

## ФОТО- И СПЕКТРОГРАФИРОВАНИЕ НОЧНОГО НЕБА В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Общеизвестно, что область чувствительности фотографических эмульсий простирается в инфракрасную область спектра сравнительно недалеко — в лучших случаях до  $11\,000\text{ \AA}$ . При этом даже в максимуме чувствительности к инфракрасным лучам очень низка, едва достигающая чувствительности диапозитивных пластинок в видимой области спектра. Тем самым полностью исключается возможность применения фотопластинок в случае фотографирования, а тем более спектрографирования, слабых инфракрасных излучений, таких например, как свечение ночного неба.

Современные фотоэлементы (а также фотоэлектронные умножители) обладают в инфракрасной области спектра значительно более высокой чувствительностью, делающей их пригодными для измерения столь слабых световых потоков, причём доступная для измерения область спектра простирается в сторону длинных волн несколько дальше, чем у фотографических эмульсий, примерно до  $12\,000\text{ \AA}$ . Однако с помощью фотоэлементов можно измерять только значения полного потока лучистой энергии, падающего на фоточувствительный слой. Поэтому исследование целого спектра или фотометрическое изучение протяжённого объекта (скажем, области неба) представляет собой весьма кропотливую и трудоёмкую работу, не говоря уже о возможности изменений самого измеряемого объекта в течение времени, необходимого для измерений.

Кроме того, в обычных схемах фотоэлемент, в отличие от фотографической эмульсии, регистрирует не количество упавшей на него лучистой энергии, а мгновенное значение её интенсивности, что лишает его одного из основных достоинств фотографической эмульсии — возможности значительного увеличения чувствительности путём увеличения времени экспозиции. Этот недостаток легко может быть устранён применением специальных интегрирующих схем, что, однако, увеличивая время, необходимое для одного измерения, вносит новые серьёзные осложнения

при исследовании протяжённых объектов. Наконец, фотоэлектрические методы измерений лишены документальности, присущей методам фотографическим.

Всё сказанное делает весьма привлекательной идею сочетать достоинства фотоэлементов с преимуществами фотографической эмульсии. Это оказывается возможным, используя в качестве приёмника света электронно-оптический преобразователь изображений в соединении с фотографической пластинкой.

С принципиальной стороны схема применения электронно-оптического преобразователя изображений крайне проста<sup>1</sup> (рис. 1). Оптическое изображение (скажем, спектр или изображение предмета) проектируется на полупрозрачный фоточувствительный катод. Фотоэлектроны, вылетающие из этого катода, ускоряются электрическим полем и попадают на прозрачный флуоресцирующий экран, образуя на нём видимое изображение, с большей или меньшей степенью точности воспроизводящее изображение, спроектированное на катод. (Вместо ускоряющего поля может быть применена и более совершенная электронно-оптическая система.) Поскольку спектральный состав свечения экрана не зависит от спектрального состава излучения, упавшего на катод, он может быть подобран так, чтобы свечение экрана было бы возможно более активным для фотографической эмульсии. Фотография изображения получается путём прямой контактной печати с флуоресцирующего экрана. Фотометрическая обработка полученного негатива производится затем обычными для фотографической фотометрии методами, с дополнительным учётом спектральной чувствительности фотокатода.

Следует отметить, что наряду с отмеченными уже выше достоинствами, обусловленными сочетанием фотоэлектрического и фотографического методов, а так же отсутствием необходимости в усилителях, описанная схема позволяет повысить порог чувствительности за счёт относительного уменьшения фона, создаваемого термоэлектронами, а так же за счёт того, что квантовый выход экрана может быть сделан больше квантового выхода воспринимающего фотокатода<sup>1</sup>.

Таким образом, применяя электронно-оптический преобразователь с фотопластинкой, мы получаем возможность во много раз повысить чувствительность воспринимающей системы (т. е., в конечном счёте, фотопластинки) к инфракрасному излучению. Это открывает совершенно новые возможности для исследования слабых инфракрасных излучений, в том числе для спектроскопии.

Реферируемые работы<sup>2,3</sup> являются, поскольку нам известно, первой серьёзной попыткой применить описанное устройство в научных целях и блестяще иллюстрируют широкие возможности этого метода.

Инфракрасное излучение ночного неба впервые было открыто в 1939 г. Л. А. Кубецким<sup>4</sup> с помощью фотоэлектронного умножителя. В том же 1939 г. Слайфер<sup>5</sup> фотографическим путём обнаружил в спектре ночного неба излучение с длиной волны  $\lambda = 8600 \text{ \AA}$ . В 1944–1945 гг. Стеббинс, Уайтфорд и Свингс<sup>6</sup>, с помощью фотоэлемента с набором светофильтров, обнаружили крайне интенсивное излучение с длиной волны около  $10\,440 \text{ \AA}$ . Наконец, в 1948 г. С. Ф. Родионов и Е. Н. Павлова<sup>7</sup>, используя

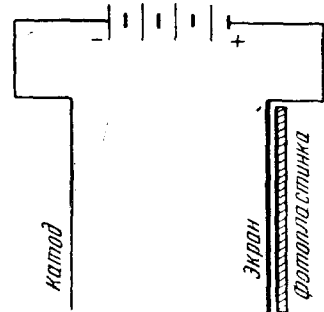


Рис. 1. Схема использования электронно-оптического преобразователя с фотопластинкой.

