

Казанский (Поволжский) Федеральный Университет

Физический факультет

Жуков Г.В.

ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ
НА ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗД
(МЕТОД БУГЕРА)

(Учебно-методическое пособие)

Казань, 2010

Публикуется по решению Редакционно-издательского совета физического факультета.

УДК

Жуков Г.В. Влияние поглощения света в земной атмосфере на фотометрические наблюдения звезд. Учебно-методическое пособие. Казань, 2010, - 17с. Приложение – 7с.

В учебно-методическом пособии рассматриваются механизмы ослабления света звезд при прохождении в атмосфере Земли и применение метода Бугера для определения коэффициентов экстинкции на основе оригинальных многоцветных наблюдений. Рекомендуется студентам 3 курса специальности «астрономия» для выполнения практических (лабораторных) работ по курсу «Общая астрофизика. Методы определения параметров звезд».

Рецензент: А. И. Галеев, доцент КГГПУ

Влияние поглощения света в земной атмосфере на фотометрические наблюдения звезд.

Существует значительное число факторов, ослабляющих излучение астрономических объектов при прохождении его через земную атмосферу, которые можно разделить на два принципиально различающихся типа. Первый – рассеяние света, при котором частота пришедшего кванта не изменяется, но меняется его направление. В результате часть света от объекта не приходит к наблюдателю непосредственно, а в результате многократных фактов рассеяния создает излучение неба. Рассеяние можно разделить на молекулярное (рэлеевское) и рассеяние на аэрозолях – более крупных, чем молекулы, частицах, находящихся в атмосфере.

Второй тип – истинное поглощение. В этом случае квант излучения поглощается молекулой, а затем энергия этого кванта может быть излучена и на других частотах, и в других направлениях.

Рэлеевское рассеяние

Рассеяние света вызывают флуктуации плотности воздуха. Количественной характеристикой рассеяния света является сечение рассеяния σ – при упругом рассеянии можно считать, что это размер площадки, «не пропускающей свет» в направлении его первоначального распространения. Неполной, но наглядной характеристикой служит индикатрисса рассеяния – зависимость интенсивности рассеянного света от угла рассеяния, часто отображаемая графически. В случае, когда размеры рассеивающих частиц малы по сравнению с длиной волны (впервые получено Рэлеем) сечение рассеяния с точностью до постоянных равно:

$$\sigma_R(\lambda) \sim (n^2 - 1)^2 / N^2 \lambda^4 \quad (1)$$

где n – показатель преломления воздуха, N – число молекул в см^3 , λ – длина волны. Чтобы получить оптическую толщину τ – безразмерную величину, характеризующую ослабление излучения, необходимо поперечное сечение умножить на количество частиц на пути луча:

$$\tau_R(\lambda, h) = \sigma_R(\lambda) \int_h^\infty N(h, T) dh = \int_0^\infty \beta_R(\lambda) dh \quad (2)$$

где T – температура воздуха. Несколько упростив выражение 1, получим объемный показатель ослабления света:

$$\beta_R(\lambda) \sim (n - 1)^2 / N \lambda^4 \quad (3)$$

Такая зависимость ослабления света, обусловленного рассеянием, объясняет, почему цвет дневного неба голубой. То же самое наблюдается ночью, если небо подсвечено Луной.

Для приблизительных оценок интеграл $\int N(h,T)dh$ можно заменить высотой однородной атмосферы: условной атмосфере с постоянным давлением по высоте, равным давлению на уровне моря или высоте h . В любом случае при известной оптической толщине атмосферы ослабление света за счет рэлеевского рассеяния равно:

$$p_R(\lambda) = e^{-\tau_R(\lambda, h)} \quad (4)$$

или в звездных величинах:

$$\Delta m_R(\lambda) = -2.5 \lg p_R(\lambda) \approx -1.086 \tau_R(\lambda, h) \quad (5)$$

Для монохроматических световых потоков существует закон Бугера:

$$\begin{aligned} I(\lambda) &= I_0(\lambda)e^{-k(\lambda)M} \\ m(\lambda) &= m_0(\lambda) + \alpha(\lambda)M \end{aligned} \quad (6)$$

где $I_0(\lambda)$, $m_0(\lambda)$ и $I(\lambda)$, $m(\lambda)$ – интенсивность света и звездная величина до (для астрономии – заатмосферные величины) и после (наблюдаемые величины) прохождения рассеивающего слоя, M – воздушная масса, $\alpha(\lambda) \approx 1.086k(\lambda)$ – коэффициент поглощения на единицу воздушной массы (толща атмосферы в зените). Поскольку не существует монохроматических приемников излучения, формула 6 превращается в сложное выражение:

$$A = -2.5 \lg \left(\frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E(\lambda)\varphi(\lambda)p(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E(\lambda)\varphi(\lambda) d\lambda} \right), \quad (7)$$

где A – разность наблюдаемой на поверхности Земли и заатмосферной звездными величинами, $\varphi(\lambda)$ – сложная функция, связанная со спектральной чувствительностью приемника и пропусканием элементов оптики телескопа.

Выражение 7 переходит в формулу Бугера, если предположить, что в широком спектральном диапазоне можно пользоваться средним значением коэффициента Бугера. Таким образом, если принять, что в первом приближении поглощение в широком диапазоне длин волн подчиняется закону Бугера для монохроматического излучения, мы можем использовать этот закон для учета поглощения света звезд в атмосфере Земли.

На рисунке 1 показан вид функции 4 для двух высот над уровнем моря: в коротковолновой области ослабление составляет более одной звездной величины, тогда как ослаблением в длинноволновой области иногда можно пренебречь, поскольку оно не превышает 2-3%.

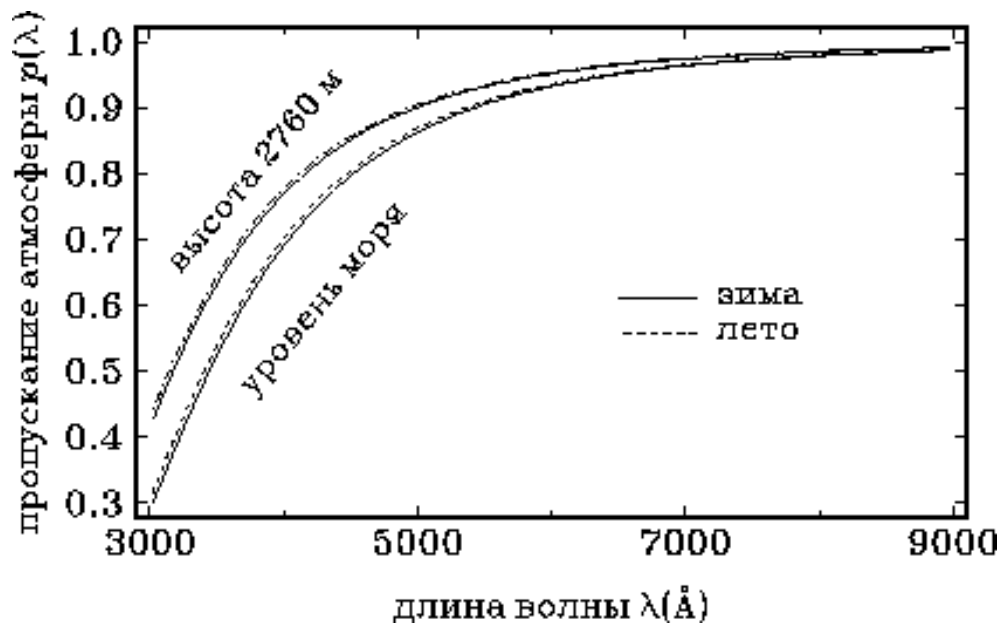


Рис.1. Зависимость пропускания земной атмосферы, обусловленная рэлеевским рассеянием.

