WEB ISSN 2535-003X
PRINT ISSN 2535-0021

ЕЛЕКТРОННО УСТРОЙСТВО ЗА РЕГИСТРИРАНЕ И ИЗМЕРВАНЕ НА СЛАБИ ИЗЛЪЧВАНИЯ В ДАЛЕЧНИЯ UV СПЕКТЪР НА МАГНИТОСФЕРАТА

ELECTRONIC DEVICE FOR RECORDING AND MEASURING WEAK RADIATION IN THE FAR UV SPECTRUM OF THE MAGNETOSPHERE.

Инженер-физик Ташев В., Главен асистент Манев А.

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките, филиал Стара Загора, България

veselinlt@abv.bg

Abstract: *In the upper atmosphere are emitted several ultraviolet emissions. More important are the spectral lines Lα emission 121.6 nm, and emitted from the oxygen OI 130.4 nm and 135.6 nm. For more detailed analysis of the processes in atmosphere, is required simultaneously measuring intensity several light to lines. The offered a new method using a system that contains three independent channels for synchronized measurement of each of the spectral lines. As a sensor for measuring such weak light fluxes used high performance Photomultiplier (PMT) 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 PMT 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. The device is designed with enhanced characteristics for operation in the severe conditions of the space environment.*

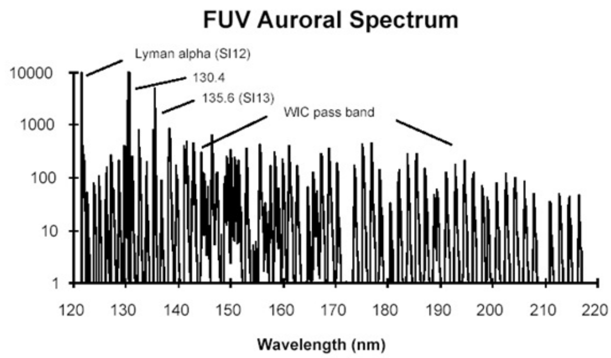
Keywords: ULTRAVIOLET EMISSIONS, PHOTOMULTIPLIER, COUNTING PHOTONS.

1. *Увод*

В горните слоеве на атмосферата се излъчват няколко ултравиолетови емисии. За по-задълбочен анализ на процесите, които протичат там е необходимо да се измерва интензитета на няколко светлинни линии едновременно. Използван е нов метод за измерване, който представлява система съдържаща три независими канала за синхронна регистрация на всяка една от спектралните линии. Измерването на Lα емисията с дължина 121.6 нм , заедно с кислородните емисии OI 130.4 nm и OI 13.5.6 nm дава важна информация за протичащите физични и химични процеси в пространството на геокороната. Като най-външен слой на атмосферата, тя е подложена на интезивна 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+ O2+, H2+ и др. Резонансният преход 2P-2S на атомния водород (Lα емисия с дължина 121.6 нм) е най-силната и открояваща се емисия в слънчевия FUV спектър.

2.Спектрална характеристика на геокороната и общи изисквания за измерване.

На фиг. 1 е показана спектрално моделираната ултравиолетова авроралнa емисия на геокороната.



Фигура 1. *Авроралeн спектър на геокороната.*

Радиационният поток на Lα емисията се състои от директна Lα 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 OI 135.6 nm. Едновременното наблюдение на трите емисии дава допълнителна информация за протичащите процеси в магнитосферата, както и възможност за моделиране на пространствено изображение. Целта на магнитосферните изследвания 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. 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 Lα 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 изпозвани 2 Лайман алфа детектора (LAD) за измерване на Лайман алфа емисията и

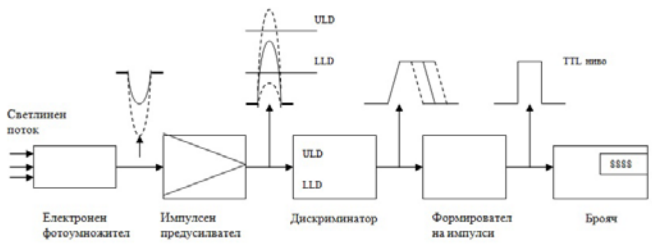
WEB ISSN 2535-003X
PRINT ISSN 2535-0021

спектрофотометър с микроканална пластина (MCP) за измерване на OI 130.4 nm и 135.6 nm. Днес обаче, високотехнологичните фирми проивеждат нови, по-модерни електронни елементи 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 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 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 количеството 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 усиването 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.



