

О ПОГРЕШНОСТЯХ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ МЕРТВЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРИ СЧЕТЕ ФОТОНОВ

Приведен метод оценки погрешности электрофотометрических измерений, обусловленный наличием мертвого времени системы счета фотонов.

Электрофотометрия световых потоков методом счета фотонов получила широкое распространение в астрономии из-за возможности представления информации непосредственно в цифровом виде. Измерения методом счета фотонов связаны также с такими преимуществами по сравнению с режимом постоянного тока, как более высокая пороговая чувствительность и малая зависимость от изменения усиления фотоумножителя [1]. Однако при измерении потоков фотонов различной мощности может быть нарушена линейность отношения частоты измеряемых фотонимпульсов к регистрируемым импульсам. Это обусловлено временным разрешением тракта регистрации [2], когда после прихода импульса системе необходимо время на восстановление (мертвое время). Так что наличие мертвого времени вызывает погрешность измерений из-за того, что часть информации просто не регистрируется, поскольку существует вероятность превышения мертвого времени интервалов между фотонимпульсами.

Распределение временных интервалов между фотонами, падающих на фотокатод, носит случайный характер и подчиняется закону Пуассона. Если N —действительная частота фотонимпульсов, а τ —мертвое время, то можно определить вероятное число фотонимпульсов, поступающих с временными интервалами, меньше мертвого времени и, тем самым, не подвергшихся регистрации. Принимая, что средний временной интервал между фотонимпульсами $T=1/N$, можно определить вероятность прихода k фотонимпульсов за время τ :

$$P_k = \left(\frac{\tau}{T}\right)^k \frac{1}{k!} e^{-\frac{\tau}{T}}. \quad (1)$$

Среднее ожидаемое число фотонимпульсов за мертвое время τ , превышающее два, будет равно:

$$\sum_{k=2}^{\infty} k P_k = \sum_{k=0}^{\infty} k P_k - P_1 = \frac{\tau}{T} (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}), \quad (2)$$

где P_1 —вероятность прихода одного фотонимпульса за время τ . Тогда поправка ΔN к регистрируемому числу импульсов n за время интегрирования t равна:

$$\Delta N = \frac{t}{T} (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}) \quad (3)$$

Окончательно число истинных фотонимпульсов определяется как:

$$N = n + \frac{\tau}{T} (1 - e^{-\frac{T}{\tau}}). \quad (4)$$

Как видно из выражения (3), количество неучтенных фотоимпульсов ΔN увеличивается с уменьшением T , т. е. с ростом частоты фотоимпульсов N .

На рисунке в качестве примера приведена зависимость между частотой прихода фотоимпульсов N и регистрируемой n в случае мертвого времени $\tau = 5 \cdot 10^{-7}$ с. В верхней части рисунка для случая наблюдений с телескопами с диаметрами зеркал 0.4 м и 2.6 м указаны звездные величины, соответствующие частоте фотоимпульсов m_v .

