

## **КОМПЛЕКСНО ИЗМЕРВАНЕ НА СВЕТЛИННИ ИЗЛЪЧВАНИЯ В АТМОСФЕРАТА ВЪВ FUV ДИАПАЗОН**

**Веселин Ташев, Ангел Манев**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*  
e-mail: veselinlt@abv.bg

**Ключови думи:** Фотоелектронен умножител, слаби светлинни потоци, първични преобразуватели

**Резюме:** Измерването се извършва в 3 независими канала за да се измерят едновременно спектралните линии  $L\alpha$  емисия с дължина 121.6 nm, и излъчените от кислорода емисии на  $OI$  130.4 nm и 135.6 nm. Като сензор за измерване на тези много слаби светлинни потоци е използван висококачествен фотоелектронен умножител R10825. Той е с много висока чувствителност, голямо усилване и в същото време работния му диапазон е разположен в далечния ултравиолетов спектър. Когато светлинния поток стане толкова слаб, че върху катода падат единични фотони, то в изхода на ФЕУ се получават импулси отдалечени един от друг. Тогава падащото количество светлина е директно пропорционално на броя на импулсите получени в изхода на ФЕУ. Тази техника е известна като Метод на броене на фотони и е използвана за усилване и обработка на електрическите сигнали в уреда.

## **COMPLEX MEASUREMENT OF WEAK LIGHT EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE IN THE FAR UV RANGE**

**Veselin Tashev, Angel Manev**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*  
e-mail: veselinlt@abv.bg

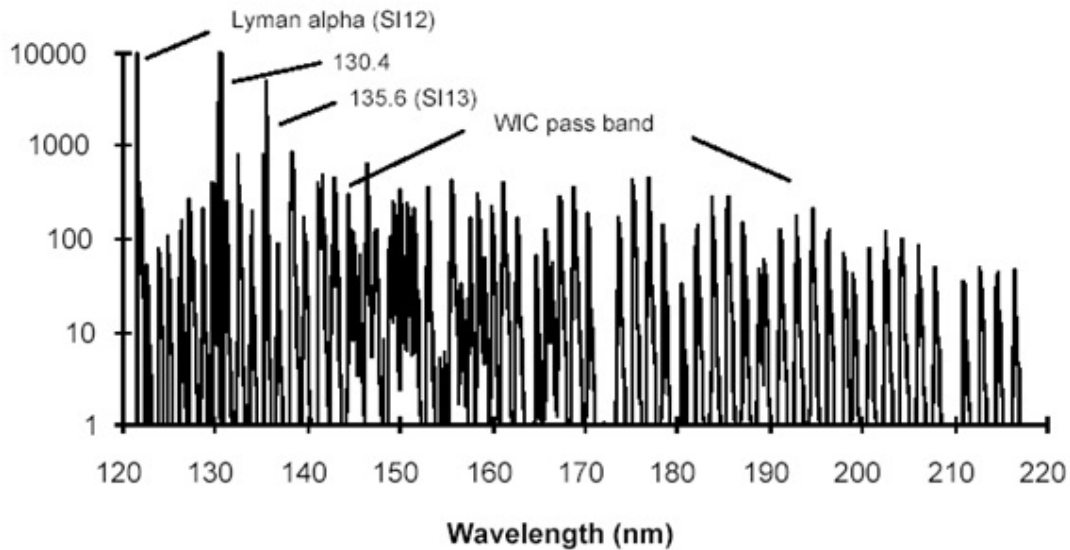
**Keywords:** High sensitivity photomultiplier, light flows with very low amplitude, primary converters

**Abstract:** Measurement is performed in 3 independent channels to simultaneously measure of spectral lines  $L\alpha$  emission 121.6 nm, and emitted from the oxygen emission  $OI$  130.4 nm and 135.6 nm. As a sensor for measuring such weak light fluxes used high performance Photomultiplier R10825. He has very high sensitivity, high gain and its working range is located in the far ultraviolet spectrum. When the light beam becomes so weak that fall on the cathode single photons, then the output of the FEU receive impulses away from each other. Then the number of output pulses is in direct proportion to the amount of incident light. This technique is known as the method of counting photons and is used for amplification and processing of electrical signals in the unit.

