

АСТРОФИЗИКА

М. А. Аракелян

О непрерывной эмиссии в спектрах вспыхивающих звезд

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 8. VI. 1959)

Непрерывная эмиссия в спектре вспыхивающего карлика UV Кита была обнаружена А. Джоем и М. Хьюмасоном (¹) почти одновременно с открытием ее в спектрах звезд типа Т Тельца. Вне вспышки абсорбционный спектр этой звезды является типичным для карлика типа M5, но на него накладываются интенсивные эмиссионные линии водорода и ионизованного кальция. Наблюдение спектра звезды во время вспышки 25 сентября 1948 года показало, что спектр поглощения полностью заливается накладывающимся непрерывным излучением. Это сопровождается резким ростом интенсивности эмиссионных линий водорода при неизменности интенсивности линий кальция и появлением эмиссионных линий нейтрального и ионизованного гелия.

Континуум, накладывающийся во время вспышки на абсорбционный спектр карлика, проявлялся во всей наблюдаемой области спектра и характеризовался заметным ростом интенсивности к ультрафиолету. Согласно Джою и Хьюмасону, интенсивность участка, лежащего в коротковолновую сторону от H_γ, значительно превышала интенсивность более длинноволнового участка.

К сожалению спектральные наблюдения вспышек звезд этого типа крайне ограничены и, в сущности, это наблюдение является единственным, дающим нам какие-то сведения о непрерывном спектре вспыхивающих звезд во время вспышки. Поэтому приобретают большой интерес трехцветные фотоэлектрические наблюдения, произведенные Г. Джонсоном и Р. Митчеллом (²), во время вспышки звезды HII 1306 в скоплении Плеяд. В то же время фотоэлектрические наблюдения Джонсона и Митчелла имеют то преимущество перед спектральными наблюдениями, что дают возможность судить о цвете звезды на разных фазах вспышки, в то время как спектральные наблюдения Джоя и Хьюмасона так или иначе дают средние данные за время экспозиции.

Этот карлик имеет вне вспышки показатели цвета $B-V = 1^m35$ и $U-B = 1^m18$, т. е. цвет звезды K6. Вспышка продолжалась около

сорока минут. Звезда, как упоминалось, является членом скопления Плеяд и вне вспышки находится примерно на половину звездной величины выше главной последовательности ($V = 13^m39$). Все эти данные делают ее типичной вспыхивающей (flash) звездой типа вспыхивающих переменных, обнаруженных Г. Аро (³) в Т-ассоциациях и молодых скоплениях. Тем не менее, анализ наблюдений вспышки этой звезды представляет значительный интерес и для понимания природы вспышек звезд типа UV Кита, так как нет никаких оснований полагать, что имеются какие-либо принципиальные различия между этими двумя группами вспыхивающих звезд.

В настоящей заметке делается попытка рассмотрения результатов, полученных Джонсоном и Митчеллом в свете развитого В. А. Амбарцумяном (⁴) представления о нетепловом характере изменений блеска и спектральных особенностей звезд типа UV Кита. Согласно В. А. Амбарцумяну, спектральные особенности (в частности, непрерывная эмиссия) и переменность этих звезд связаны с выбросом внутризвездного вещества и освобождением его энергии во внешних слоях звезды. Как известно, тот же вывод был сделан в отношении звезд типа Т Тельца. Не лишено поэтому интереса сравнение рассматриваемых данных с результатами наблюдений звезд типа Т Тельца.

Колориметрические данные о вспышке, полученные Джонсоном и Митчеллом, мы можем целиком отнести за счет непрерывной эмиссии и эмиссионных линий. Действительно, как было отмечено В. А. Амбарцумяном, продолжительность вспышек этих звезд столь невелика, что объяснить хотя бы часть энергии вспышки как результат разогрева фотосферы или увеличения радиуса звезды абсолютно невозможно. Следовательно, единственным возможным заключением является то, что вся энергия вспышки обусловлена излучением в оптически тонком слое, т. е. практически она может складываться из непрерывной эмиссии и излучения в балмеровских линиях и континууме.

В результатах Джонсона и Митчелла обращает на себя внимание резкое различие амплитуд вспышки в трех спектральных участках: $\Delta V = 0^m76$, $\Delta B = 1^m62$ и $\Delta U = 3^m77$. Уже столь резкий рост амплитуды при переходе от визуальной области спектра к фотографической и ультрафиолетовой свидетельствует о нетепловом характере изменений блеска, поскольку известно, что при изменениях теплового характера отношение амплитуд в фотографических и визуальных лучах не должно превышать 1.3, соответствующее отношение для ультрафиолетовых и фотографических лучей получается равным 1.5.