Эффект Форбса

Рассмотрим изменение коэффициента ослабления света в широком участке спектра. Если монохроматическое излучение проходит n одинаковых слоев поглощающего вещества, пропускание каждого равно p и не зависит от длины волны, то по закону Бугера полное поглощение составит p^n . По другому делу обстоит для полосы конечной ширины $\Delta\lambda = \lambda_1\lambda_2$, поскольку спектральный коэффициент $k(\lambda)$ меняется и использование среднего коэффициента поглощения приведет к ошибке.

Рассмотрим простейший пример. Предположим, что имеется три одинаковых слоя поглощающего вещества, каждый из которых пропускает 50% монохроматического излучения. В итоге до наблюдателя дойдет 12.5% исходного потока излучения. Рассмотрим теперь полосу шириной $\lambda_1\lambda_2$. Упростим задачу: высокочастотная **половина** излучения имеет пропускание 0.1, а низкочастотная – 0.9. После первого поглощающего слоя мы зарегистрируем $(10+90)/2=50\%$ излучения, после второго – $(1+81)/2=41\%$, а после третьего – $(0.1+72.9)/2=36.5\%$. Таким образом, наблюдатель регистрирует более трети исходного излучения, что обусловлено изменением спектрального состава излучения.

В случае земной атмосферы величина ослабления света плавно уменьшается при увеличении длины волны. При этом происходит увеличение доли красного излучения, а красный свет поглощается меньше! Это явление называется эффектом Форбса.

Рассеяние на атмосферных аэрозолях

Аэрозоль в атмосфере Земли – это песок и пыль, поднимаемые ветром с поверхности земли; это и капельки воды и кристаллики морской соли; это и результаты вулканической деятельности – тонкая пыль, пепел, которые поднимаются на высоту до 20 км и не оседают на поверхность Земли до 2-3 лет. Следует отметить, что присутствие антропогенных аэрозолей астрономическими методами практически не выявляется (если не учитывать катастрофические события, подобные пожарам на сотнях скважин в результате войны между Ираком и Ираном).

Аэрозольная экстинкция имеет как сезонную переменность, так и вековые изменения. Зимой аэрозольное ослабление минимально, особенно в регионах с достаточно большой продолжительностью устойчивого снежного покрова. Осадки захватывают аэрозоли из атмосферы, очищая ее. А пыль сохраняется снегом, который при этом препятствует ветровой эрозии почв.

Плавающие в воздухе аэрозольные частицы в основном представляют собой смесь частиц пыли, льда и капелек воды. Размеры этих частиц сравнимы с длиной волны видимого света, хотя могут варьироваться в широких пределах.

Ослабление света аэрозолями описывается объемным коэффициентом ослабления света $\beta_s(\lambda, h)$. Оптическая толщина атмосферного аэрозоля над наблюдателем, находящимся на высоте h равна:

$$\tau_s(\lambda, h) = \int_h^{\infty} \beta_s(\lambda, h) dh \quad (8)$$

Пропускание атмосферы, обусловленное аэрозольным рассеянием:

$$p_s(\lambda) = e^{-\tau_s(\lambda, h)} \quad (9)$$

Для частиц определенного размера

$$\tau_s \sim \lambda^{-n}, \quad (10)$$

где n зависит от размеров частиц. Если размеры сравнимы с размерами молекулярных флуктуаций, $n \approx 4$. Для более крупных частиц показатель степени будет меньше; в случае, если размеры намного превышают длину волны света, рассеяние сменяется экранированием при отсутствии зависимости от длины волны. В последнем случае, когда в атмосфере много пыли, небо из голубого превращается в серое, белесое. (Оптическая толщина аэрозольного рассеяния превышает толщину молекулярного.)

Поскольку свойства аэрозоля (в основном, размеры частиц) меняются с высотой в атмосфере, меняется и наклон зависимости $\beta_s(\lambda)$ от высоты (Рис. 2.)

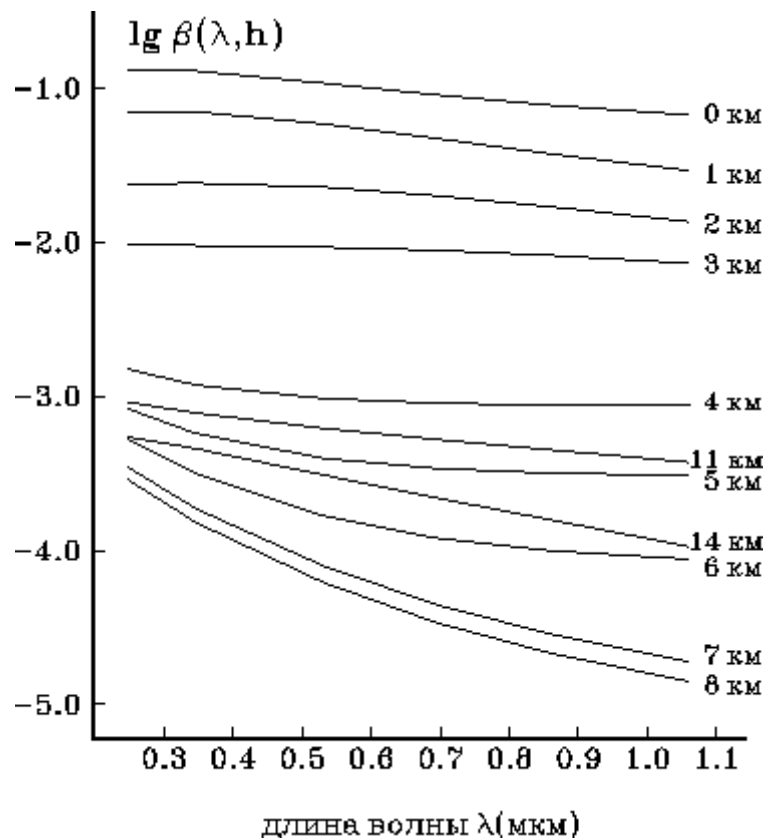


Рис.2. Зависимость объемного коэффициента рассеяния на аэрозолях от длины волны

Как следует из рисунка 2, аэрозольное ослабление происходит в основном на первых трех километрах, выше которых коэффициент $\beta_s(\lambda)$ уменьшается более чем на порядок. Поэтому естественно то, что большинство современных обсерваторий располагается на высотах 2-3 км. Из всех поглощающих в атмосфере факторов аэрозоль является наиболее изменчивым, в том числе зависимым от направления наблюдения (азимутальный эффект).

Истинное поглощение

При истинном поглощении в атмосфере фотон захватывается молекулой и изменяет ее энергетическое состояние. Позднее молекула может испустить фотон, но в другом направлении и в другой части спектра. В целом, происходят как переходы электронов с одного уровня на другой, так и изменения колебательной и вращательной энергии. Так формируются линии поглощения. Избыточное возбуждение приводит к ионизации молекул, а этот процесс – не квантованный – формирует полосы поглощения. В визуальном окне прозрачности в истинном поглощения участвуют три газа – озон, кислород и водяной пар.

Максимальное ослабление света за счет поглощения озоном достигается в области 2500А – полоса Гартли (в 10^{40} раз!). Ослабление уменьшается (до

10^{5-6} раз) к 2000Å и 3000Å. В более длинноволновой части спектра поглощение озоном происходит в полосе Хюггинса (Рис.3.). Поскольку среднее значение высоты однородной атмосферы озона, составляющее 3 мм, в различных условиях в атмосфере может меняться до 2 раз, именно полоса Хюггинса оказывает значительное влияние на коротковолновое крыло полосы пропускания фильтра U фотометрической системы UVV. Количество озона зависит также от широты и от сезона. Для наблюдений наиболее неприятен тот факт, что содержание озона меняется случайным образом даже в течение суток, причем амплитуда этих изменений сравнима с амплитудой широтных и сезонных вариаций.

Кроме ультрафиолетовой области, озон поглощает в широком диапазоне в визуальной части спектра от 4500 до 7500Å (полосы Шаппьюи). Однако в максимуме поглощение не превышает 0.04^m .

