

V. M. Tereschenko

Fesencov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
volter2307@mail.ru

THE ABSOLUTIZATION OF SPECTRAL ENERGY DISTRIBUTION OF STARS ON SPECTRAL AND PHOTOMETRIC DATA

Abstract. The stationary stars with well-known outside of* atmosphere energy distribution in their spectra were often used to standardize of the spectrophotometric observations the different celestial bodies and for the calibration of the receive-register apparatus. In causation with bringing in operation of the large telescopes the necessity (requirement) of the weaker standards significantly increased. However, the weak standards are very small (not enough) and their creation will require the long (protracted) observations. Therefore we decided to increase the number the weak standards by the calculating way on base certain spectral and photometric date. In the article the algorithm of calculations outside of* atmosphere energy distribution $E(\lambda)$ numerical results for 8 A0V-stars of intermediate brightness were presented. The evaluation (estimate) of accuracy of receive results was carried out and contribution of the each factor was estimated. Precision (accuracy) of the calculated values depends on from spectral region and from 3 to 10% amount. The main error (mistake) in final result is introduced by the disperse (scatter) of normal energy distribution and color-index of the investigated star.

Key words: stars, absolute spectrophotometry, photometry, standards, calculations

УДК 523.3, 523.27

В. М. Терешенко

Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова

АБСОЛЮТИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗВЕЗД ПО ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Аннотация. Стационарные звезды с известным внеатмосферным распределением энергии в их спектрах часто используются в качестве стандартов при спектрофотометрических наблюдениях различных небесных тел и для калибровки приемно-регистрирующей аппаратуры. В связи с вводом в эксплуатацию крупных телескопов значительно возросла потребность в слабых стандартах. Однако слабых звезд-стандартов очень мало, а их создание потребует длительных наблюдений. Поэтому мы решили увеличить количество слабых стандартов путем вычислений на базе известных спектральных и фотометрических данных. В работе приведено описание алгоритма вычислений внеатмосферного распределения энергии $E(\lambda)$ и представлены численные результаты для 8 A0V-звезд промежуточного блеска. Выполнена оценка точности полученных данных и оценен вклад каждого использованного в вычислениях фактора. Точность вычисленных значений зависит от области спектра и составляет от 3 до 10%. Основную ошибку в конечный результат вычислений вносят дисперсии нормальных распределений энергии и показателей цвета исследуемой звезды.

Ключевые слова: звезды, абсолютная спектрофотометрия, фотометрия, стандарты, вычисления.

Абсолютное распределение энергии в спектрах стационарных звезд часто используется для стандартизации спектрофотометрических наблюдений разных небесных тел и калибровки приемно-регистрирующей аппаратуры. Напомним, что абсолютным называют распределение, которое выражено в энергетических единицах, например, в $[\text{вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{м}^{-1}]$. Обычно его получают с помощью наблюдений методами абсолютной или дифференциальной спектрофотометрии. Подробно методика абсолютных измерений описана в монографиях [1,2]. Методами дифференциальной спектрофотометрии получены каталоги [3-8], в которых представлено абсолютное распределение энергии для около двух тысяч звезд. Подчеркнем, что абсолютное большинство из них - яркие звезды, ярче 6 величин. Звезд слабее 6^m с известным абсолютным распределением энергии в

их спектрах - всего несколько десятков. В то же время, в связи с вводом в эксплуатацию крупных телескопов, потребность в более слабых стандартах для видимой области спектра (320-760нм) увеличилась.

Абсолютное распределение энергии в спектрах звезд, помимо наблюдений, можно получить косвенными методами с помощью вычислений. Это, прежде всего, подбор спектральных аналогов по фотометрическим данным (звездным величинам и показателям цвета). Он сводится к параллельному сдвигу кривых распределения, которые известны для фотометрических аналогов. Величину сдвига можно вычислить по формуле Погсона. Второй путь - привлечение моделей атмосфер и наблюдаемых фотометрических и спектральных признаков. В данной работе мы предлагаем третий метод - с помощью вычислений на основе известных фотометрических и спектральных данных избранных звезд. Точность вычисленных данных на краях спектрального интервала в 2-3 раза ниже, чем для данных, получаемых из наблюдений, но при решении некоторых задач является вполне допустимой. Предлагаемый метод позволяет существенно увеличить число слабых спектрофотометрических стандартов. К его плюсам можно отнести то, что он не требует ни длительных дополнительных наблюдений, ни точных моделей звездных атмосфер.