Поскольку нас интересует избыточная энергия, излучаемая во время вспышки, то мы исключим из всех трех кривых блеска нормальную яркость звезды и рассмотрим ход выделения энергии вспышки со временем. На фиг. 1, 2 и 3 нанесены в звездных величинах кривые падения интенсивности излучения избыточной энергии вспышки после максимума. Интенсивности излучения в максимуме равны соот-

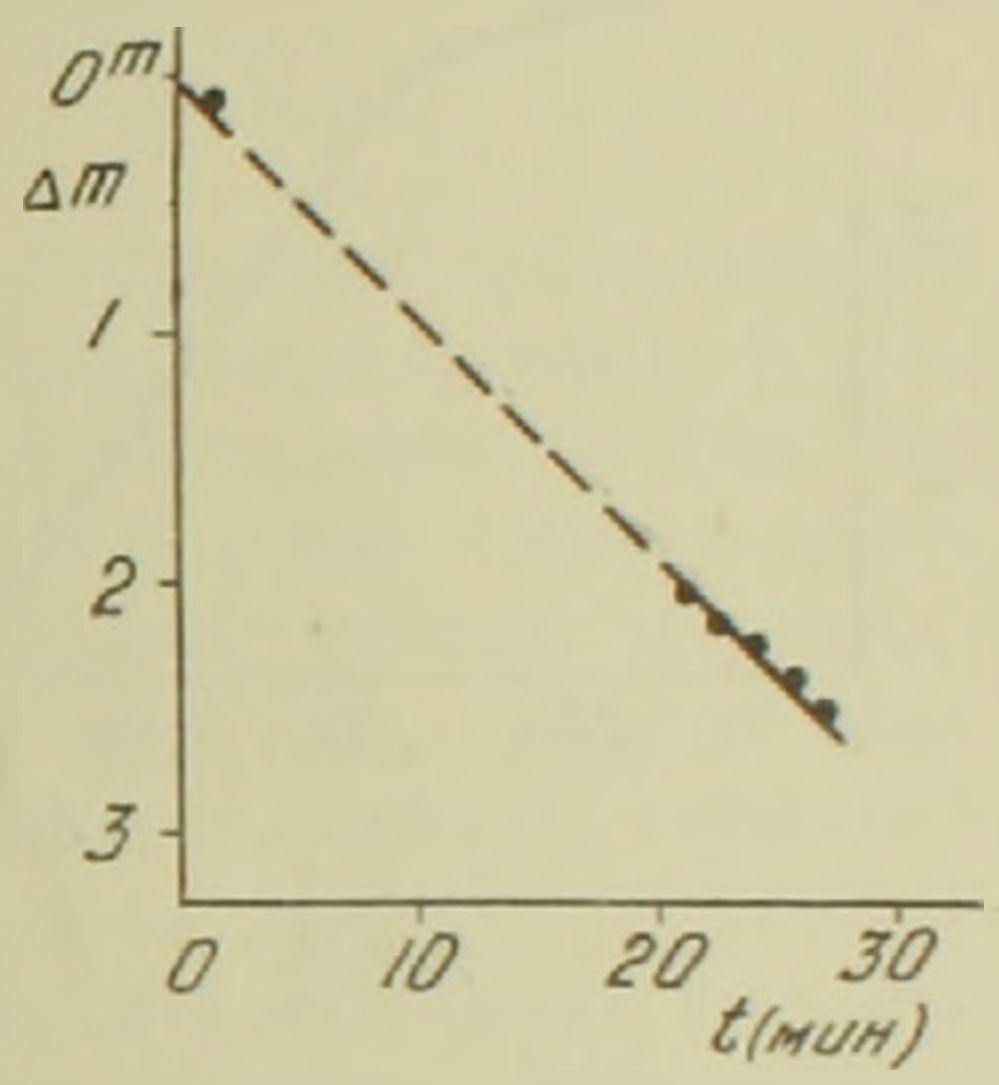
ответственно $I_V^{\max} = 1.0 I_V^0$, $I_B^{\max} = 3.4 I_B^0$, $I_U^{\max} = 31.2 I_U^0$, где через I^0 обозначены интенсивности излучения звезды в соответствующих спектральных участках вне вспышки.