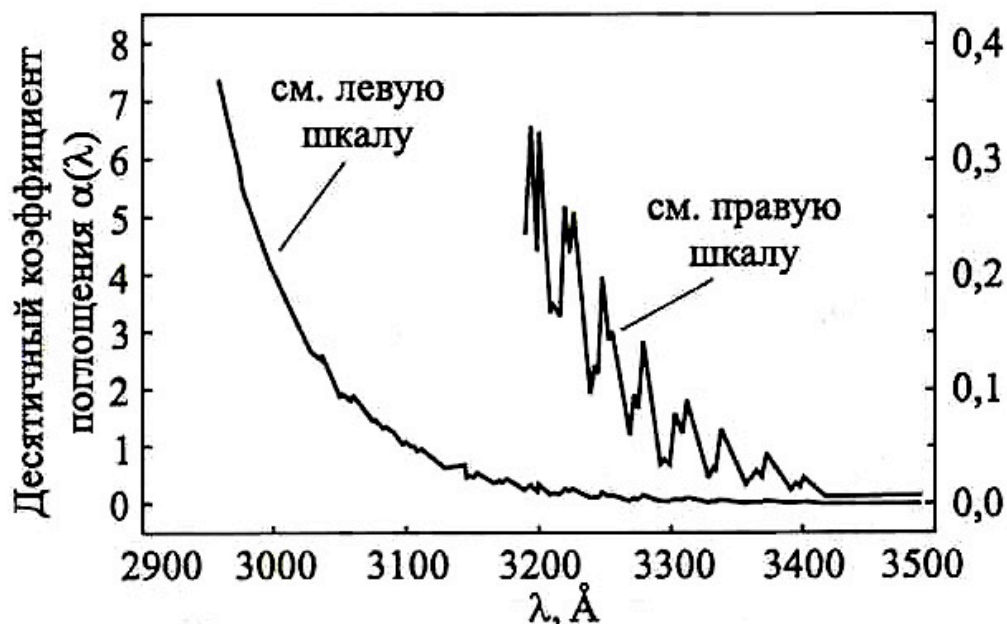


Рис.3. Поглощение озоном в ближнем УФ.

Газообразная вода поглощает в красной и ИК областях спектра. При увеличении высоты плотность водяного пара убывает быстрее, чем плотность воздуха; так, на высоте 3 км атмосферное давление уменьшается на четверть, а давление паров воды – в 3-4 раза.

На рисунке 4 показаны полосы поглощения водяного пара. В этом диапазоне поглощение в максимумах полос водяного пара невелико и составляет $0.05-0.06^m$ в расчете на $W = 0.3$ см осажденной воды, что характерно для высокогорных обсерваторий. На уровне моря эта величина сильно зависит от условий и может достигать 17 см. Для слабых полос оптическая толщина пропорциональна количеству осажденной воды. Поглощение в звездных величинах составит:

$$\Delta m(\lambda) = -1.086\tau(\lambda) \cdot W \quad (11)$$

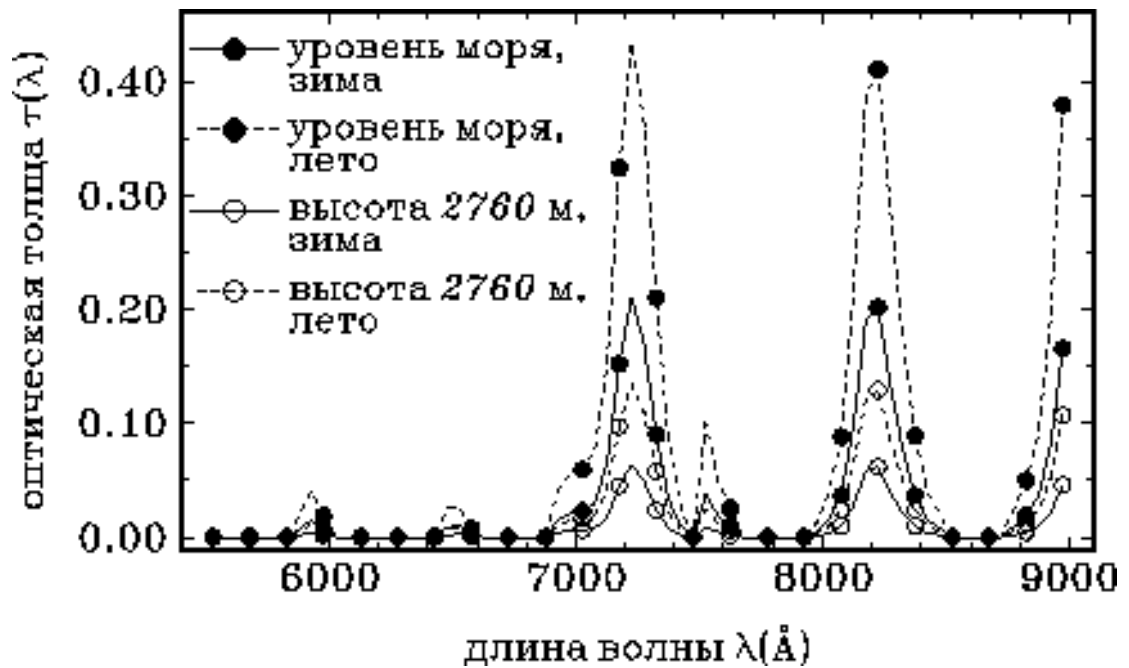


Рис. 4. Полосы поглощения водяного пара.

Еще одним поглощающим агентом земной атмосферы является молекулярный кислород. Полосы его поглощения также расположены в красной области оптического спектра (рис. 5).

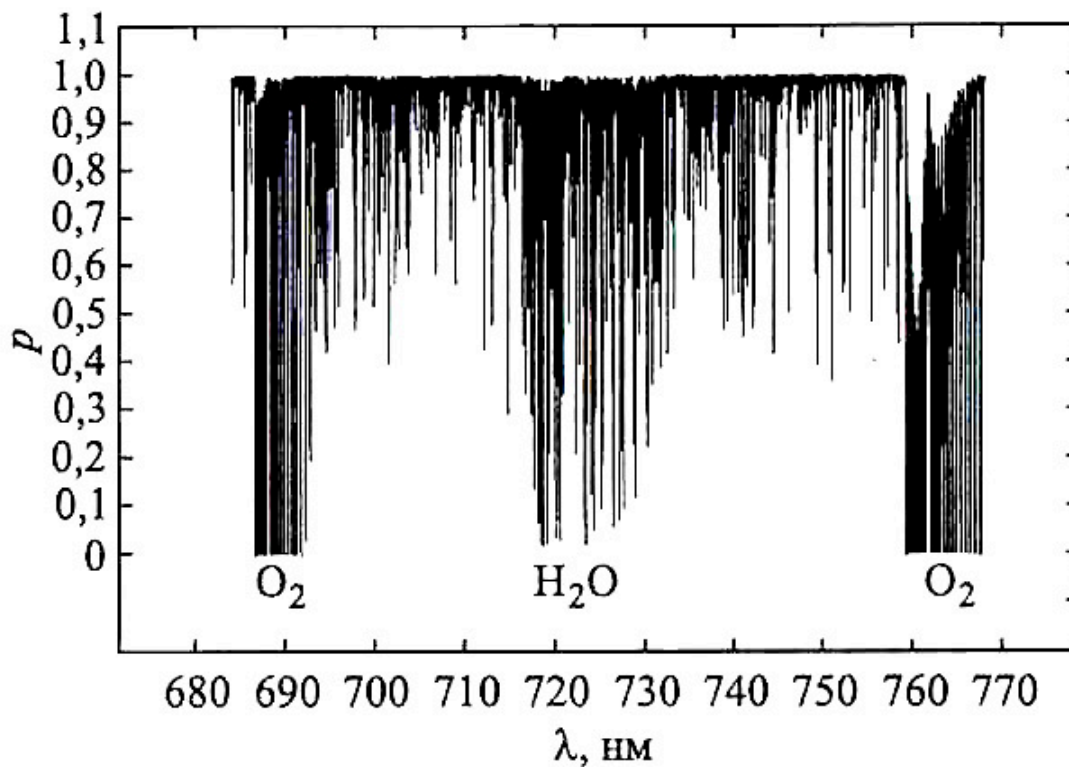


Рис. 5. Полосы поглощения молекулярного водорода.

