

Определение параметров астрофизических источников.

Иллюстрации.

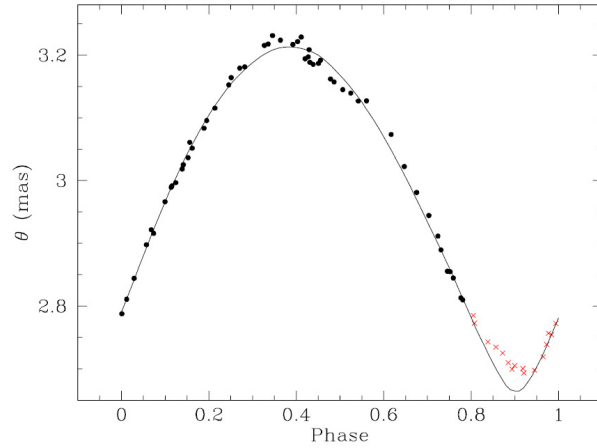


Рис. 4: Изменение со временем углового диаметра цефеиды Δ Cep по данным непосредственных измерений, усредненных за много периодов. Одновременно меряется скорость поверхности (по доплеровскому смещению спектральных линий), что позволяет непосредственно определить линейные размеры звезды и расстояние до нее. Источник: F. Kervella et al., eprint astro-ph/0402244.

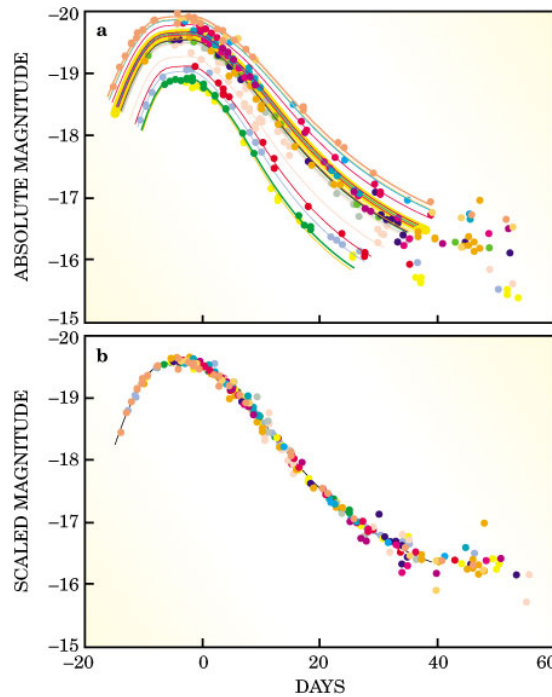


Рис. 5: Кривые блеска сверхновых типа Ia. *Вверху*: наблюдаемые кривые блеска для отдельных сверхновых; точки одного цвета соответствуют одной сверхновой. Подавляющее большинство сверхновых имеют (не показанные на рисунке) кривые в пределах желтой полосы. *Внизу*: те же самые кривые, одновременно отмасштабированные по горизонтальной (время) и вертикальной (светимость) осям. Введение такой масштабной поправки переводит все (редко встречающиеся) кривые, не попадающие в желтую полосу, к ней. Таким образом, достаточно измерить форму кривой блеска, чтобы узнать абсолютное значение светимости. Источник: S. Perlmutter, Physics Today **56** (April 2003), 53.

