

В. И. КРАСОВСКИЙ

СЧЕТ СЦИНТИЛЛЯЦИЙ КАК МЕТОД АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 26 III 1951)

С. И. Вавилов показал ⁽¹⁾, что после длительной тренировки и адаптации специально фиксированный человеческий глаз, наблюдая точечный источник света, способен воспроизводить в среднем около одного элементарного зрительного ощущения (сцинтилляции) на 100 фотонов. Когда число сцинтилляций не превышает значительно 1 в секунду, дальнейшее уменьшение интенсивности излучения сопровождается только понижением частоты сцинтилляций без изменений их интенсивности. Если сцинтилляции подсчитываются в течение длительного времени, можно измерять очень малые интенсивности света. Делением числа отсчитанных сцинтилляций на величину их квантового выхода вычисляется количество фотонов, попавших в глазной зрачок.

На практике астрономических исследований этот метод, однако, никогда не применялся и едва ли может быть применен из-за побочных физиологических ощущений на пороге зрения, утомляемости и неудобств, связанных с тренировкой, адаптацией и фиксированием глаза. Невооруженный глаз замечает на черном фоне звезду до 8-й величины ⁽²⁾. В этом случае предельно осязаемый световой поток исчисляется приблизительно двумя сотнями фотонов в секунду. Само собою разумеется, что эффект накопления здесь не используется, а следовательно, увеличение времени наблюдения не обеспечивает снижения порога чувствительности. Точное фотометрирование также исключается и становится возможным только при значительно больших световых потоках.

В практике физических исследований в настоящее время стал известен метод счета сцинтилляций, осуществленный, например, С. Ф. Родионовым ⁽³⁾, в приборе, получившем название счетчика фотонов. В последних вариантах этого прибора фотоэлектроны умножаются посредством вторично-электронного усиления, которое было предложено и впервые осуществлено Л. А. Кубецким. Искусственное охлаждение фотокатода и умножителя позволяет устранить темновые токи. Таким образом удается выявить усиленные, вызванные первичными фотоэлектронами импульсы тока, которые без особых затруднений подсчитываются автоматически регистрирующими приспособлениями. Квантовый выход современных фотокатодов достаточно высок и превосходит квантовый выход сцинтилляций у человеческого глаза. В синей и ближней ультрафиолетовой области спектра сурьмяно-цезиевые фотокатоды обеспечивают выход до 1 фотоэлектрона на 3 фотона ⁽⁴⁾.

Метод счета сцинтилляций в астрономических исследованиях, однако, до сих пор не применялся. Вошедшая в практику астрономических исследований электрофотометрия использует менее совершенные методы без полного вымораживания темновых токов и базируется на показа-

ниях обычного электроизмерительного прибора, реагирующего только на интегральное воздействие большого числа усиленных импульсов тока. Само собою разумеется, что при таком исследовании не используется эффект накапливания за длительное время.

Указанные выше приемы позволяют вести наблюдение только за каким-либо единственным объектом или каким-либо его избранным участком. Фотографирование обеспечивает одновременную фиксацию изображения с большим количеством деталей. Однако фотографический процесс обладает слишком малой чувствительностью и не в состоянии обеспечить счета фотонов. Чтобы получить едва заметное почернение на большой поверхности необходимо в самом лучшем случае около 10^{10} фотонов на 1 см^2 в области спектра, наиболее активной для фотографического материала ⁽⁵⁾. Для обнаружения точечных источников излучения, от которых на фотоэмульсии образуются изображения маленьких размеров, необходимо значительно большее количество фотонов. Фотографирование звезды оказывается возможным в результате воздействия 10^6 — 10^7 фотонов ⁽⁵⁾.

Увеличение экспозиции, хотя и позволяет достигать значительного накапливания света, однако при длительных экспозициях светочувствительность ослабляется эффектом Шварцшильда. Совершенно очевидно, что порог чувствительности обычного фотографического метода на много порядков выше, чем флуктуационный порог, создаваемый микроструктурой света.