фотоэлектронный умножитель с набором светофильтров, подтвердили наличие в спектре свечения ночного неба линий с длинами волн, близкими к  $\lambda = 8600$  и  $\lambda = 10\,440 \text{ \AA}$ , а также получили указание на возможность существования линии с  $\lambda = 9100 \text{ \AA}$ .

При этом оказалось, что интенсивность свечения ночного неба в инфракрасной области спектра претерпевает в течение ночи характерные изменения, а именно, имеет резко выраженный максимум около местной полуночи<sup>7</sup> (см. также<sup>8</sup>). Напомним, что аналогичный максимум, но только около 1 часа ночи, имеет интенсивность зелёной линии свечения ночного неба<sup>9</sup>.

Интенсивное инфракрасное излучение атмосферы представляет интерес не только потому, что оно является серьёзной помехой для ряда астрофизических исследований, но и, главным образом, потому, что оно тесно связано с проблемой строения верхних слоёв атмосферы (см.<sup>4,8</sup>). Тем больший интерес представляют спектры свечения ночного неба в инфракрасной области спектра, впервые полученные В. И. Красовским с помощью электронно-оптического преобразователя с фотопластинкой. Автор использовал преобразователь с оксидно-сурмяно-цезиевым катодом, обладающим чувствительностью до  $12\,000 \text{ \AA}$ .

Дисперсия спектрографа, на котором были получены спектры, составляла при  $\lambda \sim 1 \mu 7000 \text{ \AA/мм}$ .

В течение 1948 г. был получен ряд спектров как под Москвой, так и на Крымской астрофизической обсерватории.

Репродукция одного из них приводится автором (рис. 2). (В верхней части — спектр ночного неба, в нижней — спектр свечения гелия.) Отчётливо видны линии (или полосы?) около  $10\,400$  и  $8600 \text{ \AA}$ . Автор отмечает, что на негативе можно заметить линии  $6300$  и  $5577 \text{ \AA}$ , а также ещё одну инфракрасную линию. ( $V^2$  дважды, вероятно ошибочно, указывается для неё длина волны «около  $\lambda = 8600 \text{ \AA}$ », т. е. совпадающая с длиной волны одной из ярких линий.) Кроме того, регулярно наблюдается непрерывный спектр.

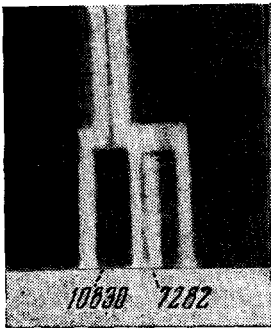


Рис. 2. Инфракрасный спектр ночного неба (вверху) и гелия (внизу).

Распределение энергии по спектру менялось от снимка к снимку. На одном из снимков энергетическая освещённость в максимуме линии  $10\,400 \text{ \AA}$  оказалась в пять раз большей, чем для линии  $8600 \text{ \AA}$ , в удолетворительном согласии с данными Родионова и Павловой<sup>7</sup> (в 2—4 раза, см.<sup>8</sup>).

По измерениям автора яркость инфракрасного свечения ночного неба у горизонта выше, чем в зените, что характерно для свечения верхних слоёв атмосферы.

Точных значений длин волн и интенсивностей наблюденных линий, представляющих основной интерес с точки зрения проблемы атмосферного азота<sup>4</sup>, автор не приводит. Однако нет сомнений, что дальнейшее применение описанного метода позволит в ближайшем же будущем произвести тщательные промеры спектра инфракрасного излучения ночного неба. Во всяком случае перед нами впервые открывается возможность детального спектроскопического исследования слабых излучений в этой области спектра.

Вторая из реферируемых работ посвящена фотографированию в инфракрасных лучах области неба в направлении на центр Галактики. Хорошо известно, что центр Галактики скрыт от нас поглощающим слоем тёмной

материи, и только южнее галактического центра, через просветы, наблюдается яркое звёздное облако. Астрономические данные свидетельствуют в пользу того, что это звёздное облако является внешней частью галактического ядра. Поскольку размеры ядра Галактики могут служить её существенной космологической характеристикой, представляется важным исследование всей области галактического центра. Такое исследование может быть осуществлено в инфракрасных лучах, где поглощение света тёмной материей должно быть значительно меньше. Стеббинс и Уайтфорд<sup>10</sup>, исследовавшие эту область на 60- и 100-дюймовом рефлекторах обсерватории Маунт-Вильсон с помощью фотоэлемента со светофильтром (максимум чувствительности около  $1,03 \mu$ ), действительно выявили наличие «светового тела», не наблюдаемого в видимых лучах. Однако их измерения, крайне трудоёмкие и охватившие только малую область неба, не могли дать полного представления о всём районе галактического ядра.