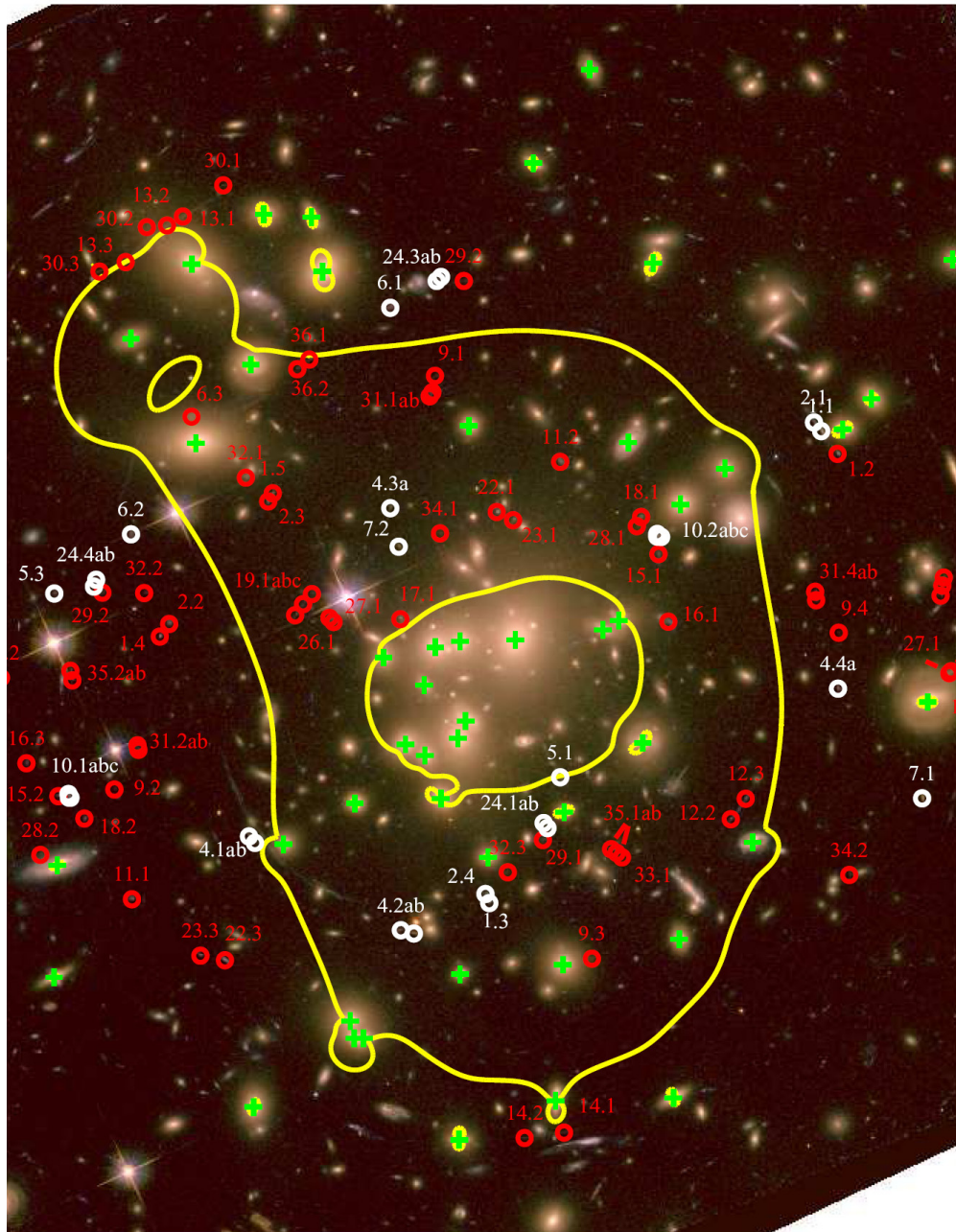


Рис. 6: Скопление галактик Abell 1689 (фото HST). Зеленые крестики – галактики скопления. Белые кружочки – линзированные изображения, использованные для фита космологических параметров; красные кружочки – отброшенные изображения. Желтые линии – это критические линии для восстановленного распределения масс и источника на $z = 3$, вблизи которых линзированные изображения должны быть особенно яркими (большое увеличение). Источник: E. Jullo et al., *Science* **329** (2010) 924.

