

*А.Г.ПАРХОМОВ*

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ДВИЖЕНИЕ  
СКРЫТОЙ МАТЕРИИ**

Москва  
2004

УДК 521.1+523.161+539.123

Пархомов А.Г. Распределение и движение скрытой материи. М., 2004. Изд. второе, испр. и доп. 40 с., 16 илл., библи. 54 сс.

Рассмотрено движение частиц скрытой материи (ЧСМ) в гравитационных полях. Рассчитаны спектральное, угловое и плотностное распределения ЧСМ в Галактике. Дано описание основных свойств оболочек ЧСМ около Солнца и Земли. Показано, что в результате фокусировки в гравитационных полях звезд, черных дыр, планет плотность потока ЧСМ весьма существенно возрастает, в результате чего со стороны фокусирующих объектов на Землю приходят остронаправленные потоки ЧСМ. Приведены данные о распределении на небесной сфере наиболее интенсивных источников ЧСМ. Указано на соответствие сделанных расчетов результатам астрономических наблюдений Н.А.Козырева и других исследователей.

*Parkhomov A.G.*

#### DARK MATTER DISTRIBUTION AND MOTION

This work considers dark matter particles (DMP) motion in gravitational fields. Velocity, angle and density distributions of DMP in Galaxy are computed. Descriptions of basic properties DMP envelopes around the Sun and the Earth are given. It is shown, that focusation taking place in gravitational fieldes of stares, black holes and planets results in considerable increase of DMP flow. Owing to gravitational focusation sharpdirected DMP flows riaches the Earth. Dates about placing basic DMP sources are cited. Consense of adduced data with the N.A.Kozirev astronomic observations is noted.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ В ЦЕНТРАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ .....	4
2. НЕЙТРИНОСФЕРЫ.....	6
2.1. Нейтриносфера Земли.....	7
2.2. Нейтриносфера Солнца .....	7
2.3. Нейтриносфера Галактики. ....	8
2.3.1. Обзор известных сведений о строении Галактики .....	8
2.3.2. Наблюдательные данные о скрытой материи галактик и скоплений галактик. Современное их понимание.....	10
2.3.3. Характер сил, действующих на частицы скрытой материи.....	11
2.3.4. Зависимость плотности скрытой материи и гравитационного поля от расстояния до центра Галактики.....	12
2.3.5. Особенности движения частиц скрытой материи в Галактике.....	13
2.3.6. Спектр скоростей движения частиц скрытой материи Галактики.....	14
2.3.7. Угловое распределение потока частиц скрытой материи с учетом движения Солнечной системы .....	16
2.4. Система большого числа медленных слабодействующих частиц в гравитационном поле.....	18
3. ГРАВИТАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА ПОТОКА ЧСМ.....	19
3.1. Гравитационная фокусировка рассеянного потока частиц.....	19
3.2. Фокусировка частиц солнечной нейтриносферы планетами.....	24
3.3. Воздействие центров гравитации на наклонные мононаправленные потоки ЧСМ.....	28
3.4. Гравитационная фокусировка движущимися объектами.....	32
4. ВИД НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ В ПОТОКАХ ЧСМ.....	34
4.1. Внегалактические потоки.....	34
4.2. Объекты Галактики.....	34
4.3. Объекты Солнечной системы.....	34
4.4. Нейтриносфера Земли.....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	35
ЛИТЕРАТУРА.....	37
ДОПОЛНЕНИЯ И ЗАМЕЧАНИЯ.....	39

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта публикация с небольшими изменениями воспроизводит работу «Распределение и движение частиц скрытой материи», вышедшую в 1992 г. В особую главу выделено рассмотрение гравитационной фокусировки *движущимися* объектами, поскольку именно такие объекты создают эффекты, дающие интригующую иллюзию мгновенного распространения сигналов. Дополнения и комментарии, связанные с исследованиями последних лет, представлены в виде сносок в конце текста.

За истекшие 12 лет получено немало важных научных результатов, касающихся затронутой темы. Получены убедительные доказательства многого из того, что тогда было лишь гипотезами: экспериментально обнаружены нейтринные осцилляции, доказано наличие у нейтрино массы покоя, черные дыры стали обычным объектом астрономических наблюдений, исследование гравилинзирования света звездами и галактиками стало заурядной процедурой. Но ничего такого, что потребовало бы существенной переделки материала 12-летней давности, не обнаружено. Результаты же наблюдений [42-44, 49-52] вполне соответствуют расчетам, сделанным в предлагаемой вниманию читателей работе. Обнаруженные весьма значительные изменения скорости счета бета частиц, испускаемых источником, расположенным в фокусе сканирующую небесную сферу телескопа-рефлектора [51,52], показывают не только мировоззренческое, но и возможное практическое значение исследований космического вещества, «скрытость» которого начинает проясняться.

## ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные астрономические исследования, работы в области астрофизики, космологии, физики элементарных частиц [1-13] привели к выводу о наличии во Вселенной огромных масс вещества, которое не обнаруживается непосредственно при наблюдении астрономическими инструментами. Предполагают, что это невидимое вещество ("скрытая /темная/ материя") состоит из нейтрино (а также, возможно, других слабо взаимодействующих частиц), имеющих массу покоя. Скорость их движения достаточно низка для того, чтобы они были захвачены гравитационными полями скоплений галактик, отдельных галактик, звезд и планет.

Настоящая работа посвящена теоретическому рассмотрению влияния гравитации космических объектов на потоки частиц, образующих скрытую массу (ЧСМ): фокусировке, рассеянию, образованию около небесных тел нейтриносфер - оболочек из ЧСМ, движущихся по различным орбитам. Показано, что ЧСМ могут образовывать плотные остронаправленные потоки. Соответствие полученных расчётных данных результатам астрономических наблюдений космического излучения неэлектромагнитной природы по методу Н.А.Козырева [35-39,53] даёт основание для предположения о том, что это излучение является потоком ЧСМ.

### 1. ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ В ЦЕНТРАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОМ ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

Гравитационное поле, в котором происходит движение ЧСМ, формируется множеством небесных тел, которые, к тому же, непрерывно изменяют взаимное положение. Поэтому точное решение задачи о движении частиц является чрезвычайно сложной проблемой. Однако, в ряде случаев можно пренебречь такими факторами, как гравитация удалённых небесных тел и отступление от зависимости

$$F = GmM/r^2, \quad (1.1)$$

где  $F$  - сила притяжения между частицей и небесным телом;

$m$  - масса частицы;

$M$  - масса небесного тела;

$r$  - расстояние между частицей и центром небесного тела;

$G=6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / \text{кг} \text{ с}^2$  - гравитационная постоянная.

Такой упрощённый подход можно применять, например, для описания орбитального движения частиц около Земли с апогеями до 200-300 тыс.км, движения вокруг Солнца, процессов гравитационной фокусировки потока частиц небесными телами.

Решение задачи о движении тел в центрально-симметричном гравитационном поле, зависящем от расстояния по закону (1.1) (задача Кеплера), можно найти, например, в [21].

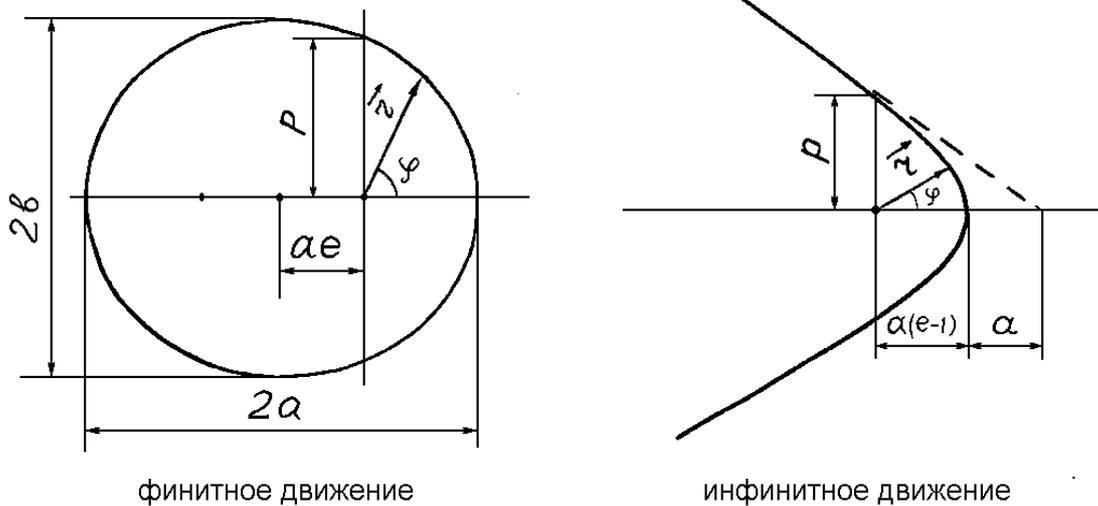
В центральном поле момент количества движения  $L$  частицы относительно центра поля сохраняется, а траектория частицы лежит в плоскости, к которой перпендикулярен момент. Для описания движения частицы введем полярную систему координат  $[r, \varphi]$  (рис. 1.1), лежащую в этой плоскости, и начало которой помещено в центр поля (т.е. в центр сферически симметричной массы  $M$ ).

В этих координатах закон сохранения момента имеет вид

$$L = mr^2(d\varphi/dt) = \text{const}_1$$

а закон сохранения энергии –

$$E_0 = (m/2)[(dr/dt)^2 + r^2(d\varphi/dt)^2 - GmM/r] = \text{const}_2 .$$



**Рис 1.1.** Траектории движения в центрально-симметричном гравитационном поле

Форма траектории определяется следующим образом

$$\varphi = \arccos \left[ \frac{\frac{L}{r} - \frac{Gm^2M}{L}}{\left(2mE_0 + \frac{G^2m^4M^2}{L^2}\right)^{1/2}} \right] + \varphi_0 \quad (1.2)$$

где  $\varphi_0$  определяется начальными условиями.

Если ввести обозначения  $p = L^2/Gm^2M$  ("параметр") и  $e = (1 + 2E_0L^2/G^2m^3M^2)^{1/2}$  (эксцентриситет), то форму траектории можно представить в виде

$$r(\varphi) = p/[1 + e \cos(\varphi - \varphi_0)] \quad (1.3)$$

Траектория вида (1.3) представляет собой:

1. гиперболу, если  $e > 1$  или  $E_0 > 0$ ,
2. параболу, если  $e = 1$  или  $E_0 = 0$ ,
3. эллипс, если  $e < 1$  или  $-G^2m^3M^2/2L^2 < E_0 < 0$ ,
4. окружность, если  $e = 0$  или  $E_0 = -G^2m^3M^2/2L^2$

Значения, при которых  $E_0 = -GmM/r + L^2/2mr^2$ , определяют границу области движения по расстоянию от центра, а точки, в которых  $dr/dt=0$ , являются точками поворота.

Тип траектории частицы зависит от начальных условий. Если она налетает на силовой центр из бесконечности и момент  $L$  относительно этого центра не равен нулю, то частица не может быть "захвачена" гравитационным полем и, обогнув центр, уйдет опять на бесконечно большое расстояние. Минимальное расстояние, на которое приближается частица к центру,  $r_{min}=p/(e+1)$ . Движение происходит по параболе (если скорость на бесконечности равна нулю) или по гиперболе.

Если  $E<0$ , частица захвачена гравитационным полем и движение её происходит по эллипсу или по окружности, причём центр гравитации находится в одном из фокусов эллипса или в центре окружности. Большая  $a$  и малая  $b$  полуоси эллипса:

$$a = p/(1-e^2) \tag{1.4}$$

$$b = p/(1-e^2)^{1/2}$$

Наименьшее и наибольшее расстояния до фокуса:

$$r_{min} = p/(1-e) = a(1-e) \tag{1.5}$$

$$r_{max} = p/(1+e) = a(1+e)$$

Начальные условия удобно задавать скоростью движения частицы при минимальном расстоянии до центра гравитации  $V_0$  [20]. При  $V_{01} = (GM/r_{min})^{1/2}$  частица движется по окружности. При  $(GM/r_{min})^{1/2} < V < (2GM/r_{min})^{1/2}$  частица движется по эллипсу, при  $V_{02} = (2GM/r_{min})^{1/2}$  движение происходит по параболе, а при  $V_0 > (2GM/r_{min})^{1/2}$  - по гиперболе.

Скорость частицы  $V$  в любой точке орбиты можно найти, воспользовавшись соотношением

$$V^2 = 2GM/r + h \tag{1.6}$$

где  $h$  - постоянная для данной орбиты величина,

$h<0$  для эллиптического движения,

$h=0$  для параболического движения,

$h>0$  для движения по гиперболе.

Между периодом обращения  $T_0$  частицы, большой полуосью орбиты  $a$  и массой центра гравитации  $M$  существует важная зависимость

$$T_0^2 = 4\pi^2 a^3 / GM \tag{1.7}$$

Отметим ещё одно свойство орбитального движения: большая полуось эллипса зависит только от энергии (но не от момента) частицы [17, с.50]. Так как масса ЧСМ очень мала по сравнению с массой центров рассеяния (например, масса электронного нейтрино меньше массы самой легкой частицы вещества - электрона по крайней мере на 4 порядка), при рассеянии ЧСМ в веществе её энергия не меняется, а меняется лишь направление движения (момент). Поэтому рассеяние приводит к изменению  $p$ ,  $e$  и ориентации орбиты в пространстве, но не может изменить периода обращения  $T_0$ . Частицы, наблюдаемые у поверхности Земли, неизбежно испытывают рассеяние в атмосфере, а также в земных недрах. Пролетев вблизи поверхности Земли, частица продолжает орбитальное движение, но уже по другой орбите, имеющей, однако, сохранившийся период обращения  $T_0$ . Это обстоятельство имеет существенное значение для расчётов потока частиц нейтриносферы Земли.

## 2. НЕЙТРИНОСФЕРЫ

Нейтриносферами мы будем называть оболочки небесных тел, состоящие из огромного числа ЧСМ, движущихся вокруг них по различным орбитам. Понятно, что термин "нейтриносфера" (уже применявшийся в работах [14-19,23-27]) небезупречен, хотя бы потому, что в её состав, помимо нейтрино, могут входить и другие слабовзаимодействующие частицы с массой покоя. Но его применение оправдывается лаконичностью и аналогичностью таким устоявшимся терминам, как "атмосфера", "магнитосфера" и т.п., несущим в себе смысл соотнесения с каким-либо небесным телом.

## 2.1. Нейтриносфера Земли

У поверхности Земли, как известно, круговая ("первая космическая") скорость  $V_{01} = 7905$  м/с, а параболическая ("вторая космическая") скорость –  $V_{02} = 11180$  м/с. Понятно, что частицы нейтриносферы Земли, движущиеся по различным орбитам, могут иметь у поверхности Земли скорость в пределах от  $V_{01}$  до  $V_{02}$ .<sup>1)</sup>

Частицы с такими скоростями действительно обнаружены [14-19], причём преимущественно регистрируются частицы со скоростями, близкими к границам допустимого интервала - около 7,9 км/с и около 11 км/с.<sup>2)</sup> Большая плотность потока частиц, имеющих скорость около 11 км/с, связана с тем, что они приходят из обширного пространства ( $10^5 \text{ км} < r < 10^6 \text{ км}$ ). Возрастание же числа регистрируемых частиц со скоростью, близкой к круговой, можно объяснить тем, что хотя их полное число может быть относительно небольшим, но они, в отличие от частиц, имеющих вытянутые орбиты, всё время находятся около самой поверхности Земли, в результате чего вероятность их регистрации существенно возрастает. У частиц с промежуточными скоростями лишь незначительная часть орбит проходит вблизи поверхности Земли. Вместе с тем, область пространства, занимаемая их орбитами, относительно невелика, а потому и невелик вклад таких частиц в суммарный поток.

Практическое значение имеет расчёт закономерностей изменения потока частиц нейтриносферы вблизи поверхности Земли. Такой расчёт, как уже было указано, требует учёта рассеяния частиц в атмосфере и земных недрах, приводящего к резкому изменению параметров орбит, а также влияния гравитационных полей Луны и Солнца для орбит с апогеями, превышающими 200000 км. Это делает расчёт параметров и динамики нейтриносферы Земли весьма сложной задачей.

Исходя из общих соображений, а также из аналогии с движением комет и астероидов [28], можно сделать заключение о том, что ритмичные изменения взаимного положения Земли, Луны, Солнца и связанные с этим изменения гравитационного поля в околоземном пространстве должны вызывать такие же ритмические изменения параметров нейтриносферы Земли. Помимо ритмов, соответствующих периоду обращения Луны (сидерический лунный месяц - 27,3 суток, а также близкий к сидерическому аномалистический месяц) и периоду изменения взаимного положения Луны, Земли и Солнца (синодический лунный месяц 29,5 суток), должны наблюдаться ритмы, отличающиеся от этих периодов в  $m/n$  раз, где  $m$  и  $n$  - небольшие целые числа (1,2,3...).

Наиболее сильному влиянию Луны должны подвергаться орбиты, апогеи которых расположены вблизи лунной орбиты. Из всей совокупности таких орбит нас интересуют орбиты, перигеи которых проходят около поверхности Земли. Большая полуось таких орбит примерно в 2 раза меньше большой полуоси лунной орбиты, поэтому период обращения, в соответствии с (1.7), меньше лунного приблизительно в 3 раза. Отсюда следует, что один из наиболее характерных ритмов земной нейтриносферы должен иметь периодичность 9-10 суток.

Область преобладания земной гравитации над солнечной простирается приблизительно до расстояния 900 тыс. км. Здесь находится граница земной нейтриносферы. Частицы, имеющие апогеи вблизи границы нейтриносферы, ввиду слабости земной гравитации, подвергаются значительному влиянию не только со стороны Луны и Солнца, но и планет. Перемещаясь из удалённых участков орбит к перигеям, такие частицы переносят к поверхности Земли, в биосферу, информацию об изменении взаимного положения планет в Солнечной системе.

## 2.2. Нейтриносфера Солнца

Помимо частиц нейтриносферы Земли, земную поверхность достигают также частицы нейтриносферы Солнца. Из всей совокупности частиц солнечной нейтриносферы на Земле могут быть зарегистрированы лишь те, орбиты которых пересекают орбиту Земли. В соответствии с соотношением 1.6 эти частицы при пересечении орбиты Земли могут иметь скорости  $V$ , лежащие в пределах

$$2,9 \text{ км/с} < V < 42 \text{ км/с}, \quad (2.1)$$

В отличие от нейтриносферы Земли, где  $r_{min}$  ограничивается земной поверхностью, здесь нет таких ограничений. Поэтому скорости частиц могут быть и ниже  $V_{01}$ , вплоть до почти нулевых, которыми обладают частицы с перигелиями вблизи Солнца и с афелиями касающимися орбиты Земли. Скорость встречи таких частиц с Землёй равна скорости орбитального движения Земли ( $\sim 30$

км/с). А полный интервал возможных скоростей встречи - от 11,2 км/с (если частицы движутся по орбитам, близким к земной, вдоль направления движения Земли с учётом ускорения их гравитационным полем Земли) до ~72 км/с (если частицы в перигелии движутся навстречу Земле и приходят из отдалённых областей Солнечной Системы).

Таким образом, скорость частиц в компоненте потока ЧСМ, связанной с нейтриносферой Солнца, должна измеряться десятками км/с. Частицы, имеющие такие скорости, были обнаружены экспериментально [16-18]. Но имеющиеся экспериментальные данные пока слишком скудны для того, чтобы делать на их основе какие-либо заключения о спектрально-угловых распределениях частиц солнечной нейтриносферы, регистрируемых на Земле. Можно предположить, что преобладают две компоненты. Одна из них образуется частицами, имеющими афелии вблизи орбиты Земли, а перигелии - вблизи Солнца. Из-за низкой скорости движения таких частиц вблизи афелиев их концентрация намного выше концентрации частиц с другими скоростями. При своем орбитальном движении Земля встречается с этими частицами со скоростью около 29,8 км/с. Ускорение гравитационным полем Земли приводит к возрастанию скорости у поверхности Земли до 31,8 км/с. Наблюдаемое с Земли направление движения частиц этой компоненты лежит в плоскости эклиптики и меняется вслед за изменением направления на Солнце, отставая на  $90^{\circ}$ .

