



**Дрейфовое приближение. Виды дрейфового движения. Общие свойства.**

# Дрейфовое приближение

Если на не слишком плотную плазму действуют достаточно сильные внешние поля, то в разумном приближении можно пренебречь внутренними полями, происходящими от взаимодействия частиц. В этом приближении можно рассматривать плазму как систему независимых частиц, движущихся по своим траекториям в заданных внешних полях. Уравнение движения заряженных частиц в заданных внешних полях:

$$M \frac{d\mathbf{g}}{dt} = \frac{ze}{c} [\mathbf{g} \times \mathbf{H}] + \mathbf{F} \quad (1)$$

$\mathbf{F}$  - равнодействующая всех сил действующих на частицу

# Дрейфовое приближение

Уравнение (1) – векторное и не поддается аналитическому решению, кроме простейших случаев. Поэтому важнейшее значение в физике плазмы имеет приближенный метод решения уравнения (1), носящий название дрейфового приближения.

## **Составляющие движения частиц:**

- быстрое циклотронное вращение вокруг силовых линий магнитного поля
- дрейфовое движение центра циклотронной окружности поперек магнитного поля
- свободное движение вдоль силовых линий, на которые магнитное поле не действует

# Свойства дрейфового движения

1

- Скорость направлена не вдоль действующей силы, а перпендикулярно ее направлению и направлению магнитного поля.

2

- Сила электрического поля вызывает движение ионов и электронов в одном направлении, то есть течение плазмы как целого, а неэлектрические силы возбуждают токи.

3

- Постоянная сила вызывает не равноускоренное, а равномерное движение.

# Дрейфовое движение

Дрейф представляет собой *усредненное* движение, а вот истинное движение, основным компонентом которого является быстрое циклотронное вращение, подчиняется законам обычной механики.

Дрейфовое движение является следствием циклотронного вращения. Для того чтобы движение имело дрейфовый характер, циклотронное вращение не должно существенно нарушаться. Для этого необходимо соблюдение двух условий:

– *условие аддиабатичности* – внешние поля должны мало меняться на длине, равной циклотронному радиусу, и за время, равное периоду циклотронного вращения

– *условие замагниченности* – взаимодействие между частицами не должно заметным образом возмущать циклотронное вращение

# Дрейфовое движение

Дрейфовое движение есть адиабатическое движение в замагниченной плазме.