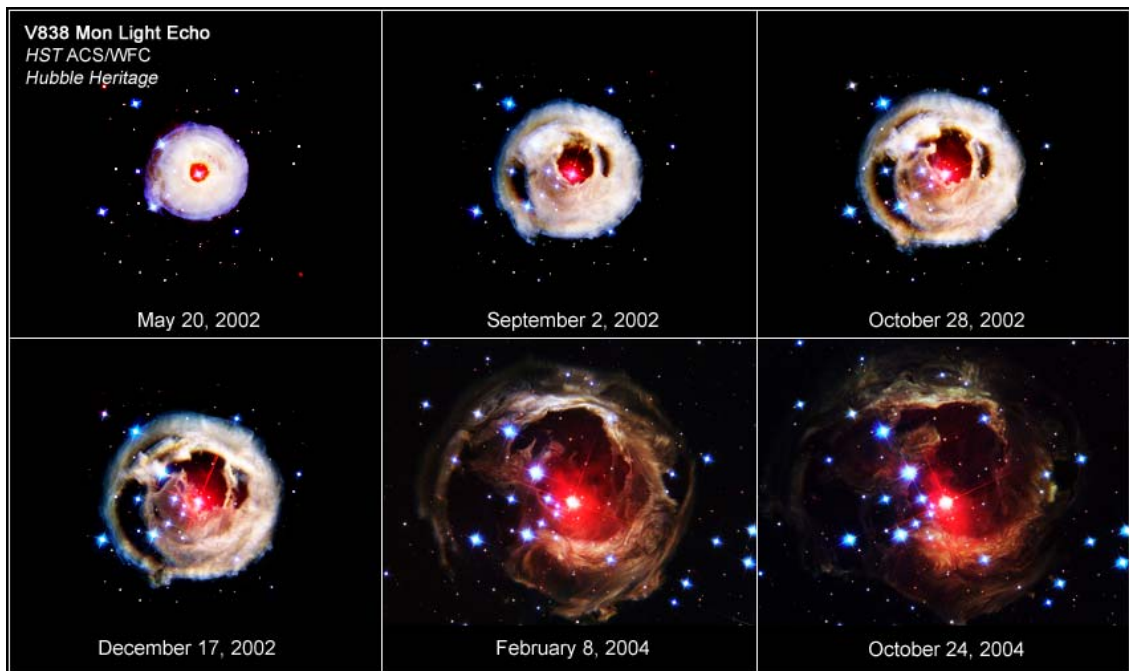


Рис. 7: Световое эхо от взрыва звезды V838 Mon, сфотографированное HST. Источник: <http://heritage.stsci.edu/2005/02/images/s0502aw.jpg> . Там же можно посмотреть кино: <http://heritage.stsci.edu/2005/02/images/v0502al.mov> .

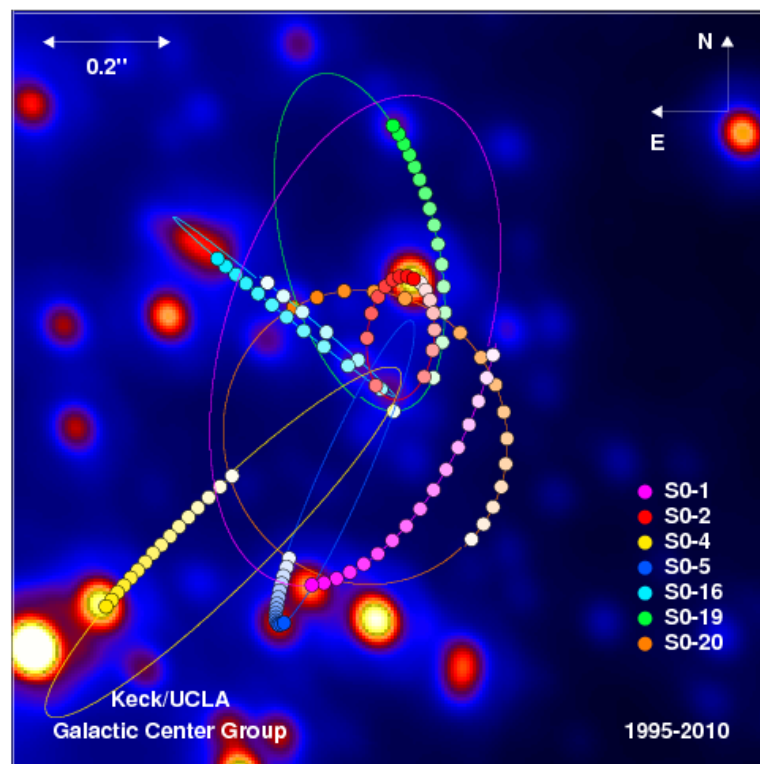


Рис. 8: Центр Галактики: показаны траектории звезд, обращающихся вокруг центральной черной дыры (по непосредственным наблюдениям 1995-2010 гг.). Анализ траекторий совместно с анализом лучевых скоростей позволяет одновременно определить массы звезд, массу центральной черной дыры и линейные размеры орбит, а следовательно и расстояние до Центра Галактики. Источник: <http://www.astro.ucla.edu> .

