

Эффекты P- неинвариантности в генерации магнитных полей небесных тел

В.Б. Семикоз, Д.Д. Соколов

Космические магнитные поля звезд, галактик, ранней Вселенной имеют общую природу, описываемую в рамках системы уравнений магнитной гидродинамики (МГД) проводящих жидкостей, газов и плазмы. Существует параллелизм С,Р,Т симметрий физики элементарных частиц и магнитной гидродинамики, где нарушение пространственной P- симметрии, играет особо важную роль в динамо усилении затравочного магнитного поля. Механизм динамо среднего магнитного поля как для нормальных звезд, в частности, Солнца, так и для ультрарелятивистской плазмы нейтронных звезд (НЗ) или ранней Вселенной определяется псевдоскаларем - параметром спиральности α , входящем в слагаемое неустойчивости магнитного поля $\nabla \times \alpha \mathbf{V}$ в уравнении индукции Фарадея. Псевдоскаларь α меняет знак при пространственном отражении, $PA P^{-1} \implies -\alpha$, в то время как в самом уравнении индукции, как следствии уравнений электродинамики, P-четность сохраняется. Это в равной степени относится как к стандартной МГД, применимой к Солнцу, где $\alpha = \tau_{\text{corr}} \langle \mathbf{u} \cdot (\nabla \times \mathbf{u}) \rangle / 3$ есть средняя величина от смешанного произведения случайных скоростей и их вихрей, $\langle \mathbf{u} \rangle = 0$, так и в аномальной МГД, применимой к киральной (ультрарелятивистской) плазме в НЗ или ранней Вселенной, где псевдоскаларь $\alpha = (e^2 \mu_5 / \sigma_{\text{cond}}) / 2\pi^2$ определяется разностью химических потенциалов право- и лево-поляризованных электронов, $\mu_5 = (\mu_R - \mu_L) / 2$, и также меняет знак при пространственном отражении, $\mu_R \leftrightarrow \mu_L$. В обоих случаях возникает добавочный (к омическому) векторный ток, параллельный магнитному полю, $\mathbf{j} = \alpha \mathbf{V}$, не нарушающий P-четности в уравнении Максвелла, но не дающий вклад в силу Лоренца в уравнении Навье-Стокса. В квантовом случае киральной плазмы для электронов на основном уровне Ландау, движущихся параллельно полю и определяющих параметр α , аномальный ток $\mathbf{j}_{\text{anom}} = \alpha \mathbf{V}$ назван киральным магнитным эффектом (КМЭ), известным в КХД-плазме, в физике полуметаллов, в нашем случае применяемом для генерации самых сильных полей наблюдавшихся в магнетарах, $B \sim 10^{15}$ Гаусс. В современной литературе особенное внимание уделяется третьей характеристике магнитного поля, помимо напряженности и масштаба, - магнитной спиральности, характеризующей структуру магнитного поля и впервые вычисленной Гауссом в 1833 году. В ИЗМИРАН в наблюдениях скручивания всплывающих трубок магнитного поля в фотосфере Солнца (совместно с коллегами из КНР) оценивается сохраняющееся топологическое число узлов (зацеплений) трубок $m = \pm 1, \pm 2, \dots$ в формуле Гаусса для магнитной спиральности $H = m \Phi_1 \Phi_2$, где $\Phi_{1,2}$ - магнитные потоки трубок. В стандартной модели Вайнберга-Салама генерация барионной асимметрии в ранней Вселенной зависит от величины плотности магнитной спиральности космологического (первичного) магнитного поля, которая сохраняется в электрослабом фазовом переходе при переходе от гиперзарядового поля к максвелловскому, $h = V^{-1} \int d^3x (\mathbf{Y} \cdot \mathbf{V}_Y)$ переходит в $h = V^{-1} \int d^3x (\mathbf{A} \cdot \mathbf{V})$, где $V = 4\pi l_H^3 / 3$.