Как видно из фиг. 1, падение интенсивности в визуальном участке спектра хорошо представляется экспоненциальной зависимостью от времени:

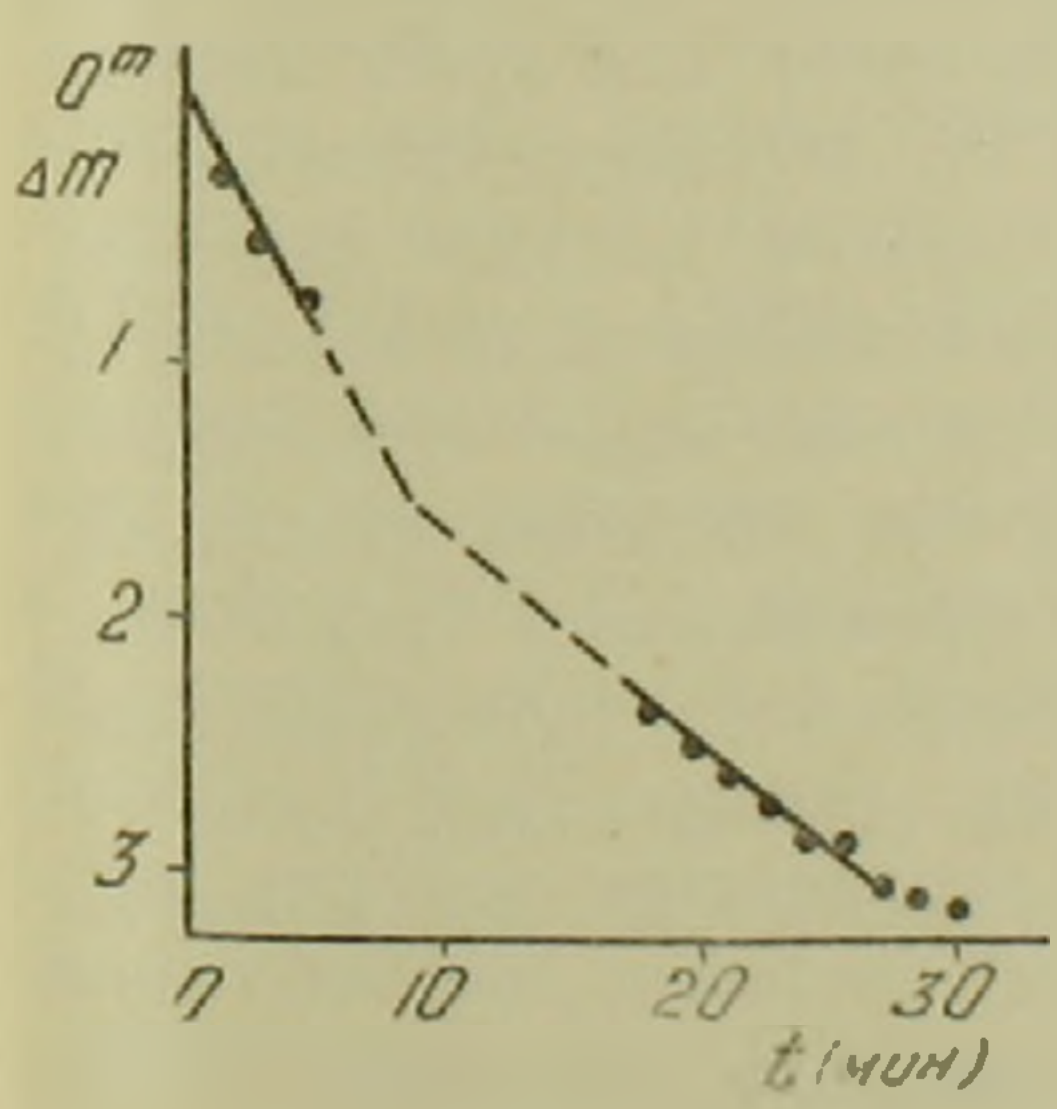
$$I(t) = I^{\max} e^{-at} \tag{1}$$

Если принять во внимание, что соответствующий фильтр V системы U, B, V охватывает полосу, практически лишенную балмеровских линий, то мы должны заключить, что экспоненциальное падение интенсивности излучения в этом случае целиком характеризует поведение непрерывной эмиссии. Величина a_V , характеризующая скорость падения интенсивности в этом участке, равна 0.0013 сек.^{-1} . Полное количество освобожденной в этом участке спектра энергии, без учета энергии, излученной до максимума, оказывается равным $770 I_V^0$.

Фиг. 2 представляет ход выделения избыточной энергии в спектральном участке В, включающем водородные линии H_β , H_γ , H_δ и H_ϵ . Следовательно, он изображает ход интенсивности непрерывной эмиссии и, возможно, интенсивности в этих линиях. Из фиг. 2 вид-



Фиг. 1.