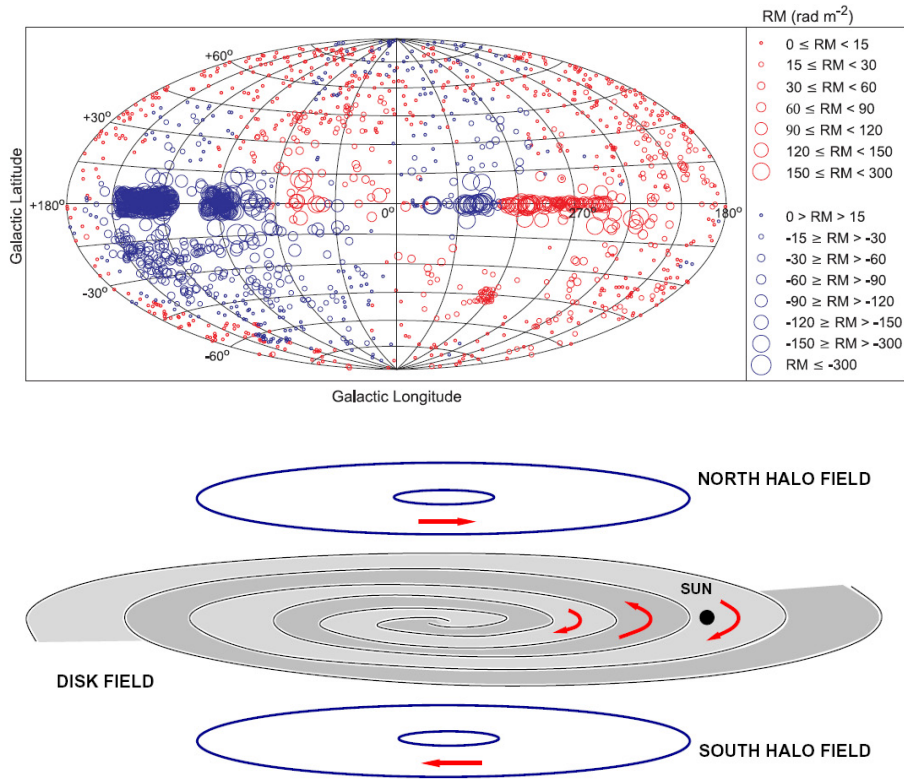


Рис. 9: Восстановление магнитного поля нашей Галактики по измерениям фарадеевского вращения. *Вверху*: значения фарадеевского вращения для 2247 источников (знак задается цветом, а величина – диаметром кружочка). *Внизу*: набросок модели регулярного магнитного поля Галактики, основанной на этих измерениях. Источник: М. Pshirkov et al., arXiv:1103.0814.