Вторая компонента образуется из частиц, афелии которых находятся на расстояниях, значительно превышающих радиус орбиты Земли. Эти частицы движутся по сильно вытянутым орбитам и по мере приближения к перигелию плотность их потока резко возрастает: через относительно небольшую область пространства пролетают частицы, орбиты которых могут простираются до расстояний, сравнимых с расстоянием до ближайших звезд. Скорость этих частиц вблизи орбиты Земли около 42 км/с, направление их движения близко к радиальному, скорость встречи с поверхностью Земли с учетом ее орбитального движения и ускорения в земном гравитационном поле - 52,7 км/с. В результате того, что Земля движется по орбите со скоростью 29,8 км/с, перпендикулярно направлению движения частиц, земной наблюдатель воспринимает поток частиц этой компоненты отклоненными в сторону движения Земли на угол  $35,3^{\circ}$ . На небесной сфере поток этих частиц будет наблюдаться в виде двух пятен, расположенных вблизи плоскости эклиптики и отстающих от хода Солнца на  $35,3^{\circ}$  (частицы, движущиеся от Солнца) и на  $144,7^{\circ}$  (частицы, движущиеся к Солнцу).<sup>3)</sup>

Подобно тому, как нейтриносфера Земли подвергается значительному воздействию гравитации Луны и Солнца, на нейтриносферу Солнца влияют планеты Солнечной системы, в первую очередь - Юпитер и Сатурн. Можно предположить, что ритмические изменения в солнечной нейтриносфере, связанные с изменением взаимного положения планет, являются фактором, синхронизирующим солнечную активность с ритмом изменения положения центра масс Солнечной системы относительно Солнца [15,27,29,30,43,44]. До сих пор отчетливая корреляция между солнечной активностью и положением центра масс Солнечной системы удовлетворительного объяснения не имела.<sup>4)</sup>

### **2.3. Нейтриносфера Галактики**

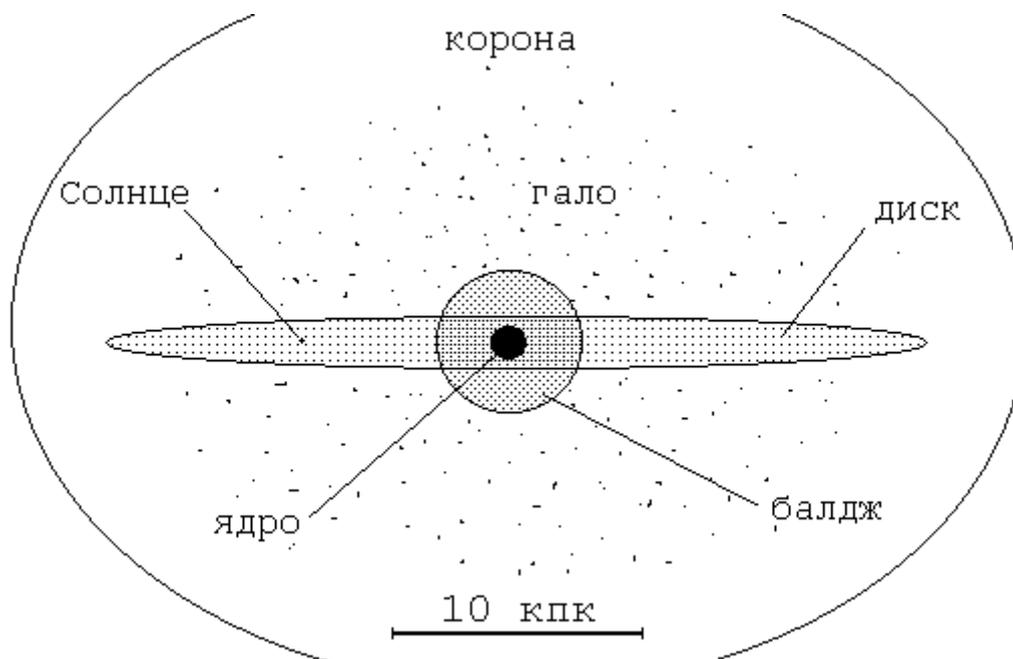
#### **2.3.1. Обзор известных сведений о строении Галактики**

Галактика [1,с.62-75] состоит приблизительно из  $2 \cdot 10^{11}$  звезд; в ней также содержится значительное количество газа и пыли. Звезды Галактики образуют в пространстве сложную, но достаточно правильную фигуру, которая выглядит как правильный диск с шарообразным утолщением в центре, получившем название "балдж" (см. рис. 2.1). Радиус диска составляет около 15 *кпк*, балджа - около 4 *кпк*. Диск с балджем окружен звездным гало (сферической подсистемой), имеющей радиус около 20 *кпк*. В центральной области Галактики находится ядро с высокой плотностью звезд, имеющее радиус несколько *пк*.<sup>5)</sup>

От центральной области к периферии диска отходят спиральные рукава, в которых преимущественно концентрируются наиболее яркие звезды Галактики. Солнечная система находится на расстоянии около 8,5 *кпк* от центра Галактики почти в плоскости симметрии диска и движется по орбите, близкой к круговой со скоростью около 220 км/с.

Масса звезд в пределах сферического объема радиусом ~15 *кпк* приблизительно равна  $10^{11} M_{\odot}$  (масс Солнца), масса газа и пыли составляет несколько процентов от массы звезд. Масса диска -  $9 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ , масса гало -  $1,2 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ , масса балджа -  $4 \cdot 10^9 M_{\odot}$ , масса ядра -  $10^8 M_{\odot}$ . Большая часть массы ( $\sim 10^{12} M_{\odot}$ ) находится в короне - протяженной сфероидальной области за пределами гало. Корона

состоит из вещества, не наблюдаемого современными астрономическими приборами, которое получило название "скрытой массы". Наличие скрытой массы вытекает из анализа движения видимых объектов в гравитационном поле Галактики.



**Рис 2.1.** Схема строения Галактики (вид "с ребра")

Пространственная концентрация звезд в галактической окрестности Солнца соответствует примерно 0,1 звезде в кубическом парсеке. В центре Галактики концентрация звезд около  $10^6$  звезд/пк<sup>3</sup>.

Диапазон возрастов звезд очень велик. Самый большой возраст  $\sim 1,5 \cdot 10^{10}$  лет. Старые звезды образуют гало. Среди молодых звезд обнаружены звезды с возрастом  $\sim 10^5$  лет; звездообразование продолжается и в настоящее время. Молодые звезды встречаются только в диске. Преобладающее большинство звезд диска имеют промежуточный возраст, порядка нескольких миллиардов лет. К числу этих звезд относится и Солнце.

Орбиты старых и молодых звезд имеют различный характер. Старые звезды движутся в Галактике по сильно вытянутым орбитам (эксцентриситет  $e > 0,5$ ), молодые же вращаются вокруг центра по орбитам, близким к круговым ( $e < 0,2 \dots 0,3$ ). Так же движутся газ и пыль. В совокупности молодые звезды, газ и пыль образуют вращающийся с большой скоростью диск Галактики, тогда как гало старых звезд почти не вращается. При этом диск как бы вложен в подсистему старых звезд. В Галактике (за исключением центра) отдельные звезды практически не взаимодействуют друг с другом. Поэтому между подсистемами нет обмена моментом вращения и оказывается возможным такое своеобразное состояние, когда диск вращается внутри почти неподвижного гало.

### 2.3.2. Наблюдательные данные о скрытой массе галактик и скоплений галактик. Современное их понимание

Первые результаты, свидетельствующие о наличии во Вселенной огромных масс вещества, не наблюдаемого астрономическими инструментами, были получены в 1933 г. [40]. Ф.Цвикки обнаружил, что галактики в скоплениях движутся так, как будто масса, формирующая гравитационное поле, значительно превышает сумму масс всех входящих в скопление отдельных галактик.

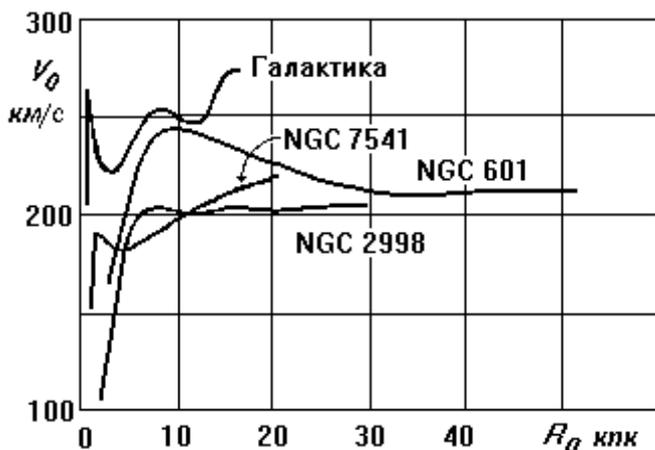
Этот результат был малоизвестным парадоксом до тех пор, пока не были накоплены наблюдательные данные о скоростях движения карликовых галактик-спутников [2, 3] и облаков газа [4, с.88], вращающихся далеко за пределами звездных дисков галактик (рис.2.2). Оказалось, что скорость вращения  $V_0$  не падает с расстоянием от центра галактики  $R_0$ , а остается примерно постоянной до расстояния в несколько десятков *кпк* от центров галактик, в то время как практически все звезды в галактиках расположены на удалении до 10 *кпк*.

Из закона всемирного тяготения следует, что скорость вращения тел в гравитационном поле

$$V_0 = M(R_0)G/R_0^{1/2} \quad (2.2)$$

где  $M(R_0)$  - масса вещества в сферическом объеме радиуса  $R_0$  ;

$G$  - гравитационная постоянная.



**Рис 2.2.** Зависимость скорости вращения  $V_0$  от расстояния до центра некоторых галактик [1,4]

Слабая зависимость  $V_0$  от  $R_0$  свидетельствует о том, что масса галактики не сосредоточена в области расположения звезд, а возрастает пропорционально расстоянию от центра до нескольких "звездных" радиусов. Отсюда следует, что полная масса галактик не менее чем в несколько раз превышает суммарную массу звезд и газопылевых образований.

Существуют доказательства того, что невидимая масса распределена в сферическом объеме [4, с.89-90].

Присутствующее в галактиках и скоплениях галактик вещество, не наблюдаемое астрономическими инструментами и проявляющее себя только гравитационным воздействием на видимые небесные тела, получило название "скрытая масса" (СМ) (*dark matter*).<sup>6)</sup>

Природа СМ является предметом широкой дискуссии [4-8,22]. В настоящее время неизвестны объекты из "обычного" вещества (состоящего из электронов и нуклонов), которые могли бы составить СМ.

Это не может быть водород, или какой-либо другой газ, так как его температура должна быть не менее 10К, иначе он был бы сгруппирован в центрах галактик. Газ с такой температурой действительно обнаружен, но его на 2-3 порядка меньше, чем СМ. Такие труднонаблюдаемые объекты, как холодные маломассивные звезды, белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры, также не могут дать значительный вклад в СМ [4, с.95; 12, с.172].

Препятствия принципиального характера, возникающие при попытках связать СМ с электронно-нуклонным ("барионным") веществом дают основания для предположения о небарионном характере СМ.

Наиболее разработанной является идея о том, что СМ состоит из нейтрино, имеющих массу покоя [8]. После получения экспериментальных указаний на наличие у электронного нейтрино массы покоя  $\sim 30$  эВ [9] <sup>7)</sup> развиваются теоретические исследования, связывающие СМ с реликтовыми нейтрино, которые образовались на первых стадиях формирования Вселенной [10,11]. Помимо обычных "легких" нейтрино рассматриваются и другие слабовзаимодействующие частицы: тяжелые дираковские нейтрино, аксионы, нейтралино (фотино, гравитино и др.), объекты "зеркального" или "теневого" мира [4,6,7,13,47,48].

Предпринимаются попытки экспериментально зарегистрировать частицы, входящие в состав СМ [6,7,22]. Экспериментальные результаты, изложенные в [14-19,42], позволяют сделать вывод о том, что в СМ присутствуют по крайней мере два типа частиц, причем один из них, по-видимому, обладает свойствами электронного нейтрино.

Подведем итоги вышеизложенному краткому обзору. Исследования СМ находятся на начальном этапе, и в знаниях о ней есть немало пробелов. Но ряд свойств СМ установлен уже достаточно уверенно:

- СМ в несколько раз (или даже на порядок) превосходит массу звезд в галактиках и массу галактик в скоплениях галактик;
- СМ галактик распределена в сфероидальной области радиусом в несколько десятков *кпк*;
- в пределах этой области величина СМ, заключенной в сфере радиуса  $R_0$ , примерно пропорциональна  $R_0$ .

Этих надежно установленных свойств СМ вполне достаточно для того, чтобы сделать целый ряд не только качественных оценок, но и численных расчетов пространственных и угловых распределений СМ, спектров скоростей частиц, составляющих СМ.

### 2.3.3. Характер сил, действующих на частицы скрытой массы

Частицы скрытой массы не вступают в электромагнитные и сильные взаимодействия (или вступают в них крайне малоинтенсивно), иначе эффекты, связанные с взаимодействием их с веществом, были бы непосредственно наблюдаемыми. Третий тип взаимодействия - слабое - является не только малоинтенсивным, но и короткодействующим. Оно проявляется на расстоянии  $\sim 10^{-16}$  см, т.е. только на субъядерном уровне. Поэтому основным видом взаимодействия СМ, проявляющимся в космических масштабах, является гравитационное.

При достаточно высокой концентрации ЧСМ может проявляться квантово-механическое обменное взаимодействие, приводящее к снижению концентрации частиц с полуцелым спином - фермионов и повышению концентрации частиц с целым спином - бозонов (см. раздел 2.4). Это взаимодействие начинает проявляться при расстояниях между частицами

$$\lambda \sim h/mV \quad (2.3)$$

где  $\lambda$  - длина волны де-Бройля;

$h$  - постоянная планка;

$m$  - масса частицы;

$V$  - скорость частицы.

Для частицы с массой  $1\text{эВ}$  ( $1,8 \cdot 10^{-36}$  кг) при скорости  $\sim 3 \cdot 10^5$  м/с (характерная скорость движения объектов в гравитационном поле Галактики)  $\lambda \sim 1$  мм. Такое расстояние между частицами достигается при концентрации около  $1000$  частиц/см<sup>3</sup>. При таких и более высоких концентрациях проявляются эффекты обменного взаимодействия. Возможно, что именно обменное взаимодействие является фактором, ограничивающим вклад частиц определенного типа в СМ. Но надежный расчет эффектов обменного взаимодействия станет возможным только после того, как будут получены данные о спектре масс и спинах ЧСМ, о распространенности частиц того или иного сорта.

Приведенные ниже результаты, расчет которых подробно изложен в работе [31], получены без учета обменных эффектов. Каждая ЧСМ рассматривалась как небольшое небесное тело, взаимодействующее с совокупным гравитационным полем, создаваемым всей СМ и всем электронно-нуклонным веществом, содержащимся в Галактике.

Близкое согласие полученных результатов с результатами астрономических наблюдений показывает приемлемость принятой модели.

### 2.3.4. Зависимость плотности скрытой массы и гравитационного поля от расстояния до центра Галактики

Как было указано в разделе 2.3.2, масса Галактики  $M(r)$ , находящаяся в сфере радиусом  $r$ , возрастает пропорционально  $r$ :

$$M(r) = M_e r/R_e, \quad (2.4)$$

где  $M_e$  - масса всей Галактики,

$R_e$  - расстояние от центра Галактики до ее границы.

Масса  $M(r)$  создает гравитационное поле, действующее на тело массой  $m$  с силой  $F$ , направленной к центру Галактики:

$$F = G M(r)m/r^2 = G M_c m/rR_c = K m/r, \quad (2.5)$$

где  $G$ - гравитационная постоянная,

$K = G M_c/R_c$  - константа.

Сферически симметричный слой вещества, расположенный вне сферы радиуса  $r$ , дает результирующую сумму гравитационного притяжения, равную нулю.

Напряженность гравитационного поля Галактики (ускорение свободного падения)

$$g = F/m = G M_c /rR_c = K/r \quad (2.6)$$

в отличие от напряженности поля в традиционных задачах небесной механики кеплеровского типа спадает пропорционально первой, а не второй степени расстояния от центра.

Рассмотрим тело, движущееся вокруг центра Галактики по круговой орбите радиуса  $R_0$ . Скорость его движения  $V_0$  определяется из соотношения  $g = K/R_0 = V_0^2/R_0$ , откуда следует, что:

$$K = V_0^2. \quad (2.7)$$

Как было упомянуто, астрономические наблюдения показывают слабую зависимость  $V_0$  от  $R_0$  (см. рис. 2.2). При изменении  $R_0$  от 1 *кпк* до 16 *кпк*  $V_0$  меняется в пределах 210...280 *км/с*; при изменении  $R_0$  от 6 до 12 *кпк* (в этой области расположено Солнце)  $V_0$  меняется от 240 до 260 *км/с* [1, с.70] или от 210 до 230 *км/с* [26]. В дальнейшем мы будем считать  $V_0$  важной константой, характеризующей многие свойства Галактики и равной  $2,5 \cdot 10^5$  *м/с* с погрешностью  $\sim 10\%$ . Константа  $K = 6,25 \cdot 10^{10}$  *м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>* эквивалентна  $V_0$ .

В соответствии с (2.5)

$$M_c = KR_c/G = V_0^2 R_c/G. \quad (2.8)$$

$M_c$  и  $R_c$  известны пока с возможной ошибкой в сотни процентов ( $M_c \sim 10^{12} M_*$ ;  $R_c \sim 50$  *кпк*). Чтобы оценить связанную с этим неопределенность, приведенные ниже результаты получены для  $R_c$  величиной 20, 30, 50 и 100 *кпк*. Для этих значений  $R_c$ , согласно (2.8),  $M_c$  соответственно равны  $2,9 \cdot 10^{11}$ ,  $4,4 \cdot 10^{11}$ ,  $7 \cdot 10^{11}$  и  $1,4 \cdot 10^{12} M_*$ .

Зависимость средней плотности вещества Галактики от расстояния до центра определяется формулой [31]:

$$\rho = V_0^2/4\pi Gr^2 \quad (2.9)$$

Примечательно, что средняя плотность вещества Галактики зависит только от расстояния до центра, но не зависит от полной массы Галактики и её размеров.

В районе расположения Солнца ( $r = 8,5$  *кпк*)  $\rho = 1,05 \cdot 10^{-21}$  *кг/м<sup>3</sup>*. Сопоставим эту цифру с плотностью барионного вещества. В районе Солнца плотность звездного вещества (на долю которого приходится почти вся барионная материя) по данным [1, с.70] составляет  $\sim 0,1 M_*/\text{пк}^3 = 6,8 \cdot 10^{-21}$  *кг/м<sup>3</sup>*. Большинство звезд сжато в диск толщиной  $h \sim 1$  *кпк*. Если бы звезды были равномерно распределены по сфере радиуса  $R_c = 8,5$  *кпк*, их плотность снизилась бы в  $2R_c/h$  раз и составила бы  $0,4 \cdot 10^{-21}$  *кг/м<sup>3</sup>*. Сопоставление этой величины с ранее найденной суммарной плотностью звезд и СМ ( $1,05 \cdot 10^{21}$  *кг/м<sup>3</sup>*) приводит к выводу о том, что СМ и звездное вещество на расстоянии 8,5 *кпк* от центра Галактики представлены примерно в равной пропорции (на долю СМ приходится примерно  $0,6 \cdot 10^{-21}$  *кг/м<sup>3</sup>*).

Но поскольку звезды сжаты в диск, а СМ распределена сфероидально, плотность СМ в районе Солнечной системы на порядок меньше плотности звездного вещества.

