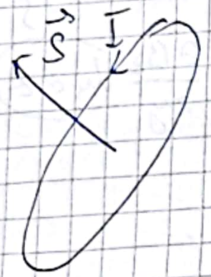
11 Магнитный момент тока. Точечный магнитный диполь. Сила и момент сил, действующие на виток с током в магнитном поле. Эквивалентность витка с током и магнитного диполя.

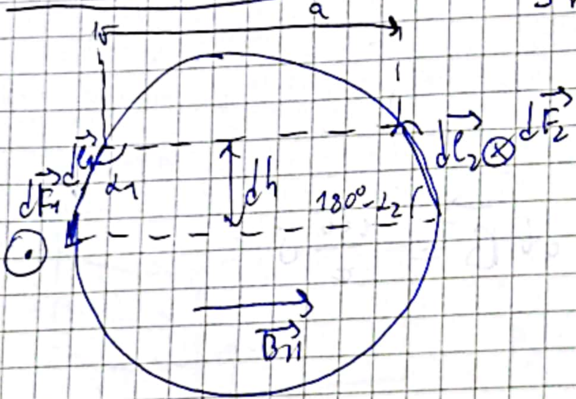


$$\vec m = \frac{I\vec S}{c}$$

для $r \gg$ радиуса

$$\vec B = \frac{3(\vec m, \vec r)\vec r}{r^5} - \frac{\vec m}{r^3} \qquad \left(B_x \approx \frac{2IS}{cx^3}\right)$$

<u>Момент сил</u>



∃ поле ∥ плоскости витка и $= \vec B_\parallel$

Силы Ампера, действующие на элементы тока $I d\vec l_1$ и $I d\vec l_2$ равны

$$d\vec F_1 = \frac{I}{c}\, d\vec l_1 \times \vec B_\parallel$$

$$d\vec F_2 = \frac{I}{c}\, d\vec l_2 \times \vec B_\parallel$$

$$dl_1 \sin\alpha_1 = dl_2 \sin\alpha_2 = dh$$

$$|d\vec F_1| = \frac{I}{c}\, dl_1 B_\parallel \sin\alpha_1$$

$$|d\vec F_2| = \frac{I}{c}\, dl_2 B_\parallel \sin\alpha_2$$

$$|d\vec F_1| = |d\vec F_2| = \frac{I}{c} B_\parallel\, dh$$

$d\vec F_1$ и $d\vec F_2$ образуют пару сил с плечом a => создаваемый ими момент $dM = a\, dF_1 = \frac{I}{c} B_\parallel\, a\, dh$

Σ по всем парам => $M = \frac{I}{c} B_\parallel S = m B_\parallel$

$\forall\ \vec B = \vec B_\parallel + \vec B_\perp$

$\vec B_\perp$ приводит к силам $\in$ плоскости витка, $\perp$ контуру =>

$\Rightarrow \vec{B}_\perp$ может лишь вызывать деформации контура (растяжение-сжатие), не меняя его ориентацию в пространстве $\Rightarrow$ поворот витка обусловлен только компонентой $\vec{B}_\parallel \Rightarrow \vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$

Потенциальная энергия

|Магнитный момент| = const, но только может менять направление в пространстве (это допущение предполагает, что в цепь витка включён источник энергии (батарея ЭДС), поддерживающий ток = const)

Если виток с током находится в магнитном поле, то возникает момент сил, стремящийся ориентировать его магнитный момент по напр. поля)

$$M = mB\sin\theta$$

Под действием только сил поля θ уменьшается $\Rightarrow$ элементарная работа по приращению $d\theta$

$$\delta A = \vec{M}\, d\vec{\theta} = -mB\sin\theta\, d\theta$$

$$A = \int_{\theta}^{\theta_0} M(\theta_1)\, d\theta_1 = -mB\int_{\theta}^{\theta_0} \sin\theta_1\, d\theta_1 = mB(\cos\theta_0 - \cos\theta)$$