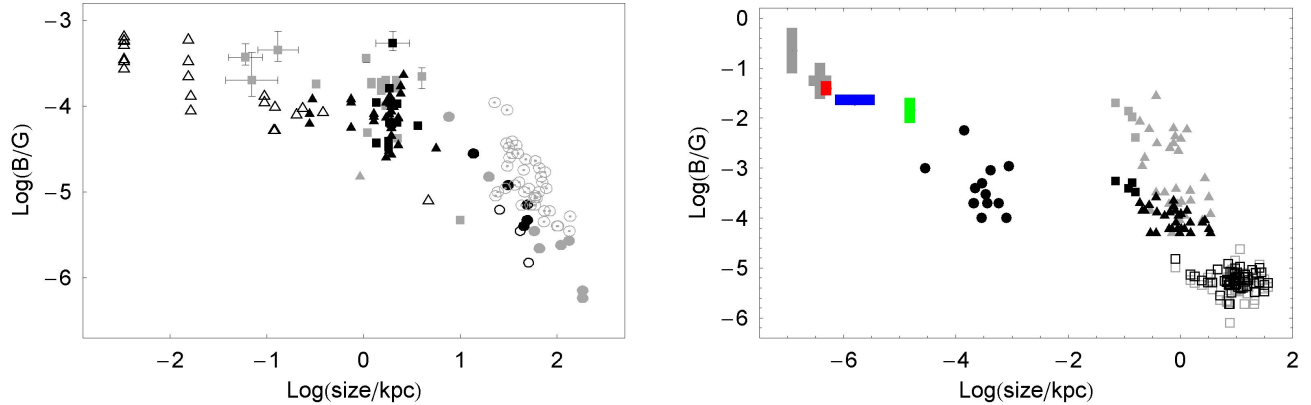


Рис. 10: Результаты оценки магнитных полей разными методами. *Слева*: поля в отдельных частях – узелках (треугольники), горячих пятнах (квадраты) и радиоушах (кружочки) отдельных мощных активных галактик. Черные символы: квазары и блазары, серые символы: FR II радиогалактики, незакрашенные символы: FR I радиогалактики (рентгеновские наблюдения в предположении равномерного распределения); квадратики с линиями ошибок: оценки из наблюдения синхротронного излучения; серые кружочки с точками: FR II радиоуши (сравнение радио- и рентгеновских измерений без предположения о равномерном распределении). Видно, что предположение о равномерном распределении энергии неплохо согласуется с другими оценками. *Справа*: поля в областях звездообразования в Галактике ($R \lesssim \text{пк}$) и в starburst-галактиках ($R \gtrsim 0.1 \text{ кпк}$). Толстые линии ошибок: измерение зеemanовского расщепления в мазерах; черные точки: субмиллиметровая поляриметрия. Данные для обычных (незакрашенные квадратики), starburst (треугольники) и экстремальных starburst (закрашенные квадратики) галактик получены двумя способами: черные символы – оценка по методу минимальной энергии; серые символы – метод равномерного распределения энергий (для одних и тех же объектов). Видно, что справедливость предположения о равномерном распределении энергии здесь под вопросом. Источник: К. Птицына, С. Троицкий, УФН **180** (2010) 723.

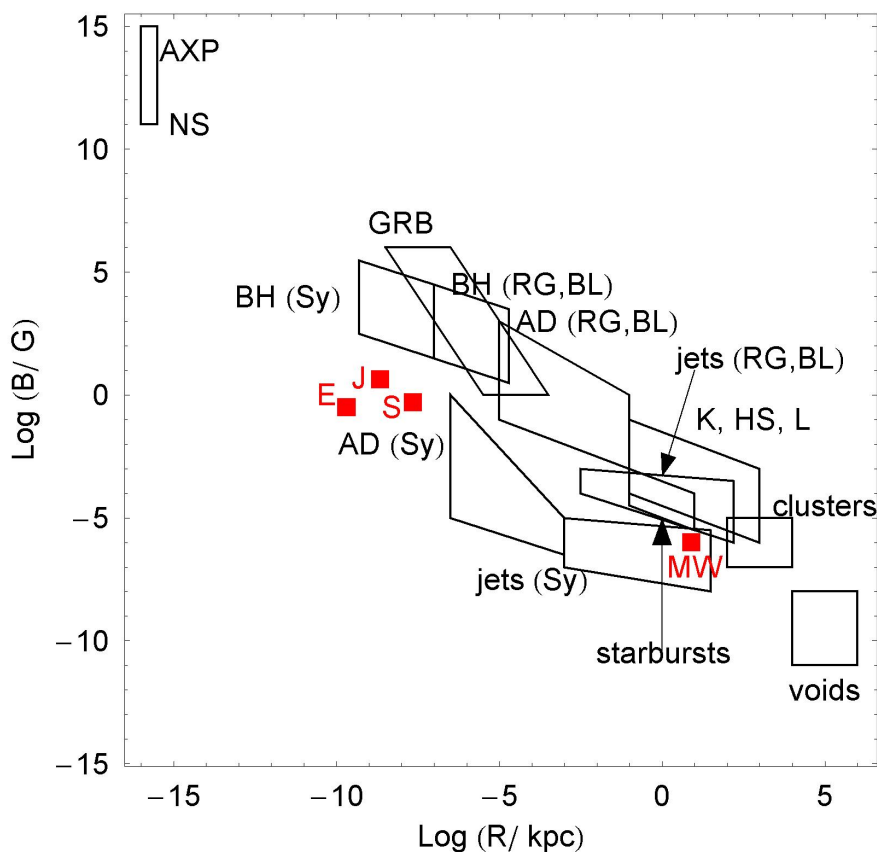


Рис. 11: Характерные магнитные поля и размеры астрофизических объектов: нейтронных звезд (NS), аномальных рентгеновских пульсаров и магнетаров (AXP), сверхмассивных центральных черных дыр (BH) и центральных парсеков (AD) активных галактик – от маломощных сейфертовских (Sy) до мощных радиогалактик (RG) и блазаров (BL), релятивистских струй (jets), узелков (K), горячих пятен (HS) и радиоушей (L) мощных активных галактик (RG и BL); нерелятивистских выбросов маломощных активных галактик (Sy); starburst-галактик; гамма-всплесков (GRB); скоплений галактик (clusters) и крупномасштабных пустот (voids). Красными квадратиками отмечены Земля (E), Юпитер (J), Солнце (C) и наша Галактика (MW). Все величины приведены в системе покоя источника; для перехода в лабораторную систему для релятивистских струй и оболочек гамма-всплесков их надо умножить на Лоренц-фактор струи (характерные значения от ~ 10 для лептонных струй до ~ 100 для адронных струй и гамма-всплесков). Источник: по материалам той же статьи.

