

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

## АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

АВГУСТ, 1978

ВЫПУСК 3

УДК 523.038+523.12

### ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И СВЕРХПЛОТНАЯ КОСМОГОНИЯ

Р. М. МУРАДЯН

Поступила 18 мая 1978

Рассмотрена гипотеза о том, что наблюдаемые в настоящее время магнитные поля галактик являются реликтом дипольного магнитного поля протогалактики-суперадрона.

В настоящей заметке показано, что предложенная нами ранее гипотеза о происхождении галактик за счет распада сверхтяжелых адронов с реджевским спином позволяет естественным образом объяснить источник происхождения магнитных полей галактического масштаба. Как будет показано ниже, конфигурация и величина галактических магнитных полей могут быть объяснены тем, что наблюдаемые в настоящее время магнитные поля являются реликтом дипольного магнитного поля протогалактики-суперадрона, распад и эволюция фрагментов которого приводит к образованию галактики. Это находится в согласии с космогонической концепцией В. А. Амбарцумяна [1—4] и с предложенной в работах [5, 6] гипотезой об адронной природе сверхплотного дозвездного вещества Амбарцумяна.

1. Проблема происхождения и эволюции крупномасштабных магнитных полей во Вселенной является одной из главных нерешенных проблем астрофизики. Крупномасштабные магнитные поля играют важную роль в формировании излучения активных галактических ядер, в частности в активности ядер галактик Сейферта и Маркаряна, в излучении радиогалактик и квазаров. Космические магнитные поля ответственны за изотропию космических лучей и, возможно, за стабильность спиральных ветвей (А. Альвен, Э. Ферми, С. Чандрасекар), и существенно влияют на морфологическую дифференциацию и взаимодействие галактик (Б. А. Воронцов-Вельяминов).

Было предложено несколько теорий происхождения галактических магнитных полей, основанных на конденсационной космогонической гипотезе,

однако ни одна из них не может быть признана удовлетворительной, ввиду трудностей принципиального характера [7, 8].

С другой стороны, вопрос о происхождении космических магнитных полей в рамках концепции сверхплотной космогонии Амбарцумяна до сих пор не рассматривался.

В настоящей работе рассмотрена возможность решения проблемы происхождения галактических магнитных полей, исходя из предложенной в работах [5, 6] конкретизации космогонической гипотезы Амбарцумяна. В этих работах было выдвинуто предположение о том, что сверхплотное протогалактическое вещество Амбарцумяна представляет собой сверхтяжелую элементарную частицу — супердрон с реджевским спином, распад и эволюция фрагментов которого приводят к образованию галактики, и на этой основе было дано объяснение наблюдаемым величинам моментов вращения галактик и их скоплений.

2. Как известно, большинство астрофизических объектов — планеты, звезды, галактики и межгалактическое пространство обладают магнитными полями. Величина напряженности магнитного поля в различных объектах колеблется в широких пределах. Например, напряженность магнитного поля Земли равна примерно 0.6 гс на полюсах и 0.3 гс на экваторе. На поверхности белых карликов существуют поля с напряженностью  $10^6$  гс, а пульсары, возможно, обладают полями порядка  $10^{12}$  гс. Магнитное поле большинства из перечисленных объектов аппроксимируется полем точечного диполя, помещенного почти в центре объекта, причем направление оси эквивалентного диполя, как правило, совпадает или образует небольшой угол с осью вращения данного объекта. Например, магнитное поле Земли хорошо описывается полем точечного диполя с магнитным моментом  $\mu = 8.1 \cdot 10^{25}$  гс·см<sup>3</sup>, помещенным в центре Земли и образующим угол в 11.4° с осью вращения Земли. Напряженность галактического межзвездного магнитного поля в окрестности Солнечной системы порядка  $6 \times 10^{-6}$  гс, а в межгалактическом пространстве, по-видимому, существует поле с напряженностью  $10^{-9}$  гс. Магнитное поле в нашей Галактике проявляется при измерениях поляризации света звезд, вращения плоскости поляризации поляризованных радиоисточников и зеemanовского расщепления линии  $\lambda = 21$  см. Исходя из наблюдательных данных о конфигурации магнитных полей некоторых активных галактик, в частности «взрывающейся» галактики M 82, в работе [9] была выдвинута гипотеза о существовании магнитных диполей галактического масштаба. В пользу возможного существования галактических магнитных диполей свидетельствует также структура магнитных полей некоторых «хвостатых» радиоисточников, например, 3C 129 и NGC 1265, двигающихся в скоплениях галактик (см. работы [10—13]).