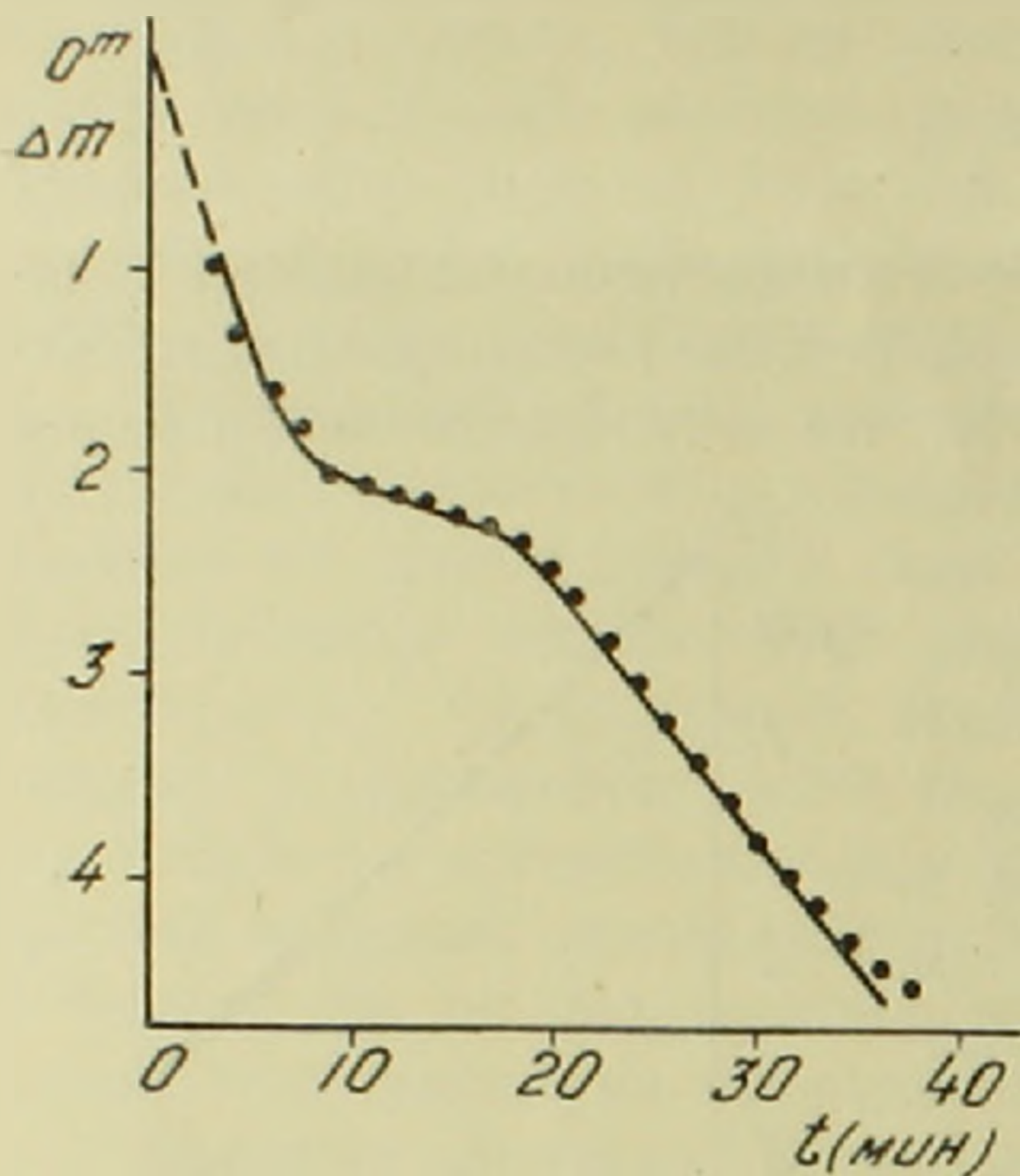
Фиг. 2.

но, что и в этом случае мы, по-видимому, имеем дело с экспоненциальным падением интенсивности, хотя в течение вспышки происходит переход одного экспоненциального закона (участок 1, $a_1 = 0.0025 \text{ сек.}^{-1}$) в другой (участок 2, $a_2 = 0.0011 \text{ сек.}^{-1}$). Если использовать значение a_B , соответствующее участку 1, то полное количество энергии, излученной во время вспышки, получается равным $1360 I_B^0$.

Наиболее полные данные мы имеем о ходе выделения энергий вспышки в ультрафиолетовой области спектра (фиг. 3).

Эта область включает в себя высокие члены балмеровской серии и часть балмеровского континуума, прилежащего к пределу серии. Мы видим, что в этом случае также имеет место экспоненциальное падение интенсивности после максимума, переходящее при $t \approx 5$ минут

в экспоненциальное же падение с несколько иным показателем. На участке 1 $a_U = 0.0042 \text{ сек.}^{-1}$, что приводит к полному количеству освобожденной во время вспышки энергии, равному $7430 I_U^0$. На участке 2 $a_U = 0.0019 \text{ сек.}^{-1}$. Ультрафиолетовая кривая очень хорошо



Фиг. 3.