В большинстве случаев в качестве спектрофотометрических стандартов используют звезды ранних спектральных классов, в спектрах которых имеются достаточно протяженные гладкие участки. Для апробации метода и с целью увеличения числа слабых стандартов мы выбрали 8 звезд промежуточного блеска спектрального класса A0V, для которых спектральные и фотометрические параметры известны. К тому же для этих звезд не требуется учитывать смещение эффективной длины волны из-за эффекта ширины полос.

Таблица 1 - Список исследованных звезд и их характеристики

№	HD	α_{2000}	δ_{2000}	V	B - V	E_{B-V}
1	10897	01 ^h 48 ^m 49 ^s	60° 26'45"	9. ^m 52	+0. ^m 23	0. ^m 25
2	11920	01 58 48	57 16 55	9.00	+0.15	0.17
3	17243	03 06 15	85 51 49	8.78	+0.07	0.09
4	18571	02 59 16	01 14 40	8.63	+0.03	0.05
5	281161	03 45 48	32 00 58	9.88	+0.37	0.39
6	36056	05 29 01	00 18 26	8.91	+0.06	0.08
7	247258	05 46 25	31 54 09	9.81	+0.12	0.14
8	250688	06 02 55	22 58 18	9.68	+0.08	0.10

Здесь HD - номер звезды по каталогу HD; α_{2000} и δ_{2000} - координаты на 2000 год, V - видимая звездная величина звезды, B - V - показатели цвета, E_{B-V} - вычисленные избытки цвета. Выборка звезд и их характеристики взяты из базы астрономических данных SIMBAD [9].

Для вычисления абсолютного распределения энергии $E(\lambda)$ в спектре избранной звезды необходимы следующие данные о ней.

1. Спектральный класс.
2. Наблюдаемая видимая звездная величина V.
3. Наблюдаемый показатель цвета B-V.

Кроме того, должны быть известны:

4. Нормальное (среднее, не отягощенное межзвездным поглощением) распределение энергии для звезд избранного спектрального класса $e_0(\lambda)$.
5. Нормальный показатель цвета для звезд того же спектрального класса $(B-V)_0$.
6. Закон межзвездного поглощения в направлении на исследуемую звезду.
7. Численное значение множителя в уравнении перевода видимой звездной величины в энергетическую освещенность $E(\lambda)$, создаваемую звездой в эффективной длине волны полосы V.

В отсутствии межзвездного поглощения абсолютное распределение энергии для звезд класса A0V можно вычислить по формуле:

$$E(\lambda) = 3.54 \times 10^{-2} \times e_0(\lambda) \times 10^{-0.4V} \text{ [Вт / (м}^2 \cdot \text{м)]}, \quad (1)$$

где $E(\lambda)$ - вычисленное абсолютное распределение энергии в спектре данной звезды; $e_0(\lambda)$ - нормальное относительное распределение энергии для звезд спектрального класса A0V; V - наблюдаемая видимая звездная величина.

Множитель $10^{-0.4V}$ преобразует звездную величину в интенсивности в условных единицах в эффективной длине волны полосы V, которая для A0V-звезд равна 5556Å. В этой же длине волны должно быть нормировано относительное распределение энергии $e_0(\lambda)$. Напомним, что по определению в эффективной длине волны гетерохромное поглощение межзвездной средой или земной атмосферой равно монохроматическому. Для перехода к энергетическим единицам [Вт/м²*м] в длине волны 5556Å множитель $10^{-0.4V}$

следует умножить на коэффициент равный 3.54×10^{-2} , численное значение которого определяется по основному спектрофотометрическому стандарту - Вега. Для нее взято $V = 0.03^m$ и компилитивное распределение энергии в ее спектре согласно Хейссу [10]. В эффективной длине волны фильтра V , которая равна 5556Å, Вега согласно [10] создает энергетическую освещенность равную 3.45×10^{-2} [Вт/(м²×м)]. Монохроматические освещенности в этой длине волны для остальных звезд можно рассчитать по формуле Погсона:

$$E_1 / E_2 = 2.512^{m_2 - m_1} \quad (2)$$

Согласно ей и работе [12] для A0V-звезды нулевой величины энергетическая освещенность на $\lambda 5556\text{Å}$ равна 3.54×10^{-2} [Вт×м⁻²×м⁻¹].

