

МЕТОДИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ЕМИСИИ С НИСЪК ИНТЕНЗИТЕТ В ДАЛЕЧНИЯ UV СПЕКТЪР ВЪВ ВИСОКАТА АТМОСФЕРА

Веселин Ташев, Венета Гинева, Ангел Манев

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

Ключови думи: *Ултравioletови емисии, фотоелектронен умножител, броене на фотони*

Резюме: *В горната част на атмосферата се наблюдават няколко ултравioletови емисии. Най-важните са емисиите в UVC: $L\alpha$ при 121,6 nm и кислородните емисии OI 130,4 nm и 135,6 nm. Предлага се нов метод с използване на три независими канала за синхронно измерване на всяка от тези линии. Като сензор за измерване на такива слаби светлинни потоци се използва високоефективен фотоумножител (PMT) R10825. Методът за броене на фотони се прилага за усилване и обработка на много слаби светлинни сигнали. Интензитетът на светлината е пропорционален на измерения брой фотони.*

METHODS FOR MEASURING LOW INTENSITY EMISSIONS IN THE FAR UV SPECTRUM IN THE HIGH ATMOSPHERE

Veselin Tashev, Veneta Guineva, Angel Manev

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

Keywords: *ultraviolet emissions, photomultiplier, counting photons.*

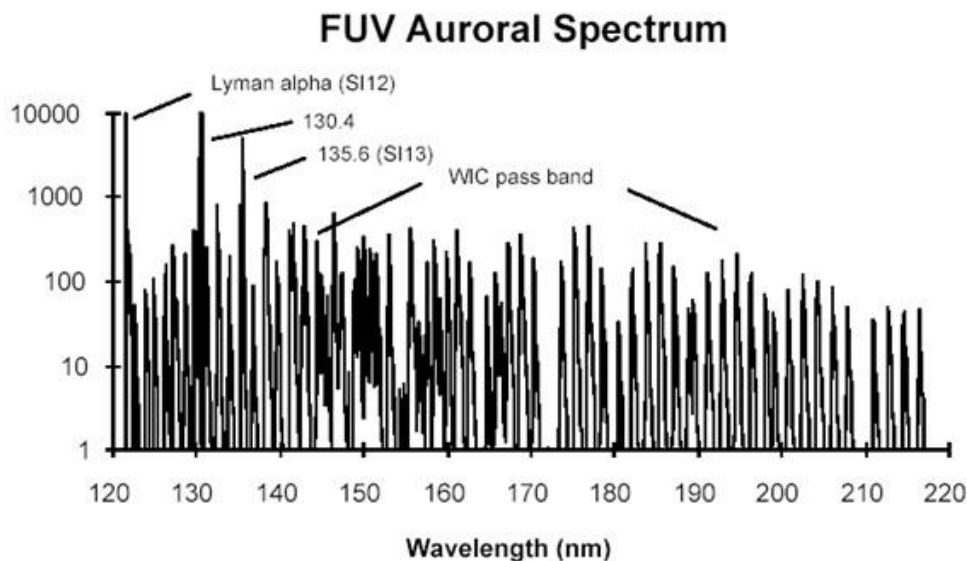
Abstract: *At the top of the atmosphere there several ultraviolet emissions are observed. The most important are the emissions in UVC: $L\alpha$ at 121.6 nm and the oxygen emissions OI 130.4 nm and 135.6 nm. A new method with the use of three independent channels for synchronous measurement of each of these lines is proposed. As a sensor for measuring such weak light fluxes high performance Photomultiplier (PMT) R10825 is used. The photon counting method is used to amplify and process very weak light signals. The intensity of the light is proportional to the measured photons number.*

Въведение

В горните слоеве на атмосферата се наблюдават няколко ултравioletови емисии. За по-задълбочен анализ на процесите, които протичат там, е необходимо да се измерва едновременно интензитета на няколко емисии. Използван е нов метод за измерване, който представлява система, съдържаща три независими канала за синхронна регистрация на всяка една от спектралните линии. Измерването на $L\alpha$ емисията с дължина 121.6 nm, заедно с кислородните емисии OI 130.4 nm и OI 135.6 nm дава важна информация за протичащите физични и химични процеси във високата атмосфера на Земята. Като най-външен слой на атмосферата, геокороната е подложена на интензивна слънчева радиация и космически лъчения. 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 емисиите в UVC (100-280 nm) може да е полезно при изучаване на връзката им с измененията в междупланетната и геомагнитна активност.

Спектрална характеристика на геокороната и общи изисквания за измерване

На фиг. 1 е показана като пример моделиран ултравиолетов аврорален спектър на горните слоеве на атмосферата.



Фиг. 1. Аврорален спектър на геокороната

Радиационният поток на $L\alpha$ емисията се състои от директна $L\alpha$ емисия от слънчевия спектър, както и от $L\alpha$, 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 геокороната, както и възможност за моделиране на пространствено изображение. Целта на изследванията е 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.