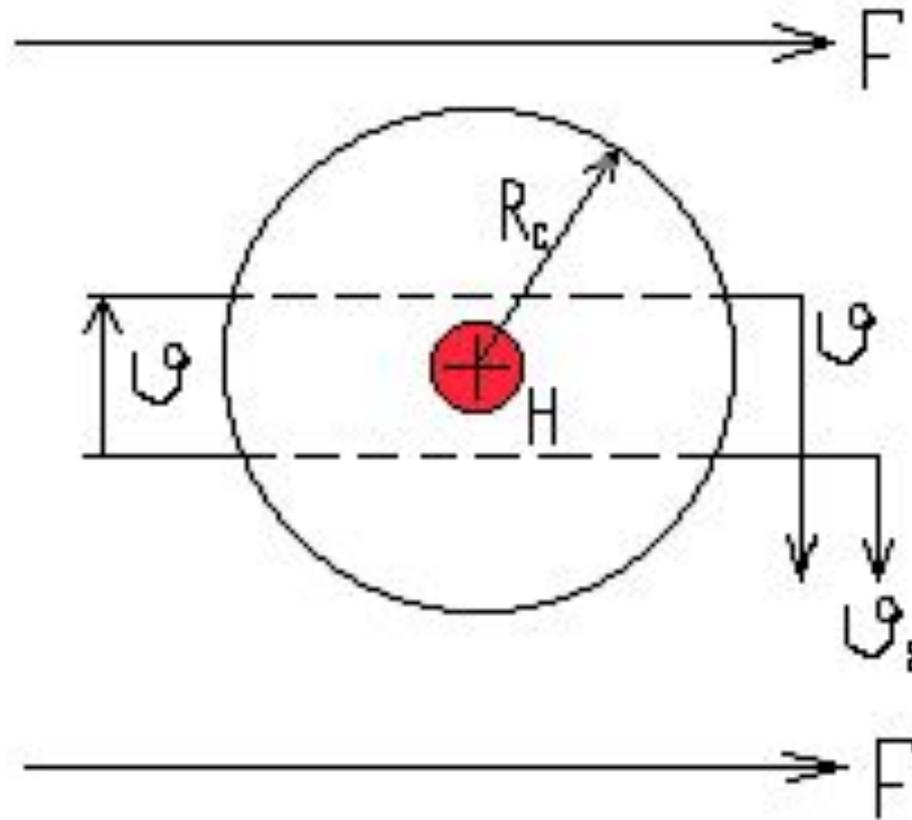


Схема дрейфового движения

# Дрейфовое движения

Рассмотрим уравнение (1) в проекциях:

$$\frac{d\vartheta_x}{dt} = \frac{ze}{Me} H \vartheta_y + \frac{F_x}{M} = \omega_c \vartheta_y + \frac{F_x}{M} \quad (2)$$

$$\frac{d\vartheta_y}{dt} = -\frac{ze}{Me} H \vartheta_x + \frac{F_y}{M} = -\omega_c \vartheta_x + \frac{F_y}{M} \quad (3)$$

В комплексной форме:

$$\frac{d}{dt} (\vartheta_x + i\vartheta_y) = -i\omega_c (\vartheta_x + i\vartheta_y) + \frac{F_x + iF_y}{M} \quad (4)$$

# Дрейфовое движение

$$\mathcal{G}_x + i\mathcal{G}_y = \text{const} \bar{e}^i (w_c + \varphi) \quad (5)$$

$$\mathcal{G}_y = -\frac{F_x}{M\omega c} = -c \frac{F_x}{zeH} \quad (6)$$

$$\mathcal{G}_x = \frac{F_y}{M\omega c} = c \frac{F_y}{zeH} \quad (7)$$

Скорость дрейфа

$$\mathcal{G}_\perp = c \frac{[FH]}{zeH^2} \quad (8)$$

# Виды дрейфового движения:

электрический дрейф

градиентный дрейф

центробежный дрейф

поляризованный дрейф

гравитационный дрейф

# Электрический дрейф

Простейший случай движения дрейфа, когда силой  $F_{\perp}$  – является сила электрического поля.

$$\vec{F} = ze\vec{E}$$

Скорость электрического дрейфа:

$$\vec{v}_E = c \frac{[\vec{E} \vec{H}]}{H^2}$$

**Особенность электрического дрейфа:** скорость электрического дрейфа не зависит от заряда частицы. Электрон и ион дрейфуют в одном направлении и с одинаковой скоростью.

# Градиентный дрейф

Пусть магнитное поле неоднородно в пространстве (есть градиент) рассмотрим компоненту скорости, перпендикулярную магнитному полю