3. В рамках сверхплотной адронной космогонии [5, 6] естественно предположить, что наблюдаемое в настоящее время галактическое магнитное поле является остатком первоначального поля протогалактики-суперадрона, аналогично тому, как момент количества движения галактики является реликтом спина суперадрона, в результате распада которого сформировалась галактика. Исходя из соответствия с классической электродинамикой и квантовой теорией частиц со спином, можно предположить, что имеет место прямая пропорциональность между магнитным  $\mu$  и механическим  $J$  моментами сверхтяжелого адрона с массой  $m$ :

$$\mu = \frac{Q^*}{mc} J. \quad (1)$$

Здесь  $Q^*$  — некоторый эффективный заряд. Теоретическое вычисление этого заряда в настоящее время представляется невозможным. Однако для оценки порядка величины магнитного момента можно воспользоваться косвенными соображениями. Можно предположить, что в случае сверхтяжелых адронов эффективный заряд  $Q^*$  в основном определяется гравитационными эффектами. Тогда анализ размерностей приводит к значению

$$Q^* = \sqrt{G} m, \quad (2)$$

где  $G = 6.67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{г.сек}^2$  — гравитационная постоянная, а  $m$  — масса суперадрона, порядка галактической массы ( $10^{14}$  г). Произведя в (1) замену  $Q^* \rightarrow \sqrt{G} m$ , получим известную формулу Блекетта [14]:

$$\mu = \frac{\sqrt{G}}{c} J. \quad (3)$$

Следует отметить, что значение заряда  $Q = \sqrt{G} m$  играет особую роль в теории гравитации Эйнштейна, являясь максимальным возможным зарядом черной дыры в метрике Керра—Ньюмена, так как масса  $m$ , спин  $J$  и заряд  $Q$  черной дыры должны удовлетворять условию (см., например, [15, 16]):

$$Q^2 G m^2 + J^2 c^2 \leq G^2 m^4, \quad (4)$$

откуда следует, что максимальное значение заряда  $Q^*$  дается выражением (2). Еще одно косвенное обоснование формулы (3) можно усмотреть в следующем рассуждении. Согласно классической электродинамике намагниченная сфера радиуса  $R$  и с дипольным моментом  $\mu$  обладает магнитной энергией порядка  $\mu^2/R^3$ . Кинетическая энергия вращения той же сферы по порядку величины равна  $J^2/mR^2$ , где  $m$  — масса, а  $J$  — угловой момент вращающейся сферы. Магнитная энергия, как легко видеть, равна ки-

нетической энергии вращения при условии  $\mu = \sqrt{R/m} J$ . Для черной дыры, когда радиус равен гравитационному радиусу  $R = Gm/c^2$ , отсюда следует формула (3)\*.

Выражение (2) для эффективного заряда может быть тождественно представлено в виде

$$Q^* = \sqrt{Gm} \equiv \sqrt{\frac{Gm_p^2}{e^2} \frac{m}{m_p}} e,$$

где  $e$  — элементарный заряд:  $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$  СГСЭ =  $1.6 \cdot 10^{-19}$  кулон. Безразмерное выражение  $\sqrt{Gm_p^2/e^2} = 10^{-18}$  представляет собой отношение гравитационного заряда протона  $\sqrt{Gm_p}$  к электрическому. Таким образом

$$Q^* = 10^{-18} \frac{m}{m_p} e \approx 10^{-37} \frac{m}{m_p} \text{ кулон.}$$

В качестве примера укажем, что для Галактики и для Земли соответствующие эффективные заряды равны  $Q_G = 2 \cdot 10^{31}$  кулон и  $Q_\oplus = 3.6 \cdot 10^{14}$  кулон. Отметим, что электрически нейтральный объект может обладать эффективным зарядом, если по некоторой причине положительные и отрицательные заряды окажутся неравномерно распределенными внутри него. Более того, даже положительно заряженный объект может обладать отрицательным эффективным зарядом, и наоборот.

