^3$ .
40. Обчислити коефіцієнт заломлення нейтронів з енергією  $E = 20 \text{ мев}$  у металевому  $^4\text{Be}$ , якщо амплітуда розсіювання  $f = 0.77 \cdot 10^{-12} \text{ см}$ . Чому дорівнює кут повного внутрішнього відбиття нейтронів  $\rho = 1.84 \text{ г/см}^3$ .
41. Оцінити ефективний переріз розділення ядра  $^{235}\text{U}_{92}$  нейтронами з енергією  $E \approx 10^{-2} \text{ еВ}$  якщо відомо, що переріз розділення приблизно дорівнює перерізу захоплення.  $U_0 = 10 \text{ MeV}$ , а повна ширина приблизно дорівнює ширині радіаційного захвату ( $\Gamma = \Gamma_n + \Gamma_\gamma \approx \Gamma_\gamma \approx 0.1 \cdot \text{еВ}$ )
42. Знайти енергію, яка виділяється при розвалі ядра урану  $^{238}\text{U}_{92}$  на два дочірніх ядра, виходячи з середньої енергії зв'язку на нуклон для ядра урану і двох осколків з середини періодичної таблиці Менделєєва.
43. Скільки енергії виділиться при поділі всіх ядер урану з сумарною масою 1 г.?
44. У чому фізичний зміст коефіцієнта розмноження? Скільки нейтронів буде у сотому поколінні, якщо процес поділу починається з 1000 нейтронів і  $k = 1.05$ ?
45. Оцінити проміжок часу, необхідний для ділення 1 кг.  $^{235}\text{U}_{92}$  у нескінченному ядерному середовищі, якщо середня енергія ділення урану 1.6 Мев. Переріз ділення урану  $\sigma_U = 2$  бара та  $k = 1.001$ . Вважати, що в початковий момент поділ почався з одного ядра.
46. У скільки разів збільшиться кількість нейтронів за одну секунду якщо нейтрони містять 0,68% запаздуючих нейтронів з середнім часом напіврозпаду  $\bar{t} = 15 \text{ с}$ . Вважати, що коефіцієнт розмноження нейтронів у суміші урану  $k = 1.0025$ .
47. Знайти період реактора, якщо коефіцієнт розмноження  $k = 1.01$  та  $\tau = 0.1 \text{ с}$ .
48. Обчислити енергію, яка виділиться при повному згоранні 1 г. термоядерного пального з дейтерію і тритію в результаті реакції  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + n$ .
49. Вважаючи, запропоновані Бете ланцюгові реакції на Сонці (протон-протонний та вуглеводний цикли) знайти енергію цих ланцюгових реакцій.

50. Знайти ефективну енергію термоядерної реакції на Сонці, якщо температура Сонця  $T_c = 14 \cdot 10^6 \dots K$ , а кулонівський бар'єр  $B_k \approx 0,5 \text{ MeV}$ .

51. Дейтерієва плазма з концентрацією ядер  $n = 10^{15} \text{ см}^3$  знаходиться при деякій температурі  $T = 1 \text{ KeV}$ . Знайти середній час життя дейтерію по відношенню до реакції  $dd$ .

52. Чи можливі реакції:

$$p \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad \Omega^- \rightarrow \pi^- + \Lambda^0$$

$$\Omega^- \rightarrow \pi^- + \Xi^0$$

$$n \rightarrow p + \mu^- + \nu_\mu \quad \Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

$$\Xi^0 \rightarrow p + \pi^- + \pi^0$$

$$\Omega^- \rightarrow \pi^- + p + K^- \quad \Omega^- + p \rightarrow \Xi^0 + \Lambda^0$$

$$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- \quad \Xi^0 + n \rightarrow 2\Lambda^0$$

53. Визначити просторову та зарядову парність у позитронія при його анігіляції.

54.  $\pi^-$  мезон, що зупинився (S-стан), захоплюється дейтроном в реакції  $\pi^- + d \rightarrow n + n$ . Встановіть внутрішню P- парність  $\pi^-$ -мезону.

55. Довести, що експериментального факту низької ймовірності реакції  $\pi^- + d \rightarrow n + n + \pi^0$  впливає (якщо вважати, що захват  $\pi^-$ - мезону відбувається з S-рівня "мезодейтерія"), що  $\pi^-$ - мезон і  $\pi^0$ - мезон мають однакову внутрішню парність.

56. Довести що  $\frac{d\sigma(p + d \rightarrow d + n + \pi^+)}{d\sigma(p + d \rightarrow d + p + \pi^0)} = 2$

57. В ефективному перерізі пружного процесу  $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p$  за  $T_\pi = 190 \text{ MeV}$  спостерігається резонанс з на півшириною,  $\Gamma/2 = 100 \text{ MeV}$ , котрий називається  $\Delta^{++}$  --ізобарою. Визначити час існування цієї частки.

58. Побудувати з кварків  $p, n, \Lambda, \Sigma, \Omega$ - частинки.

59. Користуючись кварковою моделлю ідентифікувати частку  $x$  у реакції  $K^- + p \rightarrow \pi^- + x$ .

60. Виходячи з законів збереження дописати наступні реакції:

$$a) \bar{\nu}_\mu + p \rightarrow$$

$$в) \nu_\mu + e^- \rightarrow$$

$$д) 2\pi^+ + \tau^- \rightarrow$$

$$ж) \rho^+ + \tau^- \rightarrow$$

$$б) \nu_\mu + n \rightarrow$$

$$з) \bar{\nu}_\mu + e^+ \rightarrow$$

$$е) 2\pi^- + \tau^+ \rightarrow$$

$$з) \rho^- + \tau^+ \rightarrow$$

$$и) \pi^+ + \tau^- \rightarrow$$

$$к) \pi^- + \tau^+ \rightarrow$$

Яке відношення ефективних перерізів цих реакцій?

61. На основі кваркової моделі знайти странність електрично нейтрального адрона з проекцією ізотонічного спіну  $T_3 = 1, 2$  та баріонним зарядом  $B = -1$ .

62. За великих значень енергії повний переріз розсіяння ( $pp$ ) залишається сталим і дорівнює  $\sigma = 40 \text{ мбн}$ . Вважаючи структури піона та протона кварковими, зробити оцінку величини повного перерізу розсіяння ( $\pi p$ ) за цих умов. Виходячи, що для каон-нуклонного

розсіяння  $\sigma = 19 \text{ мбн}$ , оцінити на основі наведених даних перерізи розсіяння  $\sigma_{np}$ ,  $\sigma_{\Lambda p}$ ,  $\sigma_{\Xi p}$ .

63. Виходячи з кваркової моделі знайти хвильові функції протона і нейтрона. Довести, що ймовірність паралельних спінів кварків всередині адрону вище за антипаралельних.
64. Довести, що магнітні моменти кварків 2-го покоління визначаються, як і для електрона, за формулою  $\hat{\mu}_q = ehQ_q\hat{s}/4\pi m_q c$ , де відповідно  $Q_q$  і  $m_q$  -- заряд і маса кварка.
65. Вважаючи, що ймовірність паралельних спінів всередині адрону вище за антипаралельних, оцінити відношення магнітних моментів нейтрона і протона.