

УДК 551.593

К 90-летию К.К. Чуваева Работы К.К. Чуваева по свечению ночного неба

В.И. Проник

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 15 ноября 2007 г.

Введение

Свою научную деятельность К.К. Чуваев начал весной 1941 г. в Абастуманской обсерватории, куда был направлен на работу после окончания Казанского университета. Там он занимался фотоэлектрической фотометрией затменных двойных звезд. Проработав всего лишь несколько месяцев, в июне 1941 года он был призван в действующую Красную Армию, с которой прошел боевой путь от Грозного, где его артбатальон держал оборону, до Праги, освобождая от немецких войск Северный Кавказ, Крым, юг Украины, Молдавию, Румынию, Чехословакию. После окончания войны, в 1946 г. К.К. Чуваев был принят на работу в молодую, только начинающую строиться Крымскую астрофизическую обсерваторию. Новая обсерватория строилась в горах, поэтому несколько лет он работал на старой, разрушенной немцами обсерватории в Симеизе на горе Кошка.

В это трудное послевоенное время на горе Кошка в рабочем состоянии находились только две параллактические монтировки и небольшой спектрогелиограф, восстановленный сразу же после войны механиком Павлом Тимофеевичем Козловым и электриком Иосифом Гавриловичем Иосько. На одной параллактической монтировке сначала была установлена 45-см, а потом 64-см светосильная камера, на которой академик Г.А. Шайн фотографировал диффузные туманности. На другой монтировке крепились два объектива Унар диаметром 12 см каждый для фотографирования комет и малых планет. Позже они были заменены одним объективом большего диаметра – 22-см Догмаром.

Первые три года К.К. Чуваев работал в отделе физики Солнца, на спектрогелиографе фотографировал диск Солнца в лучах H_{α} . В конце 1949 г., по предложению Г.А. Шайна, К.К. Чуваев приступил к созданию фотоэлектрического фотометра для исследования свечения ночного неба. Кроме двух небольших башен и домика, в котором находился спектрогелиограф, на обсерватории в Симеизе была еще большая пустая башня с куполом, в которой до войны был установлен знаменитый метровый рефлектор, полностью уничтоженный немецкими солдатами во время оккупации.

В этой большой башне, на втором этаже под куполом на треноге и был установлен фотометр К.К. Чуваева для исследования свечения ночного неба.

1 Электрофотометрическое исследование свечения ночного неба.

(Диссертационная работа К.К. Чуваева)

Тема диссертационной работы К.К. Чуваева, предложенная Г.А. Шайном, была продиктована той послевоенной разрухой и нищетой, в которой оказалась вся советская наука, в том числе и наблюдательная астрофизика. Для исследования свечения ночного неба не требовалась

азимутальная монтировка: фотометр, находясь на треноге, был направлен на околополюсную область неба, которая в Симеизе находилась над основным горным хребтом Ат-Баш, полностью закрывавшим еще слабое в то время освещение Симферополя.

Фотометр К.К. Чуваева состоял из:

- линзового объектива – триплет Цейсса с фокусным расстоянием 70 см и диаметром входного зрачка 14 см;
- фотоумножителя С.Ф. Родионова с сурмяно-цезиевым катодом;
- электрической схемы Бриджа-Броуна с одной радиолампой с тремя управляющими сетками;
- зеркального гальванометра для измерения тока;
- радиофосфора – стандартного источника света, калиброванного по звездам в абсолютных единицах;
- пяти интерференционных фильтров с ширинами полос пропускания от 20 до 70 Å, центрированными на $\lambda\lambda 4720, 4910, 5220, 5580 (5577)$, и интерференционно-поляризационного фильтра на $\lambda 5900$ Å.

Фильтры находились за объективом в сходящихся лучах. Пропускание фильтров измерялось на спектрофотометре СФ-4. Влияние магнитного поля Земли на отсчеты гальванометра находилось путем измерения яркости стандарта при разной ориентации фотометра (фотоумножителя). Эффект не превышал 1 %. При измерении неба всегда делались три отчета (три экспозиции по 1 минуте каждая). Среднеквадратичная ошибка среднего составляла 0.5–0.7 %; ошибка стандарта 0.2 %. Для определения высоты светящегося слоя атмосферы наблюдения делались на разных зенитных расстояниях в нескольких азимутах.

Абсолютная калибровка стандарта делалась по Капелле, которая сравнивалась с Солнцем. В фильтре с полосой пропускания, центрированной на $\lambda 5580$ Å (линия ночного неба 5577 [OI]), были получены следующие калибровочные величины:

- яркость Капеллы относительно стандарта $-0^m.63$;
- визуальная величина Капеллы $+0^m.21$;
- визуальная величина Солнца $-26^m.72$.