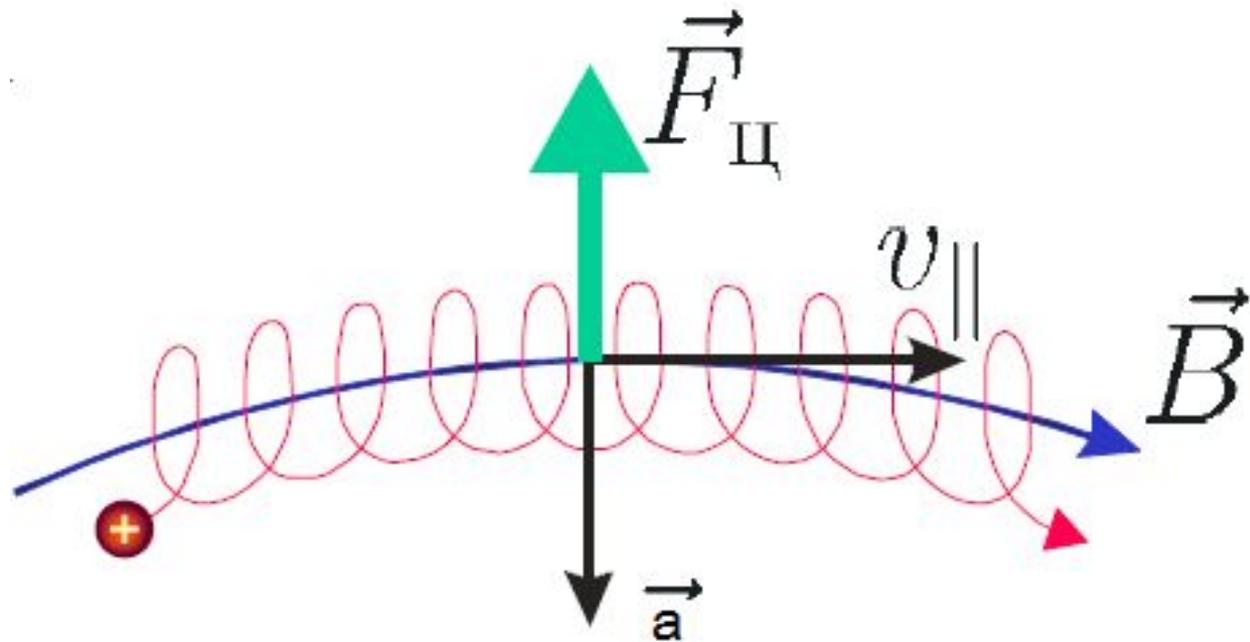


$$\frac{d\vec{R}}{dt} = \frac{g_{\perp}^2}{2\omega_H B} [\vec{h} \times \nabla \vec{B}] = \frac{g_{\perp}^2}{2\omega_H} \frac{[\vec{B} \times \nabla \vec{B}]}{B^2}$$

Электроны и ионы дрейфуют в разные стороны

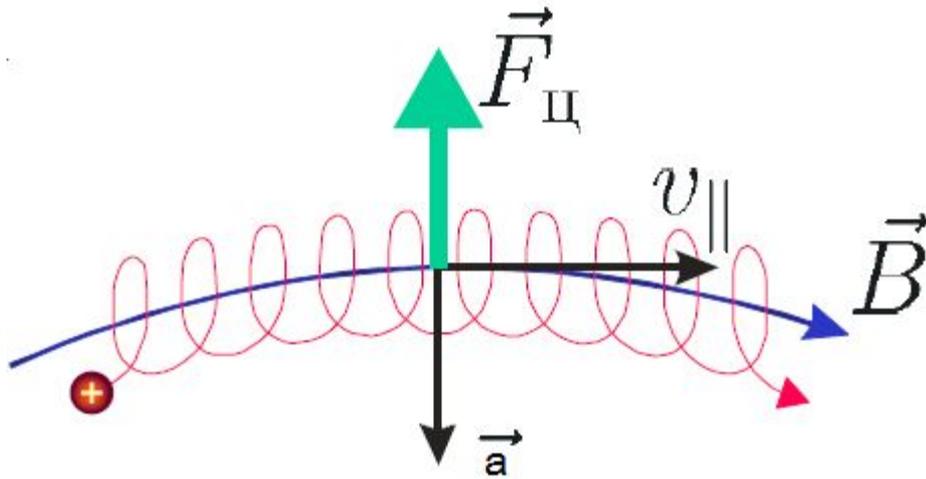
# Центробежный дрейф

Пусть магнитное поле неоднородно в пространстве (есть градиент) рассмотрим продольную компоненту скорости.



В системе отсчета, движущейся вдоль силовой линии со скоростью  $v_{\parallel}$  на частицу действует центробежная сила

# Центробежный дрейф



$$F_{\text{ц}} = \frac{m \mathcal{D}_{\parallel}^2}{R_{\text{кр}}}$$

$$\vec{F}_{\text{ц}} = m \mathcal{D}_{\parallel}^2 \vec{a}$$

$F_{\text{ц}}$  эквивалентна электрическому полю

$$\vec{E}_{\text{экв}} = \frac{\vec{F}_{\text{ц}}}{q}$$

Дрейф:

$$\vec{\mathcal{D}} = \frac{c}{B^2} [\vec{E}_{\text{экв}} \times \vec{B}] = \frac{m \mathcal{D}_{\parallel}^2 c}{q B^2} [\vec{B} \times \vec{a}]$$

Электроны и ионы дрейфуют в разные стороны