Интересно отметить, что в наружных слоях Земли имеется больше отрицательных зарядов, а во внутренних — больше положительных.

4. Как заметили Блекетт и др., соотношение (3) выполняется для некоторых астрофизических объектов (например, для Земли, Юпитера, Солнца и некоторых других звезд). Ниже, в табл. 1, сравниваются наблюдаемые значения дипольных магнитных моментов планет с предсказанными согласно формуле (3).

\* Как показано в [5], момент количества движения галактик описывается формулой  $J = (m/m_p)^{3/2} \hbar$ , где  $m$  — масса галактики,  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-24}$  — масса протона и  $\hbar = 1.05 \cdot 10^{-27}$  г·см<sup>2</sup>/сек — постоянная Планка. Подставляя это значение в (3), получим следующую связь между магнитным моментом и массой галактики:

$$\mu = \frac{\sqrt{G}}{c} \left( \frac{m}{m_p} \right)^{3/2} \hbar \approx 10^{-41} \left( \frac{m}{m_p} \right)^{3/2} \text{ гс} \cdot \text{см}^3$$

Таблица 1  
СПИНЫ И МАГНИТНЫЕ МОМЕНТЫ ПЛАНЕТ\*

Планеты	Спин $J$ (г.см <sup>2</sup> /сек)	Магнитный момент (г.см <sup>3</sup> )	
		Наблюдаемый	$\mu = \sqrt{G/c} J$
Меркурий	$6.5 \cdot 10^{36}$	$2.4 \cdot 10^{22}$	$5.6 \cdot 10^{22}$
Земля	$5.9 \cdot 10^{40}$	$8.1 \cdot 10^{25}$	$5.1 \cdot 10^{26}$
Юпитер	$4.3 \cdot 10^{45}$	$1.6 \cdot 10^{30}$	$3.7 \cdot 10^{31}$
Сатурн	$7.7 \cdot 10^{41}$	$2.2 \cdot 10^{29}$	$6.6 \cdot 10^{30}$

\* Наблюдательные данные взяты из работы [17].

Из табл. 1 видно, что прямая пропорциональность между магнитным моментом и спином планет удовлетворяется приближенно, однако коэффициент пропорциональности несколько меньше величины  $\sqrt{G/c} = 8.6 \cdot 10^{-15}$  СГС, стоящей в формуле (3).

5. В случае галактик наблюдательные данные о величине и конфигурации магнитных полей, к сожалению, слишком скудны, чтобы построить таблицу, аналогичную табл. 1. Для нашей Галактики, спин которой согласно [18] равен  $J_G = 2 \cdot 10^{75}$  г.см<sup>2</sup>/сек, из (3) получим следующее значение для дипольного магнитного момента:  $\mu_G = 1.7 \cdot 10^{61}$  г.см<sup>3</sup>, что для напряженности поля в окрестностях Солнечной системы ( $r_0 \approx 9$  кпс  $\approx 2.7 \cdot 10^{22}$  см) приводит к значению  $H = \mu_G/r_0^3 \approx 10^{-6}$  гс, согласующемуся с наблюдаемой величиной поля.

С помощью анализа размерностей можно оценить величину возможных высших мультипольных моментов протогалактики-суперадрона. Размерности электрических  $\varepsilon^{(k)}$  и магнитных  $\mu^{(k)}$  мультипольных моментов выражаются через размерности электрического заряда  $Q$  и магнитного дипольного момента  $\mu \equiv \mu^{(1)}$  и длины  $L$  следующим образом:

$$\begin{aligned} [\varepsilon^{(k)}] &= QL^k, \\ [\mu^{(k)}] &= \mu L^{k-1}. \end{aligned} \quad (5)$$

В силу сохранения четности, элементарная частица может обладать четными электрическими ( $k = 0, 2, 4 \dots$ ) и нечетными магнитными ( $k = 1, 3, 5 \dots$ ) мультипольными моментами. Сделав в (5) подстановки

$$Q \rightarrow \sqrt{G} m \quad (\text{заряд} \rightarrow \text{гравитационный заряд}),$$

$$\mu \rightarrow \frac{\sqrt{G}}{c} J \quad (\text{дип. маг. момент из формулы (2)}).$$

$$L \rightarrow \frac{J}{mc} \quad (\text{длина} \rightarrow \text{„комптоновская длина“}),$$