При наблюдениях учитывались поглощение света атмосферой по методу Никонова и рассеяние света атмосферой Земли по методу Фесенкова. В свечении ночного неба различались следующие компоненты:

- свет звезд;
- зодиакальный свет;
- свечение атмосферы в линиях и полосах ОН;
- свечение атмосферы в непрерывном спектре и свечение атмосферы в линии 5577[OI].

Вклад света звезд оценивался по Сирсу: звездная составляющая принималась равной 65 звездам 10^m в одном квадратном градусе. Распределение энергии в спектре звезд принималось тождественным спектральному классу G0. Для оценки яркости зодиакального света в наблюдаемом участке неба использовалась карта распределения яркости зодиакального света по небу согласно Барьбье и Дюре. Распределение энергии в спектре зодиакального света принималось аналогичным распределению для Солнца (спектральный класс G0).

Высота слоя, светящегося в линии 5577[OI], особенно тщательно определялась для трех ночей в зимний период 1951/1952 гг., для которых были получены следующие значения: 200, 155 и 180 км. Высота свечения h определялась по формуле Фесенкова:

$$\frac{I(z)}{I(0)} = \frac{(1+h) \times (P+0.03)^{\sec Z - 1}}{\sqrt{(1-h)^2 - \sin^2 Z}},$$

где P – прозрачность атмосферы, которая находилась по звездам несколько раз за ночь в каждом фильтре по методу В.Б. Никонова.

До наблюдений ночного неба, начатых К.К. Чуваевым, были известны следующие факты:

- в ночном небе светится главным образом линия 5577 Å;

- свечение ночного неба сильно меняется от ночи к ночи и даже в течение одной ночи;
- светятся верхние слои атмосферы;
- свечение ночного неба очень слабое, что создает известные трудности при наблюдениях.

Новизна наблюдений К.К. Чуваева заключалась главным образом в высокой точности фотометрического метода и в применении высокочувствительного приемника (ФЭУ), что дало возможность наблюдать изменение свечения в течение ночи и регистрировать потоки в узких спектральных интервалах.

Поражает оперативность в работе К.К. Чуваева. В 1950 г. был изготовлен фотометр. С мая 1951 г. по апрель 1952 г. велись систематические наблюдения ночного неба. В сентябре 1952 г. сдана в печать диссертационная работа (“Известия КрАО”, т. 10). 24 ноября того же года состоялась защита диссертации. Важным обстоятельством было то, что тогда не требовался выход из печати диссертационной работы до ее защиты.

В конце 1951 г., когда К.К. Чуваевым фактически уже год велись наблюдения, французские ученые Пог и Петит опубликовали работу, в которой привели несколько карт с изофотами неба в линии 5577 \AA , характер суточных изменений и высоту свечения слоя атмосферы. В другой работе, которая также была опубликована в 1951 г., Барбье, Дюре и Вильямс сообщили об обнаружении слабого континуума в свечении ночного неба.

Однако в этих работах имелись недостатки, которых К.К. Чуваеву удалось избежать. К ним относятся: предположение о тождественности распределения энергии в континууме ночного неба и в спектре звезды G0; не учитывалась прозрачность атмосферы; не было контроля чувствительности прибора; не использовалась схема Фарби, что снижало точность наблюдений; наблюдения непрерывного спектра ночного неба велись в одном фильтре, тогда как у К.К. Чуваева – в четырех фильтрах.

Выводы, сделанные К.К. Чуваевым на основе собственных наблюдений, таковы:

1. верхние слои земной атмосферы излучают не только в линии 5577 \AA , но и в непрерывном спектре;
2. интенсивность излучения ночного неба в непрерывном спектре может быть как меньше, так и больше суммарного излучения зодиакального света и света звезд;
3. распределение энергии в непрерывном спектре ночного неба не является излучением абсолютно черного тела;
4. существуют два разных механизма, возбуждающих свечение ночного неба: один возбуждает свечение в линии $5577[\text{OI}]$, другой – в непрерывном спектре;
5. высота слоя светящейся атмосферы в линии 5577 \AA составляет $\sim 200 \text{ км}$;
6. максимум свечения в линии 5577 \AA не связан со временем ночи – вечер, середина ночи, утро;
7. среднее значение яркости линии 5577 \AA в зените соответствует 10^8 квантам за 1 секунду в столбе атмосферы сечением 1 см^2 .

Руководителями диссертационной работы К.К. Чуваева были профессор Э.Р. Мустель и старший научный сотрудник В.Б. Никонов.