Проникающая способность современных средств астрономических исследований ограничена, с одной стороны, уже застabilizовавшимся порогом чувствительности фотографических материалов, а с другой стороны, входным отверстием астрономических объективов. Увеличение диаметра объектива свыше нескольких метров связано с почти непреодолимыми затруднениями и может обеспечить только ничтожное увеличение используемого светового потока.

Кроме расширения области спектральной чувствительности, применение электронно-оптического преобразователя в сочетании, например, с упомянутым выше вторично-электронным умножением и низкотемпературным охлаждением ⁽⁶⁻⁸⁾ позволяет принципиально довести чувствительность фотографического метода до счета фотонов. Какова бы ни была предлагаемая система усиления, она в конечном счете может привести к тому, что каждый вызванный фотоэлектроном импульс тока будет создавать на фотографическом слое проявляемое пятно. Применяя при фотографировании электронно-оптическое увеличение и недодержку, можно получать отдельные неперекрывающиеся изображения сцинтилляционных пятен. Сцинтилляции весьма активны, так как их длительность настолько кратковременна, что существенные при больших экспозициях потери из-за эффекта Шварцшильда в рассматриваемом методе не имеют какого-либо практического значения.

Увеличение времени экспозиции приводит к линейному увеличению числа сцинтилляционных пятен. Их размер поддается регулированию и может быть подобран так, чтобы легко отличать эти пятна от структурных деталей и случайных дефектов фотографической эмульсии. При фотографировании спектров признаком эмиссионной линии является расположение сцинтилляционных пятен вдоль одной линии, перпендикулярной длине спектра. Интенсивность изображения измеряется количеством сцинтилляционных пятен на единицу поверхности, а интенсивность спектральной линии — числом пятен, образующих линию.

Не прибегая ни к каким сложным фотометрическим приемам, связанным со стандартизацией фотоматериала, указанные выше интенсивности поглощенных фотонов могут быть переведены в интенсивности падающих фотонов простым делением числа сцинтилляций на заранее определенный квантовый выход фотокатода. Последний выражается

числом фотоэлектронов, приходящихся на один фотон, падающий на фотокатод. Для фотометрирования звезд можно применять неподвижную фотокамеру. В этом случае след от звезды будет состоять из отдельных легко сосчитываемых пятен.

Даже при объективах с диаметром, не превышающим 1 м, метод счета сцинтилляций предоставляет возможность расширить радиус известного космического пространства более, чем на один порядок. Новый метод позволит также обнаружить ряд малоинтенсивных световых процессов, происходящих на расстояниях более близких, чем предельные.

Чувствительность указанного метода может быть уменьшена, если, например, допустить ослабление и наложение сцинтилляционных пятен друг на друга, применяя электронно-оптическое уменьшение, роль которого эквивалента увеличению относительного отверстия фотографической системы без изменения ее входного отверстия. В этом случае получается обычное фотографическое изображение и обеспечивается набор чувствительностей от собственных фотографическим материалам до чувствительностей, которые ограничены флуктуациями, создаваемыми микроструктурой света. Первые применения такого неопредельного метода уже были описаны в работах (7, 8).

Крымская астрофизическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
26 III 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. И. Вавилов, Микроструктура света, 1950. ² Ш. Фабри, Общее введение в фотометрию, 1934. ³ С. Ф. Родионов, ДАН, 74, № 3 (1950). ⁴ С. Ю. Лукьянов, Фотоэлементы, 1948. ⁵ Д. Стронг, Техника физического эксперимента, 1948. ⁶ Е. Брюхе и О. Шерцер, Геометрическая электронная оптика, Дополнение А. И. Калядина, 1943. ⁷ В. И. Красовский, ДАН, 66, № 1 (1949); 70, № 6 (1950); Изв. Крымск. обсерв., 5, 100 (1950). ⁸ А. А. Калинин, В. И. Красовский и В. Б. Никонов, ДАН, 66, № 1 (1949); Изв. Крымск. обсерв., 6 (1950).