представляется наложением двух вспышек. При этом максимум вторичной вспышки с интенсивностью примерно в семь раз меньшей, чем у основной, имеет место примерно на пятнадцать минут позже, чем максимум основной вспышки.

Таким образом, выделение энергии вспышки после максимума во всех трех спектральных участках происходит в экспоненциальной зависимости от времени. Такая зависимость хорошо согласуется с представлением о кратковременном выбросе определен-

ного количества энергии и ее последующем высвечивании.

Произведем оценку полной энергии, освобожденной во время вспышки. Абсолютная визуальная величина звезды вне вспышки с учетом модуля расстояния в $5^m 52$ оказывается равной $7^m 87$. Используя болометрическую поправку звезды типа K6 ($-1^m 14$), получим болометрическую светимость звезды, равную $6 \cdot 10^{32}$ эрг/сек. Для простоты положим, что фильтры U, B и V прозрачны соответственно в следующих участках спектра: $3100\text{Å} - 3800\text{Å}$, $3800\text{Å} - 4900\text{Å}$ и $4900\text{Å} - 6000\text{Å}$. Приняв далее, что распределение энергии в спектре звезды соответствует $T = 4000$ получим, что вне вспышки она излучает в этих участках спектра соответственно $1 \cdot 10^{31}$ эрг/сек., $3 \cdot 10^{31}$ эрг/сек. и $4 \cdot 10^{31}$ эрг/сек. Следовательно, интенсивности излучения избыточной энергии в этих участках в максимуме равны $31 \cdot 10^{31}$ эрг/сек., $10 \cdot 10^{31}$ эрг/сек. и $4 \cdot 10^{31}$ эрг/сек. Полные количества энергии, излученные за время вспышки, оказываются равными, соответственно, $6 \cdot 10^{31}$ эрг, $4 \cdot 10^{31}$ эрг и $3 \cdot 10^{31}$ эрг. Таким образом, только в области спектра, охватываемой фильтрами U, B, V, количество излученной за время вспышки энергии оказывается большим, чем 10^{35} эрг.

Рассмотрим далее возможность интерпретации этой энергии как энергии, излученной в эмиссионных линиях. Изменение числа ионизованных атомов при рекомбинационном излучении получается посредством интегрирования уравнения:

$$\frac{dn^+}{dt} = -n_en^+ \sum_{i=1}^{\infty} C_i. \quad (2)$$

Экспоненциальная зависимость при этом может быть получена только в том случае, когда очень велика плотность свободных электронов. Но поскольку основным источником свободных электронов является водород, а в данном случае речь может идти только об излучении в бальмеровских линиях и континууме, то мы должны считать, что $n_e \approx n^+$. В этом случае число рекомбинирующих ионов будет изменяться согласно формуле:

$$\frac{1}{n^+(t)} - \frac{1}{n^+(0)} = -(t-t_0) \sum_{i=1}^{\infty} C_i. \quad (3)$$

Отсюда следует, что полученная экспоненциальная зависимость не связана с рекомбинационным процессом высвечивания. С другой стороны, заметный рост интенсивности в визуальном участке, лишенном бальмеровских линий, в свою очередь также свидетельствует о том, что энергия, излученная в эмиссионных линиях, составляет не основную часть энергии вспышки. Это дает нам основание целиком приписать энергию, излученную в процессе вспышки, непрерывной эмиссии.