2 О вероятном механизме свечения ночного неба в непрерывном спектре (Работа К.К. Чуваева, выполненная совместно с С.Б. Пикельнером)

В 1950 г. С.Б. Пикельнер закончил сборку и юстировку небулярного спектрографа, изготовленного фирмой ЛОМО, и начал спектральные наблюдения волокнистой туманности в Лебеде. Эта туманность представляла большой интерес из-за отсутствия в ней возбуждающей звезды и наличия необычного спектра с исключительно яркими запрещенными линиями $[\text{OIII}]$ и $[\text{OII}]$. Естественно на всех спектрах имелась хорошо выраженная с нормальным почернением линия ночного неба $\lambda 5577[\text{OI}]$. С.Б. Пикельнеру пришла гениальная идея использовать наблюдения ночного неба К.К. Чуваевым, в частности значения абсолютной яркости линии $\lambda 5577$, выраженной

в эрг/см²·с стерадиан, для калибровки эмиссионных линий в спектре туманностей. Они договаривались наблюдать одновременно в конкретные ночи и часы. К.К. Чуваев определял яркость линии $\lambda 5577$ в зените в моменты прохождения туманности вблизи зенита.

Так, в процессе наблюдений К.К. Чуваевым свечения ночного неба между ним и С.Б. Пикельнером завязалась деловая дружба, в результате которой родилась идея написать совместную работу об интерпретации непрерывного излучения в свечении ночного неба (“Известия КрАО”, т. 11).

Фактами, свидетельствующими о том, что наблюдаемое в ночном небе непрерывное излучение обусловлено не только зодиакальным светом и светом слабых звезд, но и свечением верхних слоев земной атмосферы, служат следующие обстоятельства:

- 1) яркость одного и того же (относительно звезд) участка неба в полярной области за несколько часов изменялась до 40 %, тогда как прозрачность атмосферы за это время не менялась;
- 2) яркость одной и той же площадки неба по мере приближения ее к горизонту увеличивалась, что характерно для атмосферного свечения, так как толщина излучающего слоя увеличивается, в то время как яркость внеатмосферных источников к горизонту падает из-за атмосферного поглощения;
- 3) распределение энергии в суммарном непрерывном спектре ночного неба отличается от распределения в спектре звезд класса G0, которое принимается для зодиакального света и слабых звезд.

Обычно рассматриваемые в астрофизике свободно-свободные переходы электронов в поле ионов и рекомбинации электронов на возбужденные уровни ионов не могут обеспечить наблюдаемый непрерывный спектр по причине малого числа электронов и ионов в верхних слоях атмосферы (все атомы нейтральны, кроме Na⁺, Ca⁺, K⁺).

Здесь, на высоте 200 км в ночной атмосфере имеются в основном нейтральные атомы и молекулы кислорода и азота, поэтому естественно нужно искать причину излучения континуума во взаимодействии электронов с нейтральными атомами, приводящими к образованию отрицательных ионов кислорода O⁻. При этом, как и положено при рекомбинации, излучается непрерывный спектр с энергией квантов больше потенциала диссоциации отрицательного иона O⁻. Энергия диссоциации O⁻ соответствует длине волны 5620 Å. Это означает, что при прилипании электрона к O^o, т. е. при образовании O⁻, излучается фотон с длиной волны короче $\lambda 5620$ Å.

К.К. Чуваев и С.Б. Пикельнер подсчитали, что в F-слое на высоте ~ 250 км при толщине слоя в 50 км интенсивность излучения ночного неба в непрерывном спектре составляла примерно $3 \cdot 10^{-8}$ эрг/см²·с стерадиан или 50–100 фотонов в см³ в секунду.

Для того, чтобы непрерывный спектр можно было наблюдать в течение всей ночи, нужно, чтобы ионы O⁻ постоянно разрушались. Механизмом разрушения ионов O⁻ может быть соударение иона O⁻ с нейтральным атомом кислорода O^o, возбужденным на второй ¹D₂ уровень, переход с которого на первый уровень ³P₂ дает линию 6300 Å [O⁺]. Тогда кинетической энергии нейтрального атома кислорода в сумме с энергией возбуждения $\lambda 6300$ Å (~ 2 eV) достаточно, чтобы оторвать электрон от иона O⁻. Согласно подсчетам авторов, в F-слое таких столкновений может быть до 40 в см³. В итоге К.К. Чуваев и С.Б. Пикельнер пришли к заключению, что такой механизм излучения непрерывного спектра вполне вероятен, поскольку выбор возможных механизмов в данном случае сильно ограничен.

Исследования свечения ночного неба К.К. Чуваев выполнил очень быстро и на уровне лучших работ того времени. Кроме энергии молодого, соскучившегося по научной работе человека, сказывался и общий трудовой энтузиазм в стране в послевоенные годы, и созданная Г.А. Шайном творческая атмосфера в обсерватории на Кошке, и заложенная им традиция делать все своими руками. Сейчас свечение ночного неба не входит в число астрономических проблем, но следует иметь в виду, что полвека тому назад физика верхней атмосферы Земли была прерогативой астрономов, и на памяти астрономов старшего поколения это направление отделилось от астрономии и теперь относится к геофизике.