Полное поглощение света в атмосфере в видимой области спектра складывается из поглощения за счет молекулярного и аэрозольного рассеяния и истинного поглощения молекулами O_2 , O_3 и H_2O :

$$p(\lambda) = p_R \cdot p_S \cdot p(O_2) \cdot p(O_3) \cdot p(H_2O) \quad (12)$$

Для произвольного направления луча зрения, отличного от зенита, каждый из сомножителей в выражении 12 нужно возвести в степень, равную воздушной массе для данного поглощающего агента. На рисунке 6 показано полное пропускание чистой атмосферы (без аэрозолей) в зените.

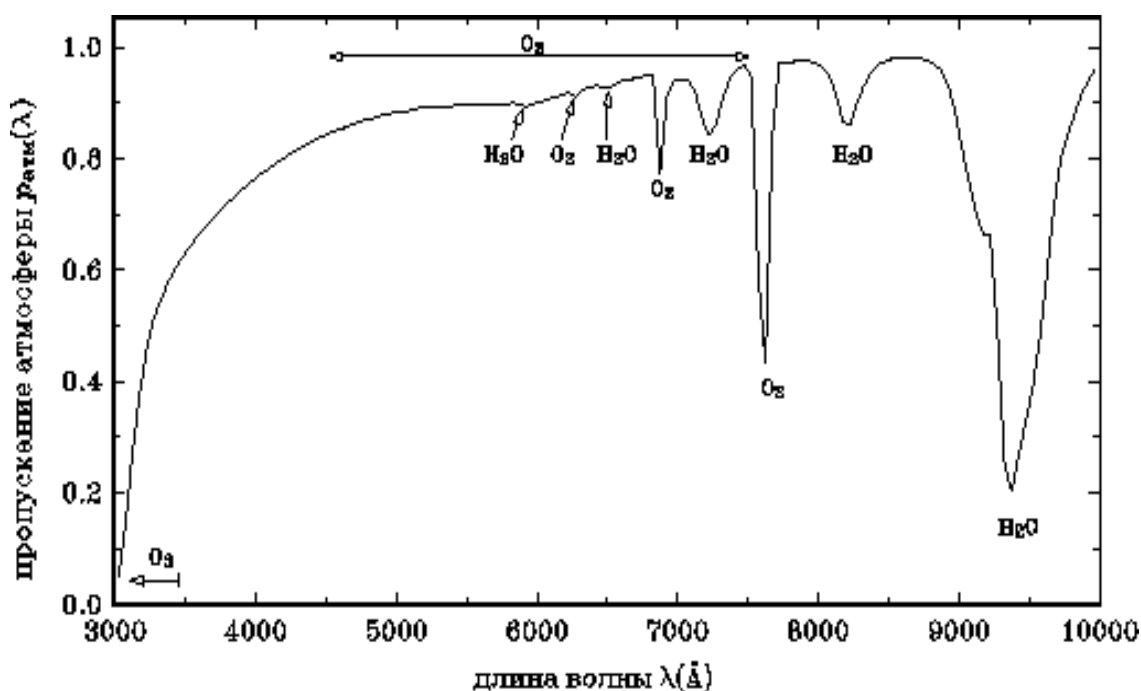


Рис. 6. Сводная зависимость прозрачности чистой атмосферы, рассчитанная для слоя озона 3мм и осажденной воды $W=1$ см.

Определение коэффициентов поглощения атмосферы методом Бугера

При выполнении высокоточных фотометрических наблюдений звезд, в том числе для создания фотометрических каталогов, необходим корректный учет всех рассмотренных процессов в атмосфере, ослабляющих излучение. Для этого необходимо тратить довольно много времени, отвлекая телескопы для изучения параметров атмосферы. В ряде случаев достаточно получать фотометрические данные с точностью порядка 1%, которая обеспечивается использованием удачным подбором звезд сравнения при дифференциальной фотометрии (геометрическая близость исследуемых звезд и звезд сравнения и как можно меньшее их отличие по спектральным характеристикам или показателям цвета). При этом можно использовать метод Бугера определения коэффициентов экстинкции для широкополосной фотометрии.

В приложении 1 предлагаются журналы наблюдений звезд сравнения, полученные при наблюдениях некоторых переменных звезд на 4-х цветном UBVR фотометре (Приложение 2). Ниже в качестве примера приведена часть таблицы наблюдений V603 Aql, в которой приняты следующие обозначения: **tok** – отсчет темнового тока, **fon** – отсчет фона неба, **comp** – отсчет звезды сравнения к изучаемой переменной. Все отсчеты приведены на момент середины экспозиции (**Time**), продолжительностью 10 секунд. В четырех последних колонках даны соответствующие отсчеты в фильтрах **U**, **B**, **V** и **R**. Каждое наблюдение, как правило, состоит из трех экспозиции по 10 секунд. Такой способ позволяет контролировать точность наблюдений.

Пример таблицы 1

V603 Aql.

Дата 08 октября 1994, Тмск, T=12C

Object	Time	Texp	U	B	V	R
tok	19:14:30	10	131	94	1286	352
-	19:14:41	10	135	72	1411	376
fon	19:17:57	10	2126	8464	12572	1042
-	19:18:09	10	2094	8567	12500	1117
-	19:18:20	10	2214	8375	12773	1099
comp	19:19:44	10	15301	157781	149089	6965
-	19:19:58	10	15386	158465	150253	7074
-	19:20:09	10	15249	158493	150582	7096
fon	19:34:05	10	1960	7356	12024	1098
-	19:34:16	10	2032	7401	11993	1074
-	19:34:27	10	1987	7314	12022	1089
comp	19:35:42	10	14651	156014	149905	7082
-	19:35:53	10	14760	155396	149284	7149
-	19:36:04	10	14773	155355	149298	6960
fon	20:06:18	10	1815	6163	11269	1180

-	20:06:29	10	1777	6177	11331	1180
-	20:06:40	10	1733	6128	11438	1140
fon	22:19:28	10	1515	6374	18080	2149
-	22:19:42	10	1524	6352	18016	2145
-	22:19:57	10	1602	6370	18303	2051
comp	22:21:15	10	7618	113336	130473	7169
-	22:21:26	10	7578	114471	131647	7231
-	22:21:38	10	7551	114689	131706	7134
fon	22:22:47	10	1630	6703	18562	2100
-	22:22:58	10	1593	6672	18120	2101
-	22:23:09	10	1629	6484	18284	2105

Проведем вначале предварительную обработку журнала наблюдений: усредним данные и получим следующую таблицу:

Object	Time	U	B	V	R
tok	19:14:36	133	83	1349	364
fon	19:18:09	2145	8469	12615	1086
comp	19:19:58	15312	158246	149975	7048
fon	19:34:16	1993	7357	12013	1087
comp	19:35:53	14728	155255	149496	7064
fon	20:06:29	1775	6156	11346	1153
fon	22:19:42	1547	6365	18133	2115
comp	22:21:26	7582	114165	131275	7178
fon	22:22:58	1617	6620	18322	2102

При наблюдении звезды с некоторой диафрагмой яркость является суммой отсчетов на звезду и фон, поэтому необходимо определить значение фона на момент наблюдения звезды и вычесть его. Для этого фон регулярно измеряется, как видно из таблицы, в данном случае через полчаса. Яркость фона в течение всей ночи плавно меняется в зависимости от зенитного расстояния, высоты Луны, наличия дымки на небе и т.п. Можно представить ход яркости фона неба за ночь плавной функцией либо кусочно-линейно аппроксимировать. Для нашего примера выберем последнее и получим следующие значения фона, например, в фильтре V, на моменты наблюдения звезды:

19:18 – 1262
 19:34 – 1201 → 19:20 – 1254; 19:36 – 1197
 20:06 – 1135
 22:20 – 1813 → 22:21 – 1822
 22:23 – 1832

Слева – наблюдения фона, справа – интерполированные значения фона на моменты наблюдения звезды. Обратите внимание, что время можно округлить до минуты, а значения отсчетов, как принято, приводятся в расчете на 1 секунду. Величина темнового тока в равной степени входит в отсчеты на фон и отсчеты на звезды, поэтому отсчеты темнового тока приводятся только для контроля чувствительности аппаратуры и ее работоспособности.