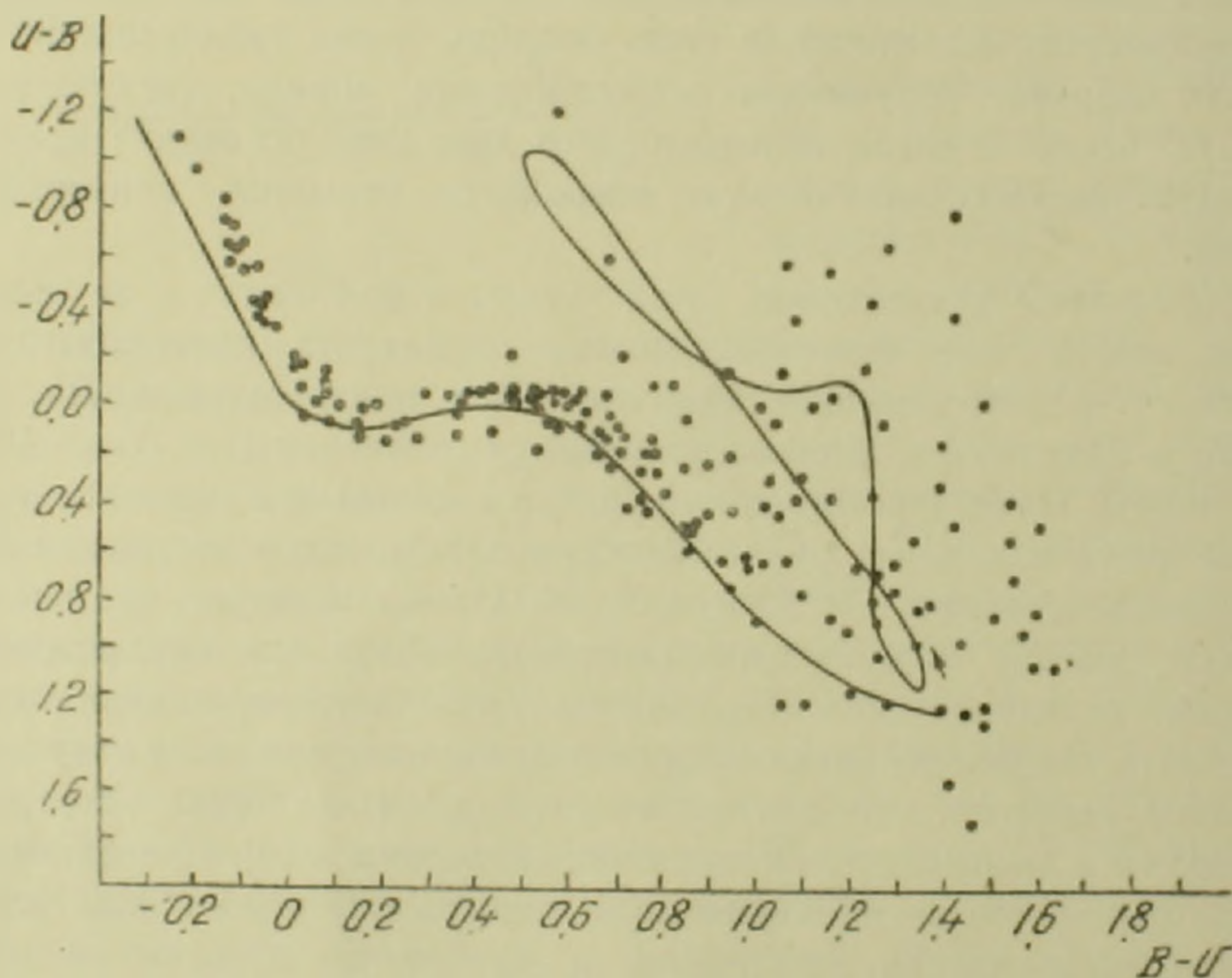
Сравнением показателей цвета звезды в максимуме с ее показателями цвета вне вспышки, можно определить цвет избыточной энергии, т. е. непрерывной эмиссии. Для показателей цвета этой эмиссии в максимуме блеска получаются значения $U - V = -1^m2$ и $B - V = 0^m0$. Нами ⁽⁵⁾ было показано, что минимальные значения показателей цвета излучения релятивистских электронов в магнитном поле равны соответственно -0^m90 и $+0^m05^*$. Отсюда следует, что энергия вспышки едва ли может быть интерпретирована как синхротронное излучение релятивистских электронов. С такой интерпретацией трудно согласовать также экспоненциальное падение интенсивности излучения, поскольку известно, что потери энергии релятивистских электронов происходят в зависимости от времени, аналогичной (3). Правда, можно предположить, что экспоненциальная зависимость представляет собой не закон высвечивания электронов, а зависимость от времени интенсивности их выброса. Но при этом необходимо предполагать, что

* Согласно А. Джою ⁽⁶⁾, во время вспышки UV Кита распределение энергии в спектре звезды соответствовало температуре, большей, чем 10000° . Это значит, что распределение энергии в спектре избыточного излучения соответствовало еще большей температуре. Если, например, считать, что во время вспышки блеск звезды вырос на 2 звездные величины, а непрерывный спектр звезды вне вспышки соответствовал $T = 3000^\circ$, то мы получим, что распределение энергии в спектре непрерывной эмиссии соответствует $T = 20000^\circ$. Это, в свою очередь, также свидетельствует против механизма синхротронного излучения, так как из ⁽⁵⁾ следует, что это излучение в фотографической области спектра должно быть менее голубым, чем излучение звезды типа АО.

электроны высвечиваются за очень короткие промежутки времени, а для этого требуются слишком большие напряженности магнитного поля и слишком высокие плотности релятивистских электронов.