получим следующее обобщение формулы Блекетта на высшие мультипольные моменты:

$$\left. \begin{aligned} g^{(k)} \\ \mu^{(k)} \end{aligned} \right\} = V \sqrt{Gm} \left( \frac{J}{mc} \right)^k \quad \begin{array}{l} k - \text{четное} \\ k - \text{нечетное.} \end{array} \quad (6)$$

Значения электрических моментов следуют из (6) при четных  $k$ , а магнитных — при нечетных (с точностью до безразмерных множителей). В качестве примера оценим возможный октупольный магнитный момент для нашей Галактики:

$$\mu_G^{(3)} = \frac{V \sqrt{G}}{c} J \left( \frac{J}{mc} \right)^2 \approx 10^{102} \text{ гс} \cdot \text{см}^5. \quad (7)$$

Легко видеть, что октупольный момент дает исчезающе малый вклад в окрестностях Солнечной системы:

$$H_{\text{окт}} \approx \frac{\mu_G^{(3)}}{r_0^3} \approx 10^{-11} \text{ гс},$$

и таким образом им можно пренебречь по сравнению с диполем. Однако вклад октуполя может сравниться со вкладом диполя на расстояниях порядка  $r = 1$  кпс. В непосредственной близости от ядра Галактики поле должно иметь довольно сложную структуру, обусловленную вкладом высших мультипольных моментов.

В активных галактиках структура магнитного поля может быть изучена путем измерения поляризации нетеплового радиоизлучения. Таким путем выявлена, например, дипольная структура магнитного поля гигантской эллиптической галактики NGC 1265, имеющего «радиохвост» длиной порядка одного светового года, который, по-видимому, является результатом выброса из активного ядра галактики вещества, взаимодействующего с межгалактической средой в скоплении, сквозь которую галактика движется со скоростью порядка 2000 км/сек [12—13].

В обычных неактивных галактиках основной способ выявления структуры магнитного поля заключается в измерении поляризации света звезд. Этим методом, помимо нашей Галактики, были изучены магнитные поля Магеллановых Облаков [19—21]. В работах [19—20] было обнаружено, что БМО и ММО погружены в общее крупномасштабное «Панмагеллановое» магнитное поле. Происхождение этого поля, по-видимому, связано с протосистемой, из которой в результате процесса взрывного характера возникли БМО и ММО.

Как показано в работе [2], магнитное поле дипольного вида наблюдается вокруг сверхассоциации 30 Doradus, играющей, по-видимому, роль

галактического ядра. Это магнитное поле наверняка имеет первичный характер, так как никакой известный динамо-механизм не в состоянии породить наблюдаемое крупномасштабное поле.

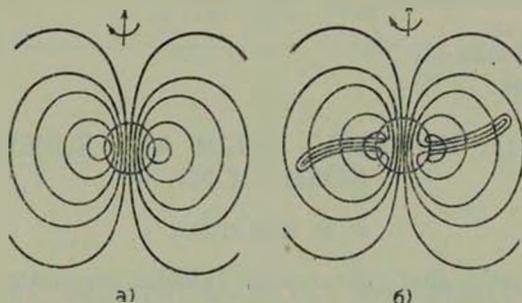


Рис. 1. Топология магнитного поля: а) дипольное магнитное поле протогалактики-суперадрона со спином  $J$  и дипольным магнитным моментом  $\mu$ . Конфигурация поля в действительности намного сложнее при учете высших мультипольных моментов. б) Деформированное дипольное магнитное поле в типичной спиральной галактике. Выброшенное в результате распада протогалактики-суперадрона вещество увлекает за собой магнитные силовые линии, которые вытягиваются вдоль спиральных рукавов (ср. с работой [25]).

Учитывая рассматриваемую здесь связь между вращением и магнетизмом космических объектов, было бы чрезвычайно интересно обнаружить вращение 30 Doradus. Как показали В. А. Амбарцумян и его сотрудники [22, 23], объекты типа 30 Doradus образуют специальный класс объектов, получивших название сверхассоциаций. Большое число сверхассоциаций среди объектов Маркаряна было обнаружено в работе [24], где показано, что сверхассоциации могут быть связанными с галактиками Маркаряна или встречаться изолированно.