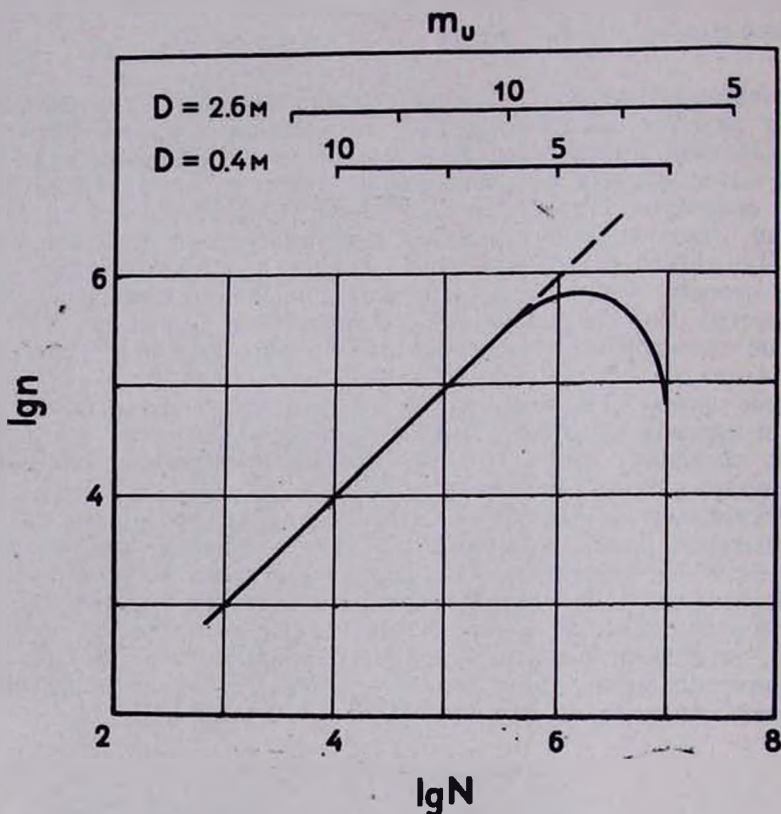


Рисунок. Зависимость между числом регистрируемых импульсов n и действительным числом поступающих фотоимпульсов N , при $\tau = 5 \cdot 10^{-7}$ и $t = 1$ с

Как видно из рисунка, вблизи значения $N = 1/\tau$ количество регистрируемых импульсов n уже значительно меньше N ($N = 2 \cdot 10^6$, $n = 735758$). С увеличением N наблюдается еще более резкое уменьшение регистрируемых импульсов, на что указывает спад кривой. Спад кривой является следствием того, что система начинает, в основном, регистрировать группы фотоимпульсов, как одиночные импульсы. Это происходит из-за того, что сумма временных интервалов между фотоимпульсами в каждой группе не превышает мертвое время, а интервалы между группами все еще больше τ . При дальнейшем увеличе-

нии N , количество таких групп уменьшается вследствие того, что среднее число интервалов между группами, превышающих мертвое время, сокращается, а количество фотоимпульсов в группах увеличивается.

Исходя из вышесказанного, необходимо корректировать измерения на влияние мертвого времени системы счета фотонов, которое ухудшает точность определения световых потоков. При этом следует указать, что стремление уменьшить мертвое время и тем самым увеличить линейный диапазон системы счета фотонов может привести к существенному вкладу послепулсов [3] в ошибку измерений. При этом, учет вклада послепулсов весьма затруднен [4]. Если же мертвое время больше времени задержки между инициирующей лавиной и послепулсом, то последний нейтрализуется.

Следует отметить, что при электрофотометрии звезд необходимо работать на участке кривой до спада (рисунок), т. к. в противном случае задача учета незарегистрированных фотоимпульсов становится неопределенной.

Погрешность в измерении световых потоков из-за мертвого времени может оказаться весьма существенной при наблюдении вспыхивающих звезд, когда поток при вспышке обычно сравнивают с потоком в спокойном состоянии звезды.

Վ. Պ. ՋԱԼԻՆԻԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՄԱՐՄԱՆ ԴԵՊԳՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱԶԱՓԱԿԱՆ ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԻ ՍԽԱԼՆԵՐԸ, ՊԱՅՄԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԼԵՌՆԱԼ ԺԱՄԱՆԱԿՈՎ

Բերված է ֆոտոնների համրման միջոցով էլեկտրալուսաչափական չափումների մեոյալ ժամանակով պայմանավորված սխալների գնահատման եղանակ:

V. P. ZALINIAN

ON THE ERRORS OF THE ELECTROPHOTOMETRIC MEASUREMENTS IN THE CASE OF THE PHOTON COUNTS DIE TIME CAUSED BY THE DIE-TIME

The method of the estimation of the errors of the electrophotometric measurements caused by the die-time of the photon counting system.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. K. Nakamura, Schwarz S. F., Appl. Opt, 1968, v7, №6. p 1073—1078.
2. J. W. Muller, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 112, 47, 1973.
2. Кэнди, Приборы для научных исследований, 2, 3, 1985.
4. Берстин, Приборы для научных исследований, 10, 144, 1980.