S E S 2 0 2 6
Twenty-second International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
20 – 24 October 2026, Stara Zagora, Bulgaria

ВЛИЯНИЕ НА UV-A, UV-B, UV-C ВЪРХУ ЗРИТЕЛНАТА СИСТЕМА И ЗАЩИТНИ МАТЕРИАЛИ

Зоя Асенова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: z.asenova@space.bas.bg

Ключови думи: UV-A, UV-B, UV-C, Око

Резюме: *Описва се ултравиолетовото (UV) лъчение и неговото въздействие върху човешкото зрение, особено в спектрите UV-A и UV-B с доказан вреден ефект. Докато сме на Земята, атмосферата ни пази от по-агресивните UV-C и част от UV-B лъчи на слънцето, но в Космоса или условия на висока надморска височина – защитата е почти нулева. Настоящата статия разглежда земните рискове свързани с UV лъчите, въздействието на космическата радиация върху астронавтите и материали за защита.*

INFLUENCE OF UV-A, UV-B, AND UV-C ON THE VISUAL SYSTEM AND PROTECTIVE MATERIALS

Zoya Asenova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
email: z.asenova@space.bas.bg

Keywords: *UVA, UVB, UVC, Eye*

Abstract: *Describes ultraviolet (UV) radiation and its impact on human vision, especially in the UV-A and UV-B spectra with proven harmful effects. While we are on Earth, the atmosphere protects us from the more aggressive UV-C and some UV-B rays of the sun, but in space or high altitude conditions – the protection is almost zero. This article examines both the terrestrial risks associated with UV rays and the impact of space radiation on astronauts.*

Въведение

Ултравиолетовите лъчи (UV) са невидими за нормалното (еметропично) човешко око електромагнитни вълни с висока енергия. Те са открити през 1801 г. от германския физик Йохан Ритер и дълго време са наричани „химически лъчи“. Разделят се основно на: UV-A (315–400 nm) ниско енергийни, проникват дълбоко в очните структури; UV-B (280–315nm) – с умерено висока енергия, основен причинител на повърхностни увреждания като птеригиум, кератит и фотокератоконус; UV-C (100–200nm) – с висока енергия, които на земята се абсорбират от озоновия слой, но в космически условия могат да предизвикат сериозни увреждания на роговицата и лещата.

Те са електромагнитно излъчване, състоящи се от фотони с висока енергия. UV лъчите се различават по дължина на вълната и енергия – интензитет падаща върху единица площ, което определя ефекта им върху зрителната система. В Космоса където няма атмосфера всички UV лъчи са налични и опасни особено за очите – един от най-деликатните ни органи с оптична система, включваща роговица (около 45 D) и леща (19–20 D), които проектират изображението върху ретината. Нашият естествен щит срещу най-опасните UV лъчи е озоновият слой (O_3), който абсорбира почти цялото UV-C и значителна част от UV-B спектъра. Благодарение на него до земната повърхност достигат главно UV-A и остатъчно UV-B лъчение. Когато този щит е изтънен от атмосферни процеси или се намираме на висока надморска

височина, ултравиолетовото лъчение достига до нас с висока (фотохимична) енергия. Фотоните са открити по-трудно във Вакуумното ултравиолетово излъчване (с дължина на вълната под 200 nm), през 1893 г. от германеца Виктор Шуман имат: честота (**V** колко интензивно трепти вълната), дължина на вълната (разстоянието между два върха) и енергия – колкото по-къса е вълната толкова по енергичен е фотона. Всеки фотон който достига фоторецепторните клетки – пръчици, колбички в ретината носи енергия определящ се от формулата на Планк (1)

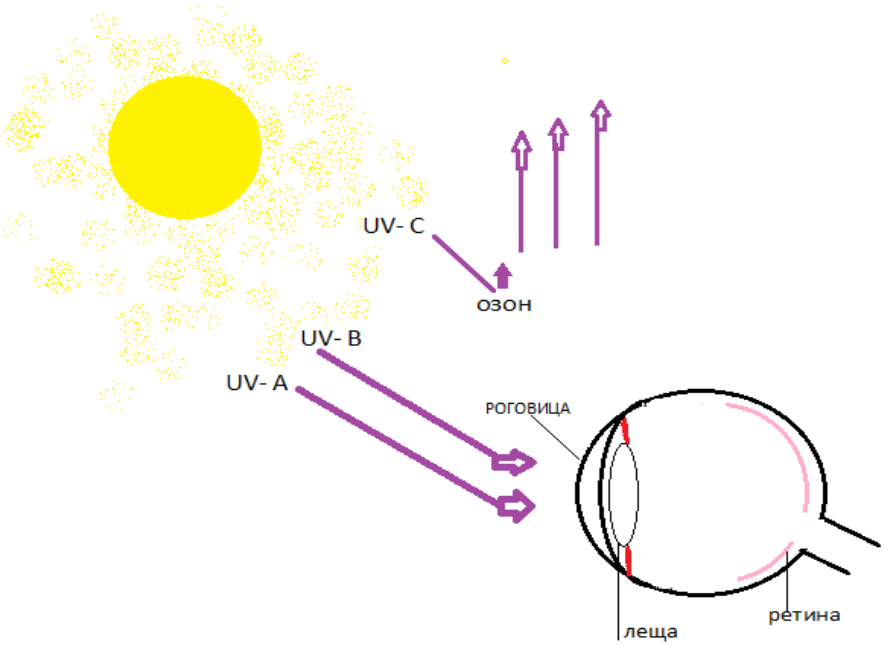
(1) $$E = h \times \nu = hc \div \lambda,$$