Задачи.

6. Какой минимальный угловой размер звезды можно измерить любительским телескопом с диаметром объектива 10 см, если сосед не топит баню? Если топит? Можно выбрать любую звезду, с которой будет удобно работать (яркую и удобно расположенную).
7. (а) Вывести формулу

$$\frac{dP}{dr} = -G \frac{M(r)\rho}{r^2},$$

описывающую статическую звезду. P – давление, r – расстояние от центра звезды, $M(r)$ – масса, заключенная внутри этого радиуса, ρ – локальная плотность, G – гравитационная постоянная.

- (б) Оценить статистическую ошибку в определении расстояния до конкретной цефеиды с использованием зависимости “период–светимость”, связанную с разбросом температур цефеид.
- (в) Оценить систематическую ошибку в определении расстояния до цефеид населения I по сравнению с населением II, считая, что звезды населения I полностью состоят из водорода, а звезды населения II имеют примесь из $\sim 2\%$ железа.
8. Рассмотрим модельное аксиально-симметричное (относительно луча зрения) скопление галактик, радиальное распределение плотности в котором описывается законом

$$\rho(r) = \rho_a \left(\frac{a}{r}\right)^b$$

(вкладом отдельных галактик по сравнению с общей темной материей пренебрежем). Пусть это скопление находится на расстоянии D_l от наблюдателя и играет роль гравитационной линзы для некоторых источников, находящихся на расстояниях $D_s^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots$, от наблюдателя на оси симметрии скопления (везде речь идет об угломерных расстояниях).

- (а) Для плоской Вселенной ($\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$) показать, используя зависимость угломерного расстояния от космологического параметра Ω_m , что последний может быть определен из сравнения наблюдаемых положений изображений двух источников, если известны красные смещения линзы z_l и источников $z_s^{(i)}$.
- (б) Показать, что при сравнении положений трех источников можно определить Ω_m , не зная b .
- (в) Оценить точность определения Ω_m для случая трех источников, если угловое разрешение телескопа θ_0 . То же для N источников. Для численной оценки взять угловое разрешение HST и красные смещения линзы $z_l = 0.2$, источников $z_s^{(1)} = 1$, $z_s^{(2)} = 1.5$, $z_s^{(3)} = 2$.
- (г) Когда источников много, можно определять и дополнительные космологические параметры, например, уравнение состояния темной энергии (параметр w). Оценить точность одновременного определения Ω_m и w для $N = 10$ источников с $1 \leq z_s^{(i)} \leq 4$ для $z_l = 0.2$ и углового разрешения HST.
9. Предположим, что Вселенная плоская, состоит из материи (Ω_m) и темной энергии ($1 - \Omega_m$); последняя имеет уравнение состояния $P/\rho = w(z)$. Пусть имеется сферический объект на красном смещении z , для которого мы измерили угловой размер θ и красное смещение ближнего и дальнего края (разница $\Delta z \ll z$). Нарисовать график для характерных космологических параметров.
10. Оценить расстояние до взорвавшейся звезды V838 Mon, воспользовавшись изображением светового эха на рис. 7. Сторона каждой фотографии – 2.4 угловых минуты. Даты наблюдений указаны на рисунке.
11. Будем считать, что сверхмассивные черные дыры в центрах активных галактик существуют в режиме стационарной аккреции, когда сила притяжения, действующая на плазму около черной дыры, уравновешивается давлением излучения этой самой плазмы (эддингтоновский режим).
- (а) Для черной дыры массы найти соответствующую светимость (эддингтоновскую светимость), считая, что световое давление обусловлено томсоновским нерелятивистским рассеянием фотонов на электронах.
- (б) В предположении о равномерном распределении плотности энергии между магнитным полем и излучением оценить магнитное поле вблизи черной дыры.