(def потен. энергии)

$$A = U(\theta) - U(\theta_0) \Rightarrow U = -mB\cos\theta = -\vec{m}\vec{B}$$

состоянию $U_{min} = -mB$ соотв. $\theta = 0$ т.к. $\vec{m}$ стремится ориентироваться вдоль $\vec{B}$

Сила

$$\vec{F} = -\operatorname{grad} U = \operatorname{grad}(\vec{m}\cdot\vec{B})$$

Если в среде отсутствуют токи проводимости, то $\operatorname{rot}\vec{B} = 0$

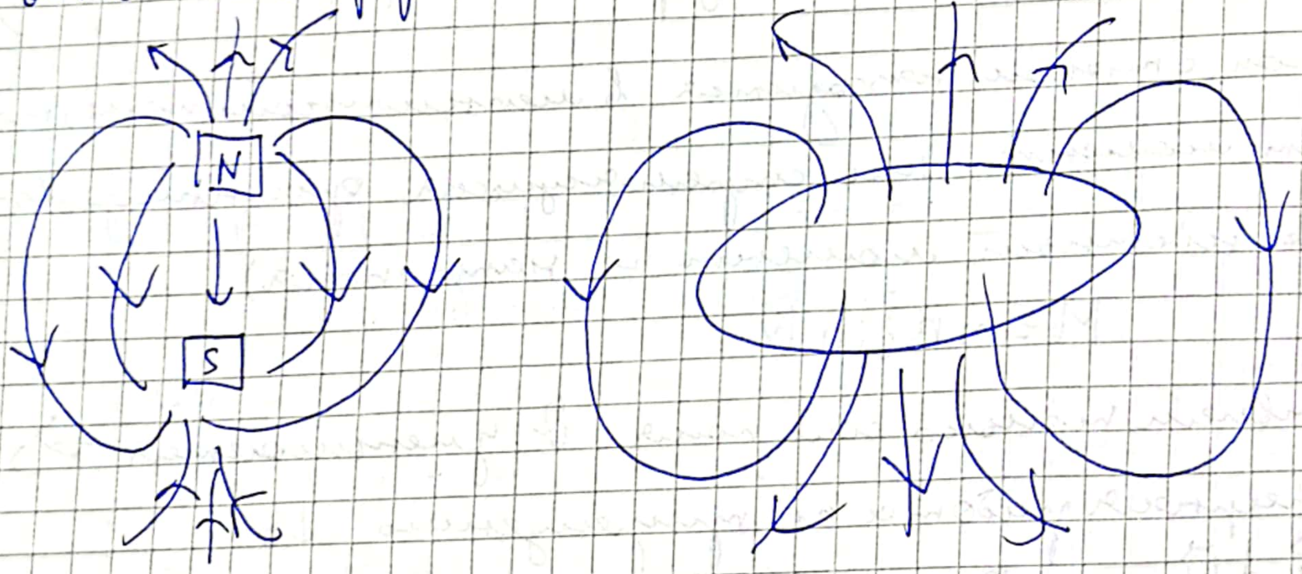
$$0=\vec{m}\times\operatorname{rot}\vec{B}=\vec{m}\times(\vec{\nabla}\times\vec{B})=\vec{\nabla}(\vec{m},\vec{B})-(\vec{m}\vec{\nabla})\vec{B}$$

$$\vec{\nabla}(\vec{m}\cdot\vec{B})=(\vec{m}\cdot\vec{\nabla})\vec{B}$$

$$\Rightarrow \vec{F}=(\vec{m}\cdot\vec{\nabla})\vec{B}$$

Магнитный диполь

Формула для $\vec{B}(\vec{r})$ совпадает по виду с формулой для электрического поля точечного диполя $\Rightarrow$ точечный магнитный момент можно рассматривать чисто формально как точечный диполь, соста-



вленный из эффективных магнитных зарядов N и S. Вводя эффективный магнитный момент q_m и плечо магн. диполя $\vec{l}$ запишем дипольный момент

$$\vec{m}=q_m\vec{l}$$