където **h** е константа на Планк = $6.626.10^{-34}$ J.s = $4.136.10^{-15}$ e V.s., **V** честота, **E** енергия, **λ** дължина на вълната, **c** е скоростта на светлината във вакуум ≈ 299 792 458 $m.s^{-1}$.

Когато слънчевата ултравиолетовата светлина проникне в човешкото око, тя преминава през зеницата и ирисния отвор. Ирисът регулира площта (A), през която навлизат фотоните, като по-широката зеница осигурява по-голяма площ за преминаване на светлинния поток. Интензитетът показва колко фотона (всеки с енергия hv) достига върху дадена площ за единица време – t (2).

(2) $$\boldsymbol{I} = \frac{\mathbf{N}\times\mathbf{h}\times\boldsymbol{c}}{\boldsymbol{\lambda}\times\mathbf{A}\times\boldsymbol{t}}.$$

Формула (2) – където $\boldsymbol{I}$ е интензитета на светлината (W/m^2), **N** е броят на фотоните, **h** е константата на Планк, **c** е скорост на светлината във вакуум (~ $3*10^8$ m/s), **λ** е дължината на вълната (m), **A** е площта на зеничния отвор (m^2), а **t** е времето (s).



Фиг. 1. Еметропично око, UV-A, UV-B, UV-C, Слънце

Слънчевата ултравиолетова радиация (100–400 nm) представлява една от най-биологично активните части на електромагнитния спектър. Въпреки че представлява по-малко от 10% от общата слънчева радиация, нейното въздействие върху живите тъкани е значително. С увеличаване на надморската височина, атмосферната плътност намалява, което намалява абсорбцията и разсейването на UV фотоните от озона (O_3) и кислорода (O_2). Следователно, на всеки 1000 m надморска височина, UV облъчването обикновено се увеличава с приблизително 10–12%, като най-изразената промяна е в UV-B лентата (280–315 nm). Човешките очни тъкани – особено роговицата, конюнктивата и леща – абсорбират UV лъчението в различна степен в зависимост от дължината на вълната. Краткосрочното излагане може да причини фотокератит (снежна слепота), докато продължителното излагане води до хронични дегенеративни изменения на очната повърхност. Типичен пример за такова изменение е птеригиумът – фиброваскуларна пролиферация на конюнктивата, която прогресивно навлиза върху роговицата.

Част от UV-A лъчите проникват не само в лещата на окото, но и по-дълбоко, достигат до пигментният ретинен епител и централната част на ретината-макулата. Там техният интензитет предизвиква недостиг на микроелементи и натрупване на свободни радикали, което уврежда фоторецепторите и се свързва с развитието на възрастово-обусловена макулна дегенерация. Продължителното излагане на UV-A предизвикват фотохимични реакции и оксидативен стрес в очните структури. Това засяга диска на зрителния нерв и увреждa аксонните израстъци на ганглийните клетки, което е рисков фактор за развитие на глаукома и нарушаване на зрителната проводимост към мозъка