Мы должны заключить, таким образом, что попытка согласования данных о нетепловом излучении вспышки H II 1306 с гипотезой излучения релятивистских электронов сталкивается с серьезными трудностями. Поскольку приведенные данные трудно согласовать также с представлением об энергии вспышки как энергии, излученной в эмиссионных линиях, то их можно рассматривать как дополнительные данные в пользу развитого В. А. Амбарцумяном (*) представления о действии в атмосферах нестационарных звезд неизвестных нам механизмов превращения внутризвездной энергии.

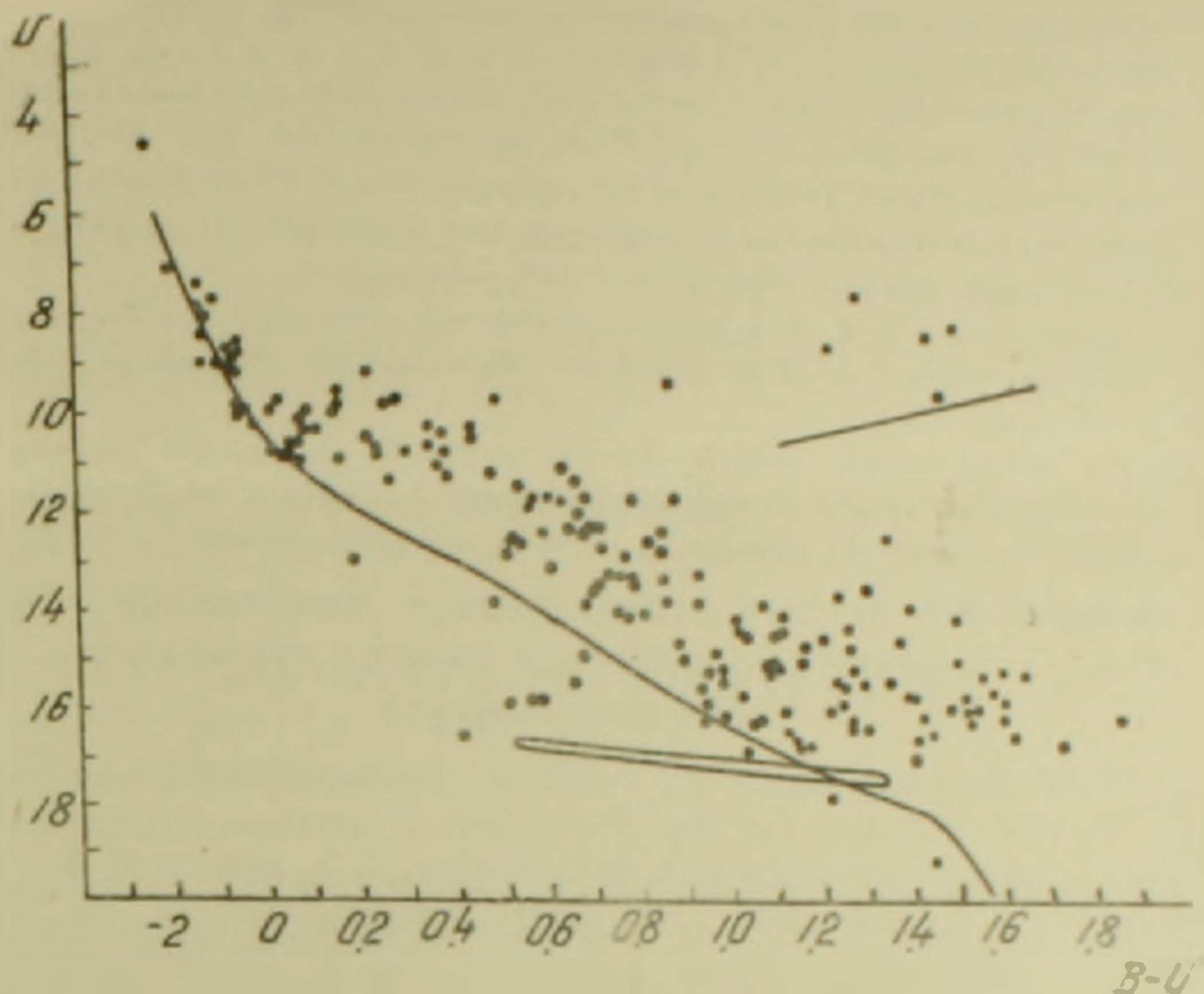
В заключение отметим следующий факт, который может представить интерес с точки зрения взаимоотношения звезд типов Т Тельца и UV Кита. На фиг. 4 и 5 приведены диаграммы $U-B$, $B-V$ и $V-B-V$, построенные М. Уокером (**) для звездного скопления NGC 2264.



