

АСТРОФИЗИКА

Р. А. Саакян

О расстояниях между компонентами визуально двойных звезд

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 23.3.1959)

Физические звездные пары можно с полной достоверностью выделить только на основании изучения относительных движений в них. Однако при составлении каталогов двойных звезд и при собирании статических данных о них приходится считаться с тем, что относительные движения в них в большинстве случаев не изучены. Поэтому часто приходится пользоваться критерием взаимного углового расстояния компонент, требуя, чтобы эти расстояния были достаточно малы. Так, например, принимаются следующие верхние пределы расстояний в зависимости от суммарного блеска пары (¹).

Таблица 1

Суммарный блеск компонент	Расстояние	Суммарный блеск компонент	Расстояние
2 ^m	40"	9 ^m	5"
4	20"	11	3"
6	10"	>11	1"

Эйткен (²) для предельного углового расстояния между компонентами двойных систем предлагает формулу:

$$\lg a'' = 2,8 - 0,2m, \quad (1)$$

где m — видимая суммарная звездная величина компонент. Эта формула основана на предположении, что видимая величина звезды определяет ее расстояние от нас, т. е. что нет дисперсии абсолютных величин, а также на допущении, что независимо от физического типа звезды мы имеем один и тот же верхний предел линейных расстояний.

Надо однако иметь в виду, что при определении предельного углового расстояния между компонентами двойных систем можно ставить перед собой две различные задачи:

а) определение наибольшего возможного углового расстояния между компонентами физической двойной звезды при данном ее расстоянии от нас, что должно быть основано на определении предельного возможного линейного расстояния между составляющими;

б) определение углового расстояния в данном месте небесной сферы, которое надо взять в качестве предельного для каталога двойных звезд, с тем чтобы процент оптических двойных, наличие которых может сильно исказить статистику визуально-двойных, был бы достаточно мал.

Вместе с тем, желательно, чтобы этот предел был настолько высоким, чтобы процент физических двойных звезд, остающихся вне списка, был бы небольшим, т. е. чтобы большинство физических двойных звезд было бы охвачено каталогом. Оказывается, что во встречающихся на практике случаях можно одновременно удовлетворить обоим этим условиям.

Для определения указанного процента, необходимо иметь реальные предельные расстояния физических двойных звезд. Для этого следует прежде определить реальные предельные расстояния между компонентами физических двойных звезд.

Реальные предельные расстояния между компонентами физических двойных. При решении первой из указанных задач, т. е. при определении предельного линейного расстояния между компонентами физических двойных звезд, мы сначала допустим, что возможно существование пар со всевозможными расстояниями, при которых они устойчивы по отношению к приливным силам, исходящим от центра Галактики и от отдельных звезд.

Обозначим расстояние двойной звезды до центра Галактики через R , расстояние между компонентами через a , тогда, если принять, что кроме притяжения к центру Галактики нет других внешних возмущающих сил, разрушающих двойные системы, то для предельного расстояния a между компонентами двойных звезд можно приближенно написать:

$$\frac{M}{R^2} - \frac{M}{(R+a)^2} = \frac{m_1 + m_2}{a^2}, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 — массы компонент, M — масса центральной части Галактики

Из формулы (2) получим:

$$a_n = c_2 (m_1 + m_2)^{1/2}, \quad (3)$$

Теперь, если допустим, что кроме притяжения к центру Галактики есть и другие силы, разрушительно влияющие на двойную звезду, действие которых выражается в форме внешних гравитационных полей, то для предельного расстояния между компонентами двойных звезд можно опять написать:

$$a_n = c (m_1 + m_2)^{1/2}, \quad (4)$$

где c уже зависит от характера встречающихся гравитационных полей

Возмущения в системах двойных звезд происходят также от случайных сближений со звездами поля. Однако количество прохождений, которые испытала звезда до настоящего времени, должно зависеть от

возраста звезды, так как со временем происходит аккумуляция отдельных возмущений. Следовательно c зависит и от возраста звезды. А возраст звезд с разными массами может быть разным.

Легко видеть, что c у менее массивных звезд будет меньше, чем у более массивных, так как последние, по-видимому, являются сравнительно более молодыми звездами. По этой причине коэффициент c в (4) должен быть возрастающей функцией массы системы. Несмотря на это мы c будем принимать постоянным. Тем самым мы примем более слабое возрастание a_n с массой, чем это должно иметь место на самом деле.

Нам представляется, что вряд ли можно уверенно определить c из данных наблюдений.

