

# Всероссийская олимпиада школьников по физике

11 класс, заключительный этап, 2003/04 год

**ЗАДАЧА 1.** Футболист бьёт по мячу массой  $m$ , сообщая ему начальную скорость  $v_1$ , направленную под углом  $\alpha$  к горизонту навстречу ветру, дующему вдоль поверхности земли. Описав некоторую траекторию, мяч вернулся в исходную точку со скоростью  $v_2$ . Под каким углом  $\beta$  мяч упал на землю? Чему равна скорость  $u$  ветра? Какое время  $\tau$  мяч находился в полёте? Силу сопротивления воздуха принять пропорциональной скорости мяча относительно воздуха:  $\vec{F}_{\text{сопр}} = -k\vec{v}_{\text{отн}}$ , где коэффициент пропорциональности  $k$  — известная величина.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{и} \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{b}{v_1 + u} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{b}{v_1 + u} \Rightarrow v_1 + u = \frac{b v_1}{v_2} \Rightarrow u = \frac{b v_1}{v_2} - v_1 = v_1 \left( \frac{b}{v_2} - 1 \right)$$

**ЗАДАЧА 2.** Космонавты, высадившиеся на далёкой планете, в ходе исследований обнаружили, что:

- планета так далека от всех звёзд, что единственным источником энергии на ней являются протекающие в недрах планеты реакции радиоактивного распада;
- планета однородна, имеет форму шара, а радиоактивные элементы равномерно распределены по всему её объёму;
- период полураспада радиоактивных элементов равен 1 млн лет (ход этого процесса не зависит от температуры);
- температура на поверхности планеты  $t_1 = 0^\circ\text{C}$ , а в её центре  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ;
- атмосфера отсутствует и планета непрерывно теряет энергию из-за теплового излучения.

Считая, что энергия, излучаемая в единицу времени с единицы площади поверхности планеты, пропорциональна четвёртой степени абсолютной температуры поверхности, а тепловой поток внутри планеты пропорционален перепаду температур на единицу расстояния  $\Delta T / \Delta r$ , определите:

- 1) температуру на расстоянии  $r = R/2$  от центра планеты в момент исследований;
- 2) температуру на поверхности планеты через 4 млн лет;
- 3) температуру в центре планеты через 4 млн лет.

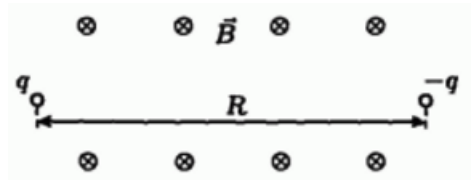
$$T_2 \approx (T_1 - T_0) \frac{R}{r} + T_0 = T_0 \left( \frac{R}{r} + 1 \right) = T_0 \left( \frac{R}{R/2} + 1 \right) = T_0 (2 + 1) = 3 T_0 = 3 \times 100^\circ\text{C} = 300^\circ\text{C}$$

**ЗАДАЧА 3.** Вблизи северного полюса вертикально расположенного намагниченного стержня (постоянного магнита) находится тонкая кольцевая катушка массой  $m = 10$  г (рис.). Катушка может свободно перемещаться вдоль вертикальной оси  $z$ . Если катушку заставить колебаться по гармоническому закону около этого положения с амплитудой  $A = 5$  мм и частотой  $\nu = 50$  Гц, то на её разомкнутых концах появится переменное напряжение с амплитудой  $\mathcal{E}_0 = 1$  В. Какой постоянный ток (по величине и направлению) нужно пропустить через катушку, чтобы она зависла в исходном положении?



$$I = \frac{\mathcal{E}_0}{2\pi \nu A} = 0,154 \text{ A}; \text{ по часовой стрелке, если смотреть сверху}$$

ЗАДАЧА 4. Две частицы с одинаковыми массами  $m$  и зарядами  $q$  и  $-q$  начинают с нулевыми начальными скоростями двигаться в однородном магнитном поле  $\vec{B}$ , перпендикулярном соединяющему их отрезку длины  $R$  (рис.).



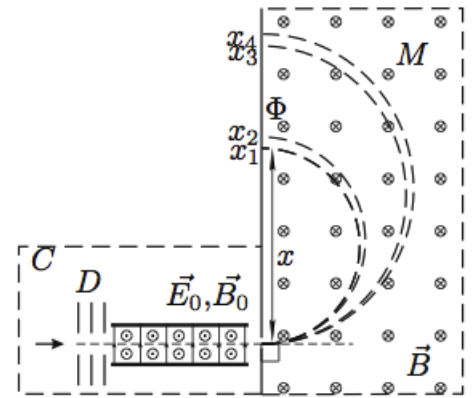
1) Найдите минимальное значение индукции магнитного поля  $B = B_0$  (критическое поле), при котором частицы не столкнутся друг с другом.

2) На каком расстоянии  $r$  друг от друга они окажутся при наибольшем сближении, если  $B > B_0$ ?