Имеется несколько вариантов нормальных распределений $e_0(\lambda)$, мы предпочли работу [11].

Так как все наши звезды отягощены, пусть и небольшим, межзвездным поглощением, то при вычислении $E(\lambda)$ его необходимо учесть. Образно выражаясь - надо «покрасить» полученную согласно (1) кривую $E(\lambda)$ в красный цвет, насыщенность которого зависит от величины наблюдаемого избытка цвета E_{B-V} . Как и нормальных распределений энергии в спектрах звезд в литературе имеется несколько вариантов кривых закона межзвездного поглощения $A(\lambda)$, полученных из наблюдений. Если избегать очагов звездообразования и некоторых областей в Млечном Пути, то в видимой области они различаются незначительно. Обычно кривые межзвездного поглощения представляются в табличном и в нормированном виде. Нормировка делается либо к $A_V = 1^m$, либо к избытку цвета $E_{B-V} = 1^m$.

Таблица 2 - Нормальное распределение энергии для A0V-звезд $e_0(\lambda)$ согласно [11] и внеатмосферные освещенности, создаваемые звездой нулевой величины.

λ	$e_0(\lambda)$	$E_0(\lambda)$	λ	$e_0(\lambda)$	$E_0(\lambda)$	λ	$e_0(\lambda)$	$E_0(\lambda)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3225	1.075	0.0380	4725	1.594	0.0564	6225	0.699	0.0247
3275	1.060	0.0375	4775	1.516	0.0537	6275	0.675	0.0239
3325	1.056	0.0374	4825	1.341	0.0475	6325	0.663	0.0235
3375	1.031	0.0365	4875	1.146	0.0406	6375	0.649	0.0230
3425	1.018	0.0360	4925	1.382	0.0489	6425	0.637	0.0225
3475	0.991	0.0351	4975	1.357	0.0480	6475	0.621	0.0220
3525	0.978	0.0346	5025	1.315	0.0465	6525	0.579	0.0205
3575	0.973	0.0344	5075	1.280	0.0453	6575	0.512	0.0181
3625	0.966	0.0342	5125	1.246	0.0441	6625	0.580	0.0205
3675	0.971	0.0344	5175	1.206	0.0427	6675	0.573	0.0203
3725	1.058	0.0375	5225	1.172	0.0415	6725	0.559	0.0198
3775	1.343	0.0475	5275	1.144	0.0405	6775	0.548	0.0194
3825	1.690	0.0598	5325	1.113	0.0394	6825	0.540	0.0191
3875	1.983	0.0702	5375	1.089	0.0386	6875	0.524	0.0186
3925	2.128	0.0753	5425	1.066	0.0378	6925	0.520	0.0184
3975	1.756	0.0622	5475	1.038	0.0368	6975	0.504	0.0178
4025	2.463	0.0872	5525	1.011	0.0358	7025	0.499	0.0177
4075	2.089	0.0740	5575	0.990	0.0350	7075	0.488	0.0173
4125	1.978	0.0700	5625	0.961	0.0340	7125	0.476	0.0168
4175	2.253	0.0798	5675	0.930	0.0329	7175	0.466	0.0165
4225	2.211	0.0783	5725	0.909	0.0322	7225	0.458	0.0162
4275	2.111	0.0747	5775	0.883	0.0312	7275	0.449	0.0159
4325	1.605	0.0568	5825	0.863	0.0305	7325	0.442	0.0157
4375	1.831	0.0648	5875	0.839	0.0297	7375	0.431	0.0153
4425	1.908	0.0675	5925	0.814	0.0288	7425	0.426	0.0151
4475	1.848	0.0654	5975	0.788	0.0279	7475	0.415	0.0147
4525	1.789	0.0633	6025	0.766	0.0271	7525	0.405	0.0143
4575	1.732	0.0613	6075	0.750	0.0265	7575	0.391	0.0139
4625	1.695	0.0600	6125	0.733	0.0260			
4675	1.647	0.0583	6175	0.712	0.0252			

В нашем случае все выбранные звезды принадлежат спектральному классу A0V, для которых нормальный показатель $(B-V)_0$ согласно В. Страйжису [13] равен -0.02^m . Следовательно, избытки цвета E_{B-V} равны наблюдаемым показателям цвета $(B-V)$, увеличенным на 0.02^m .