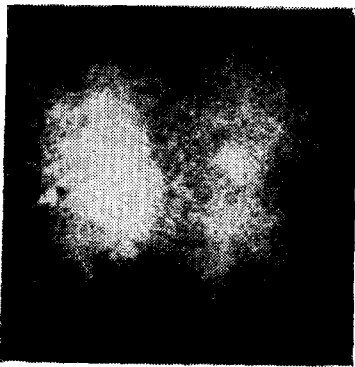


Рис. 3. Фотография области галактического центра, полученная в инфракрасных лучах с электронно-оптическим преобразователем. (Слева расположено известное яркое звёздное облако в созвездии Стрельца.)

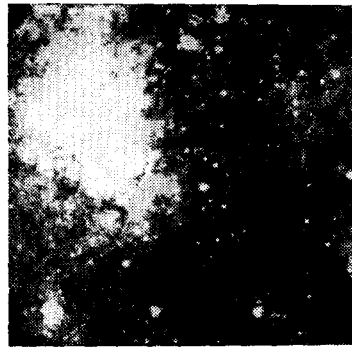


Рис. 4. Обычная фотография той же области, что и на рис. 3, в видимых лучах.

А. А. Калиняк, В. И. Красовский и В. Б. Никонов<sup>3</sup>, с помощью электронно-оптического преобразователя с фотопластинкой и соответствующим светофильтром получили мелкомасштабную фотографию интересующего района в инфракрасных лучах с длиной волны порядка  $0,97 \mu$ . Использование более длинноволновой радиации представлялось нецелесообразным ввиду интенсивного свечения ночного неба в спектральной области, близкой к  $1,04 \mu$  (см. выше).

Светосильная фотокамера создавала на экране преобразователя изображение площадью свыше 200 квадратных градусов в масштабе  $0,5 \text{ мм}^2$  на 1 квадратный градус. Наблюдения велись на Крымской астрофизической обсерватории (Симеиз). Экспозиции составляли 20—40 минут.

На рис. 3 приведена одна из полученных авторами фотографий. Для сравнения авторы приводят снимок, полученный с обычной фотокамерой в видимых лучах (рис. 4). Масштабы снимков одинаковы. В инфракрасных лучах отчётливо выявляется «световое тело», не обнаруживаемое в види-

мой области спектра (и только частично совпадающее с выявленным Стеббинсом и Уайтфордом). Авторы провели фотометрическую обработку двух фотографий, на основании которой оказалось возможным сформулировать ряд заключений, носящих предварительный характер. В частности, авторы смогли оценить размеры галактического ядра. По их данным угловой размер галактического ядра превосходит  $9''$ , что соответствует линейным размерам порядка 1200 парсек.

Несомненно, продолжение аналогичных исследований, как мелко-маштабных, так и крупномаштабных, с использованием совершенной астрономической оптики, позволит значительно продвинуться в ряде отраслей астрофизики и астрономии.

Обе реферируемые работы носят, конечно, предварительный характер. Однако они убедительно показывают, насколько плодотворными оказываются разработанные авторами применения описанного выше принципа сочетания электрооптического преобразователя изображений с фотографической пластинкой. Не подлежит сомнению, что этот принцип найдёт себе самое широкое применение не только в астрофизических и геофизических исследованиях, где основным экспериментальным затруднением, которое приходится преодолевать, является слабость измеряемых световых потоков, но и в практике инфракрасной спектроскопии в лабораторных условиях.

*Г. Розенберг.*

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Хлебников, УФН **29**, 201 (1946).
2. В. И. Красовский, ДАН **66**, 53 (1949).
3. А. А. Калиняк, В. И. Красовский и В. Б. Никонов, ДАН **66**, 25 (1949).
4. И. А. Хвостиков, УФН **33**, 570 (1947).
5. V. M. Slipper, Monthly Not. Roy. Ast. Soc. **93**, 666 (1939).
6. J. Stebbins, A. E. Whitford and P. Swings, Phys. Rev. **66**, 225 (1944); Astrophys. Journ. **101**, 39 (1945).
7. С. Ф. Родионов и Е. Н. Павлова, ДАН **65**, 831 (1949).
8. М. В. Шишкина, Реферат в этом же выпуске УФН.
9. И. А. Хвостиков, Свечение ночного неба, Из-во АН СССР (1947). См. также С. Ф. Родионов, Е. Н. Павлова и Е. В. Рдултовская, ДАН **66**, 55 (1949).
10. J. Stebbins and A. Whitford, Astrophys. Journ. **106**, 235 (1947).