Если же сопоставить плотность СМ со средней плотностью вещества в Солнечной системе, считая ее границей орбиту Плутона, получится разница в 11 порядков.

### 2.3.5. Особенности движения частиц скрытой массы в Галактике

При построении модели, описывающей движение частиц в Галактике [31], исходили из предположения о том, что ЧСМ являются "реликтовыми" частицами, образовавшимися на ранних этапах формирования Вселенной. Теория эволюции этих частиц изложена в работе [10]. Согласно этой теории, в современную эпоху реликтовые частицы типа нейтрино, имеющие массу  $m$ , должны (при отсутствии гравитационного поля) обладать хаотическим движением, характеризующимся средней квадратической скоростью

$$(V^2)_{cp}^{1/2} [м/с] = 2,0 \cdot 10^5 / m[\text{эВ}]. \quad (2.10)$$

Частицы с массой  $1 \text{ эВ}$ , в соответствии с (2.10), имеют среднеквадратичную скорость  $200 \text{ км/с}$ .

При наличии гравитационного поля движение приобретает упорядоченность: частицы движутся по орбитам, параметры которых определяются гравитационным полем, импульсами и координатами частиц.

Как уже отмечалось, движение частиц в галактическом гравитационном поле не соответствует законам Кеплера. Траектории движения не являются эллипсами, более того - они не замкнуты. Орбиты ЧСМ с каждым витком изменяют свою ориентацию в пространстве, хотя минимальные  $R_{min}$  и максимальные  $R_{max}$  расстояния до центра сохраняются [21, с.43-47].

Необходимые данные о движении частицы в центральном поле однозначно определяются видом зависимости потенциальной энергии от расстояния до центра  $r$  и двумя параметрами, характеризующими частицу, например,  $R_{max}$  и  $V_{\tau 1}$  (скорость движения перпендикулярно направлению на центр на расстоянии  $R_{max}$ ). Полю сил (2.5) соответствует потенциальная энергия

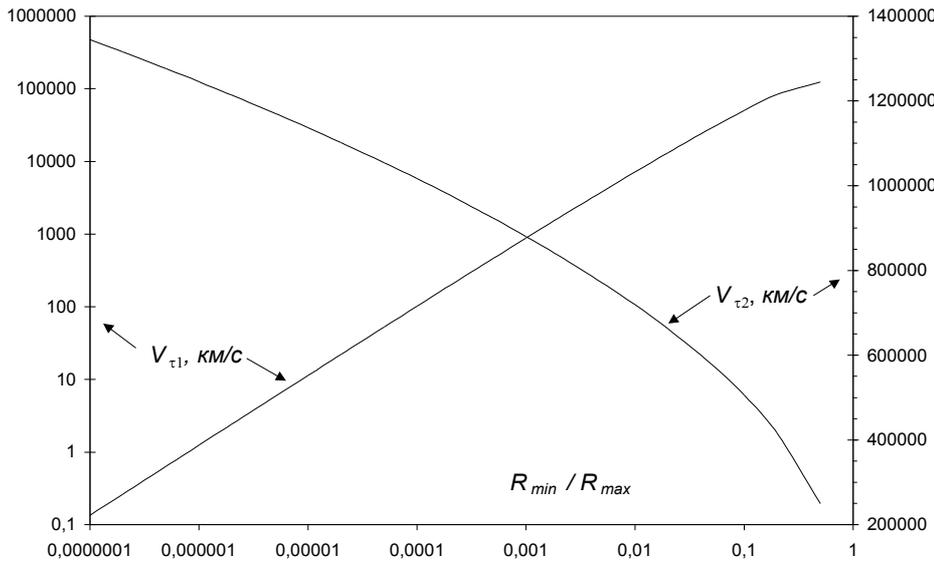
$$U = -V_0^2 m \ln(r/R_{max}) . \quad (2.11)$$

В соответствии с [21, с.45]

$$mV_{\tau 1}^2/2 = -V_0^2 m \ln(R/R_{max}) + m V_{\tau 1}^2/2 (R/R_{max})^2 , \quad (2.12)$$

где  $R$  - удаления от центра, при которых скорости радиального движения равны нулю (т.е. минимальное и максимальное удаления, "точки поворота").

Помимо тривиального решения  $R=R_{max}$ , уравнение (2.12) имеет решение  $R=R_{min}$ , зависящее от  $V_{\tau 1}$ . Эта зависимость представлена в виде графика на рис. 2.3. Там же показана зависимость от  $R_{min}/R_{max}$  скорости частицы в точке минимального удаления от центра  $V_{\tau 2} = V_{\tau 1} R_{max}/R_{min}$ .



**Рис.2.3.** Скорости частиц при максимальном  $V_{\tau 1}$  и минимальном  $V_{\tau 2}$  удалении от центра Галактики в зависимости от отношения минимального и максимального удалений.

Рассмотрим, как меняется радиальная составляющая скорости частицы при ее движении от  $R_{max}$  к  $R_{min}$ . Согласно закону Ньютона с учетом (2.5)  $md^2r/dt^2 = V_0^2 m/r$ . Решая это уравнение

относительно  $dr/dt = V_r$ , получим:

$$V_r = V_0 [2 \ln (R_{max}/r)]^{1/2} = 3,5 \cdot 10^5 [\ln (R_{max}/r)]^{1/2} \text{ [м/с]} \quad (2.13)$$

Из этой формулы следует, что радиальная составляющая скорости ЧСМ, приходящих в районы Галактики, не слишком близкие к центру или границе, довольно слабо зависит от  $R_{max}$ . Характерная радиальная скорость - несколько сотен км/с - значительно превышает тангенциальные скорости частиц с массой больше нескольких эВ (эти скорости меньше величины, определяемой соотношением 2.10). Следовательно, направление движения этих частиц мало отличается от радиального.

Из уравнения (2.13) следует, что время движения частиц между точками с радиусами  $R_1$  и  $R_2$

$$t = \frac{R_{max}}{\sqrt{2} V_0} \int_{R_{max}/R_1}^{R_{max}/R_2} \frac{dx}{x^2 \sqrt{\ln x}} = \frac{R_{max}}{\sqrt{2} V_0} \left[ X\left(\frac{R_{max}}{R_2}\right) - X\left(\frac{R_{max}}{R_1}\right) \right] \quad (2.14)$$

Значения функции

$$X(x) = \int_1^x \frac{dx}{x^2 \sqrt{\ln x}},$$

полученные методом численного интегрирования, приведены в работе [31]. При бесконечном возрастании  $x$  величина  $X(x)$  асимптотически стремится к значению 1,73.

Цикл обращения частицы состоит из почти прямолинейного движения ее от  $R_{max}$  к околоцентральной области, поворота направления ее движения на некоторый угол и обратного движения до  $R_{max}$ . Период обращения

$$T[лет] = \frac{\sqrt{2}}{V_0} R_{max} X(\infty) = 2,5 \frac{R_{max}}{V_0} \approx 1,0 \cdot 10^7 R_{max} [кпк] \quad (2.15)$$

Отступление гравитационного поля от зависимости (2.6) в центральной части Галактики не может существенно повлиять на величину  $T$  частиц, имеющих  $R_{max} > \sim 10$  кпк, так как время прохождения частицей центральной области очень мало по сравнению с величиной  $T$  независимо от вида околоцентрального поля.

Период обращения частиц с  $R_{max} = 10...50$  кпк составляет  $(1,5) \cdot 10^8$  лет. За время существования Галактики ( $\sim 10^{10}$  лет) ЧСМ совершили всего несколько десятков оборотов.

Рассмотрим теперь вероятность искажения траектории ЧСМ при прохождении ее достаточно близко к некоторой звезде. Можно подсчитать, что при типичной скорости движения ЧСМ в несколько сотен километров в секунду заметное изменение направления движения ( $\sim > 1^\circ$ ) происходит, когда частица проходит мимо типичной звезды на расстоянии  $R \sim < 3 \cdot 10^{12}$  м [21, с.49-54], то есть "сечение рассеяния" частицы звездой  $\sigma = \pi R^2 \sim 3 \cdot 10^{25}$  м<sup>2</sup>. Средняя концентрация звезд в Галактике  $n \sim 10^{-50}$  м<sup>-3</sup>, а протяженность ее  $L \sim 3 \cdot 10^{20}$  м. Исходя из этих величин, нетрудно оценить вероятность того, что траектория частицы ЧСМ при прохождении ею Галактики будет существенно искажена одной из звезд  $w = \sigma n L \sim 10^{-4}$ . Так как частицы успели совершить всего  $\sim 100$  проходов через Галактику, примерно у 1% из них траектория заметно искажена действием отдельных звезд. Эффект рассеяния ЧСМ звездами приводит к появлению компоненты потока ЧСМ с направлением движения, существенно отличным от радиального, с сильно размытым угловым распределением.

Отметим, что частным случаем влияния гравитации отдельных небесных тел на потоки ЧСМ является гравитационная фокусировка, приводящая к весьма значительному возрастанию концентрации ЧСМ в определенных областях пространства (см.гл.3).

### 2.3.6. Спектр скоростей движения частиц скрытой массы Галактики

Как было отмечено выше, движение основной части ЧСМ в Галактике (за исключением областей, близких к границе и центру) мало отличается от радиального. Поток ЧСМ, пересекающих сферу радиуса  $R_0$ , состоит из двух компонент:

- частиц, движущихся к центру из области между  $R_0$  и  $R_c$  ( $R_0 < R_{max} < R_c$ );
- частиц, движущихся от центра и имеющих точку поворота между  $R_0$  и  $R_c$ ; для этой компоненты также выполняется условие ( $R_0 < R_{max} < R_c$ )

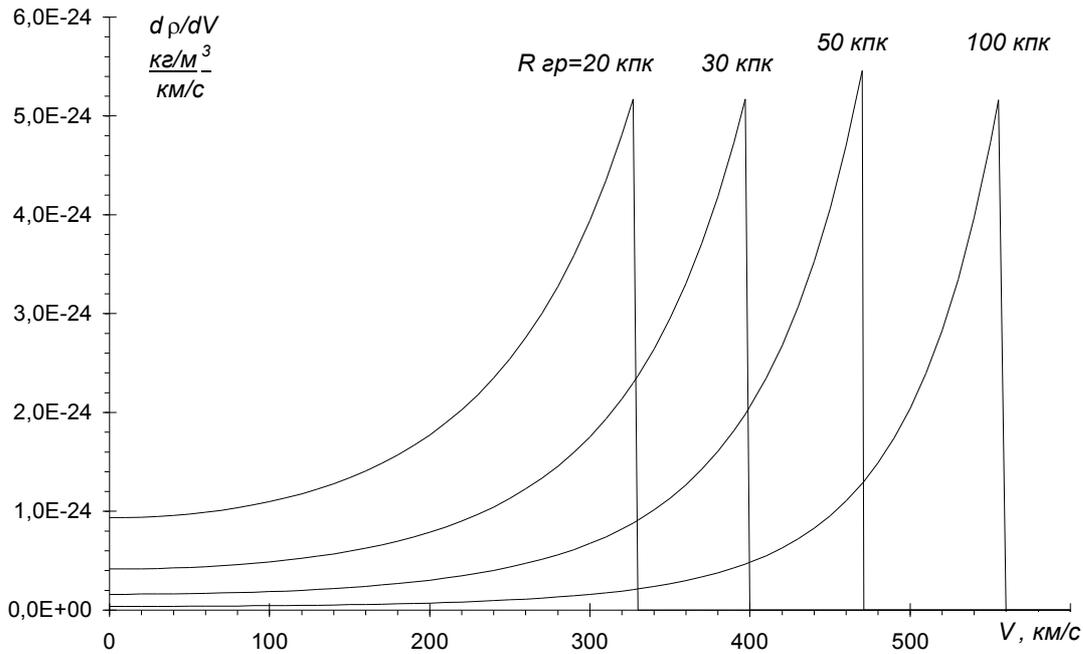
Эти две компоненты отличаются только направлением движения частиц.

Распределение массы частиц в единице объема по радиальным скоростям (которое в дальнейшем будем называть спектром скоростей ЧСМ), согласно [31], имеет вид

$$d\rho/dV = [0,096 M_\odot \exp(V^2/V_0^2)] / V_0 R_c^3 \quad \text{при } V \leq V_{cp} \quad (2.16)$$

$$d\rho/dV = 0 \quad \text{при } V \geq V_{cp},$$

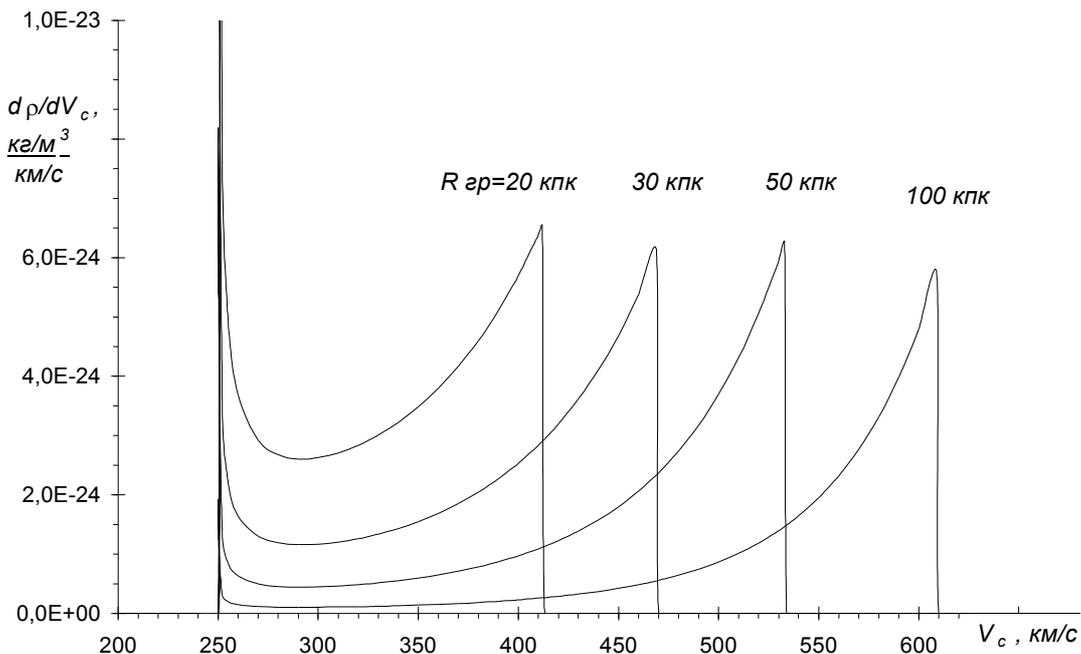
$$\text{где } V_{cp} = V_0 [2 \ln(R_c/R_0)]^{1/2}$$



**Рис 2.4.** Распределение скрытой массы Галактики по скоростям частиц в районе Солнечной системы.

В районе Солнечной системы  $R_{\odot} = 8,5$   $\text{kpc}$ ; результаты расчета спектров по формулам (2.16) при  $R_{\odot} = 8,5$   $\text{kpc}$  и  $R_z = 20, 30, 50$  и  $100$   $\text{kpc}$  приведены на рис. 2.4. Характерны острые пики в области высоких скоростей. Резкий спад спектра при скорости, равной  $V_{gp}$ , является следствием принятой в модели резкой границы короны СМ. Реальная граница, вероятно, имеет некоторую "размытость". Протяженность границы в  $10$   $\text{kpc}$  приводит к "размытости" границы спектра порядка  $50$   $\text{km/s}$ .

Практически важным является распределение скоростей ЧСМ Галактики, достигающих земного наблюдателя. В этом случае описанный выше спектр искажается движением Солнца по галактической орбите, движением Земли вокруг Солнца, вращением Земли вокруг своей оси, а также ускорением частиц в гравитационных полях Солнца и Земли. Рассмотрим подробно первый из перечисленных факторов как дающий наибольший вклад в изменение спектра.



**Рис 2.5.** Распределение скрытой массы по скоростям движения частиц в районе Солнца с учетом вращения Солнца по галактической орбите

Частицы движутся по направлениям, близким к радиальным, со скоростями  $V$ , а Солнце - по орбите, близкой к круговой, со скоростью  $V_0 = 250$  км/с. Направления движения взаимно перпендикулярны, поэтому скорость их встречи  $V_C = (V_0^2 + V^2)^{1/2}$ . Перейдя в выражении (2.16) от  $V$  к  $V_C$ , получим

$$d\rho/dV_C = \{0,096M_\odot \exp[(V_C^2/V_0^2)-1]\} / V_0 R_\odot^3 (1-V_0^2/V_C^2)^{1/2} \quad \text{при } V_0 \leq V_C \leq V_{ep}$$

$$d\rho/dV_C = 0 \quad \text{при } V_C < V_0 \text{ и } V_C > V_{ep}, \quad (2.17)$$

где  $V_{ep} = V_0 [1 + 2 \ln(R_\odot/R_0)]^{1/2}$

Спектры скоростей ЧСМ с учетом движения Солнечной системы (2.17), рассчитанные для  $R_\odot = 20, 30, 50$  и  $100$  кпк, показаны на рис. 2.5. Сопоставляя их со спектрами, показанными на рис. 2.4, отметим смещение скоростей в область более высоких значений и появление второго пика в области  $V_C \sim V_0$ .

Спектры (2.17) обрываются не только справа, но и слева. Диапазон возможных скоростей частиц, достигающих земного наблюдателя - от 250 до 500...600 км/с.

Вращение Земли по орбите вокруг Солнца приводит к периодическим смещениям спектра в сторону больших и меньших скоростей с амплитудой около 20 км/с и периодом, равным году. Аналогично, вращение Земли вокруг своей оси приводит к суточным вариациям спектра с амплитудой около 0,5 км/с. Ускорение частиц гравитационным полем Солнца приводит к увеличению скоростей на 1...2 км/с. Влияние гравитации Земли на порядок меньше.

### 2.3.7. Угловое распределение потока частиц скрытой массы с учетом движения Солнечной системы

Солнечная система движется в плоскости галактического экватора по орбите, близкой к круговой, со скоростью  $V_0 = 250$  км/с, то есть перпендикулярно направлению движения основной части ЧСМ, имеющих скорость  $V$ . Следовательно, угол встречи  $\varphi$  Солнечной системы и потока ЧСМ определяется по формуле

$$\varphi = \arctg(V_0/V) \quad (2.18)$$

Угол  $\varphi = 0$  соответствует направлению на центр Галактики, то есть  $\varphi$  - это галактическая долгота точки на небесной сфере, откуда приходит поток ЧСМ. Так как движение Солнечной системы происходит в плоскости галактического экватора, галактическая широта направления прихода потока ЧСМ близка к нулю.