### **Въведение**

Като най-външен слой на атмосферата, геосферата е подложена на интензивна слънчева радиация и космически лъчения, в резултат на което се наблюдават различни явления като магнитни бури, светещи облаци, наличието на плазмен слой, кръгов ток състоящ се в 80% от протони на  $H^+$ ,  $O^+$ ,  $N^+$ ,  $He^+$   $O_2^+$ ,  $H_2^+$  и др. Резонансният преход 2P-2S на атомния водород ( $L\alpha$  емисия с дължина 121.6 nm) е най-силната и открояваща се емисия в слънчевия FUV спектър. Измерването на  $L\alpha$  емисията с дължина 121.6 nm дава важна информация за протичащите физични и химични процеси в пространството на геокороната. На фиг. 1 е показана спектрално моделираната ултравиолетова аврорална емисия на геокороната.

## FUV Auroral Spectrum



Фиг. 1. Аврорален спектър на геокороната

Радиационният поток на  $L\alpha$  емисията се състои от директна  $L\alpha$  емисия, както и от такава получена от резонансното разсейване от водородните атоми в атмосферата. Освен това значителен интерес предизвикват и излъчените от кислорода емисии на OI 130.4 nm и 135.6 nm. Едновременното наблюдение на трите емисии дава допълнителна информация за протичащите процеси в магнитосферата, както и възможност за моделиране на пространствено изображение.

### 2. Общи изисквания

Измерването на слаби потоци светлина, особено в ултравиолетовия диапазон е свързано с решаването на много проблеми. Един от най-важните е разработването или намирането на висококачествен фабричен сензор за преобразуване на светлината в електрически сигнал. Този сензор трябва не само да е извънредно чувствителен, но в същото време тази чувствителност трябва да е разположена в ултравиолетовия диапазон. Внимателния подбор на подобен сензор е една много деликатна задача поради противоречивите изисквания към параметрите на прибора и високата му цена. Друг важен проблем е доставката на оптичен филтър за разделяне на емисиите OI 130.4 nm и 135.6 nm.

### 3. Уред за измерване на светлинни потоци с много нисък интензитет

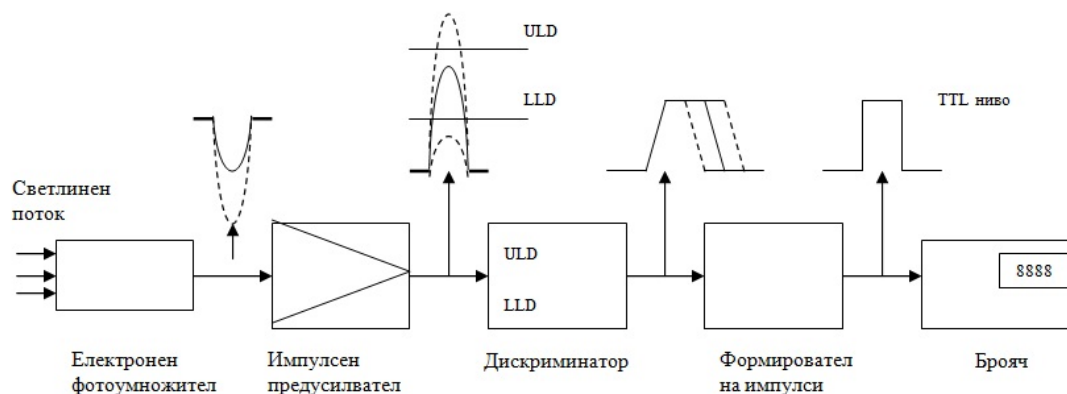
Уредът съдържа 3 електронни фотоумножителя (photomultiplier tube), които се използват като сензори за първично преобразуване на  $L\alpha$  радиацията и емисиите OI 130.4 nm и 135.6 nm в електричен сигнал. Електронните фотоумножители (ФЕУ) са подбрани със спектрална чувствителност в диапазона 115 - 190 nm, която съответства на изброените по-горе спектрални емисии. На входа на всеки от електронните фотоумножители е поставен оптичен филтър за отделяне на съответните емисии.