Выберем c_0 и $c_1 > c_0$ таким образом, чтобы пары, для которых a заключено между значениями:

$$a_0 = c_0 (m_1 + m_2)^{1.5}, \quad a_{n_1} = c_1 (m_1 + m_2)^{1.5}$$

составили постоянную часть всего количества пар, у которых a заключено в интервале (a_0, a_n) , a_0 — нижний предел расстояния между центрами компонент.

Согласно изложенному и закону распределения расстояний в двойных звездах Эрика можем написать:

$$\frac{\lg a_{n_1} - \lg a_0}{\lg a_n - \lg a_0} = \frac{\lg c_1 - \lg c_0}{\lg c - \lg c_0} = k,$$

откуда получим:

$$c_1 = c^k c_0^{1-k}.$$

Таким образом „предельные“ расстояния между компонентами мы будем определять по формуле:

$$a_{n_1} = c_1 (m_1 + m_2)^{1.5}. \quad (4)$$

Мы попытаемся найти c_1 , исходя из эмпирических данных.

На основании имеющихся данных о звездных парах с наибольшими значениями линейного расстояния между составляющими (см. табл. 2) для звезд типа A2 при $m_1 = m_2$ „предельное“ расстояние между компонентами принимаем 14800 а. е. Тогда для значения c_1 получим:

$$c_1 = 8 \cdot 10^3,$$

откуда приближенно:

$$a_{n_1} = 8 \cdot 10^3 (m_1 + m_2)^{1.5}, \quad (5)$$

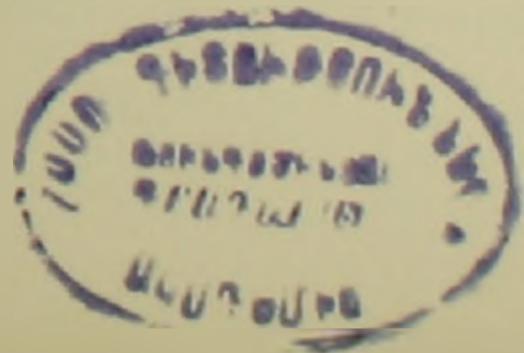
где масса выражена в долях массы Солнца.

В дальнейшем мы будем считать двойными звезды, у которых a меньше a_{n_1} , определенного по формуле (5).

Зависимость между массами и болометрическими величинами имеет вид (3):

$$\lg m = 0.59 - 0.12 M_b, \quad (6)$$

где масса выражена в долях массы Солнца.



Из формул (5) и (6) получим:

$$a_p = 8 \cdot 10^3 \sqrt[3]{m_1(1 + 10^{-0,12\Delta m})}, \quad (7)$$

где Δm — разница звездных величин компонент двойной системы, m_1 — масса главной компоненты.

Предельное угловое расстояние между компонентами определяется из соотношения:

$$\lg a'' = \lg a - 1 - 0,2(m_1 - M_1), \quad (8)$$

где m_1 и M_1 — видимая и абсолютная величины главной звезды.

Из формул (7) и (8) получим:

$$\lg a'' = 2,9 - 0,2(m_1 - M_1) + \frac{1}{3} \lg m_1(1 + 10^{-0,12\Delta m}). \quad (9)$$

Для учета поглощения света в межзвездном пространстве надо вместо m , взять $m_1 - A$. Тогда получим:

$$\lg a'' = 2,9 + 0,2M_1 + \frac{1}{3} \lg m_1(1 + 10^{-0,12\Delta m}) - 0,2(m_1 - A). \quad (10)$$

Вероятность оптических пар. До сих пор мы обсуждали вопрос о реальном предельном угловом расстоянии между компонентами двойных звезд. Однако при составлении каталогов звездных пар следует руководствоваться не только и не столько формулой (9), а, как указывалось выше, тем пределом, при котором оптических пар, попадающих в каталог, не будет слишком много.

Определить по формуле (10) вероятность того, что данная наблюдаемая пара будет физической или оптической — невозможно. Для определения этого надо исходить из концентрации в данном месте звезд, блеск которых больше или равен блеску спутника.

Для того чтобы определить вероятность того, что случайно взятая звезда может иметь оптического спутника, надо определить в данном месте радиус круга, на который в среднем приходится одна звезда.