Величину A_V мы определяли из эмпирического соотношения:

$$A_V = R \times E_{B-V}, \text{ где } R = 3.1. \quad (3)$$

Напомним, что $A_\lambda = -2.512 \times \log \sigma(\lambda)$, где $\sigma(\lambda) = I(\lambda)/I_0(\lambda)$ - коэффициент пропускания излучения $I(\lambda)$ единичным количеством межзвездной среды. За единицу принимается количество вещества, которое ослабляет излучение на одну звездную величину (в 2.512 раз), т. е. $A_V = 1.00$. Зависимость $A(\lambda)$ при $A_V=1$ и есть закон межзвездного поглощения. В литературе имеется несколько его вариантов.

Редукции за межзвездное поглощение вычисленных по формуле (1) данных выполнены по формуле, приведенной в [12]:

$$\lg E_0(\lambda) = \lg E_{\text{obs}}(\lambda) + 0.272 (1/\lambda - 0.35) A_V, \quad (4)$$

$E_0(\lambda)$ и $E_{\text{obs}}(\lambda)$ – соответственно истинные и наблюдаемые значения монохроматических освещенностей. Обычно по данной формуле определяют истинное значение $E_0(\lambda)$. Нам же надо определить наблюдаемое значение $E_{\text{obs}}(\lambda)$. В этом случае величину V , которая входит в формулу (1), следует предварительно редуцировать за поглощение A_V . Иначе поглощения будет учтено дважды.

Итог наших вычислений представлен в таблице 3. В ней представлено внеатмосферное распределение энергии в спектрах восьми избранных звезд.

Таблица 3 - Внеатмосферное распределение энергии в спектрах исследованных звезд, единицы - $[10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{м})]$

λ HD	10897	11920	17243	18571	281161	36056	247258	250688
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3225	31.9	80.9	94	119	16.1	85.4	31.9	39.9
3275	32.2	81.0	93	118	16.5	84.8	31.9	39.7
3325	32.8	82.0	94	118	17.0	85.1	32.1	39.9
3375	32.8	81.2	92	116	17.2	83.7	31.8	39.3
3425	33.0	81.3	91	115	17.5	83.1	31.7	39.2
3475	32.8	80.2	90	112	17.6	81.5	31.2	38.4
3525	33.0	80.3	89	111	17.9	81.0	31.2	38.2
3575	33.5	80.9	89	111	18.4	81.0	31.3	38.3
3625	33.9	81.4	89	111	18.8	80.9	31.4	38.3
3675	34.7	82.8	90	112	19.4	81.8	31.9	38.8
3725	38.5	91.4	99	122	21.7	89.7	35.2	42.6
3775	49.7	117.3	127	156	28.3	114.4	45.0	54.4
3825	63.6	149.3	160	196	36.6	144.7	57.2	69.0
3875	75.9	177.2	189	231	44.1	170.8	67.8	81.5
3925	82.7	192.2	204	249	48.5	184.2	73.4	88.0
3975	69.3	160.3	169	206	41.0	152.8	61.1	73.1
4025	98.7	227.2	239	290	58.9	215.3	86.4	103.1
4075	85.0	194.6	204	247	51.1	183.5	73.9	88.0
4125	81.6	186.1	194	234	49.5	174.5	70.5	83.8
4175	94.3	214.0	222	268	57.6	199.7	81.0	96.0
4225	93.8	212.0	219	263	57.8	196.8	80.1	94.7
4275	90.8	204.3	210	252	56.3	188.8	77.0	90.9
4325	69.9	156.7	161	192	43.7	144.1	59.0	69.5
4375	80.8	180.3	184	220	50.9	165.0	67.8	79.7
4425	85.2	189.5	193	229	54.1	172.7	71.1	83.4
4475	83.6	185.1	187	223	53.4	168.0	69.4	81.2
4525	81.9	180.7	182	216	52.7	163.2	67.6	79.0
4575	80.2	176.3	177	210	51.9	158.6	65.9	76.8
4625	79.4	173.8	174	206	51.7	155.7	64.9	75.5
4675	78.0	170.2	170	200	51.1	151.9	63.5	73.7
4725	76.4	166.0	165	194	50.4	147.5	61.8	71.7
4775	73.4	159.0	158	185	48.7	140.8	59.1	68.5
4825	65.6	141.6	140	164	43.8	124.9	52.6	60.8
4875	56.7	122.0	120	141	38.1	107.2	45.2	52.2
4925	69.0	148.1	145	170	46.6	129.6	54.8	63.2
4975	68.5	146.4	143	167	46.5	127.7	54.2	62.3
5025	67.0	142.7	139	162	45.7	124.1	52.7	60.6
5075	65.8	139.9	136	158	45.2	121.2	51.6	59.2
5125	64.7	137.0	133	154	44.6	118.3	50.5	57.9