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. Внимателният 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.

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 електрически 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.

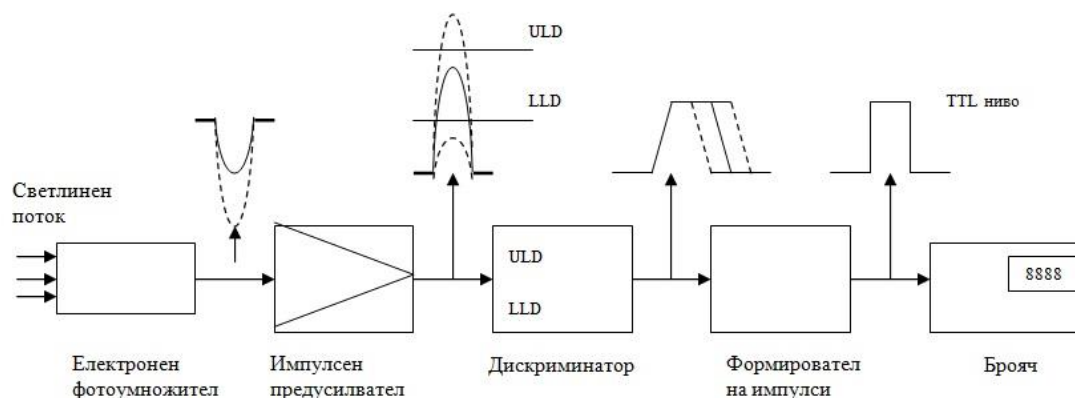
Подобни идеи са имали и авторите на проекта "TWINS-LAD mission" 2005 г.[6]. Тъй като доставката на оптични филтри с много тясна лента на пропускане е много трудна задача, в този проект са използвани 2 Лайман алфа детектора (LAD) за измерване на Лайман алфа емисията и спектрофотометър с микроканална пластина (MCP) за измерване на OI 130.4 nm и 135.6 nm. Днес обаче, високотехнологичните фирми провеждат нови, по-модерни електронни компоненти и оптични устройства, при това на по-ниски цени, които позволяват по-ефективни решения в областта на измервателната техника.

Електронните фотоумножители се използват, за да превърнат светлинния поток в електрически сигнал – ток или напрежение. Когато светлинният 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 за единица време. Тази техника е известна като Метод на броене на фотони [5].

Един от най-важните параметри на ФЕУ, 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 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 за 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.

Изисквания към сензора за измерване на слаби светлинни потоци, използващ метода на броене на импулси

- Спектрален отклик и квантова ефективност

Спектралният 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.

- Чувствителност на катодното излъчване

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

- Ефективност на събирането (CE)

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

- 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.

- Избор на Електронен фотоумножител

За първичен преобразовател на светлина в импулси избираме електронния фотоумножител R10825, производство на фирмата Hamamatsu. Той се използва за измервания на ултравиолетова радиация. Електронният 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 4×10^6 ,
- Anode Dark Current 0.3 nA,
- Operating Temperature from -30 to + 50 oC,

Електронния фотоумножител R10825 отговаря на всички изисквания съгласно посочените по-горе параметри.

Избор на предусилвател

Усилвателят C5594, производство на фирмата Hamamatsu, е разработен като най-подходящо устройство за усилване на сигнали от електронен фотоумножител, работещ в режим на броене на фотони. Той е от неинвертиращ тип, има усилване от 36 dB или 63 пъти, а широчината на честотната лента е от 50 kHz to 1.5 GHz.

Избор на устройство за броене на фотони

Устройството за броене на фотони C3866, производство на фирмата Hamamatsu е проектирано да преобразува единичните фотонни импулси от електронния фотоумножител в импулси с амплитуда 5 V подходящи за работа с TTL логика. В самото устройство има вградени схеми на усилвател и дискриминатор, формироваател на импулси и делител на честота. Изходът на устройството за броене на фотони, което притежава високо съотношение на сигнал/шум може директно да се присъедини към стандартен брояч, работещ с TTL логика.

Захранване

- Високоволтово захранване

Устройството C4900-51, производство на фирмата Hamamatsu, представлява модулен високоволтов блок, предназначен за захранване на електронни фотоумножители. Той осигурява изходно напрежение, променящо се от +200 V до +1250 V и изходящ ток – 0.5 mA.