Подобни идеи са имали и авторите на проекта "TWINS-LAD mission" 2005 г.[6]. Тъй като доставката на оптични филтри с много тясна лента на пропускане е много трудна задача, в този проект са използвани 2 Лайман алфа детектора (LAD) за измерване на Лайман алфа емисията и спектрофотометър с микроканална пластина (MCP) за измерване на OI 130.4 nm и 135.6 nm.

Електронните фотоумножители се използват за да превърнат светлинния поток в електрически сигнал – ток или напрежение. Когато светлинния поток е много слаб и върху катода падат единични фотони, в изхода на ФЕУ се получават импулси отдалечени един от друг. Тогава падащото количество светлина е директно пропорционално на броя на импулсите получени в изхода на ФЕУ. Тази техника е известна като Метод на броене на фотони. [5]

Един от най-важните фактори, когато се използва метода за броене на фотони е квантовата ефективност (QE). Това е вероятността определено количество фотоелектрони, да бъдат емитирани, когато на фотокатода, попадне 1 фотон. При положение, че на фотокатода попадне един фотон, числото на емитираните първични фотоелектрони може да бъде само 1 или 0. Тогава квантовата ефективност се отнася за коефициента на средния брой на емитираните фотоелектрони от фотокатода за единица време, към средния брой фотони, попадащи върху фотокатода за същото време.

Амплитудата на тока в изхода на електронния фотоумножител в режим на броене на фотони е извънредно малка. Това изисква усилването на изходния импулс да стане със специален усилвател – импулсен, с голямо усилване и нисък собствен шум. На фиг. 2 е показана блок-схемата за измерване на светлинни потоци с използване метода на броене на импулси.



Фиг. 2. Блок-схема на измерване на слаб светлинен поток по метода на броене на фотони

В края на всеки блок на фиг. 2 са дадени сигналите, които се получават в изхода му. Тъй като сигнала от изхода на електронния фотоумножител е много слаб той трябва да се усили от импулсен предусилвател. Така усиления импулс се подава на Дискриминатор. Дискриминаторът сравнява входния импулс с две опорни напрежения и ги разпределя на две групи. Едната група импулси е с по-ниска, а другата с по-висока амплитуда от опорните напрежения. Импулсите с по-ниски амплитуди се елиминират от по-ниското референтно ниво на дискриминатора (LLD) и в повечето случаи импулсите с по-високи амплитуди се елиминират от по-високото референтно ниво на дискриминатора (ULD). Импулсите по-ниски от нивото (LLD) трябва да се отстранят, защото те са възникнали в резултат на шум. От компаратора намиращ се в изхода на Дискриминатора излизат импулси с ниво TTL. Тези импулси допълнително се преобразуват от Формирователя на импулси като правоъгълни за да бъдат правилно прочетени от брояча.

#### 4. Изисквания към сензора за измерване на слаби светлинни потоци, използващ метода на броене на фотони

##### 4.1. Спектрален отклик и квантова ефективност.

Спектралния отклик на електронния фотоумножител трябва максимално да съответства на дължината на вълната на светлинния поток в случая 121.6 nm, 130.4 nm и 135.6 nm.

Квантовата ефективност трябва да бъде максимално висока, особено при по-слабите сигнали.

##### 4.2. Чувствителност на катодното излъчване.

Чувствителността на катодното излъчване влияе върху квантовата ефективност и затова тя трябва да е максимално висока.

##### 4.3. Ефективност на събирането (CE).

Тази характеристика е много важна ако се използва метода на броене на фотони. Колкото величината е по-голяма това означава по-малка загуба на сигнал. Ефективност на събирането зависи от формата на фотокатода, диодната структура и разпределението на напрежението между самите диоди.

##### 4.4. Шум

В електронния фотоумножител могат да възникнат различни шумове, дори когато той се намира в пълна тъмнина. Могат да се предприемат различни мерки, така че тези шумове да се минимизират.

