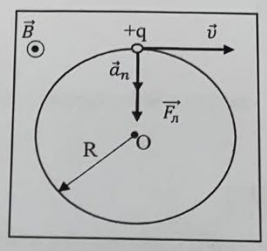
Магнетизм 1

Пример.
Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 600$ В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}3$ Тл и начал двигаться по окружности. Вычислить скорость υ, кинетическую энергию $W_к$, радиус R окружности, период вращения Т.

Решение.
Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле будет происходить по окружности только в том случае, если частица влетит в магнитное поле перпендикулярно линиям индукции: $\vec{v} \perp \vec{B}$.



Вектор магнитной индукции $\vec{B}$ на чертеже выбираем сами – он перпендикулярен плоскости чертежа, направлен «к нам» и изображен на чертеже точкой.

Определим направление силы Лоренца на чертеже, используя **правило левой руки**: левую руку нужно расположить так, чтобы четыре пальца были направлены по скорости $\vec{v}$ движения *положительного* заряда q, при этом линии магнитной индукции $\vec{B}$ входят в ладонь, «прокалывая» её, тогда отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Лоренца $\vec{F}_л$.
(Для *отрицательного* заряда полученное направление силы Лоренца разворачиваем на 180°).
Сила Лоренца направлена перпендикулярно вектору υ к центру окружности.
Так как сила Лоренца $F_л = q\upsilon B sin\alpha$ перпендикулярна вектору $\vec{v}$, она сообщает частице нормальное ускорение $\vec{a}_n$, при этом векторы $\vec{a}_n$ и $\vec{F}_л$ сонаправлены.
Скорость частицы найдем, воспользовавшись связью между работой сил электрического поля и изменением кинетической энергии частицы, т.е. $A = \Delta W$, или $q(\varphi_1 - \varphi_2) = W_2 - W_1$, где $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ - ускоряющая разность потенциалов (или ускоряющее напряжение); W_1 и W_2 – начальная и конечная кинетические энергии частицы.
Считая начальную кинетическую энергию частицы $W_1 = 0$ и учитывая, что $W_к = \frac{m\upsilon^2}{2}$, получим

$$qU = \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (1)$$

Найдем из этого выражения скорость

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2qU}{m}}. \quad (2)$$

Согласно второму закону Ньютона

$$\vec{F}_л = m\vec{a}_n, \quad (3)$$

где m – масса заряженной частицы.

В скалярной форме (в проекции на радиус) выражение для силы Лоренца:

$$F_л = q\upsilon B sin\alpha \ . \quad (4)$$

В нашем случае $\upsilon \perp B$ и $sin\alpha = 1$, тогда $F_л = q\upsilon B$.

Так как нормальное ускорение $a_n = \frac{\upsilon^2}{R}$, выражение (3) перепишем следующим образом:

$$q\upsilon B = \frac{m\upsilon^2}{R}. \quad (5)$$

Сократим в левой и правой частях скорость υ и выразим радиус окружности:

$$R = \frac{m\upsilon}{qB}. \quad (6)$$

При необходимости из выражения (5) можно выразить магнитную индукцию

$$B = \frac{m\upsilon}{qR}. \quad (7)$$

Учитывая, что период вращения T – это время одного полного оборота, определим его по формуле

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon}. \quad (8)$$

Произведем вычисления:

1. Скорость $\upsilon = \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 600}{1{,}67 \cdot 10^{-27}}} = \sqrt{210{,}98 \frac{10^{-19}}{10^{-27}}} =$

$\sqrt{210{,}98 \cdot 10^8} = 14{,}5 \cdot 10^4 = \ = 0{,}15 \cdot 10^6$ м/с

2. Кинетическая энергия $W_к = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot (0{,}15 \cdot 10^6)^2}{2} =$

$$= \frac{1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 0{,}15^2 \cdot 10^{12}}{2} = 0{,}0187 \cdot 10^{-15} = 187 \cdot 10^{-19} \text{Дж}$$

3. Радиус $R = \frac{m\upsilon}{qB} = \frac{1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 0{,}15 \cdot 10^6}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}3} = 0{,}52 \cdot 10^{-2} = 0{,}0052$ м

4. Период вращения $T = \frac{2\pi R}{\upsilon} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0052}{0{,}15 \cdot 10^6} = 0{,}22 \cdot 10^{-6}$ с

5. Сила Лоренца $F_л = q\upsilon B = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}15 \cdot 10^6 \cdot 0{,}3 = 0{,}072 \cdot 10^{-13}$
$= 72 \cdot 10^{-16}$ Н

Варианты 0-9. Заряженная частица массой m и зарядом q, прошедшая ускоряющую разность потенциалов U, влетает в однородное магнитное поле с индукцией B и двигается по окружности радиусом R. Определить параметры, отмеченные вопросами для каждого варианта. Выполнить чертеж.

Обозначения в таблице:
Электрон: масса m = $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд q = – $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
Протон: масса m = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг, заряд q = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
Альфа-частица: масса m = $6{,}64 \cdot 10^{-27}$ кг, заряд q = $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Кл.
U – ускоряющая разность потенциалов, υ – скорость частицы, B – индукция магнитного поля, R – радиус окружности, по которой двигается частица,
T – период вращения, $W_к$ – кинетическая энергия частицы, $F_л$ – сила Лоренца.

Вариант	Заряженная частица	υ, м/с	B, Тл	R, м	T, с	U, В	$W_к$, Дж	$F_л$, Н
0	Электрон	?	0,3	?	?	600	?	?
1	Протон	$0{,}58 \cdot 10^6$	?	0,001	?	?	?	?
2	Альфа-частица	?	?	0,002	?	?	$0{,}2 \cdot 10^{-15}$	?
3	Электрон	$6{,}7 \cdot 10^6$	0,2	?	?	?	?	?
4	Протон	?	0,15	?	?	450	?	?
5	Альфа-частица	$0{,}072 \cdot 10^6$	?	0,025	?	?	?	?
6	Электрон	$6 \cdot 10^6$	?	0,0015	?	?	?	?
7	Протон	?	?	0,003	?	?	$32 \cdot 10^{-19}$	?
8	Альфа-частица	?	0,25	?	?	300	?	?
9	Электрон	?	?	0,0004	?	?	$18 \cdot 10^{-19}$	?