Получив требуемые значения фона, можем вычислить отсчеты на звезду N^*_v :

$$N^*_v = N_{(*v+фон)} - N_{фон v} \quad (13)$$

или в цифрах: (19:20) $N^*_v = 14998 - 1254 = 13744$;

(19:36) $N^*_v = 14950 - 1197 = 13753$;

(22:21) $N^*_v = 13128 - 1822 = 11306$

Звезда сравнения – постоянная звезда, поэтому наблюдаемые изменения ее блеска связаны в первую очередь с изменением воздушной массы M (см. формулу 6). В модели плоско-параллельной атмосферы воздушная масса $M = 1/\cos z$ (рис.7.)

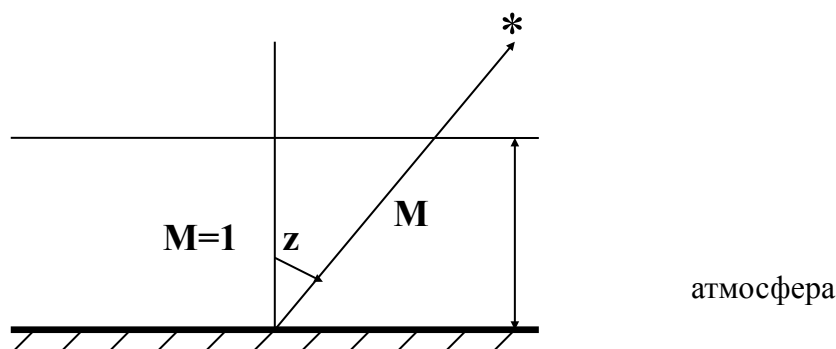


Рис. 7. Схема, поясняющая вычисление воздушной массы.

Этой упрощенной формулой можно пользоваться до зенитных расстояний $z = 60 - 70^\circ$; кроме этого, лучи ниже расположенных звезд проходят самые загрязненные и самые нестабильные слои атмосферы, что существенно понижает точность наблюдений. Более точное вычисление воздушных масс выполняется по формуле Бемпорадо (Миронов, 2008) или другим аппроксимационным формулам.

Вычислим воздушные массы для трех моментов наблюдений 8 октября 1994 года: 19:20, 19:36 и 22:21.

$$M = (\cos z)^{-1} = (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t)^{-1}$$

Московское время, по которому проводились наблюдения является поясным декретным летним временем. Часовой угол $t = s - \alpha$, где s – звездное время наблюдений, α, δ – координаты звезды (из ОКПЗ для V603 Aql: $18^h 48.9^m + 0.6^\circ$), φ – широта места наблюдения (в нашем случае наблюдения выполнялись в САО, $\lambda = 41^\circ 27'$, $\varphi = 43^\circ 49'$). Звездное время $s = s_0 + mk$, где s_0 – звездное время в местную полночь, m – среднее солнечное время, $k = 1.002738$. Среднее солнечное время

$$m = T_d - N^h + \lambda^h - 1^h$$

Вычислим последовательно среднее солнечное время, звездное время на момент наблюдения, часовой угол и воздушную массу (на 08.10.1994 – $S_0 = 1^h 05.95^m$):

$T_{\text{мск}} (T_d)$	m	s	t	M
$19^h 20^m$	18 05.8	19 14.3	0 25.4	1.378
19 36	18 21.8	19 30.3	0 41.4	1.392
22 21	21 06.8	22 15.8	3 26.9	2.198

(За подробностями рекомендуем обратиться к курсу сферической астрономии.)

Вычислим блеск звезды в инструментальных звездных величинах :

$$m_i = -2.5 \lg N^* i + c_i, \quad (14)$$

где постоянная c_i – нуль-пункт шкалы звездных величин, i – фотометрические полосы U, B, V или R.

$$m_{v1} = - 10.348$$

$$m_{v2} = - 10.346$$

$$m_{v3} = - 10.133$$

Если одну и ту же звезду пронаблюдать в разные моменты времени T_1 и T_2 , то разность звездных величин $m_1 - m_2$, отнесенная к разности воздушных масс $M_1 - M_2$ даст бугеровский коэффициент экстинкции:

$$\alpha_i = (m_1 - m_2)_i / (M_1 - M_2). \quad (15)$$

Если усреднить два первых наблюдения, выполненных практически в одно время, получим коэффициент экстинкции:

$$\alpha_v = (-10.347 + 10.133) / (1.385 - 2.198) = 0.263^m$$

Если известна заатмосферная величина звезды, то можно получить ее блеск в системе UVV. Однако для этого необходимо провести еще один этап редукиции наблюдений – редукиция инструментальной фотометрической системы к стандартной (см. «Методы астрономии»).

Уравнение 15 – уравнение прямой. В разные моменты времени наклон этой прямой различен, и даже если мы используем только два, а тем более несколько наблюдений за ночь, то средняя прямая даст нам средний за ночь коэффициент экстинкции, который будет тем меньше отличаться от мгновенных значений коэффициента, чем устойчивее состояние атмосферы. (Рис. 8.)

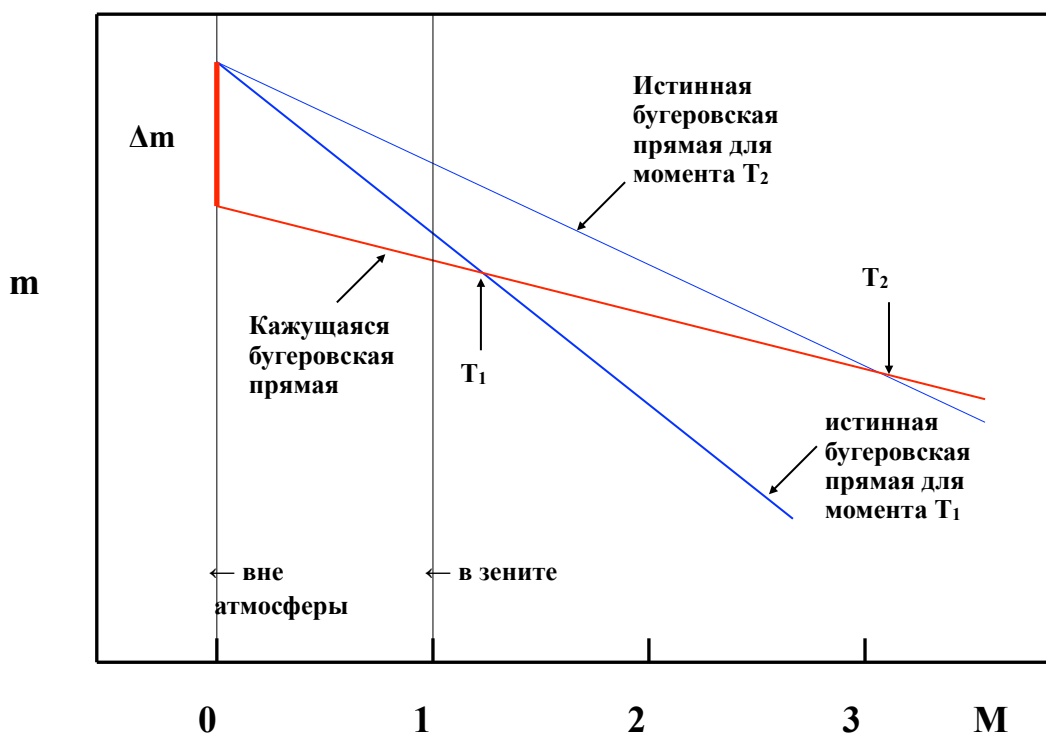


Рис. 8. Схема, поясняющая возникновение ошибок при применении метода Бугера для реальной атмосферы с меняющимся коэффициентом экстинкции в течение ночи.