Фигура 2. *Блок-смема 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.

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

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, особенно при по-слабите сигнали.

4.2.Чувствителност на катодното излъчване.

Чувствителността на катодното илъчване влияее 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, динодната структура и разпределението на напрежението между самите диноди.

4.4. Шум

В електронния фотоумножител могат да възниктат 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 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. Електронния фотоумножител R10825 има следните по-важни характеристики:

- Sprectral Response от 115 до 195 nm,
- Maximum Response 130 nm,
- Quantom Efficiency при 121 nm 23,5%,
- Усилване $4x10^6$, Anode Dark Current 0.3 nA,
- Operating Temperature from -30 to + 50 oC,

Електронния фотоумножител R10825 отговаря на всички изисквания съгласно точка 4.

6. 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.

7. 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 ТТЛ логика. В самото устройство има вградени схеми на усилвател и дискриминатор, формировател на импулси и делител на честота. Изходът на устройството за броене на фотони, което притежава високо съотношение на сигнсл/шум може директно да се присъедини кън стандартен брояч, работещ с ТТЛ логика.

8. Захранване.

8.1 Високоволтово захранване.

Устройството C4900-51, производство на фирмата Hamamatsu, представлявава модулен високоволтов блок предназначен за захранване на електронни фотоумножители.

YEAR I, VOLUME V, P.P. 367-369 (2017)

WEB ISSN 2535-003X
PRINT ISSN 2535-0021

Той осигурява изходно напрежение променящо се от +200 V до +1250 V и изходящ ток – 0.5 мА.

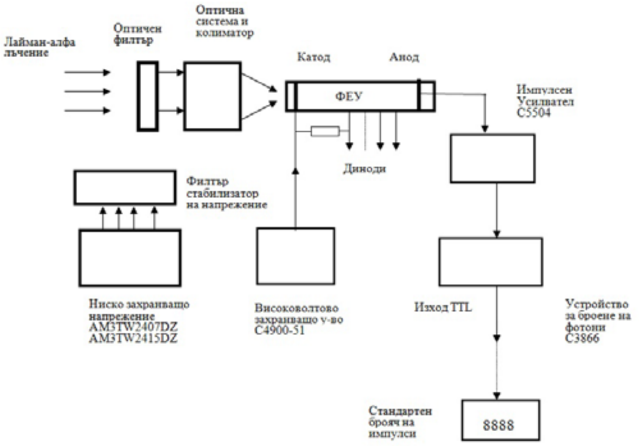
8.2 Нисковолтово захранване.

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 използуват 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.

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

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



Фигура 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 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 колиматор през оптичен интерференчен филтър с лента на пропускане около 10 nm (FWHM) центрирана приблизително на 120 nm. Колиматора 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=1.6x10-19[C]. Тъй като усилването на ФЕУ е μ = 4x106 , анодния изходен заряд се дава от:

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

Ако широчината на изходния импулс на изхода на ФЕУ е t=100 ns, тогава за пика на изходния ток Ip се получава:

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

Като се вземе в предвид посоката на потока от електрони получаваме:

Ip = -6.4×10^{-6} [A].

Ако товарното съпротивление или входния импеданс на прилежащия усилвател е 50 Ω , то входния импулс има пиково напрежение :

(3) $$Vin = Ip \times Rin = -6.4 \times 10^{-6}[A] \times 50[\Omega] = -320 \times 10^{-6}[V]$$

При коефициент на усилване на импулсния предусилвател 30 (максималния е 63), получаваме в изхода му:

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

Дискриминатора 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 устроство на фотони излизат формирани импулси с ТТЛ 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.

10. Заключение.

Съвременните технологии дават на разположение на дизайнерите все по-модерни елктронни елементи с нови физически характеристики и нови принципи на работа, което улеснява до голяма степен решаването на трудните задачи в измерителния процес. По този начина става възможно едновременното измерване и на трите емисии, което дава допълнителна информация за протичащите процеси в магнитосферата. 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., Gramatikov 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, Norvegian 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 Campain 1975-76, J.Geophys., v.44, pp.99-106, 1977

[5] HAMAMATSU “Pfoton 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