Для этой цели обозначим число звезд, ярче звездной величины m , приходящихся на один квадратный градус неба данной галактической широты через $N(m, b)$. Тогда радиус круга, на который приходится в среднем одна звезда, определяется из соотношения:

$$\lg a'' = 3 \cdot 306 - 0,5 \lg N(m, b). \quad (12)$$

Вероятность, что данная звезда может иметь оптический спутник на расстоянии ρ'' , будет:

$$w = 1 - e^{-\frac{\rho''^2}{a''^2}}, \quad (13)$$

где a'' определяется по формуле (12). При малых ρ'' можно написать:

$$w = \frac{\rho''^2}{a''^2}. \quad (13')$$

Формулы предельных расстояний между компонентами двойных звезд для использования на практике. Пользуясь формулами (9) и (13), мы возьмем для предельного углового расстояния между компонентами двойной системы такую величину, при которой процент оптических систем был бы относительно невелик и угловое расстояние между компонентами у большинства физических двойных, расстояния между компонентами которых меньше $a_{ли}$, было бы меньше этой величины. При этом условимся расстояние между компонентами взять такое, чтобы соблюдались неравенства:

$$0.7 < b + p < 1; \quad b < p,$$

где b — отношение числа оптических пар, а p — отношение числа сочитанных физических пар к общему числу физических пар, находящихся в интервале $(a_0, a_{ли})$.

Исходя из необходимости удовлетворить вышенаписанным неравенствам, мы для предельных угловых расстояний между компонентами двойных звезд подобрали путем проб эмпирические формулы (14а), (14б) и (14в)*. Они показывают, что эти предельные угловые расстояния между компонентами зависят от спектрального типа главной звезды, от концентрации в данном месте звезд, имеющих звездные величины \leq звездной величине спутника и от разницы звездных величин компонент.

Исходя из этого, данную пару, со спутником звездной величины m_2 , будем считать подлежащей внесению в каталог, если угловое расстояние между компонентами меньше a_2^* , которое определяется формулами (14а), (14б) и (14в). Для звезд спектральных типов O-B3 величина a_2^* определяется формулой:

$$\lg a_2^* = 1.3 - 0.5 \lg N(m_2, b) + 0.12(m_2 - m_1), \quad (14а)$$

для звезд спектральных типов B4-A9 — формулой:

$$\lg a_2^* = 1.3 + 0.05k_{sp} - 0.5 \lg N(m_2, b) + (0.12 - 0.005k_{sp})(m_2 - m_1), \quad (14б)$$

где принимаем: $K_{B4} = 1, K_{B5} = 2 \dots, K_{A8} = 15, K_{A9} = 16,$

для звезд типов F0-G0 — формулой:

$$\lg a_2^* = 2.1 - 0.5 \lg N(m_2, b) + 0.04(m_2 - m_1), \quad (14в)$$

где m_1 — звездная величина главной компоненты.

При таком ограничении вероятность, что данная звезда на галактической широте $b = -2^\circ$ может образовать оптическую пару, дана в табл. 4, которая составлена на основе данных о плотности звезд на небесной сфере (4).

Предлагаемые нами формулы для определения верхнего предела углового расстояния между компонентами двойных звезд имеют то преимущество, что в них учтена плотность звезд в данном участке неба, чего не было в формуле Эйткена.

* Формулы (14а), (14б) и (14в) составлены для звезд главной последовательности.

В самом деле, табл. 3, составленная с помощью формул Эйткена и (12), показывает, что вероятность того, что данная звезда может случайно образовать оптическую пару, увеличивается при увеличении Δm , начиная с 0,001 до 1. Но по формуле Эйткена все эти звезды в равной мере могут считаться или не считаться двойными.

Из этой таблицы следует, что достаточно большая часть звезд находящихся в каталоге Эйткена, имеющих большое Δm , может оказаться оптическими парами.

С другой стороны, как показывает табл. 6, в каталог, составленный на основании критерия Эйткена, не входит значительная часть физических двойных звезд, имеющих малую разницу звездных величин компонент (Δm).

Пользуясь выведенными выше формулами, можно подсчитать процент остающихся вне счета физических пар.

Процент физических двойных звезд, считаемых двойными по формуле (14), по отношению к числу всех физических двойных звезд, у которых предельное значение a определяется формулой (9), на основании формулы Эпика⁽⁵⁾ $dN = c \frac{da}{a}$, можно определить через:

$$p = \frac{\lg a_2^* - \lg a_0^*}{\lg a_n^* - \lg a_0^*} 100, \quad (15)$$

где a_2^* определяется из (14), a_{n1}^* — из (9), a_0^* — нижнее предельное расстояние.

Формула (15) показывает, что процент p увеличивается при увеличении b , ибо при увеличении b увеличивается a_2^* , а a_0^* остается постоянным.

По формулам (9), (14) и (15), принимая $a_0^* = 0,1$ и пользуясь данными о плотности звезд на небесной сфере⁽⁴⁾, составим табл. 5 для галактической широты $b = -2$.