Однако даже в высокогорных обсерваториях, где абсолютное значение экстинкции, естественно, меньше, относительные ее изменения могут быть достаточно большими. Так, при фотометрических исследованиях ярких звезд, выполненных на Северо-Кавказской астрономической станции Казанского университета (СКАС КГУ) неоднократно наблюдалось систематическое плавное уменьшение экстинкции от вечера к утру. Таким образом, использование средних значений коэффициентов экстинкции приведет к систематическим ошибкам (на рисунке это ошибка Δm).

Следует отметить, что при дифференциальной фотометрии, когда блеск исследуемых звезд определяется относительно стандартов, ошибки использования средних коэффициентов существенно уменьшаются, поскольку в уравнения редукиции входят не сами величины коэффициентов и

воздушных масс, а их разности. В современной ПЗС-фотометрии с малыми полями остается по возможности подобрать в качестве звезд сравнения звезды, близкие к исследуемым по цвету (на небесной сфере они близки из-за малых угловых размеров применяемых приемников).

В приложении 1 на каждую ночь имеется 10-20 наблюдений стандартной звезды по которым следует построить график зависимости инструментальных звездных величин (полученных по формуле 14) от воздушных масс и представить его линейным уравнением.

Задание: Каждый студент выполняет обработку наблюдений стандартной звезды в одну ночь и в одном фильтре. В отчете представляются: краткая идея метода, результаты определения коэффициента экстинкции методом Бугера в численном и графическом виде.

Контрольные вопросы:

- механизмы поглощения света в атмосфере Земли;
- воздушная масса и ее вычисление;
- понятие об инструментальной системе звездных величин;
- недостатки метода Бугера.

Литература.

1. Д.Я. Мартынов «Курс практической астрофизики», М., Наука, 1967
2. А.В. Миронов «Основы астрофотометрии», М., 2008
3. В.Е. Жаров «Сферическая астрономия», М., 2002
4. «Методы астрономии» под ред. Хилтнера, М., Мир, 1967

V603 Aql.

T=12C,

comp - V=9.10, B-V=0.37 (Astroph.j.,1988,vol 68,no 1).

Date 06-Oct-1994 Тмск

Object		Time	Temp	U	B
V	R				
tok		19:49:41	10	82	40
721	206				
-		19:49:52	10	34	41
650	271				
fon		19:54:19	10	1793	6010
10169	879				
-		19:54:31	10	1803	5986
10284	832				
comp		19:56:28	10	14434	151536
135629	5614				
-		19:56:41	10	14578	151623
134954	5644				
-		19:56:53	10	14454	150861
135160	5650				
fon		21:07:48	10	2603	6296
25312	1933				
-		21:08:00	10	2474	6331
25443	1990				
fon		21:09:10	10	2520	6238
26188	2099				
-		21:09:22	10	2468	6284
26526	2040				
-		21:09:34	10	2509	6308
26471	2075				
comp		21:11:06	10	12366	137434
147028	6895				
-		21:11:18	10	12640	138239
147552	7135				
-		21:11:29	10	12602	136201
147562	6942				
fon		21:31:59	10	2421	6495
24342	2030				
-		21:32:10	10	2569	6313

24607	2043				
-		21:32:22	10	2485	6387
24023	2035				
comp		21:33:56	10	11773	132699
150898	8123				
-		21:34:07	10	11659	132721
148799	8056				
-		21:34:19	10	11785	132436
148666	8253				
comp		21:34:42	10	11539	131846
149338	8083				
-		21:34:54	10	11652	133666
151841	8275				
-		21:35:05	10	11670	132150
149880	8287				
fon		21:50:35	10	2160	6783
21095	2129				
-		21:50:47	10	2255	6686
21180	2107				
-		21:50:58	10	2175	6797
20938	2138				
comp		21:52:30	10	10667	125815
139937	6864				
-		21:52:44	10	10516	125992
141464	7289				
-		21:52:57	10	10691	125986
139317	6911				
fon		22:12:34	10	2372	6404
21116	2344				
-		22:12:48	10	2142	6473
20412	2157				
-		22:13:00	10	2277	6470
20303	2138				
comp		22:14:57	10	9413	118788
136680	7364				
-		22:16:09	10	9004	118846
136383	7267				
-		22:16:21	10	9035	117824
134491	7366				
comp		22:17:04	10	9187	121675
138200	7627				

Бугер_прилож1.txt

-		22:17:19	10	8839	117756
132480	7091				
-		22:17:31	10	8709	118754
132810	7249				
fon		22:42:59	10	2036	7021
17466	1947				
-		22:43:11	10	2112	6947
17653	1860				
-		22:43:23	10	2069	6904
17298	1838				
fon		22:43:46	10	2104	7051
17611	1967				
-		22:43:58	10	2043	6972
17378	1870				
-		22:44:09	10	2079	6973
17289	1796				
tok		22:45:10	10	294	142
4141	638				
-		22:45:26	10	269	117
3932	567				
-		22:46:09	10	305	113
4142	623				
-		22:46:20	10	292	118
4127	651				
-		22:46:33	10	280	149
4159	608				

V603 AqL.

T=12C,

Date 07-Oct-1994 Тмск

Object		Time	Temp	U	B
V	R				
tok		19:15:15	10	58	43
797	268				
-		19:15:26	10	52	28

774	299				
fon		19:19:30	10	1611	6115
10095	1136				
-		19:19:42	10	1571	6094
10161	1095				
-		19:19:54	10	1600	6060
10169	1142				
comp		19:21:10	10	14890	157375
149390	6979				
-		19:21:23	10	14910	158508
149838	7064				
-		19:21:35	10	14862	159898
150520	7140				
fon		19:40:50	10	1558	5417
9653	994				
-		19:41:01	10	1514	5332
9739	1048				
-		19:41:12	10	1444	5452
9793	1050				
comp		19:43:39	10	14649	156098
148931	7083				
-		19:43:50	10	14560	156572
148683	7254				
-		19:44:19	10	14782	156727
148952	7281				
fon		20:05:10	10	1417	5462
9935	1057				
-		20:05:24	10	1528	5425
10052	1098				
-		20:05:38	10	1555	5571
9974	1086				
comp		20:07:08	10	14180	157822
148723	7228				
-		20:07:19	10	14182	157223
149587	7303				
-		20:07:31	10	14248	156684
149413	7245				
fon		20:32:12	10	1535	5584
10084	1077				
-		20:32:27	10	1456	5344
9914	1044				

-		20:32:40	10	1497	5551
9759	1059				
comp		20:34:57	10	13339	155942
145529	7085				
-		20:35:11	10	13850	154006
145734	7007				
-		20:35:11	10	13850	154006
145734	7007				
comp		20:35:42	10	13586	155226
146089	7079				
-		20:35:54	10	13547	154348
145695	7169				
-		20:36:07	10	13631	153834
145849	7200				
fon		20:58:24	10	1520	5601
10478	1164				
-		20:58:38	10	1514	5395
10399	1120				
-		20:58:51	10	1569	5629
10380	1144				
comp		21:00:57	10	12527	147278
139085	6243				
-		21:01:10	10	12547	148558
139648	6254				
-		21:01:22	10	12651	147498
139897	6282				
fon		21:21:39	10	1613	5796
10719	1104				
-		21:21:50	10	1632	5783
10969	1119				
-		21:22:02	10	1677	5791
10795	1133				
comp		21:23:48	10	11611	141074
140682	7151				
-		21:24:00	10	11852	140826
141390	7088				
-		21:24:12	10	11673	141321
141583	7072				
fon		21:55:39	10	1771	6265
12532	1249				
fon		21:56:49	10	1706	6247

12339	1315				
-		21:57:04	10	1732	6309
12455	1308				
-		21:57:17	10	1715	6177
12708	1275				
comp		21:59:21	10	9658	127187
133807	6522				
-		21:59:34	10	9933	127383
133827	6834				
-		21:59:46	10	9965	126620
133793	6584				
fon		22:10:40	10	1907	6528
13860	1368				
-		22:10:58	10	1796	6499
13955	1362				
-		22:11:11	10	1879	6617
13724	1302				
comp		22:12:52	10	9062	121704
132410	6622				
-		22:13:05	10	9131	119204
131689	6850				
-		22:13:18	10	8946	119311
132225	6689				
fon		22:24:01	10	1846	6961
14727	1385				
-		22:24:18	10	1890	6816
14676	1350				
-		22:24:30	10	1938	6816
14720	1352				
comp		22:26:30	10	7990	115003
131144	6696				
-		22:26:43	10	8206	114117
130530	6741				
-		22:26:55	10	7978	112830
129933	6660				
fon		22:28:00	10	1941	7294
15378	1468				
-		22:28:13	10	1935	7353
15296	1481				
-		22:28:26	10	1915	7434
15291	1396				

Бугер_прилож1.txt

tok		22:29:31	10	78	45
778	291				
-		22:29:44	10	59	42
801	320				

V603 AqL.