Распределение потока ЧСМ по величине  $V$  дается соотношением (2.16). Переходя от переменных  $V$  к  $\varphi$  (в соответствии с (2.18)), получим распределение плотности ЧСМ в зависимости от направления их прихода к Солнечной системе

$$d\rho/d\varphi = [0,096M_\odot (1 + \text{ctg}^2\varphi) \exp(\text{ctg}^2\varphi)] / R_\odot^3 \quad \text{при } \varphi_{ep} \leq \varphi \leq \pi - \varphi_{ep}$$

$$d\rho/d\varphi = 0 \quad \text{при } \pi - \varphi_{ep} \leq \varphi \leq 2\pi + \varphi_{ep}, \quad (2.19)$$

где  $\varphi_{ep} = \arctg[2 \ln(R_\odot/R_0)]^{-1/2}$

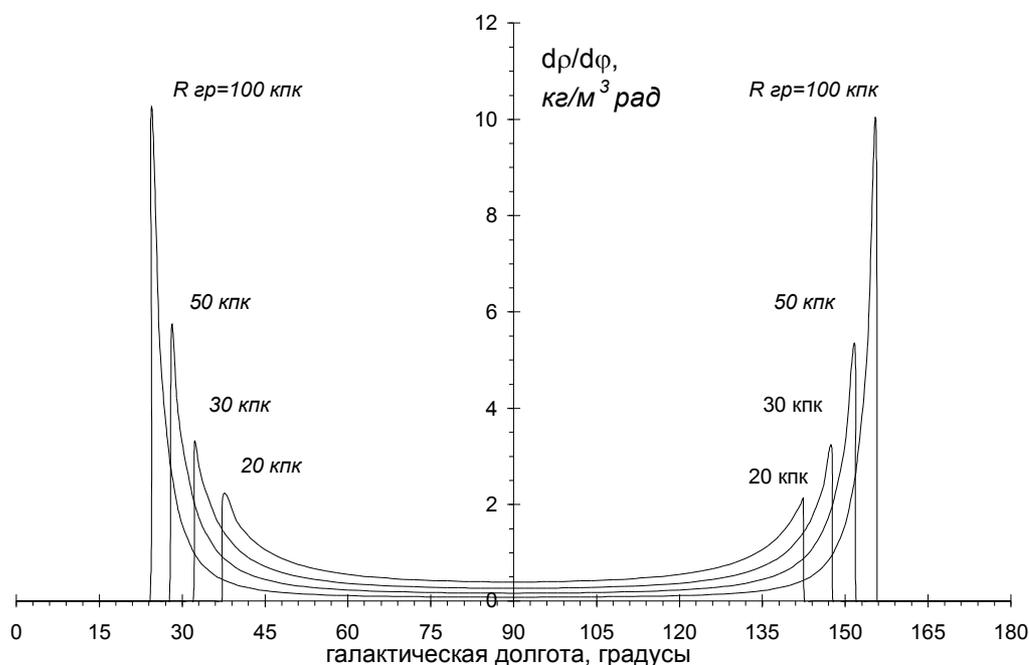
Результаты расчета угловых распределений по соотношениям (2.19) для  $R_0 = 8,5$  кпк и  $R_\odot = 20, 30, 50$  и  $100$  кпк, представлены на рис. 2.6.

Анализ сделанных расчетов спектрально-угловых распределений потоков ЧСМ Галактики дает основание для следующих выводов. Наблюдатель, находящийся в Солнечной системе, воспринимает поток ЧСМ, который приходит в основном из плоскости галактического экватора (галактическая широта  $\sim 0$ ). Поток распределен по галактической долготе  $\varphi$  симметрично относительно  $\varphi = 90^\circ$  и охватывает диапазон величин  $\varphi$  от  $25^\circ$  до  $155^\circ$ .

Максимальный поток идет из областей небесной сферы с галактическими долготами около  $30^\circ$  и  $150^\circ$ . Экваториальные координаты этих направлений - склонения около  $-3^\circ$  и  $+53^\circ$  и прямые восхождения около 18,7 час и 4,0 час (созвездия Орла и Персея). Из этих направлений приходят

частицы со скоростями 400..500 км/с. Из области небесной сферы вблизи  $\varphi=90^\circ$  (склонение  $+48^\circ$ , прямое восхождение 21 час - район звезды Денеб) приходят частицы, имеющие скорость около 250 км/с.

Наблюдатель, находящийся на Земле, при определении направления приходящего потока должен учитывать не только движение Солнца в Галактике, но и движение Земли вокруг Солнца, так как оно приводит к периодическим изменениям (с периодом 1 год) направления встречи частиц и наблюдателя с амплитудой в несколько градусов.



**Рис 2.6.** Угловые распределения потоков частиц скрытой материи при различных радиусах короны скрытой массы

Таким образом, основная часть потока ЧСМ Галактики, наблюдаемого на Земле, приходит из полосы небесной сферы шириной в несколько градусов, простирающейся от созвездия Персея до созвездия Орла. С других направлений могут приходить частицы, рассеянные в гравитационных полях звезд (см. раздел 5) и, возможно, частицы, возникающие в звездной плазме (если интенсивность их рождения достаточно велика), а также внегалактические частицы (имеющие скорость  $\sim 10^3 \text{ км/с}$ ) и частицы солнечной и земной нейтриносфер (скорость 30-70 и 7,8 - 11,2 км/с).<sup>8)</sup>

#### 2.4. Система большого числа медленных слабо взаимодействующих частиц в гравитационном поле

При достаточно больших концентрациях частиц независимость их движения будет нарушаться. Нарушение может быть вызвано причинами:

- появлением у системы частиц собственного гравитационного поля, сравнимого с гравитационными полями небесных тел;
- взаимодействием частиц между собой;
- квантовомеханическими эффектами.

Как показывают эксперименты с крутильными весами [14,16,17], массовая плотность ЧСМ у поверхности Земли не превышает  $10^{-6} \dots 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ , причём такая плотность наблюдается лишь при кратковременных всплесках потоков ЧСМ. Средняя величина ещё на несколько порядков ниже. Отсюда следует, что масса нейтриносферы Земли на много порядков меньше массы Земли. Поэтому пренебрежение массой нейтриносферы и её гравитацией при расчётах земной нейтриносферы можно считать вполне справедливым.

Аналогично, масса солнечной нейтриносферы мала по сравнению с массой Солнца. В противном случае наблюдалось бы заметные аномалии в движении планет и других космических объектов. Анализ движения космических аппаратов «Пионер-10» и «Пионер 11» указывает на наличие сфероидального образования массой около 1/20000 массы Солнца радиусом более 20 астрономических единиц [54].

Иначе обстоит дело в галактиках и скоплениях галактик, где скрытая масса превосходит массу звёзд и других электронно-нуклонных объектов. Подходы к решению задачи о движении частиц в этих условиях даны в разделе 2.3.

Оценка роли взаимодействия частиц между собой является нетривиальной задачей. На первый взгляд кажется, что в связи с короткодействующим характером сил слабого ядерного взаимодействия, частицы начинают "чувствовать" друг друга только сблизившись на расстояние  $\sim 10^{-16}$  см. Таким расстояниям соответствует концентрация  $\sim 10^{48}$  см<sup>-3</sup>, что на десятки порядков превышает реально наблюдаемые. Этот подход, однако, не учитывает эффекты квантовой механики, которые начинают проявляться при расстоянии между частицами  $\sim \lambda$  - длины дебройлевской волны. Так как длины волн де-Бройля ЧСМ достигают миллиметров, квантовомеханические взаимодействия частиц существенны уже при концентрациях  $\sim 10^2$  см<sup>-3</sup>.

Другие компоненты потока ЧСМ имеют меньшие длины волн, но и для них квантовые эффекты могут быть существенными при сравнительно небольших концентрациях.

В работе [14] небесное тело, окружённое орбитами слабовзаимодействующих частиц, рассмотрено как атом, в котором роль электромагнитного поля играет гравитация. Так же, как и в обычном атоме, частицы в гравитационном атоме имеют дискретные значения энергии, для определения которых можно воспользоваться известными соотношениями атомной физики, заменив в них  $Ze^2$  на  $GMm$ . Показано, что максимально возможная плотность потока  $\Phi$  фермионов каждого типа (в том числе, нейтрино) на расстоянии  $R$  от центра гравитации составляет:

$$\Phi = G^2 M^2 m^3 / 2\pi h^3 R^2, \text{ где } h - \text{постоянная Планка} \quad (2.21)$$

Расчёт по формуле (2.21) приводит к результату, что плотность потока фермионов с массой 1 эВ, захваченных гравитационным полем Земли у её поверхности не может превышать  $4 \cdot 10^3$  частиц/см<sup>2</sup>с. Более высокой может быть плотность потока частиц, входящих в нейтриносферу Солнца:  $10^5$  частиц/см<sup>2</sup>с в районе орбиты Земли.

Более массивные частицы, как следует из (2.21), могут образовывать значительно более плотную нейтриносферу. Так, фермионы, обладающие массой 1000 эВ, могут образовывать в земной нейтриносфере потоки плотностью больше  $10^{16}$  частиц/см<sup>2</sup>с.

Необходимо отметить, что вышеописанный подход с применением традиционных методов квантовой и статистической физики не может дать надёжных результатов поскольку рассматриваемые системы не являются равновесными. Неравновесность связана с тем, что время установления равновесия в системах с движущимися по орбитам частицами много больше периодов их обращения, в то время как сильные возмущения орбит (гравитационные воздействия других небесных тел, рассеяние в веществе центрального тела) происходят с интервалами порядка периода обращения. Кроме того в нейтриносфере, в среднем обладающей невысокой концентрацией, локально и кратковременно могут происходить допустимые квантовой статистикой значительные уплотнения частиц.

Таким образом, расчёт квантовых эффектов в нейтриносферах является весьма сложной задачей, тем более, что в настоящее время множество факторов, которые могут оказать существенное влияние на поведение частиц, остаются неясными. Неясен спектр масс частиц. Нельзя исключить возможность присутствия в нейтриносферах слабовзаимодействующих бозонов, концентрация которых не имеет ограничения. Существенное влияние на свойства нейтриносферы могут оказать нейтринные осцилляции.<sup>9)</sup>

### 3. ГРАВИТАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА ПОТОКА ЧАСТИЦ СКРЫТОЙ МАТЕРИИ

Гравитационная фокусировка (гравилинзирование) - свойство гравитирующего объекта отклонять проходящий мимо него поток частиц или излучение, собирая (фокусируя) поток в некоторой области пространства [1, с.222-223; 32]. Существование эффекта гравитационной фокусировки подтверждено

астрономическими наблюдениями: обнаружена фокусировка света и радиоволн гравитационными полями звёзд и галактик, а также фокусировка потока межпланетного газа, движущегося относительно Солнца.

В виду крайней малости отклонения электромагнитного излучения в гравитационных полях наблюдение объектов с проявлением гравитационной фокусировки света или радиоволн является весьма трудной задачей. Скорость ЧСМ на 3-4 порядка меньше скорости света, и в результате этого влияние гравитации небесных тел на потоки ЧСМ становится не просто существенным - оно становится определяющим.

### 3.1. Гравитационная фокусировка рассеянного потока частиц

Одна из удивительных особенностей гравитационной фокусировки состоит в возможности весьма значительного увеличения плотности потока не только направленных, но и рассеянных потоков частиц. Обычная линзовая или зеркальная оптика таким свойством не обладает.

Рассмотрим изотропный поток частиц, имеющих на бесконечном удалении от гравитирующего тела скорость  $V_\infty$  (см. рис. 3.1). Центр гравитационного поля расположен в точке  $O$ , наблюдатель находится на расстоянии  $f$  в точке  $F$ . Выделим из всего потока только частицы, направление движения которых по отношению к оси  $OF$  близко к углу  $\varphi_1$ . Некоторые частицы, имеющие определенный прицельный параметр, после пролета мимо гравитирующего тела изменят направление движения таким образом, что попадут в точку  $F$ . Эти частицы воспринимаются наблюдателем отклоненными от оси  $OF$  на некоторый угол  $\varphi$ . Движение частиц описывается уравнением (см. раздел 1.1)

$$r(\varphi_1) = P / (1 + e \cos \varphi_1), \quad (3.1)$$

где  $P = \rho^2 V_\infty^2 / GM = \rho^2 / R_0$  – параметр траектории;

$e = (1 + \rho^2 V_\infty^4 / G^2 M^2)^{1/2} = (1 + \rho^2 / R_0^2)^{1/2}$  – эксцентриситет;

$r$  - расстояние между центром гравитации и частицей;

$\varphi_1$  - угол между направлением на точку максимального сближения частицы с центром гравитационного поля и направлением на частицу;

$V_\infty$  - скорость частицы на бесконечном удалении;

$G$  - гравитационная постоянная;

$\rho = f \varphi$  - прицельный параметр;

$M$  - масса гравитирующего тела.

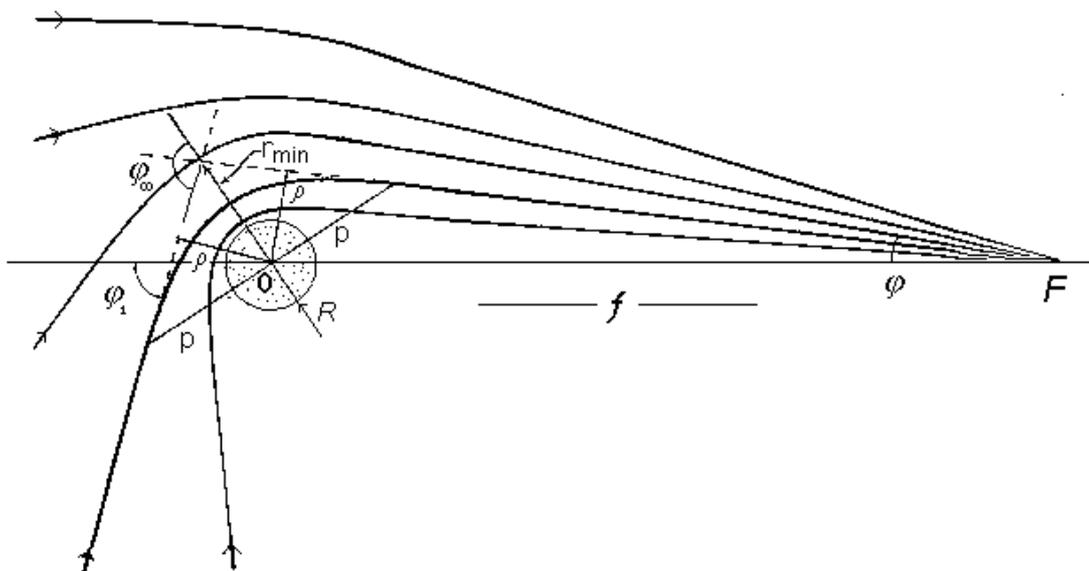


Рис. 3.1. Гравитационная фокусировка изотропного потока частиц

Параметр  $R_0=GM/V_\infty^2$  характеризующий эффективность гравитационного воздействия, равен расстоянию от центра гравитации, на котором скорость частицы, движущейся по круговой орбите, равна  $V_\infty$ .

Из формулы (3.1) следует, что угол  $\varphi_r$  на бесконечном удалении от центра гравитации связан с эксцентриситетом соотношением:

$$\cos \varphi_\infty = -1/e \quad (3.2)$$

Из рис. 3.1 видно, что

$$\varphi = 2\varphi_\infty + \varphi_l - \pi = 2\arccos(1/e) + \varphi_l - \pi = 2\arcsin(1/e) + \varphi_l \quad (3.3)$$

Подставив в (3.3)  $e = (1+\rho^2/R_0^2)^{1/2}$ , с учетом того, что  $\rho = f\varphi$ , и продифференцировав по  $\varphi$ , получим:

$$d\varphi_l/d\varphi = 2R_0/f[(R_0/f)^2 + \varphi^2] + 1 \quad (3.4)$$

Коэффициент усиления потока равен отношению телесного угла, в котором движутся "входящие" частицы ( $2\pi\varphi_l d\varphi_l$ ) к телесному углу, в котором движутся "выходящие" частицы ( $2\pi\varphi d\varphi$ ):

$$K = \frac{\varphi_l d\varphi_l}{\varphi d\varphi} \left[ 1 - \frac{2}{\varphi} \arcsin \frac{R_0/f}{\sqrt{(R_0/f)^2 + \varphi^2}} \right] \left[ 1 + \frac{2R_0/f}{(R_0/f)^2 + \varphi^2} \right] \quad (3.5)$$

Отрицательность  $K$  при достаточно малых  $\varphi$  связана с противоположностью углов "входящих" и "выходящих" частиц. В дальнейшем нас будет интересовать абсолютная величина  $K$ .

Из формулы (3.5) следует, что при угле наблюдения, стремящемся к нулю, величина  $K$  безгранично возрастает. В действительности, возрастание  $K$  ограничено поглощением или рассеиванием частиц, попадающих в фокусирующее небесное тело.

Эти частицы имеют

$$r_{min} = P/(e + 1) = \rho^2/R_0(1+\rho^2/R_0^2)^{1/2} < R, \quad (3.6)$$

где  $r_{min}$  - минимальное удаление траектории частицы от центра гравитации при  $\cos\varphi_r = 1$ ;  
 $R$  - радиус гравитирующего тела.

Из (3.6) следует, что наименьший угол, при котором возможно наблюдение сфокусированного потока

$$\varphi_{min} = R(1+2R_0/R)^{1/2}/f \quad (3.7)$$

Этому углу соответствует максимально возможный коэффициент усиления  $K_{max} = K(\varphi_{min})$ .

При выполнении условия  $\varphi \gg R_0/f$  (у планет, а также звезд гигантов и сверхгигантов, таких как Бетельгейзе, оно выполняется для галактических ЧСМ не только при больших  $\varphi$ , но и при всех возможных значениях  $\varphi$ , вплоть до  $\varphi_{min}$  - см. таблицу 3.1) выражение (3.5) переходит в соотношение:

$$K \approx (4R_0^2/f^2\varphi^4) - 1. \quad (3.8)$$

Из формулы (3.8) следует, что при  $\varphi > 2^{1/4}(R_0/f)^{1/2}$   $|K|$  становится меньше 1, что означает ослабление потока, приходящего из этой области, по сравнению с потоком, невозмущенным гравитирующим телом. Этот результат естественен, так как при гравитационной фокусировке полное число частиц в потоке не может возрастать, и усиление потока в одних направлениях может происходить лишь за счет ослабления в других направлениях.

Как видно из таблиц 3.1 и 3.2, у наиболее плотных небесных тел - белых карликов (типа Сириуса В), нейтронных звезд (типа NP0531) и черных дыр выполняется условие  $\varphi_{min} \ll R_0/f$ . У таких объектов имеется область, где  $\varphi \ll R_0/f$  и справедливо соотношение

$$K \approx 2\pi f/R_0\varphi \quad (3.9)$$

В периферических областях плотных небесных тел, где выполняется условие  $\varphi \gg R_0/f$ , справедливо соотношение (3.8).

Как было указано выше, максимальный коэффициент усиления достигается при минимально возможном угле наблюдения  $\varphi_{min}$  (см.(3.7)).

У планет и звезд-гигантов и сверхгигантов  $R_0/R \ll 1$ , поэтому

$$\varphi_{min} = R/f \quad (3.11)$$

Подставив (3.11) в (3.8), получим:

$$K_{max} = 4R_0^2 f^2 / R^4 \quad (3.12)$$

У белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр, напротив,  $R_0/R \gg 1$ . В этом случае (3.7) переходит в

$$\varphi_{min} = (2RR_0)^{1/2}/f \quad (3.13)$$

Подставив (3.13) в (3.9), получим:

$$K_{max} = \sqrt{2\pi} f^2 / R_0^{3/2} R^{1/2} \quad (3.14)$$

Результаты расчетов  $\varphi_{min}$  и  $K_{max}$  для некоторых типичных небесных тел представлены в таблице 3.2. Там же содержатся данные о величине  $\varphi$  ( $K=1$ ) - угла, при котором коэффициент усиления потока частиц равен 1. В соответствии с (3.8),

$$\varphi (K=1) = 2^{1/4} (R_0/f)^{1/2} \approx 1,2 (R_0/f)^{1/2} \quad (3.15)$$

Величина  $\varphi$  ( $K=1$ ) характеризует размер области на небесной сфере, где может быть обнаружено гравитационное усиление, связанное с конкретным небесным телом. Она меняется в пределах от  $\sim 10^{-5}$  рад ( $\sim 2''$ ) для нейтронных звезд и черных дыр до  $\sim 0,1$  рад ( $\sim 6^\circ$ ) для Солнца.