### 5. Избор на електронни модули

За първичен преобразовател на светлина в импулси избираме електронния фотоумножител R10825, производство на фирмата Hamamatsu. Той се използва за измервания на ултравиолетова радиация. Електронния фотоумножител R10825 има следните по-важни характеристики:

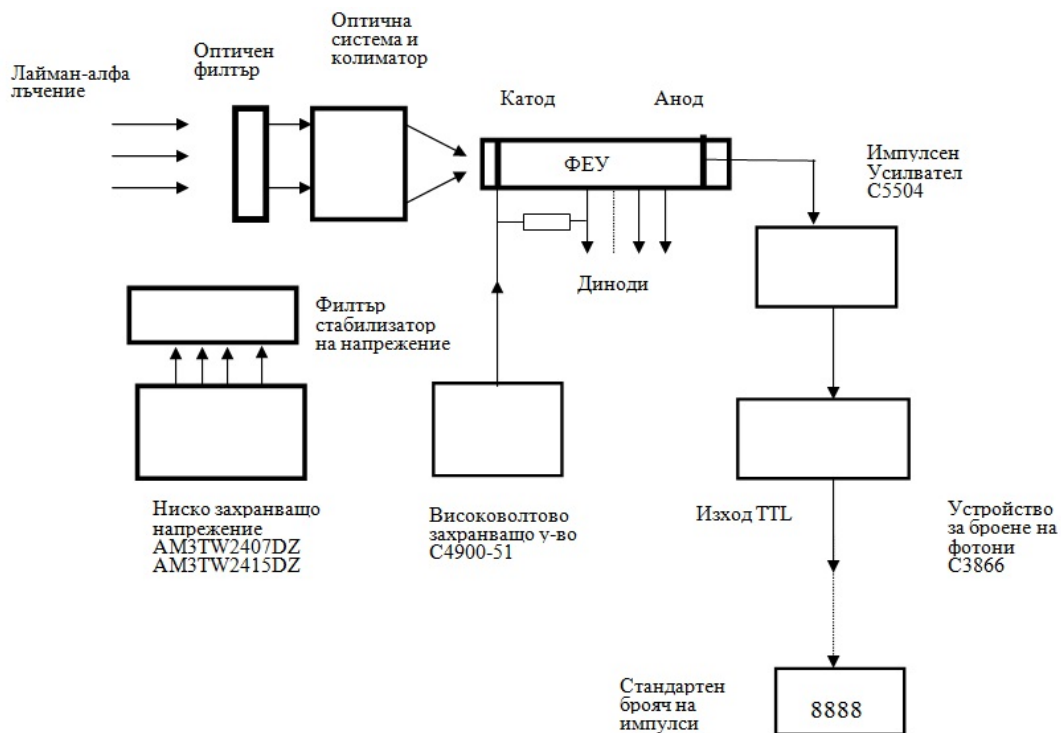
- Spectral Response от 115 до 195 nm,
- Maximum Response 130 nm,
- Quantum Efficiency при 121 nm 23,5%,
- Усилване  $4 \times 10^6$ , Anode Dark Current 0.3 nA,
- Operating Temperature from -30 to + 50 oC,

Електронния фотоумножител R10825 отговаря на всички изисквания съгласно точка 4.

За предусилвател е избран усилвателя C5594, а за устройството за броене на фотони C3866. И двата модула са производство на фирмата Hamamatsu напълно съвместими с електронния фотоумножител R10825.

### 8. Разчет на електрическата схема на уреда за измерване на лъчението $L\alpha$ .

Електрическата схема за един канал на уреда (Лайман алфа) е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Електрическа схема на канала за измерване на лъчението  $L\alpha$ .

От спектъра в ултравиолетовата част на геокороната знаем, че на височина от около 100 км спектралната линия  $SI$  Lyman alpha е много тясна, а освен това, близо до нея има и други спектрални излъчвания с кореспондиращ интензитет. Поради тази причина Лайман-алфа лъчението влиза в колиimator през оптичен интерференчен филтър с лента на пропускане около 10 nm (FWHM) центрирана приблизително на 120 nm. Колиimatora е направен от почернен алуминий със шестоъгълни клетки материал (порест) с дължина 2.54 cm и стъпка на клетката 1.53 mm, определяща почти цилиндрично зрително поле. След това Лайман-алфа лъчението се детектира с електронен фотоумножител (ФЕУ) и се усилюва от предусилвател. Същата схема се използва и за другите 2 канала на 130.4 nm и 135.6 nm.

