

КВАНТ МАГНИТНОГО ПОТОКА И ПРЕДЕЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ НА СОЛНЦЕ

Струминский А.Б.
ИКИ РАН
astrum@cosmos.ru

Магнитный поток Φ квантован, если бы $\Phi/2\pi$ не было бы целым, то нельзя было бы однозначно определить волновую функцию электрона и корректно сформулировать квантовую задачу [1]. Квант магнитного потока равен $\Phi_0 = hc/e = 4 \cdot 10^{-7}$ Гс·см² (при электронной проводимости), тогда $\Phi = \Phi_0 \cdot N = \Phi_0 \cdot n_s \cdot S = B \cdot S$, где n_s — поверхностная плотность квантов магнитного потока, S — площадь, а B — магнитное поле. Магнитный поток в солнечной полярной шапке составляет $\Phi = 10^{22}$ Мкс, который эквивалентен магнитному потоку (не учитывая знака) в одной большой биполярной группе [2].

Определим, максимальное магнитное поле и минимальную площадь, которым соответствуют фотосфера Солнца с концентрацией $n_V = 10^{17}$ см⁻³ ($n_s = 2.2 \cdot 10^{11}$ см⁻²). Получаем, $N = \Phi/\Phi_0 = 2.5 \cdot 10^{28}$ и $S_{min} = \Phi/\Phi_0 \cdot n_s = 1.1 \cdot 10^{17}$ см², а магнитное поле $B_{max} = \Phi/S = 88$ кГс. Если $S = \pi R^2$, то $R = 1871$ км — оценка радиуса униполярной области с максимальным магнитным полем. Отметим, что согласно [2] механизм Бэбкока–Лейтона генерации полоидального поля становится неэффективным при напряженности поля выше 10^5 Гс. Если площадь полярной шапки ($>50^\circ$) составляет $1.1 \cdot 10^{22}$ см², то перенос всего магнитного потока активной области $\Phi = 10^{22}$ Мкс в полярную шапку даст прирост величины магнитного поля $B = \Phi/S \sim 1$ Гс, что выглядит не реалистично, учитывая максимальные величины полярного поля 0.5–1.5 Гс. Действительно, наблюдаемая эффективность преобразования потока тороидального поля в полоидальное, требуемая механизмом Бэбкока–Лейтона, достаточно низкая [2]. В ходе цикла активности генерируется суммарный магнитный поток $\sim 10^{25}$ Мкс (не учитывая знака), т. е. его большая часть должна аннигилировать в процессах пересоединения при переносе к полюсам, чтобы обеспечить величину полярного поля 0.5–1.5 Гс в минимумах активности.

Таким образом, представления о кванте магнитного потока дают разумный разброс величин минимального и максимального магнитного поля Солнца от ~ 1 Гс до $\sim 10^5$ Гс.

[1] Смилга А.В. Квантовая теория поля на обед // Изд. МЦНМО. Москва: 2019. - 432 стр.

[2] Charbonneau P. Dynamo models of the solar cycle // Living Reviews in Solar Physics (2020) 17:4 <https://doi.org/10.1007/s41116-020-00025-6>