**Таблица 3.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ГРАВИТАЦИОННОЙ ФОКУСИРОВКИ НЕКОТОРЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

	$f, м$	$R, м$	$M, кг$	$R_0, м$
Солнце	$1,5 \cdot 10^{11}$	$7 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^{30}$	$5,3 \cdot 10^8$
Бетельгейзе <sup>1)</sup>	$6,2 \cdot 10^{18}$	$6,3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{31}$	$8 \cdot 10^9$
Сириус А <sup>2)</sup>	$8,3 \cdot 10^{16}$	$1,3 \cdot 10^9$	$4,4 \cdot 10^{30}$	$1,2 \cdot 10^9$
Сириус В <sup>3)</sup>	$8,3 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{30}$	$5,3 \cdot 10^8$
NP 0531 <sup>4)</sup>	$8,6 \cdot 10^{18}$	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{30}$	$5,3 \cdot 10^8$
Черная дыра <sup>5)</sup>	$3,1 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^{30}$	$5,3 \cdot 10^8$
M5 <sup>6)</sup>	$2,3 \cdot 10^{20}$	$5,8 \cdot 10^{17}$	$\sim 10^{36}$	$2,5 \cdot 10^{14}$
Юпитер	$6,3 \cdot 10^{11}$	$7,1 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^{27}$	$5,1 \cdot 10^5$
Сатурн	$1,3 \cdot 10^{12}$	$6 \cdot 10^7$	$7,3 \cdot 10^{26}$	$1,5 \cdot 10^5$
Нептун	$4,6 \cdot 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^{26}$	$2,8 \cdot 10^4$
Венера	$4,2 \cdot 10^{10}$	$6 \cdot 10^6$	$4,9 \cdot 10^{24}$	$1,3 \cdot 10^3$

**Таблица 3.2. ГРАВИТАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА ИЗОТРОПНОГО ПОТОКА ЧАСТИЦ НЕКОТОРЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ СКОРОСТИ ЧАСТИЦ 500 км/с**

	$\varphi_{min}, рад$	$K_{max}$	$\varphi(1), рад$	$K_{\varphi}(1'')$	$K_{\varphi}(1')$	$K_{\varphi}(1^\circ)$
Солнце	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^4$	0,07	$3,3 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^3$
Бетельгейзе <sup>1)</sup>	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^9$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^7$	$6,7 \cdot 10^3$	2
Сириус А <sup>2)</sup>	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$4,1 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^7$	$4,2 \cdot 10^3$
Сириус В <sup>3)</sup>	$8,4 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{18}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^4$
NP 0531 <sup>4)</sup>	$4,2 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{22}$	$9,7 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^4$
Черная дыра <sup>5)</sup>	$5,9 \cdot 10^{-13}$	$6,4 \cdot 10^{22}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^4$
M5 <sup>6)</sup>	$\sim 6 \cdot 10^{-10}$	$\sim 10^{15}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^4$

Юпитер	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	30
Сатурн	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^4$	5	$\sim 1$
Нептун	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^5$	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^5$	$\sim 1$	$\sim 1$
Венера <sup>7)</sup>	$1,4 \cdot 10^{-4}$	7	$2,1 \cdot 10^{-4}$	6	$\sim 1$	$\sim 1$

В таблицах 3.1 и 3.2:

$\varphi_{\min}$  - минимальный угол наблюдения гравитационной фокусировки;

$K_{\max}$  - максимальный коэффициент усиления;

$\varphi(1)$  - угол единичного усиления;

$K_{\Sigma}(1'')$ ,  $K_{\Sigma}(1')$ ,  $K_{\Sigma}(1^{\circ})$  - эффективные коэффициенты усиления телескопов при угловых разрешениях  $1''$ ,  $1'$ ,  $1^{\circ}$  соответственно.

<sup>1)</sup> - звезда-сверхгигант;

<sup>2)</sup> - нормальная звезда;

<sup>3)</sup> - белый карлик;

<sup>4)</sup> - нейтронная звезда;

<sup>5)</sup> - объект радиуса 3 км с массой Солнца на расстоянии 100 парсек;

<sup>6)</sup> - шаровое звездное скопление;

<sup>7)</sup> - на минимальном расстоянии от Земли.

Приведенные в таблице 3.2 расчетные величины  $K_{\max}$  достигают очень больших значений ( $\sim 10^{22}$  у нейтронных звезд и черных дыр). Реально столь высокие значения  $K_{\max}$  не могут быть достигнуты из-за ряда факторов, "размывающих" поток частиц.

Наиболее фундаментальное ограничение дает дифракция, связанная с волновыми свойствами ЧСМ.

В результате дифракции излучение с длиной волны  $\lambda$ , выходящее из источника размером  $L$ , оказывается "размытым" в пределах угла

$$\Delta\varphi = \lambda / L \quad (3.16)$$

Поэтому возрастание коэффициента усиления возможно при уменьшении  $\varphi$  до величины порядка  $\Delta\varphi$ . Положив  $\varphi = L/f = \lambda/L$ , найдем размер области, в которой существенны дифракционные эффекты:

$$L = (f\lambda)^{1/2} ; \varphi_0 = (\lambda/f)^{1/2} \quad (3.17)$$

Частицы с массой  $m=1\text{эВ}$  при скорости  $V=500 \text{ км/с}$  имеют длину волны  $\lambda = h/(mV) = 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$  ( $h$  - постоянная Планка). Подставив эту величину и расстояние до типичных небесных тел, приведенные в таблице 3.1, в (3.17), найдем, что для планет и звезд (кроме нейтронных)  $\varphi_0 \ll \varphi_{\min}$ , поэтому для таких объектов дифракционное ограничение несущественно. У нейтронных звезд и черных дыр, а также у белых карликов, удаленных на расстояние  $>100 \text{ пк}$ ,  $\varphi_0 > \varphi_{\min}$ . В результате  $K_{\max}$  снижается, но не более чем на 1–2 порядка, оставаясь очень высоким.

Более существенное ограничение накладывает конечное угловое разрешение детектора потока частиц. Это связано с тем, что почти весь сфокусированный поток сосредоточен в области углов, сравнимых с  $\varphi_{\min}$ . Увеличение углового размера  $\varphi_p$  участка небесной сферы, охватываемого детектором, свыше нескольких  $\varphi_{\min}$ , уже не приводит к существенному возрастанию числа регистрируемых сфокусированных частиц, а только влечет возрастание фона. Более того, при увеличении свыше  $1,2(R_0/f)^{1/2}$  детектор начинает охватывать область с пониженной плотностью потока (см. соотношение (3.8)), и при  $\varphi_p \gg (R_0/f)^{1/2}$  эффект от гравитационной фокусировки, регистрируемый детектором, становится нулевым. Поэтому необходимым условием для успешного наблюдения потока ЧСМ, сфокусированного некоторым небесным телом, является выполнение условия  $\varphi_p < 1,2(R_0/f)^{1/2}$ .

Сделаем количественную оценку влияния разрешения детектора на коэффициент усиления. Число частиц, приходящих из кольца, имеющего угловой радиус  $\varphi$ ,  $dN = nK 2\pi\varphi d\varphi$ , где  $n$  - число частиц невозмущенного потока, летящих в единичном телесном угле. Общее число частиц, регистрируемых детектором,

$$N_{\phi} = \int_{\phi_{\min}}^{\phi_p} nK2\pi\phi d\phi$$

Число частиц, которое зарегистрировал бы детектор при отсутствии гравитационной фокусировки,  $N=n\pi\phi_p^2$ . Отнеся  $N_{\phi}$  к  $N$ , найдем эффективный коэффициент усиления  $K_{\Sigma}$ , характеризующий превышение числа регистрируемых сфокусированных частиц над числом частиц, регистрируемых в отсутствие фокусирующего небесного тела:

$$K_{\Sigma} = \frac{N_{\phi}}{N} = \frac{2}{\phi_p^2} \int_{\phi_{\min}}^{\phi_p} K\phi d\phi \quad (3.18)$$

Согласно (3.5),  $K\phi d\phi = \phi_l d\phi_l$ . Переходя в (3.18) к переменным  $\phi_l$  и интегрируя, получим

$$K_{\Sigma} = (\phi_a^2 - \phi_b^2) / \phi_p^2 \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \text{где } \phi_a &= \phi_p - 2\arcsin[(R_0/f)(R_0^2/f^2 + \phi_p^2)^{-1/2}] \\ \phi_b &= \phi_{\min} - 2\arcsin[(R_0/f)(R_0^2/f^2 + \phi_{\min}^2)^{-1/2}] \end{aligned}$$

Результаты расчета величины  $K_{\Sigma}$  для некоторых типичных небесных тел и детекторов с разрешением 1", 1' и 1° приведены в таблице 3.2. Видно, что картина, которую можно наблюдать, существенно зависит от углового разрешения детектора. При использовании детектора с разрешением 1" наиболее "яркими" объектами являются нейтронная звезда NP0531, белый карлик Сириус В и черная дыра. Примерно на порядок слабее - звезда Сириус А (типичная звезда), еще слабее звезда Бетельгейзе (сверхгигант). Планеты выглядят слабее звезд, причем Нептун - "ярче" Сатурна и Юпитера. На последнем месте по величине  $K_{\Sigma}$  стоят Солнце и Венера.

При использовании детектора с разрешением 1' (что примерно соответствует предельному разрешению человеческого глаза) нейтронная звезда, белый карлик и черная дыра остаются наиболее "яркими" объектами, слабее - звезда Сириус А. Солнце становится более "ярким" объектом, чем планеты и звезда Бетельгейзе, Нептун и Венера становятся практически незаметными объектами.

При разрешении детектора 1° наблюдение планет и звезд-гигантов становится невозможным. Нейтронная звезда, черная дыра, белый карлик выглядят примерно одинаково яркими объектами, несколько слабее - Солнце и Сириус А.

Расчеты, сделанные для Луны, показывают, что она практически не фокусирует поток галактических частиц, достигающих Земли.

При проведении вышеизложенных расчетов подразумевалось, что точка наблюдения неподвижна относительно фокусирующего небесного тела. Реально же наблюдатель, находящийся на Земле, движется вокруг Солнца со скоростью около 30 км/с, Солнце движется относительно звезд (по отношению к соседним звездам - со скоростью ~10 км/с). Радиальная составляющая относительной скорости  $V_r$  влияет на спектр регистрируемых частиц, а тангенциальная  $V_{\tau}$  - на направление встречи частиц с детектором. Отклонение этого направления от прямой, соединяющей фокусирующее тело и точку наблюдения

$$\Delta\phi = \arctg(V_{\tau}/V), \quad (3.21)$$

где  $V$  - скорость частиц.

В результате наблюдаемое положение наблюдаемого тела оказывается отклоненным от "оптического" положения на угол, достигающий нескольких градусов. Из-за разброса скоростей в потоке ЧСМ величина  $\Delta\phi$  "размывается", и фокусирующее небесное тело воспринимается не кольцевидным, а растянутым в некотором направлении объектом. Например, поток от Солнца, фокусирующего частицы со скоростями от 250 до 500 км/с, в результате движения Земли по орбите воспринимается в области углов приблизительно от 2 до 8 градусов на эклиптике позади Солнца; ширина солнечного "пятна" - 2..3 градуса.

### 3.2. Фокусировка частиц солнечной нейтриносферы планетами

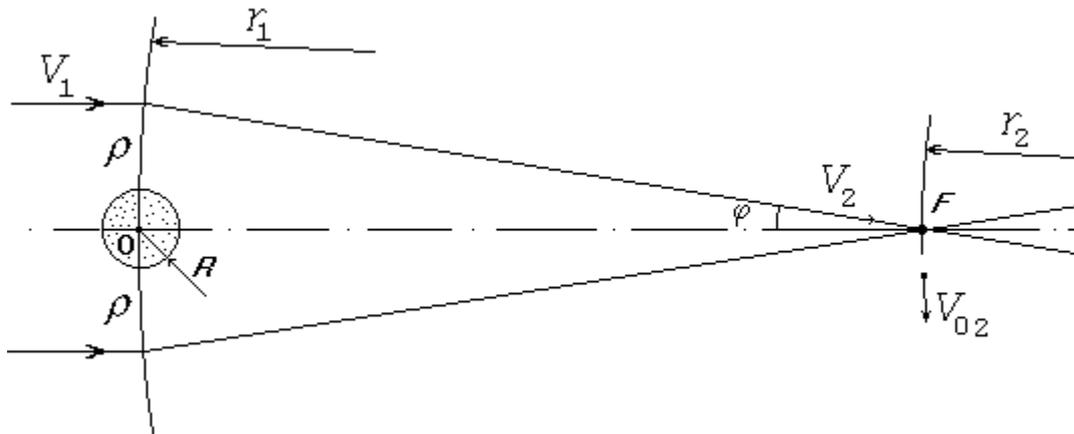
В настоящее время нет однозначных данных о пространственном и угловом распределениях ЧСМ в нейтриносфере Солнца. Но есть основания для предположения, что основная доля частиц имеет сильно вытянутые орбиты с афелиями, выходящими за пределы наиболее удаленных планет и с перигелиями, сравнимыми с радиусом Солнца  $R_*$  (см. раздел 2.2). Центром гравитации является центр масс Солнечной системы (ЦМСС), положение которого относительно центра Солнца меняется в зависимости от конфигурации планет. Расстояние между ЦМСС и центром Солнца меняется от 0 до  $2R_*$  [27, 30].

На расстояниях от центра гравитации  $r \gg R_*$  движение частиц мало отличается от радиального, их скорость -  $V = (2GM_*/r)^{1/2}$ .

Рассмотрим возмущение, вносимое в движение частиц планетой массой  $M$  с радиусом орбиты  $r_1$  (см. рис. 3.2). В районе орбиты этой планеты частицы имеют скорость  $V_1 = (2GM_*/r_1)^{1/2}$ . Проходя мимо планеты, в соответствии с [18], частицы приобретают дополнительную скорость, перпендикулярную  $V_1$  и направленную в сторону планеты :

$$V_{\perp} = 2GM / \rho V_1 \quad (3.22)$$

где  $\rho$  - прицельный параметр.



**Рис 3.2.** Гравитационная фокусировка планетами частиц солнечной нейтриносферы.

Через время

$$t = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{V} = \frac{2}{3\sqrt{GM_{\odot}}} (r_1^{3/2} - r_2^{3/2}) \quad (3.23)$$

частицы будут находиться на расстоянии  $r_2$  от центра гравитации. Траектории тех из них, которые имели прицельный параметр  $\rho = V_{\perp} t$ , пересекутся, образуя фокус. Подставляя в это выражение (3.22) и (3.23), получим:

$$\rho = r_1 [(2M/3M_*)(1 - (r_2/r_1)^{3/2})]^{1/2} \quad (3.24)$$

Если  $r_1 \gg r_2$  (что выполняется, например, при фокусировке на Землю Юпитером и более далекими планетами),

$$\rho = r_1 (2M/3M_*)^{1/2} \quad (3.25)$$

Усиленный поток частиц воспринимается наблюдателем приходящим из кольца с угловым радиусом

$$\Phi = \frac{V_{\perp}}{V_2} = \frac{M}{M_{\odot}} \frac{\sqrt{r_1 r_2}}{\rho} \approx \sqrt{\frac{3r_2 M}{2r_1 M_{\odot}}} \quad (3.26)$$

где  $V_2 = (2GM_*/r_2)^{1/2}$  - скорость частиц в месте наблюдения.

Значения  $\varphi$ , вычисленные для ряда планет Солнечной системы, приведены в таблице 3.3. Интересно отметить, что диаметры колец, образуемых Юпитером и Сатурном, больше оптически видимых диаметров Солнца и Луны.

Вследствие движения фокусирующей планеты и планеты с наблюдателем (Земли) по орбитам положение этого кольца на небесной сфере не совпадает с оптически видимым положением фокусирующей планеты. Движение Земли по орбите со скоростью  $V_{02} = (GM_*/r_2)^{1/2}$  приводит к тому, что радиальный поток частиц, имеющий скорость  $V_2 = \sqrt{2}V_{02}$ , воспринимается наклоненным в сторону движения Земли на угол

$$\alpha = \arctg(V_{02}/V_2) = \arctg(1/\sqrt{2}) \approx 35,26^\circ \quad (3.27)$$

Далее, наблюдатель воспринимает частицы, проходившие мимо фокусирующей планеты на  $t=2(r_1^{3/2} - r_2^{3/2})/3(GM_*)^{1/2}$  раньше момента наблюдения. За это время фокусирующая планета переместится на угол  $\beta = 2(r_1^{3/2} - r_2^{3/2})/3 r_1^{3/2}$  относительно центра гравитации или на угол  $\beta' = \arctg[(\sin \beta)/(\cos \beta - r_2/r_1)]$  относительно Земли.

Результирующее отклонение направления восприятия потока частиц от направления на фокусирующую планету составляет

$$\gamma = \beta' - \alpha \quad (3.28)$$

Значения  $\gamma$ , вычисленные для ряда планет Солнечной системы, приведены в таблице 3.3.

При проведении точных наблюдений необходимо, кроме (3.28), учитывать также смещение направления воспринимаемого потока частиц, связанное с вращением Земли вокруг оси. Величина этого смещения меняется на протяжении суток, достигая  $0,53^\circ$ , а также отклонение потока частиц гравитационным полем Земли, которое может достигать  $1,3^\circ$ .

**Таблица 3.3. ГРАВИТАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА ЧАСТИЦ СОЛНЕЧНОЙ НЕЙТРИНОСФЕРЫ ПЛАНЕТАМИ НА ЗЕМЛЮ**

	$M, кг$	$r_1, м$	$\varphi,$ <i>минуты</i>	$\gamma,$ <i>градусы</i>	$K(1км)$
Марс	$6,4 \cdot 10^{23}$	$2,3 \cdot 10^{11}$	2,6	10,8	$2 \cdot 10^4$
Юпитер	$1,9 \cdot 10^{27}$	$7,7 \cdot 10^{11}$	55	7,2	$2,3 \cdot 10^5$
Сатурн	$5,7 \cdot 10^{26}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	23	5,6	$7 \cdot 10^5$
Уран	$8,8 \cdot 10^{25}$	$2,7 \cdot 10^{12}$	6,3	4,4	$1,3 \cdot 10^5$
Нептун	$1,0 \cdot 10^{26}$	$4,5 \cdot 10^{12}$	5,4	3,9	$9 \cdot 10^4$
Луна *)	$7,3 \cdot 10^{22}$	$3,8 \cdot 10^8$	19	0,31	$1,7 \cdot 10^3$

**В таблице 3.3 :**

$M$  – масса планеты

$r_1$  – радиус орбиты

$\varphi$  – угловой радиус кольца потока частиц

$\gamma$  – отклонение направления на оптически видимое положение планеты от направления прихода сфокусированных частиц

$K(1 км)$  – коэффициент усиления потока на расстоянии 1 км от линии фокусов. На других расстояниях  $d$  (км) :  $K=K(1 км)/d$

\*) – в последней четверти

Рассмотрим теперь, насколько большим может быть возрастание плотности потока частиц солнечной нейтриносферы при фокусировке планетами. Как показано в [18, с.44], коэффициент усиления мононаправленного потока

$$K' = \rho / \delta, \quad (3.29)$$

где  $\delta$  - расстояние от линии фокусов.

Формула (3.29) характеризует превышение плотности потока около точки наблюдения  $F$  над плотностью потока в районе фокусирующего тела. Нас же интересует превышение около точки  $F$  над плотностью потока в этом же месте, но в отсутствии фокусировки.

Если движение частиц близко к радиальному, плотность их потока в нейтриносфере Солнца возрастает обратно пропорционально квадрату расстояния до центра гравитации. Учитывая это, а также соотношение (3.25), получим выражение для коэффициента усиления:

$$K = (r_2/r_1)^2 K' = (r_2^2/r_1 \delta) (2M/3M_*)^{1/2} \quad (3.30)$$

В соответствии с этой формулой, по мере приближения к линии фокусов коэффициент усиления безгранично возрастает.

Ограничение на возрастание величины  $K$  накладывают волновые свойства частиц. В соответствии с [18, с.45-46], максимально возможный коэффициент усиления

$$K_{max} = 4GMm / hV, \quad (3.31)$$

где  $M$ -масса фокусирующего тела,  
 $m$ -масса частицы,  
 $h$ -постоянная Планка,  
 $V$ -скорость частицы,  
 $G$ -гравитационная постоянная

достигается в "шнуре" радиуса

$$\delta_{min} = (hVr_1/4Gm)(2/3M_*M)^{1/2} \quad (3.32)$$

По формулам (3.31) и (3.32) можно рассчитать, что при фокусировке Юпитером на Землю частиц с массой  $1 \text{ эВ}$   $K_{max} \sim 10^{11}$ , а  $\delta_{min} \sim 10 \text{ см}$ .