Фиг. 4.

На этих диаграммах сплошными линиями нанесены последовательные положения звезды H II 1306 в течение вспышки (с учетом расстояния до двух скоплений). Обращают на себя внимание следующие два обстоятельства:

а) на обеих диаграммах последовательные положения вспыхивающей звезды в течение вспышки совпадают с областями, занимаемыми звездами типа Т Тельца; сходство было бы полным, если бы звезда до вспышки находилась выше главной последовательности;



Фиг. 5.

б) перемещение звезды на диаграмме $V, B - V$ происходит так же, как перемещение переменных типа Т Тельца на диаграммах, приведенных в работе П. Н. Холопова (*).

В свете этих фактов представляется возможным рассматривать звезды типа Т Тельца как сильно замедленные вспыхивающие звезды, наблюдаемые на различных фазах вспышки. При этом возможные наложения вспышек могут сильно усложнить как кривые блеска, так и спектры звезд этого типа. С таким представлением хорошо согласуется полученное Г. Аро ⁽¹⁰⁾ соотношение спектр--продолжительность вспышки. Если распространить это соотношение на звезды типа Т Тельца, относящиеся как правило к более ранним спектральным классам, чем вспыхивающие звезды, то продолжительность вспышек звезд типа Т Тельца должна достигать нескольких часов.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Азербайджанской ССР

Մ. Ա. ՍՈՍՔԵԼՅԱՆ

Բնակվող առողների սպեկտրներում անընդհատ առաժման մասին

Մշակված են HII 1306 կարմիր թզուկի բնական զերաբերյալ Ջոնսոնի և Միաշելի կողմից կատարված երեք գույնանի զիտումները: Մույց է տրված, որ U, B, V սխեմաներ երեք գույններում այդ բնական ինտենսիվության անկումը մաքրվածից հետո տեղի է ունենում էրապոնենցիալ օրենքով: Բնական ամպլիտուդների նորմալիզացիաներ երեք գույններում բացատրվում է բնական երկուսի շերտային բնույթը: Մյուս կողմից, ինտենսիվության անկման էրապոնենցիալ օրենքը խոսում է էներգիայի որոշակի քանակության կարճատև ազատազրման և նրա հետագա առաքման տեսակետի ոգտին:

Բռնկման բնթացքում ազատագրված էներգիայի բանաձևը $U = B \cdot V$ «պեկտրա», տիրույթներում դերագանցում է 10^{11} էրգը:

Բռնկման ինտենսիվությամբ էրապունենցիայի անկումը գծված է համաձայնեցնել «նյա տիվիտակա» էլեկտրոնների ճառագայթման ինյոթեզի հետ: Իկյդ հիպոթեզի դեմ է վկայում նաև ճառագայթման գույնը բռնկման մարսիմումում: Բյուս կոզմից, վերոհիշյալ էրապունենցիայի «ըենյը» նշարավոր չէ բացատրել նաև ենթադրելով, որ բռնկման էներգիան հանգես է գալիս որպես ճառագայթման գծերի էներգիա:

Իկյա աժենը խոսում է Վ. Ն. Համբարձումյանի այն տեսակետի ոգտին, որ անկայուն առողերի մթնոլորտներում տեղի են ունենում ներառագային էներգիայի մեափոխման գեռես անհյտ պրոցեսներ:

Բռնկվող առողի գույնի փոփոխությունը բռնկման բնթացքում չի սարքերվում T Յուլի տիպի առողերի գույնի փոփոխություններից: Իս հիմք է տալիս դիտել T Յուլի տիպի փոփոխականները որպես շափագանց դանդաղ բռնկվող առողեր:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ A. Джой, M. Хьюмасон, P. A. S. P., 61, 133, 1948. ² Г. Джонсон, P. Митчелл, Ap. J., 128, 31, 1958. ³ Г. Аро, Bol. Obs. Tonantzintla y Tacubaya, 11, 17, 1954. ⁴ В. А. Амбарцумян, Сообщения Бюраканской обсерватории, 13, 3, 1954. ⁵ М. А. Аракелян, ДАН Армянской ССР, 29, 35, 1959. ⁶ A. Джой, Non-Stable Stars, p. 31, Cambridge University Press, 1957. ⁷ В. А. Амбарцумян, Труды Четвертого совещания по вопросам космогонии, стр. 344, М., 1955. ⁸ M. Уокер, Ap. J. Suppl. Ser., 2, № 23, 1956. ⁹ П. Н. Холопов, Астр. журнал, 35, 434, 1958. ¹⁰ Г. Аро, Bol. Obs. Tonantzintla y Tacubaya, 12, 3, 1955.