Продолжение таблицы								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5175	63.2	133.4	129	150	43.8	114.8	49.1	56.2
5225	62.0	130.5	126	146	43.2	112.0	48.0	54.8
5275	61.0	128.2	123	143	42.7	109.6	47.1	53.7
5325	59.9	125.4	120	139	42.1	106.9	46.0	52.4
5375	59.1	123.4	118	136	41.8	104.9	45.3	51.5
5425	58.3	121.5	116	134	41.4	103.0	44.5	50.6
5475	57.3	119.0	113	130	40.9	100.5	43.6	49.4
5525	56.2	116.5	110	127	40.3	98.2	42.6	48.3
5575	55.5	114.6	108	125	39.9	96.3	41.9	47.4
5625	54.2	111.9	105	121	39.2	93.7	40.8	46.1
5675	52.9	108.9	102	117	38.4	91.0	39.7	44.8
5725	52.1	106.9	100	115	38.0	89.1	38.9	43.9
5775	51.0	104.4	98	112	37.3	86.7	38.0	42.8
5825	50.2	102.5	96	109	36.9	85.0	37.3	41.9
5875	49.2	100.2	93	107	36.3	82.8	36.4	40.9
5925	48.0	97.7	91	104	35.6	80.5	35.5	39.8
5975	46.8	95.0	88	100	34.8	78.1	34.5	38.6
6025	45.8	92.8	86	98	34.2	76.1	33.6	37.7
6075	45.1	91.2	84	96	33.8	74.7	33.0	36.9
6125	44.4	89.6	83	94	33.4	73.2	32.4	36.2
6175	43.4	87.4	80	91	32.8	71.2	31.6	35.3
6225	42.9	86.1	79	90	32.5	70.0	31.1	34.7
6275	41.7	83.5	77	87	31.7	67.8	30.2	33.6
6325	41.2	82.3	75	85	31.4	66.6	29.7	33.1
6375	40.6	81.0	74	83	31.0	65.4	29.2	32.5
6425	40.0	79.7	73	82	30.7	64.3	28.7	31.9
6475	39.3	78.1	71	80	30.3	62.8	28.1	31.2
6525	36.9	73.2	66	75	28.5	58.7	26.3	29.2
6575	32.7	64.9	59	66	25.4	52.0	23.3	25.8
6625	37.3	73.9	67	75	29.0	59.0	26.5	29.4
6675	37.1	73.2	66	74	28.9	58.4	26.3	29.1
6725	36.3	71.6	65	72	28.4	57.0	25.7	28.4
6775	35.8	70.5	63	71	28.1	56.1	25.3	27.9
6825	35.5	69.7	63	70	27.9	55.3	25.0	27.6
6875	34.6	67.9	61	68	27.3	53.8	24.3	26.8
6925	34.5	67.6	61	68	27.3	53.5	24.2	26.7
6975	33.6	65.7	59	66	26.7	51.8	23.5	25.9
7025	33.5	65.4	58	65	26.7	51.5	23.4	25.7
7075	32.9	64.1	57	64	26.3	50.4	22.9	25.2
7125	32.2	62.7	56	62	25.8	49.2	22.4	24.6
7175	31.7	61.6	55	61	25.5	48.3	22.0	24.1
7225	31.3	60.7	54	60	25.2	47.5	21.7	23.7
7275	30.8	59.7	53	59	24.9	46.6	21.3	23.3
7325	30.5	59.0	52	58	24.7	46.0	21.0	23.0
7375	29.9	57.7	51	57	24.2	44.9	20.5	22.5
7425	29.6	57.2	50	56	24.1	44.4	20.3	22.2
7475	29.0	55.9	49	55	23.7	43.4	19.9	21.7
7575	28.4	54.7	48	53	23.2	42.4	19.4	21.2
7575	27.6	53.0	47	52	22.6	41.0	18.8	20.5