T=12^C, Sun
Date 08-Oct-1994 ТМСК

Object		Time	Texp	U	B
V	R				
tok		19:14:30	10	131	94
1286	352				
-		19:14:41	10	135	72
1411	376				
fon		19:17:57	10	2126	8464
12572	1042				
-		19:18:09	10	2094	8567
12500	1117				
-		19:18:20	10	2214	8375
12773	1099				
comp		19:19:44	10	15301	157781
149089	6965				
-		19:19:58	10	15386	158465
150253	7074				
-		19:20:09	10	15249	158493
150582	7096				
fon		19:34:05	10	1960	7356
12024	1098				
-		19:34:16	10	2032	7401
11993	1074				
-		19:34:27	10	1987	7314
12022	1089				
comp		19:35:42	10	14651	156014
149905	7082				
-		19:35:53	10	14760	155396

149284	7149				
-		19:36:04	10	14773	155355
149298	6960				
fon		20:06:18	10	1815	6163
11269	1180				
-		20:06:29	10	1777	6177
11331	1180				
-		20:06:40	10	1733	6128
11438	1140				
comp		20:07:46	10	14524	153392
148754	7059				
-		20:08:03	10	14312	152325
147955	7161				
-		20:08:14	10	14381	152183
146680	7020				
fon		20:22:13	10	1820	6364
11900	1206				
-		20:22:45	10	1783	6327
11591	1183				
-		20:22:57	10	1809	6237
11591	1197				
comp		20:27:21	10	13778	150568
144002	6646				
-		20:27:33	10	13795	151398
145511	6464				
-		20:27:45	10	13773	151562
145230	6744				
fon		20:58:41	10	1753	6124
11983	1327				
-		20:58:54	10	1721	5911
12247	1282				
-		20:59:06	10	1726	5929
11977	1354				
comp		21:01:04	10	12352	141159
138015	6260				
-		21:01:15	10	12188	141173
138741	6324				
-		21:01:26	10	12351	141358
138131	6210				
fon		21:20:22	10	1695	6062
12690	1427				

-		21:20:38	10	1662	5909
12561	1404				
-		21:20:51	10	1673	5997
12766	1423				
comp		21:22:13	10	12856	137900
139811	6622				
-		21:22:27	10	11163	135310
138194	6459				
-		21:22:40	10	11313	135514
138743	6565				
fon		21:43:53	10	1520	5899
12798	1565				
-		21:44:06	10	1581	5932
12994	1512				
-		21:44:18	10	1515	6106
12696	1642				
comp		21:47:59	10	9996	130496
138215	7130				
-		21:48:11	10	9962	127654
134355	7114				
-		21:48:24	10	9990	130091
138587	7197				
fon		22:00:47	10	1455	6014
13427	1646				
-		22:00:59	10	1410	5994
13328	1649				
-		22:01:13	10	1387	5862
13199	1540				
comp		22:03:08	10	8853	125354
133714	6855				
comp		22:03:54	10	8987	122275
134001	6862				
-		22:04:07	10	8736	121419
132204	6888				
-		22:04:19	10	8546	120006
131362	6742				
fon		22:19:28	10	1515	6374
18080	2149				
-		22:19:42	10	1524	6352
18016	2145				
-		22:19:57	10	1602	6370

Бугер_прилож1.txt

18303	2051				
comp		22:21:15	10	7618	113336
130473	7169				
-		22:21:26	10	7578	114471
131647	7231				
-		22:21:38	10	7551	114689
131706	7134				
fon		22:22:47	10	1630	6703
18562	2100				
-		22:22:58	10	1593	6672
18120	2101				
-		22:23:09	10	1629	6484
18284	2105				
-		22:23:22	10	1555	6556
18426	2114				
tok		22:24:29	10	333	154
4958	673				
-		22:25:16	10	147	157
2342	461				

AE Aqr.

T=14C, с 23h луна 1/4
Date 10-Sep-1994 Тмск

Object		Time	Texp	U	B
V	R				
tok		21:32:06	10	262	73
3641	1008				
fon		21:36:24	10	520	1376
5025	1107				
-		21:36:36	10	476	1369
5097	1123				
-		21:36:47	10	523	1324
5030	1125				
comp		21:40:19	10	1691	18933
32857	2477				
-		21:40:31	10	1625	19769

33423	2439				
-		21:40:42	10	1615	19518
34036	2493				
fon		21:55:53	10	436	1209
4472	990				
-		21:56:06	10	469	1247
4346	965				
-		21:56:18	10	453	1308
4452	974				
comp		21:57:24	10	1478	16511
30057	2235				
-		21:57:36	10	1502	16121
29038	2259				
-		21:57:48	10	1490	16667
30066	2329				
fon		22:11:38	10	421	1038
4019	899				
-		22:11:52	10	400	1012
4113	913				
-		22:12:04	10	431	1038
4153	887				
comp		22:13:33	10	1622	18751
32771	2310				
-		22:13:46	10	1551	18608
32792	2386				
-		22:14:05	10	1539	19107
33084	2334				
fon		22:44:13	10	401	1068
3675	838				
-		22:44:27	10	390	1066
3521	815				
-		22:44:45	10	412	1090
3579	786				
comp		22:46:08	10	1632	19803
33384	2358				
-		22:46:20	10	1608	19343
33177	2312				
-		22:46:33	10	1645	19584
33240	2393				
fon		23:08:10	10	373	1308
3496	737				

Бугер_прилож1.txt

-		23:08:23	10	397	1375
3355	742				
comp		23:09:40	10	1493	18962
31446	2309				
-		23:09:52	10	1410	18010
30324	2236				
-		23:10:06	10	1521	19481
32316	2336				
fon		23:31:17	10	407	1368
3485	683				
-		23:31:29	10	425	1365
3585	764				
-		23:31:41	10	355	1424
3613	696				
comp		23:32:43	10	1517	18908
31668	2207				
-		23:32:56	10	1477	18497
31519	2149				
-		23:33:09	10	1597	18159
31552	2232				
fon		23:47:26	10	371	1449
3248	651				
-		23:47:38	10	408	1471
3261	688				
-		23:47:52	10	415	1416
3279	744				
comp		23:49:16	10	1653	19793
32875	2238				
-		23:49:33	10	1625	19972
32992	2333				
-		23:49:47	10	1568	19907
33264	2360				
fon		23:59:32	10	483	1546
4771	795				
-		23:59:45	10	520	1579
4864	890				
-		00:00:03	10	481	1479
4959	888				
comp		00:00:59	10	1648	18657
33470	2622				
-		00:01:11	10	1622	18749