Как видно из табл. 5, большинство физических двойных звезд 6-ой, 8-ой и 9-ой звездной величины находится в интервале (a_0^* , a_2^*). У звезд ранних типов звезды, входящие в этот интервал, составляют подавляющее большинство физических двойных звезд. К этому надо прибавить, что приблизительно 10% всех одиночных звезд может оказаться оптически двойными (табл. 4). Если теперь принять что вообще двойные звезды составляют 1/16 часть всех звезд, то получается, что к физическим двойным, находящимся в пределах (a_0^* , a_2^*), примерно в количестве 16% от общего их числа прибавляются оптические двойные. Эти два явления, т. е. 1) что часть физических двойных остается вне счета и 2) часть одиночных звезд считается двойными, могут статистически частично компенсировать друг друга.

Из вышеизложенного следует, что при статистическом исследовании каталогов двойных звезд необходимо исключать из них пары у которых вероятность, что они могут быть оптическими, велика.

Таблица 2

Физические двойные звезды, имеющие большие расстояния между компонентами

№	Sp	m_1 (v)	m_2 (v)	a^*	$\lg a$	$a \cdot 10^{-1}(a-e)$	Спутник	M_1 (v)
6012	A	6 ^m 6	11 ^m	74	3,83	6,80	BC	1 ^m 8
7137	A2	6,1	11,1	187	4,27	18,70	AC	1,1
10129	A2	5,0	5,0	90	3,73	5,40	AC	1,1
14126	B8	6,0	8,5	69	4,14	13,80	AB-C	-0,5
14504	B8	6,0	11,0	140	4,45	28,00	AC	-0,5
146	G4	0,3	11,3	7849	4,01	10,30	AB	4,7
167	K2	5,17	6,53	732	3,62	4,20	AC	6,4

Примечание. Первые 5 звезд этой таблицы взяты из каталога двойных звезд Эйткейна, а две звезды из данных работы Кейпера (*). Линейные расстояния между компонентами этих двойных звезд определены по (8), где в качестве M_1 для первых пяти звезд взяты средние абсолютные звездные величины данного спектрального класса, а для двух звезд из данных работы Кейпера (*).

Таблица 3

Вероятность того, что отобранные на основе критерия Эйткейна звезды могут быть оптическими парами

$m_1 \backslash m_2$	6	8	10	12	14	16
4 ^m	0,0001	0,002	0,04	0,10	0,45	1,00
5	0,0002	0,001	0,01	0,04	0,22	0,98
6	0,0001	0,0004	0,005	0,01	0,10	0,48
7		0,0001	0,0016	0,005	0,04	0,22
8		0,0001	0,001	0,002	0,014	0,10
9			0,0004	0,001	0,006	0,04

Примечание. Данные табл. 3 получены по формуле

$$w = 1 - e^{-\psi^2 a^2},$$

где ψ^2 определяется по формуле Эйткейна a^* — по (12).

Таблица 4

Вероятность того, что отобранные на основе критериев (14 а, б, в) звезды могут быть оптическими парами

$$b = -2$$

$Sp \backslash m_2$	6	12	15
B0	0,0001	0,0026	0,014
B3	0,0001	0,0026	0,014
A9	0,0039	0,012	0,02
G0	0,0039	0,012	0,02

$m_1 = 6^m$

Таблица 5

Отношение числа пар, удовлетворяющих критериям (14 а, б, в), к числу пар, определяемому формулой:

$$N = c |\lg a_{11} - \lg a_0|$$

$$b = -2$$

$Sp \backslash m_2$	6	12	15
B0	1,00	0,86	0,75
B3	1,00	0,79	0,69
A9	1,00	0,70	0,56
G0	0,94	0,65	0,52

$m_1 = 6^m$

$S_p \backslash m_2$	8	12	15	
B0	0,0001	0,001	0,005	$m_1 = 8^m$
B3	0,0001	0,001	0,005	
A9	0,0039	0,0083	0,014	
G0	0,0039	0,0083	0,014	

$S_p \backslash m_2$	8	12	15	
B0	1,00	0,90	0,77	$m_1 = 8^m$
B3	0,99	0,93	0,71	
A9	1,00	0,77	0,60	
G0	0,92	0,71	0,56	

$S_p \backslash m_2$	9	12	15	
B0	0,0001	0,0005	0,0026	$m_1 = 9^m$
B3	0,0001	0,0005	0,0026	
A9	0,0039	0,0069	0,02	
G0	0,0039	0,0069	0,012	

$S_p \backslash m_2$	9	12	15	
B0	1,00	0,93	0,78	$m_1 = 9^m$
B3	0,98	0,83	0,71	
A9	1,00	0,80	0,63	
G0	0,95	0,74	0,57	

Примечание. В табл. 4 и 5 a_n^* определено по (14 а, б, в), a_n^* — по (1), a_n^* — по (9), $a_0^* = 0^* 1$.