В первой колонке приведены длины волн центров интервалов усреднения (в ангстремах), в остальных – значащие числа внеатмосферных энергетических освещенностей, создаваемых указанными звездами (порядок чисел везде 10^{-8}).

Каждый из приведенных в начале статьи факторов вносит свой вклад в итоговую погрешность вычисленных освещенностей. Рассмотрим их по отдельности.

1. Спектральный класс звезд при массовых наблюдениях определяется с точностью до одного-двух спектральных подклассов. Иногда ошибки достигают целого класса. С соответствующей амплитудой «плавает» и относительное распределение энергии в спектре звезды. Различия относительного спектрального распределения энергии (с.р.э.) для соседних спектральных подклассов для В9-А5-звезд могут достигать 3-6% [11].

2. Наблюдаемые звездные величины V и показатели цвета $B-V$ в среднем определяются с точностью до одной-двух сотых звездной величины.

3. Разброс нормальных показателей цвета $(B-V)_0$ и нормальных относительных распределений энергии $e_0(\lambda)$ для различных подклассов А-звезд на краях интервала достигает 5-8%. Нормальным называют распределение энергии, типичное для звезд определенного спектрального класса, не отягощенных межзвездным поглощением. Его получают путем усреднения относительных спектральных распределений, нормированных в избранной длине волны для близких звезд. Имеющийся разброс кривых нормальных распределений и показателей цвета звезд обусловлен погрешностью спектральной классификации, различиями в химсоставе их атмосфер, разными скоростями вращения звезд и различной ориентацией оси вращения к лучу зрения. Также сказывается небольшое межзвездное поглощение, которое имеется и для близких звезд.

4. Закон межзвездного поглощения для большей части неба одинаков и задается в виде таблицы. Однако, имеются направления (например, на созвездие Лебедя или туманность Ориона), в которых он отличается от стандартных значений. В вычислениях использован «стандартный» закон, приводимый в [12]. Можно принять, что межзвездное поглощение для звезд, находящихся на расстояниях 200-300 пк, определяется с точностью 3-6%.

5. Численное значение множителя, приведенного в седьмом пункте, определяется по первичному спектрофотометрическому стандарту – Веге и зависит от точности определения звездной величины в полосе V и точности абсолютной калибровки. Звездная величина Веги определена с точностью до 0.003^m , а освещенность в длине волны 5556 Å – с точностью до 1.0-1.5%.

Таким образом, основную погрешность при вычислении внеатмосферных освещенностей, создаваемых звездами, вносят дисперсии нормального распределения энергии и нормальных показателей цвета. Погрешность вычисленных значений возрастает к краям спектрального интервала и для отдельных звезд может достигать 10-12%. В области возле длины волны нормирования точность вычисленных $E(\lambda)$ в 2-3 раза выше.

В будущем список вычисленных звезд-стандартов будет расширен - как на остальную часть небесной сферы, так и на звезды других спектральных подклассов.