Вероятность встречи наблюдателя со "шнуром" толщиной  $\sim 10 \text{ см}$  мала, а если это и произойдет, продолжительность воздействия составит примерно  $10^{-5} \text{ с}$ , так как Земля движется относительно линии фокусов со скоростью  $30 \text{ км/с}$ .

Но значительное усиление плотности потока частиц наблюдается и при довольно большом удалении от линии фокусов. Так, при  $\delta = 1000 \text{ км}$  усиление Юпитером составляет примерно  $10^5$ , а продолжительность воздействия - около минуты.

Данные о коэффициентах усиления ряда планет приведены в таблице 3.3. В эту же таблицу занесены результаты расчетов для Луны, сделанных в отчете [18, с.41-43]. Эти расчеты показали, что радиальная компонента солнечной нейтриносферы (скорость частиц относительно Земли - около  $50 \text{ км/с}$ ) Луной почти не усиливается. Заметно усиливается лишь компонента солнечной нейтриносферы со скоростью частиц около  $30 \text{ км/с}$ . Сфокусированный Луной поток этих частиц попадает на Землю, когда Луна находится в фазе последней четверти.

Приведенные выше расчеты не учитывают гравитацию Земли. Учет этого фактора приводит к незначительному возрастанию коэффициента усиления, продолжительности воздействия и отклонению направления падающего потока, достигающего  $1,3^\circ$  при наблюдениях вблизи горизонта.

Наблюдение эффекта фокусировки планетами является непростой задачей из-за его кратковременности и редкости. Внешние планеты могут давать не более 1 импульса в год и только тогда, когда они находятся недалеко от плоскости эклиптики. Но надо помнить, что и кратковременные всплески потока ЧСМ, для которых характерны силовые воздействия [14 -16], могут дать толчок к началу мощных геофизических явлений, например, землетрясений. Возможно, именно этим объясняется корреляция между вероятностью землетрясений и положением планет.<sup>10)</sup>

Можно предположить, что фокусировка планетами частиц солнечной нейтриносферы на Солнце влияет на солнечную активность. Возможно даже, что солнечные пятна являются результатом непосредственного воздействия потока ЧСМ, сфокусированного планетами.

В настоящее время нет удовлетворительного объяснения, почему солнечные пятна являются "ямами" глубиной до 1000 км, а температура их на 1500-2000° ниже средней температуры фотосферы. Эти особенности солнечных пятен становятся понятными, если предположить, что они возникают на участках поверхности Солнца, куда падают сфокусированные потоки ЧСМ, которые, оказывая механическое давление на вещество фотосферы, образуют в ней углубление. Снижение температуры можно объяснить энергообменом между ЧСМ и фотосферой, поскольку температура, соответствующая потоку ЧСМ, близка к абс. нулю.

Положение пятна сфокусированных ЧСМ на поверхности Солнца определяется положением фокусирующей планеты, положением Солнца относительно центра масс солнечной системы, спектрально-угловым и пространственным распределением ЧСМ, а также действием на ЧСМ солнечного магнитного поля.

Возможно, что перемещение пятен по поверхности Солнца связано не только с вращением Солнца, но и с изменением перечисленных выше факторов, влияющих на фокусировку ЧСМ.

Конечно, изложенная гипотеза не может претендовать на убедительность: пока очень мало надежных данных о солнечной нейтринофере и о процессах взаимодействия ЧСМ с веществом.

### 3.3. Воздействие центров гравитации на наклонные мононаправленные потоки ЧСМ

Рассмотрим гравитационную фокусировку, когда исходный мононаправленный поток наклонен к оси  $OF$ , соединяющей наблюдателя и центр гравитации фокусирующего тела, под некоторым углом  $\varphi_0$  (см.рис.3.3а). На рис. 3.3б показан вид вдоль исходного потока частиц. На этом рисунке  $O$  - центр гравитации,  $A$  - точка наблюдения,  $\delta$  - проекция  $OA$  на плоскость, перпендикулярную потоку частиц. Рассмотрим частицу, имеющую скорость  $V$  и прицельный параметр  $\rho$ , отклоненный от  $\delta$  на угол  $\alpha$ .

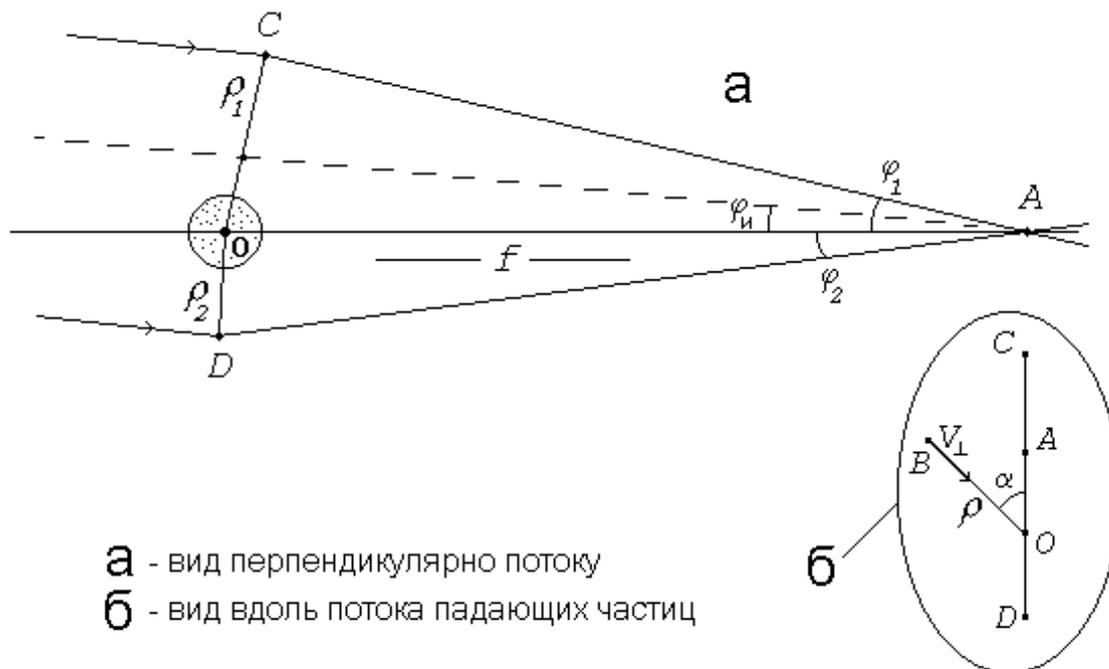


Рис 3.3. Действие центра гравитации на наклонный мононаправленный поток частиц

После пролета мимо центра гравитации частица приобретает скорость  $V_1 = 2GM / \rho V$ , направленную к  $O$  (см.(3.22)). Для того, чтобы частица попала в точку наблюдения  $A$ , необходимо выполнение условий:

$$V_1 t \cos \alpha = \rho \cos \alpha - \delta$$

(3.33)

$$V_{\perp} t \sin \alpha = \rho \sin \alpha \quad ,$$

где  $t=f/V$  - время пролета частицы между точками  $O$  и  $A$ .

Подставив в (3.33) выражения для  $V_{\perp}$  и  $t$ , получим:

$$(2GMf/\rho V^2) \cos \alpha = \rho \cos \alpha - \delta$$

(3.34)

$$(2GMf/\rho V^2) \sin \alpha = \rho \sin \alpha$$

Система уравнений (3.34) имеет три решения:

а)  $\delta=0$ . Этот случай соответствует рассмотренному в отчете [18] мононаправленному потоку, параллельному оси между наблюдателем и центром гравитации. Фокусируются частицы с прицельным параметром

$$\rho_0 = (2G M f)^{1/2} / V \quad (3.35)$$

при любом угле  $\alpha$ . Наблюдатель воспринимает сфокусированный поток в виде кольца с угловым радиусом

$$\varphi_0 = \rho_0 / f = (2GM / f)^{1/2} / V ; \quad (3.36)$$

б)  $\alpha=0$ . В точку наблюдения приходят частицы с прицельным параметром, удовлетворяющим условию  $2G M f / \rho V^2 = \rho - \delta$ , или  $\rho_0^2 / \rho = \rho - \delta$ .

Решая уравнение, получим:

$$\rho_{1,2} = [\delta \pm (\delta^2 + 4 \rho_0^2)^{1/2}] / 2 \quad (3.37)$$

Наблюдатель воспринимает поток, выходящий из двух точек  $C$  и  $D$  (см.рис.3.3);

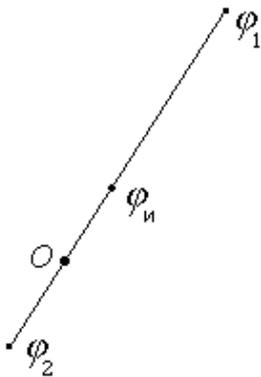
в)  $\alpha = \pi$ . В точку наблюдения приходят частицы с прицельным параметром, удовлетворяющим условию

$$\rho_0^2 / \rho = -\rho - \delta \quad (3.38)$$

Решая уравнение (3.38), получим:

$$\rho_{1,2} = [-\delta \pm (\delta^2 + 4 \rho_0^2)^{1/2}] / 2 \quad (3.39)$$

Решения (3.39) совпадают с решениями (3.37), так как точка с координатой  $-\delta$  при  $\alpha = \pi$  совпадает с точкой, имеющей координату  $+\delta$  при  $\alpha = 0$ .



**Рис. 3.4.** Восприятие наблюдателем наклонного мононаправленного потока, возмущенного центром гравитации

Таким образом, падающий на центр гравитации наклонный поток частиц воспринимается наблюдателем приходящим из двух направлений (см. рис. 3.4), отклоненных от оси, соединяющей наблюдателя и центр гравитации, на углы

$$\varphi_1 = \rho_1 / f = [\varphi_u + (\varphi_u^2 + 4\varphi_0^2)^{1/2}] / 2 \quad (3.40)$$

$$\text{и} \quad \varphi_2 = \rho_2 / f = [\varphi_u - (\varphi_u^2 + 4\varphi_0^2)^{1/2}] / 2 \quad (3.41)$$

В этих выражениях  $\varphi_0 = (2GM/f)^{1/2} / V$  - угловой радиус кольца, наблюдаемого при ненаклонном потоке,  $\varphi_u$  - наклон потока к оси наблюдатель - центр гравитации до гравитационного воздействия ("исходный" наклон). Точки, соответствующие  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  расположены по разные стороны от центра гравитации, причем более удаленная точка  $\varphi_1$  расположена с той же стороны, что и  $\varphi_u$ .

Определим теперь, как соотносятся величины потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , приходящих в точку наблюдения, с исходным потоком  $\Phi_u$ . В районе центра гравитации через элемент сечения с площадью  $\Delta r_1 \rho_1 \Delta \alpha$  (см. рис. 3.3б) пройдет

$$N = \Phi_u \rho_1 \Delta \rho_1 \Delta \alpha \quad (3.42)$$

частиц.

Эти же частицы в районе точки наблюдения пройдут через элемент сечения с площадью  $\Delta S = \Delta \delta \delta \Delta \alpha = (d\delta/d\rho_1) \cdot \delta \Delta \alpha$ . Так как  $\delta = \rho_1 - V_{\perp} t = 2GMf/\rho_1 V^2 = \rho_1 - \rho_0^2 / \rho_1$ ,  $d\delta/d\rho_1 = 1 + \rho_0^2 / \rho_1^2$  и  $\Delta S = \delta(1 + \rho_0^2 / \rho_1^2) \Delta \rho_1 \Delta \alpha$ .

Обозначив символом  $\Phi_l$  поток частиц в районе точки наблюдения, приходящий под углом  $\varphi_l$ , найдем

$$N = \Phi_l \Delta \rho_1 \Delta \alpha \quad (3.43)$$

Приравняв (3.42) и (3.43), получим

$$K_1 = \Phi_l / \Phi_u = \rho_1 / [\delta(1 + \rho_0^2 / \rho_1^2)] = \varphi_l / [\varphi_u(1 + \varphi_0^2 / \varphi_1^2)] \quad (3.44)$$

Аналогично находится

$$K_2 = |\Phi_l / \Phi_u| = -\varphi_2 / [\varphi_u(1 + \varphi_0^2 / \varphi_2^2)] \quad (3.45)$$

Если наклон падающего потока невелик,  $\varphi_u \ll \varphi_0$ , и соотношения (3.44) и (3.45) с учетом (3.40) и (3.41) переходят в приближенные равенства

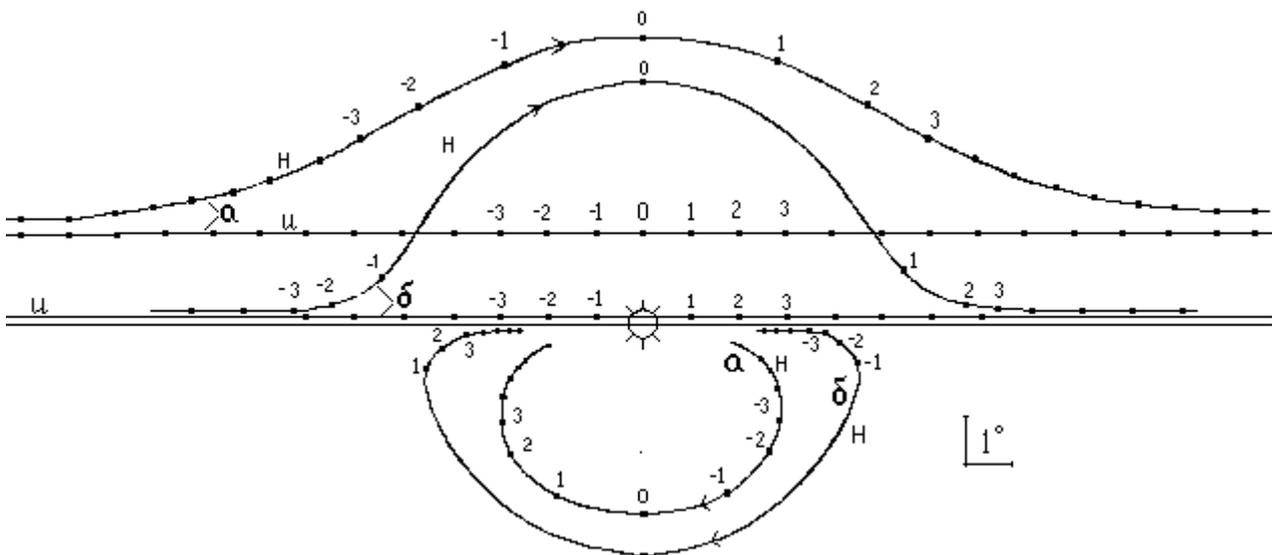
$$K_{1,2} \approx \varphi_0 / 2\varphi_u \quad (3.46)$$

При значительном угловом расстоянии источника потока от центра гравитации  $\varphi_u \gg \varphi_0$ . Из соотношений (3.40) и (3.41) следует, что в этом случае  $\varphi_l \approx \varphi_u$  и  $\varphi_2 = 0$ , а из соотношений (3.44) и (3.45) - что  $K_1 \approx 1$  и  $K_2 \approx 0$ . Это соответствует наблюдению невозмущенного потока.

Рассмотрим в качестве примера влияние гравитации Солнца на поток галактических частиц, который может быть сформирован при гравитационной фокусировке рассеянного потока некоторой звездой (см. раздел (3.1)).

Солнце движется по эклиптике со скоростью около  $1^\circ$  в сутки. Соответственно, изменяется угол  $\varphi_u$  между направлением на Солнце и потоком частиц. При достаточно тесном сближении, когда  $\varphi_u \sim \varphi_0$ , происходит возмущение потока. При скорости  $V = 500$  км/с, характерной для галактических частиц,  $\varphi_0 = 4,8^\circ$ , поэтому заметное искажение направления потока и его величины должно наблюдаться уже на угловом расстоянии от Солнца около  $10^\circ$ .

На рис. 3.5 показано, как меняется наблюдаемое с Земли положение источника мононаправленного потока относительно Солнца при его угловом сближении с Солнцем. Рассмотрены случаи с минимальными углами между направлением на центр Солнца и на "невозмущенный" источник потока  $\varphi_{u \min} = 2^\circ$  и  $\varphi_{u \min} = 0,2^\circ$ . Точками отмечены наблюдаемые положения источника потока с интервалами в 1 сутки.

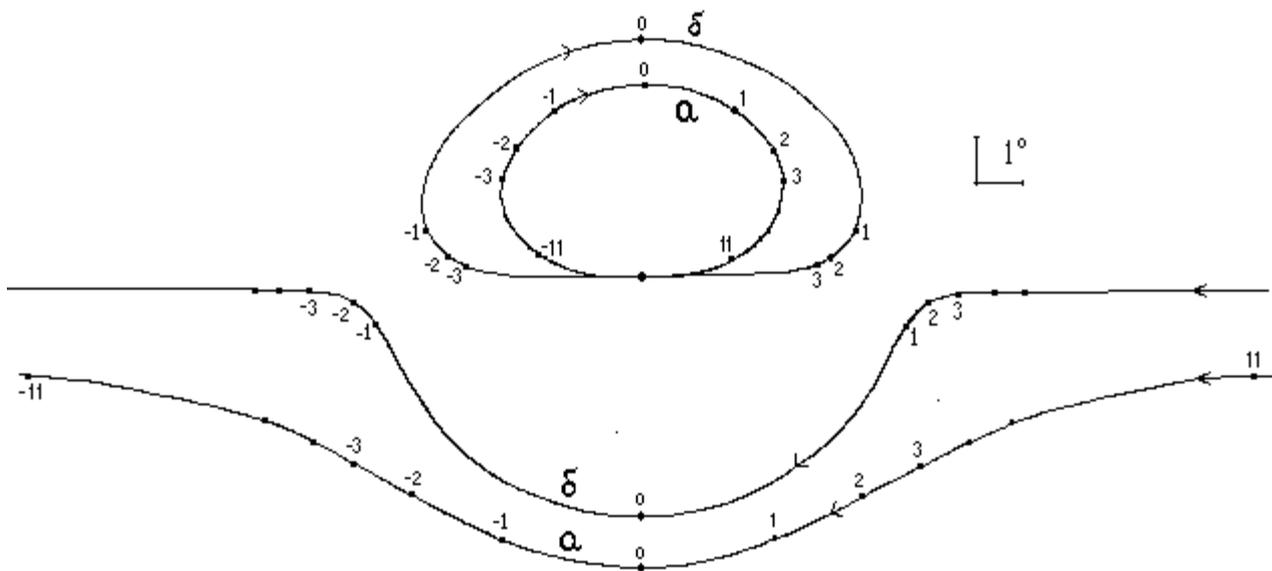


**Рис 3-5.** Влияние Солнца на наблюдаемое положение источника потока частиц *относительно Солнца*. Точками обозначено положение источника с интервалами 1 сутки. Скорость частиц 500 км/с.

