ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОСТРОЕНИЯ БЕССИЛОВЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

1. Необходимость рассмотрения бессилового магнитного поля возникает в тех случаях, когда сила тяготения и газокинетическое давление соответствуют плотностям энергии, значительно меньшим, чем плотность энергии магнитного поля. В космической плазме часто ток течет параллельно магнитному полю, то есть поле является бессиловым [1].

Работы Чандрасекара и Вольтьера [2, 3, 4] убедительно показали, что бессиловые магнитные поля с постоянной α являются конфигурациями с минимальной магнитной энергией и минимальными омическими потерями. Поэтому важно уметь эффективно находить бессиловые магнитные поля.

2. Условие равенства нулю магнитной силы:

$$[\vec{J} \times \vec{H}] = 0. \tag{1}$$

Его можно записать так:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \alpha \vec{H}, \tag{2}$$

где

$$(\operatorname{grad} \alpha)\, \vec{H} = 0. \tag{3}$$

В остальном α — произвольная функция координат.

Пусть $\alpha = \text{const}$. Применяя к обеим частям уравнения (2) операцию rot, получим:

$$\begin{gathered} \Delta \vec{H} + \alpha^2 \vec{H} = 0 \\ \operatorname{div} \vec{H} = 0. \end{gathered} \tag{4}$$

Любое бессиловое магнитное поле удовлетворяет (4). Однако не любое решение уравнения (4) является бессиловым. Задача состоит в том, как из решений уравнения (4) получить бессиловое магнитное поле. Рассмотрим некоторый вектор $\vec{A}$, удовлетворяющий (4), то есть

$$\left.\begin{gathered} \Delta \vec{A} + \alpha^2 \vec{A} = 0 \\ \operatorname{div} \vec{A} = 0 \end{gathered}\right| \tag{5}$$

Построим вектор

$$\vec{H} = \alpha \vec{A} + \operatorname{rot} \vec{A}. \tag{6}$$

Если $\vec{A}$ удовлетворяет (5), то $\vec{H}$ — бессиловой вектор. В этом легко убедиться непосредственной подстановкой (6) в (2) с учетом (5). Таким образом при отыскании бессилового магнитного поля следует решать (5), а затем строить $\vec{H}$ по формуле (6).

Возникает вопрос, все ли бессиловые магнитные поля, соответствующие $\alpha = \text{const}$, могут быть так получены? Сформулируем вопрос точно. Пусть $\vec{H}$ — бессиловое магнитное поле, то есть выполняется условие (2). Можно ли найти такой вектор $\vec{A}$, удовлетворяющий (5), для которого выполняется соотношение (6)? Ответ положительный. Действительно, из условия (2) следует равенство

$$\vec{H} = \operatorname{rot}\left(\frac{1}{2\alpha}\vec{H}\right) + \alpha\left(\frac{1}{2\alpha}\vec{H}\right). \tag{7}$$

Иными словами $\vec{A} = (1/2\alpha)\vec{H}$, и в силу (4) $\vec{A}$ удовлетворяет (5). Этим доказано необходимое и достаточное условие того, что вектор $\vec{H}$ бессиловой.

Для $\alpha = \text{const}$ связь уравнений (1) и (4) рассматривалась ранее [5]. В отличие от Чандрасекара и Кенделла мы получили решение (6), не обращаясь к скалярному уравнению Гельмгольца. Последнее обстоятельство позволяет сформулировать достаточное условие и в случае зависимости α от координат.

3. Вектор $\vec{H} = \alpha\vec{A} + \operatorname{rot}\vec{A}$ является бессиловым, если $\vec{A}$ удовлетворяет уравнению

$$\Delta\vec{A} - \operatorname{grad}\operatorname{div}\vec{A} + \alpha^2\vec{A} = -[\vec{A} \times \operatorname{grad}\alpha] \tag{8}$$

при условии

$$\operatorname{div}(\alpha\vec{A}) = 0.$$

Любому решению уравнения (5) на самом деле соответствуют два бессиловых магнитных поля, которые получаются заменой α на $(-\alpha)$. Если вектор $\vec{A}$ квазипотенциальный, то (6) дает разложение бессилового магнитного поля на две ортогональные составляющие.

В заключение автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю члену-корреспонденту АН СССР, профессору В. А. Крату за ряд полезных указаний и обсуждение работы.

On a Method of Constructing the Force-Free Magnetic Fields. A method of theoretical construction of the force-free magnetic field is discussed. The necessary and sufficient conditions of the fact that magnetic fields with α = const are force-free are formulated. The necessary condition is generalised for α being dependent on coordinates.

7 июня 1974
Пересмотрена 3 декабря 1974

ГАО АН СССР В. А. ОШЕРОВИЧ

ЛИТЕРАТУРА

1. *S. Lundquist.* Ark. Fys., 2, 361, 1950.
2. *S. Chandrasekar, L. Woltjer.* Proc. Nat. Acad. Sci., Washington, 44, 285, 1958.
3. *L. Woltjer.* Proc. Nat. Acad. Sci., Washington, 44, 489, 1958.
4. *L. Woltjer.* Ap., J., 128, 384, 1958.
5. *S. Chandrasekhar, P. G. Kendell.* Ap. J., 126, 457, 1957.

СВЕРХНОВАЯ В АНОНИМНОЙ ГАЛАКТИКЕ

В Бюраканской обсерватории в течение нескольких лет на 21″—21″ и 40″—52″ телескопах системы Шмидта фотографируется область звездного скопления Coma для поисков вспыхивающих звезд в нем.

С апреля 1969 г. по март 1975 г. получено 200 снимков области общей продолжительностью 164 часа.

На снимках 1970 г. рядом с безымянной галактикой, имеющей координаты $RA_{1950 \cdot 0} = 12^h23^m8$, $D_{1950 \cdot 0} = +28^\circ 02'$, был обнаружен звездообразный переменный объект. Оказалось, что он является Сверхновой, ранее найденной Г. Романо [1]. Ниже приводятся оценки его блеска в фотографических лучах.

Дата UT	n_1	n_2	m_{pg}
7–8.03.1970	2	6—3	15.02
8–9.04.1970	3	6—6—5	15.60
1.05.1970	2	6—7	16.79

n_1 — количество пластинок, по которым оценивался блеск объекта.
n_2 — количество десятиминутных изображений на каждой пластинке.

По карте Паломарского атласа сама галактика представляет довольно голубое аморфное образование без заметной структуры, $m_{pg} \sim 17^m5 - 18^m0$. На некоторых наших снимках наблюдается ядро галактики. Сверхновая расположена в 7″ к северу от него.