3) Найдите скорости частиц и расстояние между ними в момент наибольшего сближения при критическом значении магнитного поля. Как в этом случае будут двигаться частицы после их наибольшего сближения? Нарисуйте качественный график траектории частиц.

$$\frac{mv}{B^0 B^b} = a \cdot \frac{z}{B} = \mu \left( \frac{z B^0 z^0 \varepsilon \mu}{m^4} - 1 \sqrt{1 + 1} \right) \frac{z}{B} = \mu \left( \frac{z B^0 z^0 \varepsilon \mu}{m^4} \sqrt{1 + 1} - 1 \right) \frac{z}{B} = 0 \text{ Г (1)}$$

ЗАДАЧА 5. Устройство для определения изотопного состава атомов состоит из двух основных частей: селектора скоростей  $C$  и масс-спектрографа  $M$  (рис.). В селекторе скоростей через систему диафрагм с отверстиями влетают ионизированные атомы некоторого элемента, обладающие различными скоростями. Они движутся в селекторе в скрещенных однородных электрическом  $\vec{E}_0$  и магнитном  $\vec{B}_0$  полях и далее влетают через малое отверстие в масс-спектрограф, в котором создано однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Попадая на фотопластинку  $\Phi$ , ионы оставляют на ней свой след на некотором расстоянии  $x$  от точки влёта в масс-спектрограф. Предположим, что эксперимент был выполнен при следующих значениях полей:  $E_0 = 360$  В/см,  $B_0 = 0,26$  Тл,  $B = 0,24$  Тл. На фотопластинке были зарегистрированы следы ионов при  $x_1 = 23,2$  см,  $x_2 = 24,4$  см,  $x_3 = 46,4$  см,  $x_4 = 48,8$  см.



Используя таблицу изотопов химических элементов (см. ниже), определите, ионы какого элемента оставили свои следы на фотопластинке. Запишите химические формулы ионов, соответствующих различным значениям  $x$ .

Элементарный заряд  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл, атомная единица массы  $1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27}$  кг.

*Примечание.* Изотопами называются атомы одного и того же элемента, ядра которых обладают одинаковыми зарядовыми числами  $Z$ , но разными массовыми числами  $A$ .

$^{39}\text{K}^{2+}$	$^{41}\text{K}^{2+}$	$^{39}\text{K}^{+}$	$^{41}\text{K}^{+}$	$^{78}\text{Se}^{6+}$	$^{82}\text{Se}^{4+}$	$^{78}\text{Se}^{2+}$	$^{82}\text{Se}^{2+}$	$^{78}\text{Kr}^{4+}$	$^{82}\text{Kr}^{4+}$	$^{78}\text{Kr}^{2+}$	$^{82}\text{Kr}^{2+}$
----------------------	----------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

### Изотопный состав элементов

Z	Название	Хим.	Массовое число (содержание соответствующего изотопа в %)
1	Водород	H	1 (99,986); 2 (0,014)
2	Гелий	He	3 ( $10^{-5}$ ); 4 (100)
3	Литий	Li	6 (7,93); 7 (92,07)
4	Бериллий	Be	9 (100)
5	Бор	B	10 (19,8); 11 (80,2)
6	Углерод	C	12 (98,9); 13 (1,1)
7	Азот	N	14 (99,62); 15 (0,38)
8	Кислород	O	16 (99,76); 17 (0,04); 18 (0,20)
9	Фтор	F	19 (100)
10	Неон	Ne	20 (90,0); 21 (0,27); 22 (9,73)
11	Натрий	Na	23 (100)
12	Магний	Mg	24 (77,4); 25 (11,5); 26 (11,1)
13	Алюминий	Al	27 (100)
14	Кремний	Si	28 (89,6); 29 (6,2); 30 (4,2)
15	Фосфор	P	31 (100)
16	Сера	S	32 (95,1); 33 (0,74); 34 (4,2); 36 (0,016)
17	Хлор	Cl	35 (75,4); 37 (24,6)
18	Аргон	Ar	36 (0,307); 38 (0,061); 40 (99,632)
19	Калий	K	39 (93,38); 40 (0,012); 41 (6,61)
20	Кальций	Ca	40 (96,96); 42 (0,64); 43 (0,15); 44 (2,06); 46 (0,0034); 48 (0,19)
21	Скандий	Sc	45 (100)
22	Титан	Ti	46 (7,95); 47(7,75); 48(73,45); 49(5,51); 50(5,34)
24	Хром	Cr	50 (4,49); 52 (83,78); 53 (9,43); 54 (2,30)
25	Марганец	Mn	55 (100)
26	Железо	Fe	54 (6,04); 56 (91,57); 57 (2,11); 58 (0,28)
27	Кобальт	Co	59 (100)
28	Никель	Ni	58 (67,4); 60 (26,7); 61 (1,2); 62 (3,8); 64 (0,88)
29	Медь	Cu	63 (70,13); 65 (29,87)
30	Цинк	Zn	64 (50,9); 66 (27,3); 67 (3,9); 68 (17,4); 70 (0,5)
31	Галлий	Ga	69 (61,2); 71(38,8)
32	Германий	Ge	70 (21,2); 72 (27,3); 73 (7,9); 74 (37,1); 76 {6,5},
33	Мышьяк	As	75 (100)
34	Селен	Se	74 (0,9); 76 (9,5); 77 (8,3); 78 (24,0); 80 (48,0); 82 (9,3)
35	Бром	Br	79 (50,6); 81 (49,4)
36	Криптон	Kr	78 (0,35); 80 (2,01); 82 (11,53); 83 (11,53); 84 (57,11); 86 (17,47)
37	Рубидий	Rb	85 (72,8); 87 (27,2)
38	Стронций	Sr	84 (0,56); 86 (9,86); 87 (7,02); 88 (82,56)
39	Иттрий	Y	89 (100)
40	Цирконий	Zr	90 (48); 91 (11,5); 92 (22); 94 (17); 96 (1,5)
41	Ниобий	Nb	93 (100)
42	Молибден	Mo	92 (14,9); 94 (9,4); 95 (16,1); 96 (16,6); 97 (9,65); 98 (24,1); 100 (9,25)
44	Рутений	Ru	96 (5,68); 98 (2,22); 99 (12,81); 100 (12,70); 101 (16,98); 102 (31,34); 104 (18,27)
45	Родий	Rh	103 (100)
46	Палладий	Pd	102 (0,8); 104 (9,3); 103 (22,6); 106 (27,2); 108 (26,8); 110 (13,5)