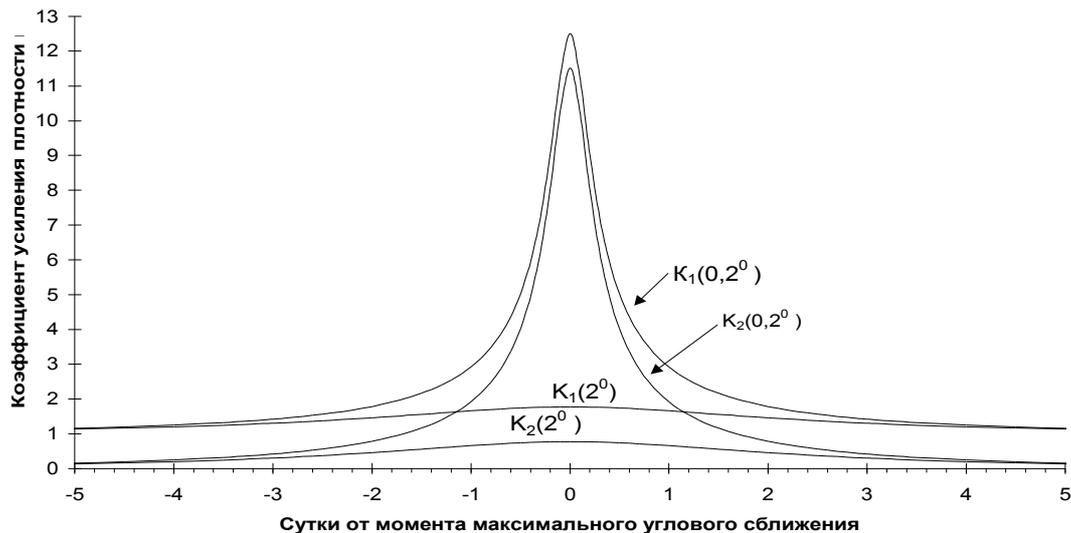
$u$  - движение источника, не возмущенное Солнцем,  $h$  - наблюдаемое положение источника,  $a$  - минимальное расстояние невозмущенного источника до Солнца  $2^\circ$ ,  $b$  - минимальное расстояние невозмущенного источника до Солнца  $0,2^\circ$ .

Рис. 3.6 показывает перемещение наблюдаемого положения источника потока относительно звезд (а не относительно Солнца, как на рис. 3.5). На рис. 3.7 показано, как изменяются величины потоков в процессе углового сближения источника с Солнцем.

Если бы существовал инструмент, дающий изображение в потоках ЧСМ с скоростью 500 км/с, мы увидели бы следующую картину. В некоторый момент времени источник потока начинает двигаться с возрастающей скоростью вдоль эклиптики по ходу Солнца; позже траектория начинает изгибаться. В это же время на угловом расстоянии около  $10^\circ$  появляется второй источник потока, вначале слабый, а потом сравнимый по величине с первым. Через 1-2 недели оба источника занимают положение, симметричное плоскости эклиптики. Скорость их движения возрастает до нескольких градусов в сутки, а "яркость" многократно увеличивается. Продолжительность "вспышки" - от часа до суток. Чем ярче "вспышки", тем они короче. После этого источники описывают траектории, симметричные траекториям до "вспышки", первый источник возвращается в исходное положение, а второй "гаснет". Эту картину следует дополнить замечанием о том, что оптически видимое изображение Солнца из-за движения Земли по орбите сдвинуто относительно Солнца, производящего вышеописанные эффекты, на угол около  $3,5^\circ$  в сторону его движения по эклиптике.<sup>11)</sup>



**Рис 3-6.** Влияние Солнца на наблюдаемое положение источника потока частиц *относительно звезд*. Точками обозначено положение источника с интервалами 1 сутки. Скорость частиц 500 км/с.  $u$  - движение источника, не возмущенное Солнцем,  $h$  - наблюдаемое положение источника,  $a$  - минимальное расстояние невозмущенного источника до Солнца  $2^\circ$ ,  $b$  - минимальное расстояние невозмущенного источника до Солнца  $0,2^\circ$ .



**Рис. 3.7.** Изменение плотности потока мононаправленных частиц, проходящих вблизи Солнца при скорости частиц 500 км/с

Аналогичные эффекты, только меньшего масштаба, происходят и при угловом сближении источников потоков ЧСМ с более близкими к Земле планетами и звездами.

### 3.4. Гравитационная фокусировка движущимися объектами

Рассмотрим гравитационную фокусировку с учетом движения фокусирующего тела относительно наблюдателя и потока фокусируемого агента. Об этом уже шла речь в разделах 3.1 и 3.2. Радиальная составляющая относительной скорости  $V_r$  влияет на спектр регистрируемых частиц, а тангенциальная  $V_\tau$  - на направление встречи частиц с детектором. Отклонение этого направления от прямой, соединяющей фокусирующее тело и точку наблюдения

$$\Delta\varphi = \arctg(V_\tau/V), \tag{3.21}$$

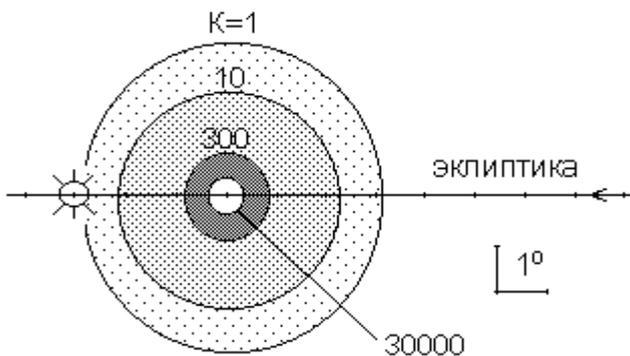
где  $V$  - скорость частиц.

В результате этого, направление прихода агента оказывается отклоненным от "оптического" направления на фокусирующее тело на угол, достигающий нескольких градусов. Из-за разброса скоростей в потоке ЧСМ величина  $\Delta\varphi$  "размывается", и фокусирующее небесное тело воспринимается не кольцевидным, а растянутым в некотором направлении объектом. Например, поток от Солнца, фокусирующего частицы со скоростями от 250 до 500 км/с, в результате движения Земли по орбите воспринимается в области углов приблизительно от 8 до 2 градусов на эклиптике позади Солнца; ширина солнечного "пятна" - 2..3 градуса.

В связи с этим, рассмотрим эксперимент новосибирской группы по наблюдению Солнца защищенным от света телескопом-рефлектором с датчиком Козырева в фокусе [37]. Телескоп закрепляли неподвижно относительно земной поверхности таким образом, что в некоторый момент времени, вращаясь вместе с Землей, он оказывался направленным точно на Солнце. Оказалось, что всплески сигнала регистрировались не в момент точной ориентации телескопа на "оптическое" положение Солнца, а на 8 и на 16 минут раньше. Исходя из того, что свет от Солнца до Земли идет 8 минут авторы сделали ошибочный вывод о том, что телескоп "видит" Солнце там, где оно находилось в момент испускания дошедшего до наблюдателя света (в «истинном» положении), а также там, где оно будет, когда свет от наблюдателя вернется назад. На самом же деле, результаты работы [37] вполне соответствуют тому, что можно ожидать при гравитационной фокусировке галактических потоков ЧСМ.

Предположим, что возникающий в телескопе сигнал связан с действием некоторого агента, приходящего от Солнца и распространяющегося со скоростью  $V$ . Если бы Земля была неподвижной относительно Солнца, при любой величине  $V$  направление распространения агента совпадало бы с

направлением на Солнце. Но Земля движется по орбите вокруг Солнца со скоростью  $V_e \approx 30 \text{ км/с}$ , "набегая" на идущий от Солнца поток агента. В результате этого, земной наблюдатель воспринимает идущий от Солнца поток отклоненным вдоль эклиптики от направления на Солнце на угол, определяемый соотношением (3.21). Помимо движения по орбите, Земля вращается вокруг своей оси в том же направлении, что и вокруг Солнца, поворачиваясь на  $1^\circ$  за 4 минуты. Поэтому, вращаясь вместе с Землей, телескоп регистрирует поток *раньше*, чем оказывается ориентированным на Солнце.<sup>12)</sup> В рассматриваемом эксперименте сигнал максимален за 16 и за 8 минут до того, как телескоп оказывался направленным на Солнце. За это время телескоп вместе с Землей поворачивается на углы  $4^\circ$  и  $2^\circ$ . Если бы регистрируемый агент испускался непосредственно Солнцем, углами такой величины соответствовали бы скорости  $V$  около 400 и 800 км/с. Но в случае гравитационной фокусировки проходящий поток воспринимается в виде кольца (см. рис. 3.8). Предположим, что фокусируемый поток монохроматичен и центру кольца соответствует угол  $3^\circ$  - середина между углами, при которых зарегистрированы всплески сигналов. Такому углу по формуле (3.21) соответствует  $V = 570 \text{ км/с}$ . При этой скорости внутренний радиус кольца  $0,3^\circ$ . Здесь коэффициент усиления максимален - около  $3 \cdot 10^4$  {см. (3.5)}. Радиусу в  $1^\circ$  (т.е. расстояниям от центра Солнца  $2^\circ$  и  $4^\circ$ ) соответствует коэффициент усиления 300, а при радиусах более  $3^\circ$  происходит не усиление плотности потока, а ослабление. Таким образом, при сканировании телескопом, вращающимся вместе с Землей, он будет проходить участок повышенной плотности потока на расстоянии 3,3-4 градуса от Солнца, затем резкий спад в районе 3 градусов, а потом второй всплеск в районе 2-2,7 градусов. Эта картина вполне соответствует ходу сигнала, зарегистрированного новосибирскими исследователями. По-видимому, они зарегистрировали галактические потоки ЧСМ, сфокусированные гравитационным полем Солнца. Полученные ими результаты не имеют никакого отношения к наблюдению Солнца в «истинном» положении.<sup>13)</sup>



**Рис. 3.8.** Наблюдение с Земли гравитационной фокусировки Солнцем потока частиц со скоростью 570 км/с

Если бы мы имели дело с мгновенно распространяющимся агентом, он воспринимался бы отклоненным от "оптического" направления на Солнце в противоположную сторону, а величина отклонения была бы на три порядка меньше. Обнаружить эффект "истинного положения", наблюдая Солнце, очень трудно, так как видимый диаметр Солнца на два порядка больше ожидаемых различий.

Однако, это возможно при наблюдении звезд. И действительно, Н.А. Козырев обнаружил сигналы, приходящие из точек небесной сферы, совпадающих с «истинными» положениями некоторых звезд [35,53]. Новосибирскими исследователями зарегистрирован сигнал с направления, близкого к «истинному» положению звезды Вега [36]. Это, на первый взгляд, неопровержимо свидетельствует о возможности мгновенного (или более быстрого, чем скорость света) распространения сигналов. Но рассмотрение эффектов, связанных с гравитационной фокусировкой, показывает возможность объяснения этих удивительных результатов, не выходя за рамки стандартной науки.

Пусть поток агента, имеющего скорость  $V \ll c$ , двигаясь к наблюдателю, встречает на своем пути астрономический объект, например, звезду. Если объект неподвижен, в результате гравитационной фокусировки наблюдатель регистрирует усиление плотности потока в кольце с угловым радиусом  $\varphi_0$ , определяемым соотношением (3.36). Если объект движется с тангенциальной скоростью  $V_\tau \ll V$ , поток частиц «набегает» на него под углом  $\varphi_u = V_\tau / V$ . В этом случае, как показано в разделе 3.3, усиленный поток воспринимается наблюдателем приходящим из двух направлений, угловое положение которых относительно оси, соединяющей наблюдателя и объект в момент прохождения потока мимо объекта, можно найти из соотношений (3.40) и (3.41). Переписав эти соотношения с учетом (3.36), получим

$$\varphi_1 = V_\tau - (V_\tau^2 + 8GM/f)^{1/2} / 2V, \quad \varphi_2 = \{V_\tau + (V_\tau^2 + 8GM/f)^{1/2}\} / 2V. \quad (3.47)$$

Так как для звезд практически всегда выполняется условие  $8GM/f < V_\tau^2$ ,

$$\varphi_1 \approx 0 \quad \text{и} \quad \varphi_2 \approx V_\tau / V. \quad (3.48)$$

Итак, поток агента, прошедшего около движущейся звезды, воспринимается приходящим из двух направлений. Одно из них близко к направлению на звезду в момент прохождения мимо нее агента, т.е. много тысячелетий назад. Это направление сильно, до нескольких градусов, отличается от "оптического", причем частицы, имеющие разные скорости, приходят из различных направлений. Что же касается *второго* направления, оно, независимо от скорости агента, близко к направлению на звезду в *момент наблюдения*. Свойства гравитационной линзы таковы, что траектории получают нужный для "попадания" в наблюдателя изгиб именно в той области пространства, где будет находиться звезда, когда агент достигнет наблюдателя. Усиление потока вблизи "истинного" положения звезды связано с тем, что к точке наблюдения из этого направления одновременно приходят частицы с различными скоростями, которые пролетали в области действия гравитационной линзы на протяжении весьма длительного времени (для ближайших звезд - порядка  $10^4$  лет при разбросе скоростей в несколько сотен км/с). Понятно, что эффект "истинного положения" не проявляется у агентов, не имеющих разброса по скоростям - электромагнитного излучения и релятивистских частиц. <sup>14)</sup>

#### 4. ВИД НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ В ПОТОКАХ ЧСМ

В этой главе обобщены результаты, изложенные в предыдущих разделах. Эти результаты, хотя они имеют лишь оценочный характер, дают некоторые ориентиры, необходимые на начальных этапах экспериментальных исследований космических потоков медленных слабовзаимодействующих частиц.

##### 4.1. Внегалактические потоки

Частицы, составляющие скрытую массу Местной группы галактик, а также Локального сверхскопления, достигают поверхности Земли со скоростями порядка 1000 км/с. Для надежного расчёта их спектрально-углового распределения данных пока недостаточно. Потоки внегалактических частиц могут фокусироваться гравитационными полями галактик, в результате чего должны возникать "пятна" размером порядка  $1^\circ$ . Направления на эти пятна сильно отличаются от оптически наблюдаемых положений соответствующих объектов из-за больших скоростей (сравнимых со скоростью частиц) фокусирующих тел относительно земного наблюдателя, а также из-за изгиба траекторий частиц в гравитационном поле Галактики.

Объекты, находящиеся за пределами Локального сверхскопления, недоступны для наблюдения в потоках ЧСМ, так как время пролета частиц от них превышает время существования Вселенной.

##### 4.2. Объекты Галактики

Радиальная компонента потока ЧСМ Галактики должна наблюдаться с Земли в виде дуги, близкой к галактическому экватору, протянувшейся от созвездия Орла до созвездия Персея (см. 2.3). Скорость частиц, приходящих из середины дуги - 250 км/с, из ее концов - 500...600 км/с.

Рассеянные потоки ЧСМ Галактики, фокусируемые звездами или черными дырами, шаровыми звездными скоплениями, должны наблюдаться в виде узких полосок длиной до нескольких градусов (см. 3.1). Длина и направление полоски определяется скоростью и направлением движения фокусирующего объекта относительно Земли. Ее положение отличается от оптически видимого положения объекта на угол до нескольких градусов, причем из-за орбитального движения Земли оно меняется, двигаясь на протяжении года по эллипсу с большой полуосью до нескольких градусов. Кроме того, должны наблюдаться объекты в «истинных» положениях (см. 3.4).

Значительное число ярких объектов должно наблюдаться в районе описанной выше дуги радиального потока ЧСМ, так как в этом случае происходит весьма эффективная фокусировка почти мононаправленного потока.

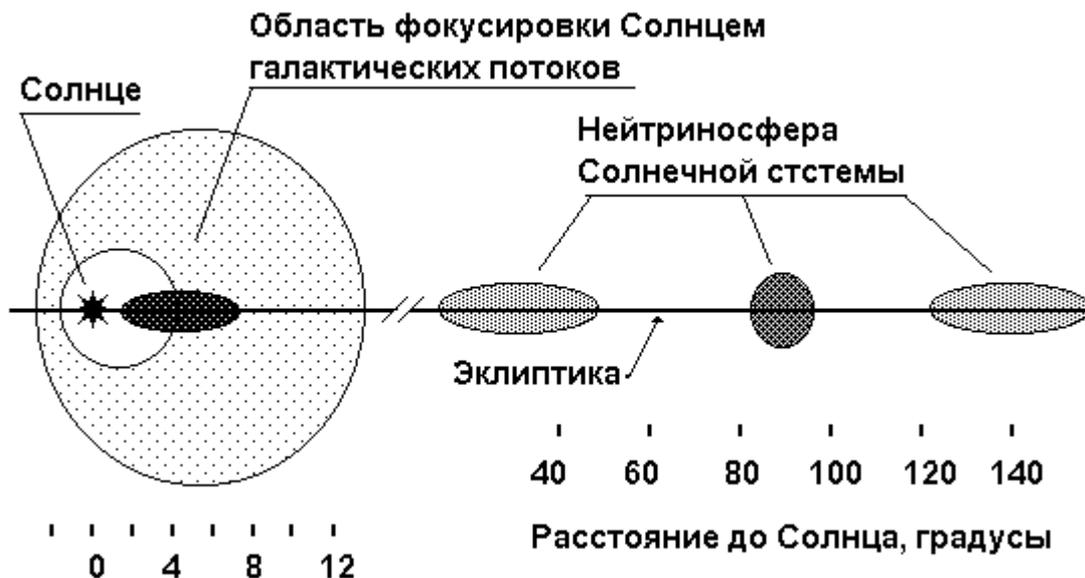
Яркие объекты можно ожидать на расстоянии около  $10^0$  от Солнца, так как здесь происходит вторичное усиление потоков в гравитационном поле Солнца. Здесь должны наблюдаться "вспышки" продолжительностью от часа до суток (см. 3.3).

Объекты Галактики фокусируют не только частицы галактической нейтриносферы, но и внегалактические потоки. Более высокая скорость частиц, составляющих эти потоки, приводит к значительному снижению отклонений направлений потоков частиц от "оптических" положений фокусирующих тел по сравнению с ЧСМ Галактики.

### 4.3. Объекты Солнечной системы

Рассеянные потоки галактических частиц, сфокусированные Солнцем, должны наблюдаться вблизи эклиптики сзади по ходу Солнца на расстоянии от 2 до 8 градусов (см. 3.1). На расстоянии около  $1^0$  находится область фокусировки Солнцем внегалактических частиц. Дальше от Солнца вдоль эклиптики на расстояниях  $35,3^0$  и  $144,7^0$  расположены пятна, даваемые потоками частиц солнечной нейтриносферы, имеющими скорость  $52,7 \text{ км/с}$ . На расстоянии  $90^0$  расположено пятно, образуемое частицами солнечной нейтриносферы, имеющими скорость  $31,8 \text{ км/с}$  (см. 2.2).

Вблизи Солнца, как было указано в разделе 4.2, находится область усиления потоков ЧСМ, идущих от звезд и черных дыр. Особенно большим должно быть усиление на расстоянии до нескольких градусов от Солнца впереди по его ходу вдоль эклиптики, так как здесь размытие, связанное с



различием скоростей частиц, минимально. Положение описанных выше источников потоков ЧСМ, "привязанных" к Солнцу, показано на рис. 4.1.

**Рис. 4.1.** Потоки скрытой материи, связанные с Солнцем.

Вблизи эклиптики расположены также потоки галактических ЧСМ, сфокусированные планетами. Коэффициенты усиления Галактических потоков планетами значительно ниже, чем звездами (см. 3.1). Сфокусированные планетами потоки частиц солнечной нейтриносферы, как показано в разделе 3.2, могут быть весьма значительными, но наблюдение возможно лишь эпизодически.

### 4.4. Нейтриносфера Земли

Эксперименты [14-19] показывают, что в нейтриносфере Земли преобладают две компоненты, имеющие скорость около  $8 \text{ км/с}$  и  $11 \text{ км/с}$ . Первая компонента, образованная частицами, движущимися вблизи поверхности Земли, ввиду сильного рассеяния в атмосфере и недрах Земли должна иметь весьма "размытое" угловое распределение с некоторыми неоднородностями, связанными с рельефом и строением недр Земли. На движение частиц второй компоненты, которые при орбитальном движении уходят далеко от Земли, оказывает влияние гравитация Луны и Солнца.

Поэтому в ней должны быть неоднородности, связанные с непрерывно меняющимся взаимным положением Земли, Луны и Солнца.