Използването на предусилвател се налага поради ниския изходен сигнал от от ФЕУ и съгласуване на импеданса. Изходния сигнал от фотоумножителя в режим на броене на фотони се пресмята по следния начин:

Единичния фотоелектрон, който се емитира от фотокатода има заряд  $q = 1.6 \times 10^{-19} [C]$ . Тъй като усилването на ФЕУ е  $\mu = 4 \times 10^6$ , анодния изходен заряд се дава от:

$$(1) \quad Q = q \times \mu = 1.6 \times 10^{-19} [C] \times 4 \times 10^6 = 6.4 \times 10^{-13} [C]$$

Ако широчината на изходния импулс на изхода на ФЕУ е  $t = 100 \text{ ns}$  тогава за пика на изходния ток  $I_p$  се получава:

$$(2) \quad I_p = \frac{q \times \mu}{t} = \frac{6.4 \times 10^{-13} [C]}{100 \times 10^{-9} [s]} = 6.4 \times 10^{-6} [A]$$

Като имаме в предвид посоката на потока от електрони получаваме  $I_p = -6.4 \times 10^{-6} [A]$ . Ако товарното съпротивление или входния импеданс на прилежащия усилвател е  $50 \Omega$ , то входния импулс има пиково напрежение :

$$(3) \quad V_{in} = I_p \times R_{in} = -6.4 \times 10^{-6} [A] \times 50 [\Omega] = -320 \times 10^{-6} [V]$$

При коефициент на усилване на импулсния предусилвател 10 (максималния е 63), получаваме в изхода му:

$$(4) \quad V_{out} = -320 \times 10^{-6} [V] \times 10 = -3200 \times 10^{-6} [V] = -3.2 [mV]$$

Дискриминатора в броячното устройство работи с нива на дискриминация от  $-0.5 \text{ mV}$  до  $-16 \text{ mV}$ . Изходното напрежение на предусилвателя е  $-3.2 \text{ mV}$ , и се намира точно в необходимия диапазон. От изхода на броящото устройство на фотони излизат формирани импулси с TTL ниво, подходящи като вход на всеки стандартен брояч.

Изходната честота на импулсите от броящото устройство е пропорционална на интензивността на светлинното лъчение и се определя от брояча на цифрови импулси.

## 9. Заключение

Едновременното наблюдение на трите емисии дава допълнителна информация за протичащите процеси в магнитосферата, както и възможност да се разбере как заредените частици, магнитните и електрически области си взаимодействат едни с други и как това взаимодействие е промодулирано от външното влияние като например слънчевия вятър и магнитните полета.

## Литература:

1. Guinea, V., Witt G., Gumbel J., Khaplanov M., Werner R., Hedin J., Neichev S., Kirov B., Bankov L., Gramatikov P., Tashev V., Popov M., Hauglund K., Hansen G., Ilstad J., World H., Lyman-alpha Detector, Designed for Rocket Measurements of the Direct Solar Radiation at 121.5 nm, International Symposium on Recent Observations and Simulations of the Sun-Earth System (ISROSES), Varna, Bulgaria, September 17-22, 2006, Abstracts, p.50
2. Thrane, E.V., I. Nyberg, B. Narheim, Measurements of the Extinction of Solar Hydrogen Lyman- $\alpha$  in the Mesosphere, Internal Report E-230, Norwegian Defense Research Establishment (FFI), Norway, 1974
3. Thrane, E.V., A. Johannesen, A Measurement of the Extinction of Solar Hydrogen Lyman-alpha Radiation in the Summer Arctic Mesosphere, JATP, v.37, pp.655-661, 1975
4. Thrane, E.V., B. Grandal, O. Hagen, F. Ugleitveit, Measurements of Lyman- $\alpha$  Extinction and Energetic Charged Particle Precipitation during the European Winter Anomaly Campaign 1975-76, J.Geophys., v.44, pp.99-106, 1977
5. HAMAMATSU "Photon counting, using Photomultiplier Tubes.
6. H. U. Nass, J. H. Zoennchen, G. Lay, H. J. Fahr, The TWINS-LAD mission: Observations of terrestrial Lyman alpha – fluxes, Inst. for Astrophysics and Space Research, University of Bonn, Received: 6 December 2005