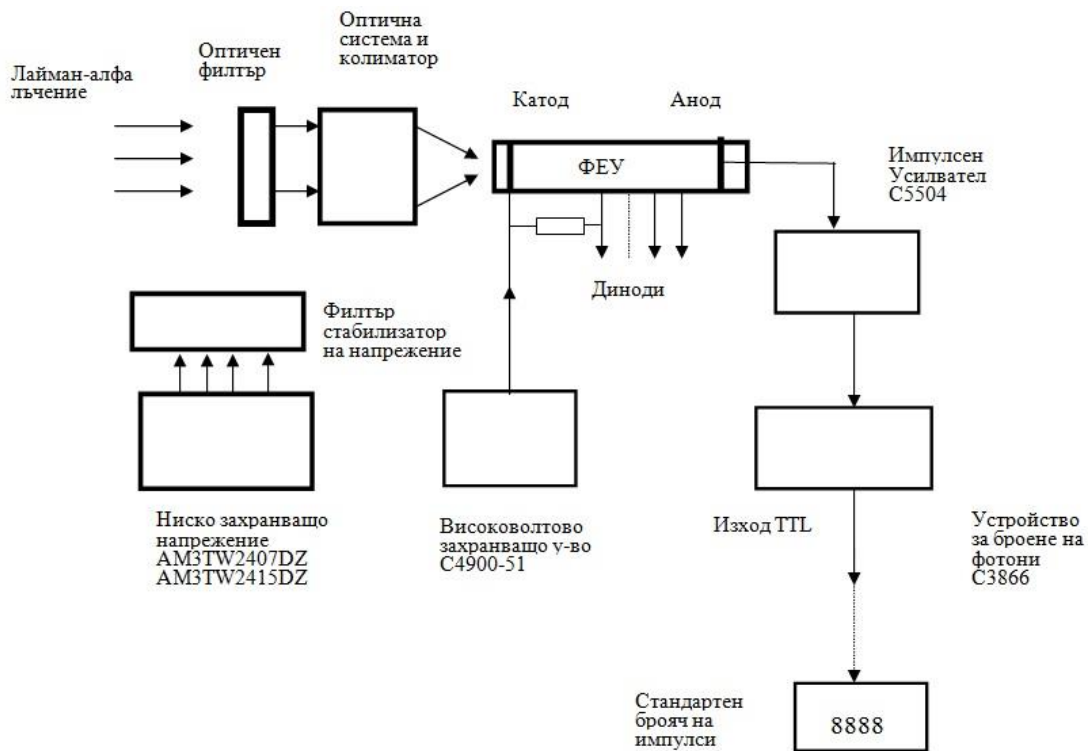
- Нисковолтово захранване

Уредът се захранва с напрежение от 28 V, чийто източник е бордовата батерия. Отделните модули се нуждаят от нисковолтово захранване, както следва: +12V / 95 mA, +5.2 V / 150 mA и -5V / 300 mA.

За получаване на тези захранвания се използват чиповете от типа DC/DC на фирмата AIMTEC. Те преобразоват напрежението от 28 V, чийто източник е бордовата батерия, във вторично, като са избрани чиповете AM3TW2407DZ и AM3TW2415DZ. Чиповете съдържат в корпуса си високочестотни трансформатори с високо изолационно съпротивление, които развързват входното и изходното напрежение.

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

Блок схемата за един канал на уреда е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Блок 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 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 колиматор през оптичен интерференчен филтър с лента на пропускане около 10 nm (FWHM), центрирана приблизително на 120 nm. Колиматорът е направен от почернен алуминий със шестоъгълни клетки материал (порест) с дължина 2.54 см и стъпка на клетката 1.53 мм, определяща почти цилиндрично зрително поле. След това Лайман-алфа лъчението се детектира с електронен фотоумножител (ФЕУ) и се усилва 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 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 се вземе в предвид посоката на потока от електрони, получаваме $I_p = -6.4 \times 10^{-6} [A]$.

Ако товарното съпротивление или входният импеданс на прилежащия усилвател е 50Ω , то входният 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 импулсия предусилвател 30 (максималният е 63), получаваме в изхода му:

$$(4) \quad V_{out} = -320 \times 10^{-6} [V] \times 30 = -9600 \times 10^{-6} [V] = -9.6 [mV]$$

Дискриминаторът в броячното устройство работи с нива на дискриминация от -0,5mV до -16 mV. Изходното напрежение на предусилвателя е -9.6 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, която се определя от брояча на цифрови импулси, е пропорционална на интензивността на светлинното лъчение.

Заклучение

Съвременните технологии дават на разположение на дизайнерите все по-модерни електронни елементи с нови физически характеристики и нови принципи на работа, което улеснява до голяма степен решаването на трудните задачи в измерителния процес. По този начин става възможно едновременното измерване и на трите емисии, което дава допълнителна информация за протичащите процеси във високата атмосфера. Освен това може 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. Guineva, V., Witt G., Gumbel J., Khaplanov M., Werner R., Hedin J., Neichev S., Kirov B., Bankov L., Gramatkov P., Tashev V., Popov M., Hauglund K., Hansen G., Ilstad J., Wold 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- α in the Mesosphere, Internal Report E-230, Norwegian Defense Research Establishment (FFI), Norway, 1974
3. Thrane, E.V., A. Johannessen, 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.Ugletveit, Measurements of Lyman- α 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. Zoenchen, 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