6. В заключение заметим, что в отличие от момента количества движения, который сохраняется в процессе эволюции, магнитный момент не сохраняется. Однако из-за высокой проводимости и значительной самоиндукции межзвездной среды первоначальное магнитное поле затухает очень медленно и время релаксации (порядка  $10^{30}$  лет) значительно превышает возраст галактики. Таким образом, за время жизни галактики в ее магнитном поле могут произойти лишь сравнительно небольшие изменения, связанные с движениями «вмороженного» в силовые линии ионизированного межзвездного вещества (см. рис. 1).

Более детальная разработка вопроса об эволюции первичного магнитного поля, с одной стороны, прямо связана с общими вопросами эволюции галактик, с другой — с необходимостью построения фундаментальной теории суперадронов с учетом сильных и гравитационных сил.

Выражаю благодарность академику В. А. Амбарцумяну за многочисленные ценные обсуждения, академику Н. Н. Боголюбову и профессору В. А. Матвееву за интерес к работе и стимулирующие обсуждения.

Объединенный институт ядерных  
исследований,  
Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## ORIGIN OF MAGNETIC FIELDS AND SUPERDENSE COSMOGONY

R. M. MURADIAN

The hypothesis that observable galactic magnetic fields are the remnants of the dipole magnetic fields of the protogalaxies-superhadrons is considered.

### ЛИТЕРАТУРА

1. V. A. *Ambartsumian*, 11-th Solvay Conference „Structure and Evolution of Galaxies“, Stoops, Brussels, 1958, p. 241.
2. V. A. *Ambartsumian*, 13-th Solvay Conference “Structure and Evolution of Galaxies“, Interscience, London, 1965, p. 1.
3. V. A. *Ambartsumian*, *Spectrum*, 10, 15, 1975.
4. В. А. Амбарцумян, Научные труды, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, т. II, 1960.
5. Р. М. Мурадян, *Астрофизика*, 11, 237, 1975.
6. Р. М. Мурадян, *Астрофизика*, 13, 63, 1977.
7. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, Строение и эволюция Вселенной, Наука, М., 1975.
8. E. R. *Harrison*, *M. N.*, 147, 279, 1969.
9. H. D. *Greyber*, *Quasi-stellar Sources and Gravitational Collapse*, Chicago Univ. press, 1965.
10. W. J. *Jaffe*, G. C. *Perola*, *Astron. Astrophys.*, 26, 423, 1973.
11. R. T. *Schilizzi*, R. D. *Ekers*, *Astron. Astrophys.*, 40, 221, 1975.
12. G. K. *Miley*, K. J. *Wellington*, H. van den *Laan*, *Astron. Astrophys.*, 38, 381, 1975.
13. R. G. *Strom*, G. K. *Miley*, J. *Oort*, *Scientific American*, 233, 26, 1975.
14. P. M. S. *Blackett*, *Nature*, 159, 653, 1947 (см. пер. УФН. 33, 52, 1947).
15. B. *Carter*, *Phys. Rev.*, 174, 1559, 1968.
16. E. R. *Harrison*, *Nature*, 264, 525, 1976.
17. C. T. *Russel*, *Nature*, 272, 147, 1978.
18. K. H. *Nordsieck*, *Ap. J.*, 184, 735, 1973.
19. Th. *Schmidt*, *Astron. Astrophys.*, 6, 294, 1970.
20. D. S. *Mathewson*, V. L. *Ford*, *A. J.*, 75, 778, 1970.
21. F. *Isserstedt*, M. *Reinhardt*, *M. N.*, 176, 693, 1976.
22. В. А. Амбарцумян, С. Г. Искусидрян, Р. К. Шахбазян, К. А. Саакян, Сообщ. Бюраканской обс., 33, 3, 1963.
23. V. A. *Ambartsumian*, Proc. IAU Symp. No. 20, Canberra, 1964, p. 122.
24. К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 11, 207, 1975.
25. H. *Arp*, *Scientific American*, 208, 71, 1963.