В изменении плотности потока частиц со скоростями около  $11 \text{ км/с}$  должны проявляться ритмы, соответствующие периоду обращения Луны вокруг Земли и изменения взаимного положения Луны, Земли и Солнца, а также ритмы, отличающиеся от основных в  $m/n$  раз, где  $m$  и  $n$  - небольшие целые числа. Наиболее характерный ритм должен иметь периодичность 9-10 суток (см.2.1).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные и теоретические исследования показывают богатое многообразие свойств частиц, образующих скрытую массу Вселенной (ЧСМ). Это многообразие обусловлено, во-первых, многокомпонентностью потоков ЧСМ, образуемых частицами нескольких типов с сильно отличающимися массами; различие скоростей движения ЧСМ достигает двух порядков. Во-вторых, потоки ЧСМ эффективно воспринимают действие гравитации небесных тел, вблизи которых они проходят. Частицы могут двигаться по финитным орбитам в полях гравитации Галактики, Солнца, Земли. Пролетев мимо центров гравитации, неспособных вовлечь частицы в орбитальное движение, ЧСМ меняют направление своего движения.

В первом случае образуются своеобразные "нейтриносферы", для которых характерны относительно плавные изменения плотности потока ЧСМ с ритмами, связанными с изменением взаимного положения небесных тел, дающих основной вклад в гравитационное поле. В частности, для нейтриносферы Земли такими телами являются Луна и Солнце.

Во втором случае происходит перераспределение плотности потока ЧСМ: снижение в одних областях пространства и возрастание (фокусировка) в других. Возрастание плотности потока частиц может быть весьма значительным. При гравитационной фокусировке мононаправленных потоков оно может достигать, хотя и кратковременно, десятков порядков. Фокусироваться могут и рассеянные потоки. При этом со стороны фокусирующего центра гравитации (Солнца, планеты, звезды, черной дыры) приходит остронаправленный поток ЧСМ. Его размер - от угловых секунд до нескольких градусов - зависит от скорости ЧСМ, расстояния от наблюдателя до фокусирующего тела, а также его массы и радиуса.

Остронаправленные потоки ЧСМ несут принципиально новую информацию о различных объектах Вселенной, в том числе о таких труднодоступных для традиционных астрономических методов объектах, как нейтронные звезды и черные дыры. Низкая скорость ЧСМ дает удивительную возможность наблюдать процессы, происходившие в отдаленные по времени эпохи в объектах, сравнительно близких к нам пространственно. Открывается возможность создания своеобразной "машины времени" - устройства, позволяющего наблюдать астрономический объект в разные эпохи его существования при настройке на разные длины волн (скорости) принимаемых ЧСМ.

В ряде зарубежных лабораторий безуспешно предпринимаются попытки лабораторной регистрации частиц скрытой массы (ЧСМ) [6,7,22]. Причиной неудач является то, что эти эксперименты, в соответствии с традициями физики элементарных частиц, ориентированы на регистрацию отдельных актов взаимодействия с веществом, что требует применения установок, обладающих крайне высокой чувствительностью.

Другие подходы, более плодотворные, основаны на использовании эффектов коллективного взаимодействия потока ЧСМ с веществом, применения волновых свойств, весьма характерных для медленных слабовзаимодействующих частиц [14-19,23-25]. Первые положительные результаты на этом пути, по-видимому, были получены Н.А.Козыревым [35,53], регистрировавшим заэкранированным от света телескопом непонятные сигналы, приходящие с направлений отличающихся от оптически видимых астрономических объектов. Эти наблюдения были частично подтверждены в работах [36,37], а также в работах киевского астронома А.Ф.Пугача с сотрудниками [39] и автора этой работы [33,38,42-44,52]. Судя по всему, мы являемся свидетелями рождения нового научного направления - астрономии потоков ЧСМ.

Астрономические наблюдения в потоках ЧСМ открывают принципиально новые возможности для изучения небесных тел, так как основным фактором, формирующим потоки ЧСМ, является гравитация. Экспериментальные исследования гравитационных явлений, играющих основополагающую роль в процессах в небесных телах и во Вселенной в целом, до сих пор были

затруднительными из-за крайне слабого влияния гравитации на потоки электромагнитного излучения, которые до последнего времени были практически единственным каналом получения информации о процессах в Космосе.

Фундаментальное значение исследований ЧСМ очевидно. Но ЧСМ, этот неизвестный до недавнего времени самый распространенный во Вселенной вид материи, по-видимому, играет важную роль и в повседневной жизни людей как один из факторов, реализующих космоземные связи. Воздействие космических потоков ЧСМ может приводить к мощным результатам (например, инициировать землетрясение) или к малозаметным, но чреватым серьезными последствиями изменениям психофизиологического состояния людей [27,30,34].

Есть основания предполагать, что изучение свойств ЧСМ, разработка методов их концентрирования и эффективной регистрации откроют путь к развитию принципиально новых высокоэффективных технологий [43].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Физика Космоса*. Под ред. Сюняева Р.А. - М.: Сов. энциклопедия, 1986, 783 с.
2. Einasto J.E., Kaasik A., Saar E.m. *Dynamic evidence on massive coronas of galaxies*// Nature, Vol. 250, N 5464, 1974, p. 309-310
3. Ostriker J.R., Peebles P.J.E., Yahil A.//*Astronphys. J.Leff.*, Vol. 193, L1, 1974.
4. Сучков А.А. Галактики знакомые и загадочные. - М.: Наука, 1988, 192с
5. Клыпин А.А., Сурдин В.Г. *Крупномасштабная структура Вселенной*. - М.: Знание, сер. "Космонавтика, астрономия", N 10, 1981, с.36.
6. *Proceeding of the Workshop on Low Temperature Detectors for Neutrinos and Dark Matter*, Rindberg Castle, Germany, ed. by K.P.Pretzl, N.Schmitz and L.Stodolsky, Springer Verlag 1987.
7. *Proceeding of the Second European Workshop on Low Temperature Devices for the Detection of Low Energy Neutrinos and Dark Matter - LAPP.- Annecy-Le-vieux (haute -Savoie) - France, May 2-6, 1988.* Ed. By L.Gonzalez-Mestres, D.Rerret-Gallix.
8. Marx G., Szalay S. //*Astronomi and Astrophysics*, 1976, Vol.49, p.437.
9. Любимов В.А., Новиков Е.Г., Нозик В.З. и др. //*Ядерная физика*, т.32, 1980, с.301.
10. Зельдович Я.Б., Сюняев Р.А. *Астрономические следствия массы покоя нейтрино*// Письма в Астрономический журнал, т.6, N 8, 1980, с.451-469.
11. Дорошкевич А.Г., Клыпин А.А., Хлопов М.Н. *Космологические модели с нестабильными нейтрино*//Астрономический журнал, т.65, вып.2, 1988, с.248-262.
12. Гуревич Л.Э., Чернин А.Д. *Происхождение галактик и звезд*. - М.: Наука, 1987, -192с.
13. Хлопов М.Ю. *Космомикрофизика*. - М.: Знание, сер."Физика", N 3, 1989, 64 с.
14. Пархомов А.Г. *О возможности существования нейтриносфер около небесных тел и экспериментальные результаты, подтверждающие существование нейтриносферы Земли*. //В сб.: Исследования проблем энергоинформационного обмена в природе. Том 1, часть 1. СНИО СССР, М., 1989, с.64-80.
15. *Исследование природных потоков слабо взаимодействующих частиц низких энергий - реликтовых нейтрино. Этап 01: Обзор современного уровня достижений в области исследования СЧНЭ. Разработка методов и средств регистрации СЧНЭ*. //Отчёт по научно-исследовательской работе. N гос. регистр. 01.89.0087641, инв. N 0289.0066354, 19с.
16. *Исследование природных потоков слабо взаимодействующих частиц низких энергий - реликтовых нейтрино. Этап 02: Проведение экспериментов по изучению и уточнению параметров СЧНЭ*. // Отчёт по научно-вссл. работе N гос. регистр. 01.89.0087641, инв. N 0290.0048999, 74с.
17. *Исследование взаимодействия нейтрино в процессах с предельно малыми переданными энергиями. Этап 01: Разработка методов регистрации и исследования нейтрино ультранизких энергий на основе волновых свойств частиц*// Промежуточный отчёт. Тема N 00790-01, - М., 1990, 40 с., N госрегистрации 01900060227, инв. N 0290.0049006.

18. *Исследование взаимодействия нейтрино в процессах с предельно малыми переданными энергиями. Этап 02: Разработка экспериментального оснащения и комплексных программ исследований свойств нейтрино низких и ультранизких энергий //Заключительный отчет. Тема N 00790-01, - М., 1990, N государственной регистрации 01900060227, инв. N 0290.0049006.*
19. Пархомов А.Г., Уланов С.Н. *Экспериментальная проверка возможности регистрации нейтрино ультранизких энергий с использованием ядерной реакции обратного бета-распада.* // Деп. ВИНТИ, N 199-B91 от 11.01.91, 19с.
20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика.* - М.: Наука, 1964
21. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Механика.* - М., "Наука", 1965, 204 с.
22. *Low Temperature Detectors for Neutrinos and Dark Matter. Proc. of the III International Workshop.* July, 1989. / Eds. Brigiato L., Camin D.Y., Fiorini E. Gif-sur-Jvette: Editions Frontieres, 1990, 352 p.
23. *Создание макетов регистраторов потоков низкоэнергетических нейтрино* // Промежуточный отчет, тема 03691-01, Москва, 1991, 41с.
24. *Экспериментальная проверка систем регистрации на основе датчиков силового и электромагнитного воздействия* // Научно-технический отчет, тема С-МА-9, Москва, 1992.
25. *Экспериментальные исследования систем регистрации торсионных полей (излучений) и частиц скрытой материи* // Промежуточный отчет, тема 1/92-13492-01 от 10.04.92, Москва, 1992, 64с.
26. Сумин А.А., Фридман А.М., Хауд У.А. *Трехкомпонентная динамическая модель Галактики* // Письма в астр. журнал, т.17, N 8, 1991, с.700.
27. Пархомов А.Г. *Космоземные связи и проблема "непонятных" феноменов* // В кн.: Материалы о физических полях и биоэнергетике человека.-М.: НТО РЭС им. А.С.Попова, вып. 2, 1987, с.11- 27.
28. Симоненко А.И. *Астероиды.* М.: Наука, 1985, 208с.
29. Пархомов А.Г. *Гравитационная фокусировка потоков частиц скрытой материи* // Деп. ВИНТИ, N 1789-B92 от 29.05.92, 42с.
30. Красногорская Н.В., Пархомов А.Г. *Космическая природа ритмов в биосфере* // В кн.: Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. Ред. Красногорская Н.В. СПб: Гидрометеиздат, 1992, с. 237-246.
31. Пархомов А.Г., Уланов С.Н. *Распределение и движение частиц скрытой массы в Галактике* // Деп. ВИНТИ, N 1790-B92, от 29.05.92, 41с.
32. Блиох П.В., Минаков А.А. *Гравитационные линзы.*-М.:Знание,1990, сер." Космонавтика,астрономия", N 1, 64с.
33. *Экспериментальные исследования систем регистрации торсионных полей (излучений) и частиц скрытой материи* // Заключительный отчет, тема 1/92-13492-01 от 10.04.92, Москва, 1992.
34. Krasnogorskaya N.V., Parkhomov A.G., Rudakov Ya.Ya. *Electric fluctuations at the Earth's surface as a function of space parameters.*// *Publs. inst. geophys. Pol. acad. Sc.*, D-35(238), 1991, p. 207-213.
35. Козырев Н.А., Насонов В.В. *О некоторых свойствах времени, обнаруженных в астрономических наблюдениях* // В кн. Проявление космических факторов на Земле и на звездах, сер. Проблемы исследования Вселенной, вып. 8, М., Л., 1980, с. 76-84.
36. Лаврентьев М.М., Еганова И.А., Луцет М.К., Фоминых С.Ф. *О дистанционном воздействии звезд на резистор* // Доклады АН СССР, 1990, т. 314, N 2, с.368 -355.
37. Лаврентьев М.М., Еганова И.А., Луцет М.К., Фоминых С.Ф. *О регистрации истинного положения Солнца* // Доклады АН СССР, 1990, т. 315, N 2, с. 368-370.
38. *Исследование новых физико-технических процессов, в том числе методов детектирования и управления потоками нейтрино ультранизких энергий ("Поток-2")* //Заключительный отчет. Тема 05891-01 от 07.06.1991 г., М., 1991, 44 с.
39. Акимов А.Е., Ковальчук Г.У., Медведев В.Г., Олейник В.К., Пугач А.Ф. *Предварительные результаты астрономических наблюдений по методике Н.А. Козырева* // Препринт ГАО-92- 5Р, Киев, 1992, 16 с.
40. Zwicky F. *Helv. Phys. Acta.*1933, №6, p. 110-118
41. Пархомов А.Г., *Малые черные дыры в Земле: взаимодействие с веществом и возможные эффекты, доступные наблюдению* // *Астрофизика и геофизика отонов.* -Минск: АРТИ-ФЕКС, 1997. с. 71-82.

42. Пархомов А.Г. *Необычное космическое излучение. Обнаружение, гипотезы, проверочные эксперименты*. -М., 1995. 51 с. Второе издание 2002 г.
43. Пархомов А.Г. *Скрытая материя: роль в космоземных взаимодействиях и перспективы практических применений* // Сознание и физическая реальность. 1998. Т.3. № 6. -С. 24-35.
44. Пархомов А.Г. *Потоки частиц скрытой материи и их возможная роль в формировании космических ритмов в биосфере*. В кн.: Стратегия жизни в условиях планетарного экологического кризиса. Ред. Красногорская Н.В. . СПб.: Изд-во "Гуманистика". 2002. Т.1. С. 160-174
45. Новиков И.Д., Фролов В.П. *Черные дыры во Вселенной* // УФН. 2001. Т. 171. №3. С.307-324
46. Черепашук А.М. *Поиски черных дыр* // УФН. 2003. Т. 173. №4. С.345-384
47. Гуревич А.В., Зыбин К.П. *Крупномасштабная структура Вселенной. Аналитическая теория* // УФН. 1995. Т. 165. № 7. -С. 723-758.
48. Гуревич А.В., Зыбин К.П., Сирота В.А. *Мелкомасштабная структура темной материи и микролинзирование* // УФН. 1997. Т.167. № 9. -С.913-943.
49. Lobashev V.M., Aseev V.N., Belev A.I. *DIRECT SEARCH FOR THE MASS OF NEUTRINO AND ANOMALY IN THE TRITIUM BETA-SPECTRU* // Physics Letters B 460 (1999), p.227-235.
50. Пархомов А.Г. *Астрономические наблюдения по методике Козырева и проблема мгновенной передачи сигнала* // Физическая мысль России, №1, 18-25 (2000).
51. Пархомов А.Г., Макляев Е.Ф. *Исследование ритмов и флуктуаций в ходе процессов разной природы* //Тезисы докладов международной конференции «Космос и биосфера». Крым, Партенит, сентябрь 2003, с. 22-23.
52. Пархомов А.Г. *Наблюдение телескопами космического излучения неэлектромагнитной природы*. М., 1994. 26 с. . Второе издание 2002 г
53. Козырев Н.А. *Избранные труды*. Л.: Изд. Лен. университета, 1991. 448 с.
54. John D.Anderson, Philip A. Laing , Eunice L. Lan. Study of the anomalous acceleration of Pioneer 10 and 11 // Phys.Rev. D65 (2002) 082004. <http://xxx.lanl.gov/abs/gr-qc/0104064>

## <sup>1</sup>ДОПОЛНЕНИЯ И ЗАМЕЧАНИЯ

) Слабовзаимодействующие частицы могут частично или полностью двигаться и в недрах Земли. В частности, микроскопические черные дыры (МЧД) [45] с массой до  $10^{13}$  кг, как показано в [41], при скорости порядка 10 км/с пролетают сквозь Землю почти без потерь энергии. Тем не менее, если МЧД совершают орбитальные движения, частично проникая в недра Земли, после достаточно большого числа оборотов они теряют энергии столько, что апогей становится равным радиусу Земли. После этого движение МЧД быстро переходит в колебательный режим с пролетом около земного центра, причем они могут «застрять» в недрах Земли, преимущественно вблизи ее поверхности.

<sup>2</sup>) Вывод о наличии частиц с такими скоростями был сделан на основе анализа пространственных распределений вероятности регистрации некоего излучения с высокой проникающей способностью вблизи объемных дифракционных решеток. Дальнейшие эксперименты показали, что это излучение вступает в ядерную реакцию обратного бета распада с бета радиоактивными нуклидами, что указывает на нейтринную природу обнаруженного излучения [19,42,43].

<sup>3</sup>) Эксперименты на тритиевой установке по измерению массы покоя электронного нейтрино в Троицке показывают отрицательность квадрата массы нейтрино, причем измеряемая величина колеблется с полугодовой периодичностью. Эти результаты можно трактовать так: наряду с обычным бета распадом происходит обратный бета распад, при котором происходит не испускание антинейтрино, а поглощение нейтрино солнечной нейтриносферы [49]. Первый эксперимент, в котором была зарегистрирована реакция обратного бета распада под действием космических потоков нейтрино ультранизких энергий, описан в [19, 42].

<sup>4</sup>) В последние годы получено экспериментальное указание на существование нейтриносферы Солнечной системы. Анализ движения космических аппаратов «Пионер-10» и «Пионер-11» выявил уменьшение их ускорения на  $8 \cdot 10^{-8}$  см/с<sup>2</sup> по сравнению с расчетным, начиная с расстояния 20 астрономических единиц от Солнца (орбита Урана) [54]. Это можно объяснить притяжением массы порядка 20 масс Земли, «размазанной» в пределах сферы радиуса 20 АЕ. Если этот объект состоит из частиц массой 1 эВ, орбиты которых пересекают орбиту Земли, плотность их потока в околоземном пространстве более  $10^{25}$  частиц/см<sup>2</sup>с.

<sup>5</sup>) В самом центре Галактики находится черная дыра с массой 2,4 миллиона масс Солнца [45,46].

<sup>6</sup>) в последнее время чаще используют термин «темная материя» - неудачный перевод с английского (*dark* означает не столько *темный*, сколько *тайный*, *непонятный*)

<sup>7</sup>) По последним данным, масса электронного нейтрино не превышает 2,5 эВ [49]

<sup>8</sup>) Анализ результатов сканирования небесной сферы телескопом-рефлектором с бета источником в фокусе указывает на наличие, кроме рассмотренных здесь галактических, солнечно системных и земных потоков ЧСМ, также потоков, имеющих скорость около 100 км/с. Такие скорости могут иметь частицы, движущиеся в гравитационном поле околосолнечного звездного скопления.

<sup>9</sup>) Наличие нейтринных осцилляций считается уже экспериментально доказанным. При скоростях нейтрино, характерных для скрытой массы (менее 1000 км/с), длина осцилляции меньше размеров атома, и при взаимодействии с веществом практически одновременно

проявляются свойства электронного, мюонного и тау нейтрино.

<sup>10</sup>) Анализ всплесков скорости счета в экспериментах [51,52] показывает, что многие из них происходят когда 2 или 3 планеты и/или Солнце находятся на небольшом угловом расстоянии (до нескольких градусов). Это указывает на возможную роль «многолинзовой» фокусировки, при которой наблюдаются особенно сильные эффекты.

<sup>11</sup>) При сканирования небесной сферы телескопом-рефлектором с расположенным в фокусе счетчиком Гейгера с бета источником или без источника [43,44,50] всплески скорости счета при тесном соединении звезд и Солнца наиболее убедительно наблюдались 19 августа 1994, 1995 и 1999 г.г., когда звезда *ню Leo* сближается с центром Солнца до расстояния 5 угловых минут.

<sup>12</sup>) Линия сканирования практически параллельна эклиптике на протяжении нескольких месяцев около солнцестояний

<sup>13</sup>) Аналогичные наблюдения окосолнечной области [43,44,50-52], проведенные автором, не противоречат результатам, полученным новосибирцами, но показывают значительно более сложную картину, причем связанные с Солнцем сигналы обнаружены и при весьма значительных отклонениях телескопа от направлений на Солнце, превышающих 10 градусов. На основе этих результатов можно сделать вывод о том, что скорость регистрируемого агента лежит в пределах от 100 до 1000 км/с.

<sup>14</sup>) Более подробное рассмотрение проблем, связанных с астрономическими наблюдениями по методике Козырева «истинных» положений небесных тел можно найти в статье [50]