Работа выполнена по программе *О.0674.0003/ГОПЦФ-15 «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий» (проект «Создание информационной сети спектрофотометрических стандартов промежуточного блеска и исследование звезд, обладающих планетами»)*.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Миронов А.В. Основы астрофотометрии. М.: Физматлит. 2008. 260с.
- [2] Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Наука. 1991. 400с.
- [3] Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars. Lambert Academic Publishing. 2015. 303p.
- [4] Волощина И. Б., Глушнев И. Н., Дорошенко В. Т., Колотилев Е. А., Моссаковская Л.И., Овчинников С.Л., Фетисова Т.С., под ред. И. Н. Глушневой. Спектрофотометрия ярких звезд. М.: Наука. 1982. 256 с.
- [5] Alekseeva G. A., Arkharov A. A., Galkin V. D., Hagen-Thorn E. I., Nikanorova I. N., Novikov V. V., Novopashenny V. B., Pakhomov V. P., Ruban E. V., Shchegolev D. E. . The Pulkovo Spectrophotometric Catalog of Bright Stars in the Range from 320 to 1080 nm. Baltic astronomy. 1996. v.5. № 4. p. 603.
- [6] Комаров Н. С., Позигун В. А., Белик С. И., Драгунова А. В., Гопка В. Ф., Закожурникова Н. Н., Канцен Л. Э., Карамыш В. Ф., Мишенина Т. В., Орлова Л. Ф., Переверзентцев А. Ф., Руссо Т. А., Черкасс А. Г., Спектрофотометрия звезд в диапазоне $\lambda\lambda$ 550 - 900 нм. Киев. Наукова думка. 1983. 312 с.
- [7] Komarov N. S., Arkhipov M. G., Basak N. Yu., Belik S. I., Cherkass A.G., Chuprina R. I., Dragunova A.V., Dulapchi I. F., Gorbaneva T. I., Karamysh V. F., Kantsen L. E., Korotin S. A., Kovtyukh V. V., Orlova L. F., Motrich V.D., Pereverzentsev A.F., Shevchuk T.V., Zakozhurnikova N. N. // The new spectrophotometric star catalogue. Odessa Astron. Publ.. 1998. v. 11. p. 3.
- [8] Омаров С.З., Гаджиев М.С., Гольдберг Е.П., Омарова Г.Р., Шестопалов Д.И., Шустарев П.Н. // Распределение энергии в спектрах 425 ярких звезд / Циркуляр Шамахинской астрофиз. обсерв. им. Н. Туси. № 104. 2002. с. 3-174.
- [9] <http://vizier.u-strasbg.fr/> (in Eng.)
- [10] Hayes D.S. // Stellar absolute fluxes and energy distributions from 0.32 to 4.0 μ m / In «Calibration of Fundamental Stellar Quantities». IAU Symp. 111 / Eds. D.S. Hayes et al., Reidel. Dordrecht. 1985. p. 225-252;
- [11] Князева Л. Н., Харитонов А.В. // К вопросу о нормальном распределении энергии в спектрах звезд. Звезды А0-А2 главной последовательности / Астроном. журн., т. 70. вып. 4. 1993. с. 760 - 772.
- [12] Allen C.W. Astrophysical Quantities. London. The Athlone Press. 1963. 254p. (in Eng.)
- [13] Страйжис В. Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс, Мокслас, 1997, 321с.