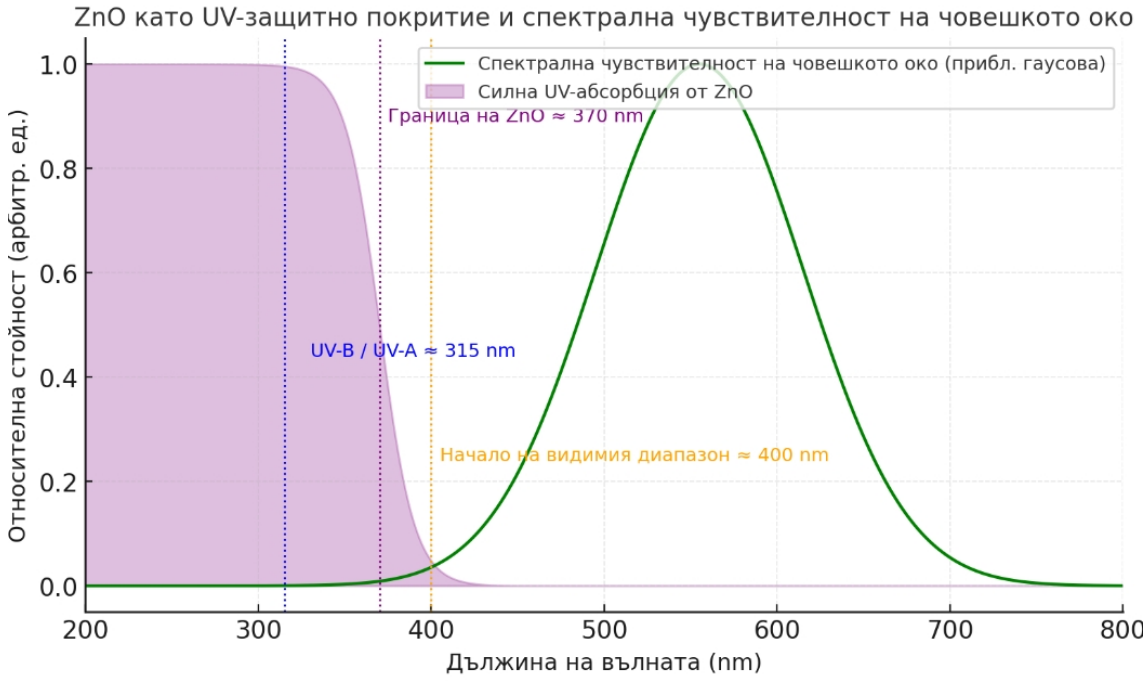
UV-B лъчението (280–315 nm) притежава умерена енергия и е основен причинител на остри повърхностни увреждания на окото, като фотокератит (снежна слепота), кератит и образуване на птеригиум.

Извън защитната земна атмосфера и озоновия слой тези лъчи заедно с по кратките UV-C вълни, представляват сериозна заплаха както за биологичните структури, така и за сателитната оптика. За неутрализирането им се използват минерални UV филтри като цинков оксид (ZnO) и титанов диоксид (TiO_2), които могат да се нанасят под формата на тънки филми върху оптични елементи или да се вграждат в защитни текстилни материали и скафандри.

Таблица 1. Дължина на вълната във вакуум, спектрална област, защитни материали-покрития

100 nm–280 nm	UVC	ултравиолетова област C	MgF_2, AlN, SiO_2, ZnO
280 nm–315 nm	UVB	ултравиолетова област B	ZnO, TiO_2, Al_2O_3, AlN
315 nm–380 nm	UVA	ултравиолетова област A	CeO_2, ZnO
380 nm–760 nm	VIS	видима област	HEV,Nd_2O_3
760 nm–1,4 μm	NIR	близка инфрачервена област	Au, Ge
1,4 μm–3,0 μm	SW IR	късовълнова инфрачервена област	Ge, ZnSe, CaF_2,
3.0 μm–8,0 μm	MW IR	средновълнова инфрачервена област	Ge, ZnSe, Si
8,0 μм–15,0 μм	LW IR	дълговълнова инфрачервена област	Ge, ZnSe, AMTIR

ZnO е с широка забранена зона ~ 3,3–3,4 eV, което съответства на критичната дължина на вълната около 370 nm. Това е спектралната честота, при която фотоните с по-висока енергия (по-къси дължини на вълната – UV-B и част от UV-A) не могат да преминат свободно. При попадане в слоя ZnO, те биват погълнати, като енергията им се преобразува в топлина или се разсейва чрез флуоресценция.



Фиг. 2.

В диаграмата е показано гаусово приближение на спектралната чувствителност. Това илюстрира, че максимумът на видимото възприятие е далеч от UV, което означава, че въпреки, че окото е най-чувствително в зелено-жълтия спектър, UV фотоните имат по-голяма енергия и могат да причинят заболявания дори когато не ги виждаме и усещаме.

Ултравиолетовото лъчение не само, че променя начина, по който виждаме, но и поставя под заплаха самата способност да виждаме. На Земята разчитаме на естествената атмосферна преграда, докато в Космоса тези защитни системи трябва да бъдат изцяло създадени от човек. Разбирането на ефектите от UV-A, UV-B, UV-C лъчите върху очите остава ключов научно-приложен приоритет, защото очите ни са прозорец към душата на вселената.

Литература:

1. Blumthaler, M., & Ambach, W. (1990). Altitude effect of solar UV radiation dependent on albedo, turbidity and solar elevation. Applied Optics, 29 (12), 1590–1593.
2. McKenzie, R., et al. (2009). Altitude and latitude variations of UV radiation. Photochemical & Photo biological Sciences, 8, 476–482.
3. World Health Organization (WHO) (2017). Ultraviolet radiation and the INTERSUN Programme. Geneva: WHO Press.
4. Sliney, D. H. (2002). Geometrical assessment of ocular exposure to environmental UV radiation. Photochemistry and Photobiology, 76 (4), 397–400.
5. Lupu, R., & Ricard, D. (2018). UV protective materials and coatings for mountain environments. Journal of Optical Materials, 85, 56–63.