Таблица 6

Отношение числа пар, удовлетворяющих критерию (1), к числу пар, определяемому формулой:

$$\Lambda = c |\lg a_n - \lg a_0|$$

$$m_1 = m_2, \quad b = -2$$

	6	8	9
B0	1,00	1,00	1,00
B3	0,97	0,96	0,96
A9	0,75	0,72	0,70
G0	0,70	0,67	0,65

Примечание. a_n^* определено по формуле Эйткена, a_n^* — по (9), $a_0^* = 0^* 1$.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Ռ. Հ. ՍՅՆԱԿՅԱՆ

**Կրկնակի աստղերի կամպոնենտների միջև եղած
հեռավորությունների մասին**

Կրկնակի աստղերի կատարողներ կազմելու և զիջակապրական տեղեկություններ հափարելու մասանակի ի նկատի ունենալով, որ նրանց մեծ մասում հարաբերական շարժումները չեն ուսումնասիրված, հարկ է լինում ավելի զույգը հաշվել ֆիզիկական, եթե նրա կոմպոնենտների միջև եղած հեռավորությունը չի գերազանցում որոշ սահմանի Այտեկենը այդ սահմանը որոշելու համար աստղարկել է մի բանաձև, որը սնչով չի հիմնավորված և պարզում է, որ նրա հիման վրա կազմված կրկնակի աստղերի կատարողները

կարող են լինել յաճապանաչափ սպիտակա գույներ, նաեւ պէս մեծ Δm կոմպոնենտների սասղաչին մեծութիւնների տարրերութիւնը) ունեցող սասղերի մեջ, իսկ մյուս կողմից կարող է կատարուից գուրս մնալ ուշ տիպի կրկնակի սասղերի մի զգալի մասը:

Ակնհայտ է, որ կրկնակի սասղերի կոմպոնենտների միջև եղած սահմանային նեոափորութիւնների նարցի ըննարկման ժամանակ պետք է տարրերէ նրա երկու կողմը՝ ֆիզիկական գույների կոմպոնենտների միջև եղած նեոափոր սահմանային նեոափորութիւնների և այն նեոափորութիւնների, որոնց կարելի է վերցնել որպէս կոմպոնենտների միջև եղած սահմանային նեոափորութիւններ, որոնց դեպքում սպիտակա գույների տակտը այդ սահմանների իման վրա կազմված կատարուում մեծ չի լինի և ֆիզիկական գույների մեծ մասը կմտնի նրա մեջ:

Այս աշխատութեան մեջ ըննարկված են նարցի երկու կողմը և արտածված են նամակատարան բանաձևեր թիւրական սահմանային նեոափորութիւնների և թե՛ այն սահմանային նեոափորութիւնների նամար, որոնք կարելի է ոգտագործել պրակտիկայում:

Պարզվում է, որ պրակտիկայում ոգտագործելու նամար սառչված սահմանային նեոափորութիւնները կախված են սասղաչին մեծութիւնից, սասղերի սպեկտրալ տիպից և կոմպոնենտների սասղաչին մեծութիւնների տարրերութիւններից, ընդ որում կոմպոնենտների սասղաչին մեծութիւնների տարրերութիւնների մեծացման դեպքում անկյունային սահմանային նեոափորութիւնները մեծանում են, իսկ տարրեր սպեկտրալ տիպերի մեջ անկյունային սահմանային նեոափորութիւնները մեծ են այն սասղերի մաս, որոնց սպեկտրալ կարգը ավելի ուշ է:

ЛИТЕРАТУРА — Ц И Л И Н И Т Ы В П И Т Ի Ն

¹ I. A. Шайн и другие. Курс астрофизики и звездной астрономии, часть вторая, 256, 1936, М.—Л. ² P. Zimken, The Binary Stars, 35, 1935, NY—L. ³ П. П. Паренаго, Курс звездной астрономии, 156, 1938, М.—Л. ⁴ П. Ван-Рајн, Gron. Publ. № 43, 1923. ⁵ E. Эрик, Tartu observatory, Publ. 25, 1924. ⁶ Г. Келлер, Арх 95, 201, 1942.