REFERENCES

- [1] Mironov A.V. Osnovy astrofotometrii. M.: Fizmatlit. **2008**. 260 s. – (in Russ.)
- [2] Makarova E.A., Haritonov A.V., Kazachevskaya T.V. Potok solnechnogo izlucheniya. M.: Nauka. **1991**. – 400 s. – (in Russ.)
- [3] Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars. Lambert Academic Publishing. **2015**. – 303 s. – (in Eng.)
- [4] Voloshina I.B., Glushneva I.N., Doroshenko V.T., Kolotilov E.A., Mossakovskaya K.I., Ovchinnikov S.L., Fetisova T.S., pod red. I.N. Glushnevoy. Spektrofotometriya yarkikh zvezd M. Nauka. **1982**. 256 s. – (in Russ.)
- [5] Alekseeva G. A., Arkharov A. A., Galkin V. D., Hagen-Thorn E. I., Nikanorova I. N., Novikov V. V., Novopashenny V. B., Pakhomov V. P., Ruban E. V., Shchegolev D. E. . The Pulkovo Spectrophotometric Catalog of Bright Stars in the Range from 320 to 1080 nm. Baltic astronomy. **1996**. V.5. № 4. S. 603. – (in Russ.)
- [6] Komarov N.S., Pozigun V.A., Belik S.I., Dragunova A.V., Gopka V.F., Zakozhurnikova N.N., Kantsen L.E., Karamysh V.F., Mishenina T. V., Orlova L.F., Pereverzentsev A.F., Russo T.A., Cherkass A.G., Spektrofotometriya zvezd v diapazone $\lambda\lambda$ 550 - 900 nm. Kiev. Naukova dumka. **1983**. 312 s. – (in Russ.)
- [7] Komarov N. S., Arkhipov M. G., Basak N. Yu., Belik S. I., Cherkass A.G., Chuprina R. I., Dragunova A.V., Dulapchi I. F., Gorbaneva T. I., Karamysh V. F., Kantsen L. E., Korotin S. A., Kovtyukh V. V., Orlova L. F., Motrich V.D., Pereverzentsev A.F., Shevchuk T.V., Zakozhurnikova N. N. // The new spectrophotometric star catalogue. Odessa Astron. Publ. **1998**. V. 11. P. 3. – (in Eng.)
- [8] Omarov S.Z., Gadzhiev M.S., Goldberg E.P., Omarova G.P., Shestopalov D.I., Shustarev P.N. // Raspredelenie energii v spektrakh 425 yarkikh zvezd / Tsirkulyar Shamakhinskoy astrofiz. Observ. Im. Tusi. № 104. **2002**. S. 3-174. – (in Russ.)
- [9] <http://vizier.u-strasbg.fr/> (in Eng.)
- [10] Hayes D.S. // Stellar absolute fluxes and energy distributions from 0.32 to 4.0 μm / In «Calibration of Fundamental Stellar Quantities». IAU Symp. 111 / Eds. D.S. Hayes et al., Reidel. Dordrecht. **1985**. P. 225-252. – (in Eng.)
- [11] Knyazeva L.N., Kharitonov A. V. // K voprosu o normalnom raspredelenii energii v spektrakh zvezd. Zvezdy A0-A2 glavnoy posledovatel'nosti / Astronom. Zhurn.. T. 70. Vyp. 4. **1993**. S. 760 - 772. – (in Russ.)
- [12] Allen C.W. Astrophysical Quantities. London. The Athlone Press. **1963**. 254p. (in Eng.)
- [13] Straizhis V. Mnogotsvetnaya fotometriya zvezd. Vilnius, Mokslas, 1997, 312s. - (in Russ.)

ӨОЖ: 523.3, 523.27

В.М. Терещенко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

ФОТОМЕТРЛІК МӘЛІМЕТТЕР БОЙЫНША ЭНЕРГИЯНЫҢ СПЕКТРЛІК ТАРАЛУЫНЫҢ АБСОЛЮТИЗАЦИЯСЫ

Аннотация. Белгілі энергияның атмосферадан тыс таралуында стационар жұлдыздар олардың спектрлерінде әртүрлі аспан денелерінің спектрофотометрлік бақылаулары кезінде және қабылдау-тіркегіш аппаратураны үлгілендіру үшін стандарттар ретінде жиі пайдаланылады. Ірі телескоптарды іске қосумен байланысты әлсіз стандарттарға қажеттілік айтарлықтай туындады. Алайда, әлсіз жұлдыз-стандарттар өте аз, ал олардың құрылуы ұзақ бақылауларды талап етеді. Сондықтан біз белгілі спектрлік және фотометрлік мәліметтер базасында есептеу жолымен әлсіз стандарттар санын арттыруды шештік. Жұмыста есептелген энергияның $E(\lambda)$ атмосферадан тыс таралуы алгоритмінің сипаттамасы келтірілген және аралық жарқылдың 8 A0V-жұлдызы үшін сандық нәтижелер ұсынылған. Алынған мәліметтердің нақтылық бағалауы орындалды және есептік факторларда әрбір пайдаланылғандардың үлесі бағаланды. Есептелген мәндердің дәлдігі спектр аймағына байланысты және 3 тен 10% дейін құрайды. Есептеудің соңғы нәтижесі негізгі қатесін қалыпты энергия таралуы және зерттеліп отырған жұлдыздардың түстері көрсеткіші дисперсиясы шығарады.

Тірек сөздер: жұлдыздар, абсолюттік спектрофотометрия, фотометрия, стандарттар, есептеу.

Сведения об авторе:

Терещенко Владимир Михайлович - ведущий научный сотрудник ДТОО «АФИФ».