Бугер_прилож1.txt

33580	2528				
-		00:01:23	10	1627	19094
33973	2544				
fon		00:14:19	10	589	1446
5950	909				
-		00:14:32	10	547	1528
6038	948				
-		00:14:45	10	588	1546
6197	889				
comp		00:15:44	10	1694	20764
35236	2478				
-		00:15:56	10	1802	20374
35586	2587				
-		00:16:08	10	1800	20560
35871	2604				
fon		00:30:20	10	516	1624
5756	862				
-		00:30:32	10	571	1528
5923	883				
-		00:30:43	10	560	1537
5761	819				
comp		00:31:49	10	1556	15871
30962	2053				
-		00:32:02	10	1599	18120
33867	2331				
-		00:32:14	10	1631	18708
34645	2333				
fon		00:43:04	10	533	1412
6769	906				
-		00:43:19	10	558	1456
6558	860				
-		00:43:32	10	613	1531
6701	894				
comp		00:44:59	10	1677	19725
35347	2508				
-		00:45:11	10	1662	19726
35214	2564				
-		00:45:23	10	1668	19624
35237	2427				
fon		00:59:18	10	630	1518
8146	931				

Бугер_прилож1.txt

-		00:59:30	10	651	1523
8146	1019				
-		00:59:45	10	669	1514
8154	944				
comp		01:01:00	10	1575	18762
35479	2441				
-		01:01:12	10	1663	18513
35676	2452				
-		01:01:24	10	1642	19341
35948	2533				
fon		01:07:21	10	608	1693
7582	921				
-		01:07:33	10	619	1695
7623	917				
-		01:07:46	10	638	1680
7390	965				
comp		01:09:03	10	1604	17907
35745	2482				
-		01:09:15	10	1547	18337
35556	2504				
-		01:09:28	10	1606	18006
35157	2541				
fon		01:30:23	10	729	1854
8137	1054				
-		01:30:35	10	658	1739
7803	1036				
-		01:30:48	10	652	1804
7915	967				
comp		01:32:17	10	1546	18177
35891	2703				

AD Leo.

comp - N 1000 20 1 (Blanco) V=8.81;(U-B)=+0.59;(B-V)=+0.95
T=-3C, Date 05-Mar-1995 Тмск

Object	Time	Texp	U	B
V				
tok	22:21:51	10	24	68

134				
-	22:22:23	10	26	60
115				
fon	22:23:54	10	438	6124
2454				
-	22:24:06	10	437	6094
2526				
-	22:24:17	10	447	6137
2515				
comp	22:26:01	10	10142	147286
194010				
-	22:26:13	10	10121	146858
193940				
-	22:26:25	10	10135	147384
194407				
-	22:26:36	10	10313	146676
193805				
fon	22:53:10	10	434	6075
2565				
-	22:53:22	10	447	6121
2491				
-	22:53:34	10	423	6275
2550				
comp	22:56:15	10	10199	148672
196395				
-	22:56:27	10	10454	148705
196768				
-	22:56:39	10	10301	148060
196034				
-	22:56:50	10	10401	148571
195743				
fon	23:29:32	10	463	6607
2868				
-	23:29:44	10	427	6716
2943				
-	23:30:00	10	448	6544
2896				
comp	23:34:35	10	10379	147233
196119				
-	23:35:05	10	10706	146961
195822				

-	23:35:20	10	10614	147037
196087				
-	23:35:40	10	10873	148533
196862				
fon	23:56:18	10	472	8004
3047				
-	23:56:31	10	490	8304
3055				
-	23:56:43	10	476	8642
3002				
comp	23:58:57	10	10581	149284
195895				
-	23:59:09	10	10575	149022
195603				
-	23:59:20	10	10809	148962
196301				
-	23:59:32	10	10698	148785
195610				
fon	00:27:52	10	446	6224
2716				
-	00:28:04	10	445	6337
2735				
-	00:28:17	10	482	6575
2805				
comp	00:30:28	10	10228	147495
195277				
-	00:30:39	10	10427	146360
194312				
-	00:30:50	10	10471	147529
195050				
-	00:31:02	10	10452	146947
195486				
fon	01:20:00	10	510	6220
2711				
-	01:20:11	10	524	6270
2721				
-	01:20:22	10	537	6265
2740				
comp	01:23:17	10	10081	146343
194498				
-	01:23:28	10	10189	146043

193394				
-	01:23:40	10	10358	146005
194341				
-	01:23:52	10	9747	145331
192841				
fon	01:58:26	10	599	6185
2989				
-	01:58:38	10	540	6186
2991				
-	01:58:50	10	561	6283
2982				
comp	02:02:32	10	9703	146037
190892				
-	02:02:44	10	9756	145690
189843				
-	02:02:55	10	9672	145695
190494				
-	02:03:07	10	9546	145509
189594				
fon	02:59:45	10	654	6601
3419				
-	02:59:58	10	623	6722
3397				
-	03:00:10	10	595	6853
3360				
comp	03:02:44	10	8789	139963
188017				
-	03:02:56	10	8905	140018
188342				
-	03:03:14	10	8783	139750
187489				
fon	03:24:15	10	712	7213
3486				
-	03:24:27	10	621	7299
3520				
-	03:24:45	10	638	6933
3521				
comp	03:27:44	10	8281	136103
184939				
-	03:27:55	10	8421	136085
185104				

-		03:28:07	10	8356	135837
184165					
-		03:28:19	10	8211	137592
186053					
tok		03:29:20	10	42	66
137					
-		03:29:31	10	25	83
153					
-		03:29:43	10	32	80
166					
-		01:32:32	10	1490	18280
35426	2646				
-		01:32:45	10	1567	17897
35764	2727				
fon		01:47:31	10	908	1664
14361	1391				
-		01:47:44	10	865	1588
14583	1414				
-		01:47:56	10	927	1612
14508	1359				
comp		01:49:31	10	1660	17988
40601	2836				
-		01:49:43	10	1774	18006
40456	2836				
-		01:50:07	10	1671	18221
40974	2822				
fon		02:05:15	10	944	1855
14870	1356				
-		02:05:27	10	933	1856
14753	1376				
-		02:05:39	10	932	1838
14940	1313				
comp		02:06:44	10	1769	16500
41057	2855				
-		02:06:56	10	1630	16368
40081	2757				
-		02:07:09	10	1736	16147
40165	2726				
fon		02:13:03	10	999	1848

Бугер_прилож1.txt

14624	1293				
-		02:13:16	10	1006	1807
14392	1290				
-		02:13:30	10	930	1765
14576	1305				
comp		02:17:25	10	1774	16645
40140	2858				
-		02:17:37	10	1691	16397
40137	2880				
-		02:17:50	10	1643	16474
39839	3026				
fon		02:32:02	10	770	1850
8735	1107				
-		02:32:14	10	757	1786
8531	1108				
-		02:32:28	10	742	1783
8525	1047				
comp		02:34:18	10	1250	15112
33226	2502				
-		02:34:53	10	1332	15539
32833	2492				
comp		02:35:56	10	1281	14692
32803	2596				
-		02:36:11	10	1295	14836
32966	2538				
-		02:36:23	10	1252	14686
32601	2575				
fon		02:48:59	10	557	1790
3904	749				
-		02:49:15	10	486	1832
3874	683				
-		02:49:33	10	510	1747
3892	754				
comp		02:51:11	10	1113	14290
27645	2172				
-		02:51:23	10	966	14019
27705	2126				
-		02:51:34	10	1170	13669
27732	2190				
fon		03:03:14	10	534	1824
3974	688				

-		03:03:27	10	511	1766
4089	751				
-		03:03:50	10	525	1865
4090	770				
comp		03:05:35	10	921	12476
25374	1943				
-		03:05:48	10	980	12248
25503	1966				
-		03:05:59	10	959	12659
26194	2021				
comp		03:06:25	10	914	12135
24766	1954				
-		03:06:37	10	886	12395
25751	2048				
-		03:06:49	10	875	12378
25539	2062				
fon		03:12:47	10	535	1848
3894	740				
-		03:13:00	10	502	1800
4013	745				
-		03:13:13	10	518	1782
4052	734				
comp		03:14:45	10	770	11858
23861	2042				
-		03:14:58	10	826	12292
25101	2022				
-		03:15:10	10	825	11675
24070	2114				
fon		03:21:51	10	536	1844
4021	793				
-		03:22:03	10	553	1888
4237	702				
-		03:22:17	10	561	1869
4243	766				