

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

## Ασύμφωνη οπτική ακτινοβολία

Οι τιμές έκθεσης που σχετίζονται με βιολογικές επιπτώσεις εκ της οπτικής ακτινοβολίας δύνανται να προσδιοριστούν βάσει των παρακάτω τύπων. Οι χρησιμοποιητέοι τύποι εξαρτώνται από την περιοχή μήκους κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την πηγή, τα δε αποτελέσματα θα πρέπει να συγκρίνονται με τις αντίστοιχες οριακές τιμές έκθεσης που περιλαμβάνονται στον πίνακα 1.1. Για μια δεδομένη πηγή οπτικής ακτινοβολίας μπορεί να έχουν έννοια περισσότερες της μιας τιμές έκθεσης και αντίστοιχες οριακές τιμές έκθεσης.

Η αρίθμηση α) έως ιε) παραπέμπει στις αντίστοιχες σειρές του πίνακα 1.1.

α)	$H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$	(η $H_{\text{eff}}$ έχει έννοια μόνο στην περιοχή μήκους κύματος από 180 ως 400 nm)
β)	$H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$	(η $H_{\text{UVA}}$ έχει έννοια μόνο στην περιοχή μήκους κύματος από 315 ως 400 nm)
γ), δ)	$L_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	(η $L_B$ έχει έννοια μόνο στην περιοχή μήκους κύματος από 300 ως 700 nm)
ε), στ)	$E_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	(ο $E_B$ έχει έννοια μόνο στην περιοχή μήκους κύματος από 300 έως 700 nm)
ζ) ως ιβ)	$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$	(Για τις κατάλληλες τιμές των $\lambda_1$ και $\lambda_2$ ανατρέξτε στον πίνακα 1.1)
ιγ), ιδ)	$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$	(Ο $E_{\text{IR}}$ έχει έννοια μόνο στην περιοχή μήκους κύματος από 780 ως 3 000 nm)
ιε)	$H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$	(Η $H_{\text{skin}}$ έχει έννοια μόνο στην περιοχή μήκους κύματος από 380 έως 3 000 nm)

Για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, οι παραπάνω τύποι δύνανται ν' αντικατασταθούν από τις παρακάτω μαθηματικές εκφράσεις και τη χρησιμοποίηση διακριτών τιμών, όπως αυτές καθορίζονται στους παρακάτω πίνακες:

α)	$E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	και $H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$
β)	$E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	και $H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$
γ), δ)	$L_B = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	
ε), στ)	$E_B = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	
ζ ως ιβ)	$L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	(Για τις κατάλληλες τιμές των $\lambda_1$ και $\lambda_2$ ανατρέξτε στον πίνακα 1.1)
ιγ), ιδ)	$E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	

$$\text{ιε)} \quad E_{\text{skin}} = \sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad \text{και} \quad H_{\text{skin}} = E_{\text{skin}} \cdot \Delta t$$

Σημειώσεις:

- Ελ (λ, t), Ελ φασματικός ακτινοβολισμός ή φασματική πυκνότητα ισχύος: η ισχύς ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια, ανά μονάδα επιφανεΐας. Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά νανόμετρο [ $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ ]. Οι τιμές των Ελ (λ, t) και Ελ προέρχονται από μετρήσεις ή μπορεί να παρέχονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού.
- $E_{\text{eff}}$  ενεργός ακτινοβολισμός (UV περιοχή): υπολογιζόμενος ακτινοβολισμός εντός της UV περιοχής μήκους κύματος από 180 έως 400 nm, φασματικώς σταθμισμένος με τη στάθμιση S (λ). Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{W m}^{-2}$ ].
- H έκθεση σε ακτινοβολία, το ολοκλήρωμα χρόνου του ακτινοβολισμού. Εκφράζεται σε τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{J m}^{-2}$ ].
- $H_{\text{eff}}$  ενεργός έκθεση σε ακτινοβολία: έκθεση σε ακτινοβολία φασματικώς σταθμισμένη με τη στάθμιση S (λ). Εκφράζεται σε τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{J m}^{-2}$ ].
- $E_{\text{UVA}}$  ολικός ακτινοβολισμός (UVA): υπολογιζόμενος ακτινοβολισμός εντός της UVA περιοχής μήκους κύματος από 315 έως 400 nm. Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{W m}^{-2}$ ].
- $H_{\text{UVA}}$  έκθεση σε ακτινοβολία: το ολοκλήρωμα χρόνου και μήκους κύματος του ακτινοβολισμού ή το άθροισμα του ακτινοβολισμού εντός της UVA περιοχής μήκους κύματος από 315 έως 400 nm. Εκφράζεται σε τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{J m}^{-2}$ ].
- S (λ) φασματική στάθμιση που λαμβάνει υπόψη την εξάρτηση από το μήκος κύματος των επιπτώσεων της UV ακτινοβολίας επί των ματιών και του δέρματος (πίνακας 1.2) [άνευ διαστάσεων].
- t, Δt χρόνος, διάρκεια της έκθεσης. Εκφράζεται σε δευτερόλεπτα [s].
- λ μήκος κύματος. Εκφράζεται σε νανόμετρα [nm].
- Δλ εύρος ζώνης μήκους κύματος των διαστημάτων υπολογισμού ή μέτρησης. Εκφράζεται σε νανόμετρα [nm].
- $L_{\lambda}(\lambda), L_{\lambda}$  φασματική ακτινοβολήση της πηγής. Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερακτίνο ανά νανόμετρο [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$ ].
- $R(\lambda)$  φασματική στάθμιση που λαμβάνει υπόψη την εξάρτηση από το μήκος κύματος των θερμικών βλαβών που προκαλούνται στα μάτια από την ορατή και την IRA ακτινοβολία (Πίνακας 1.3) [άνευ διαστάσεων].
- $L_{\text{R}}$  ενεργός ακτινοβόληση (θερμική βλάβη): υπολογιζόμενη ακτινοβόληση φασματικώς σταθμισμένη με τη στάθμιση R(λ). Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερακτίνο [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ].
- B(λ) φασματική στάθμιση που λαμβάνει υπόψη την εξάρτηση από το μήκος κύματος των φωτοχημικών βλαβών που προκαλούνται στα μάτια από την ακτινοβολία «κυανού (μπλε) φωτός» (πίνακας 1.3) [άνευ διαστάσεων].
- $L_{\text{B}}$  ενεργός ακτινοβόληση («κυανό φως»): υπολογιζόμενη ακτινοβόληση φασματικώς σταθμισμένη με τη στάθμιση B(λ). Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερακτίνο [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ].
- $E_{\text{B}}$  ενεργός ακτινοβολισμός («κυανό φως»): υπολογιζόμενος ακτινοβολισμός φασματικώς σταθμισμένος με τη στάθμιση B(λ). Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{W m}^{-2}$ ].
- $E_{\text{IR}}$  ολικός ακτινοβολισμός (θερμική βλάβη): υπολογιζόμενος ακτινοβολισμός εντός της υπέρυθρης περιοχής μήκους κύματος από 780 έως 3 000 nm. Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{W m}^{-2}$ ].
- $E_{\text{skin}}$  ολικός ακτινοβολισμός (ορατή ακτινοβολία, IRA και IRB): υπολογιζόμενος ακτινοβολισμός εντός της περιοχής μήκους κύματος της ορατής και της υπέρυθρης ακτινοβολίας από 380 έως 3 000 nm. Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{W m}^{-2}$ ].
- $H_{\text{skin}}$  έκθεση σε ακτινοβολία: το ολοκλήρωμα χρόνου και μήκους κύματος του ακτινοβολισμού ή το άθροισμα του ακτινοβολισμού εντός της περιοχής μήκους κύματος της ορατής και της υπέρυθρης ακτινοβολίας από 380 έως 3 000 nm. Εκφράζεται σε τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $\text{J m}^{-2}$ ].
- α γωνιακή υποτέμνουσα: η οπτική γωνία που τέμνεται από μια φαινόμενη πηγή, όπως αυτή παρατηρείται σε ένα σημείο του χώρου. Εκφράζεται σε χιλιοστά του ακτινίου (mrad). Ως φαινόμενη πηγή νοείται το πραγματικό ή εικονικό αντικείμενο που σχηματίζει το μικρότερο δυνατό είδωλο πάνω στον αμφιβληστροειδή.

Πίνακας 1.1  
Οριακές τιμές έκθεσης για αυθόρμητη οπτική ακτινοβολία

Δείκτης	Μήκος κύματος (nm)	Οριακή τιμή έκθεσης	Μονάδες	Παρατήρηση	Όργανο του σώματος	Κίνδυνος
α.	180-400 (UVA, UVB και UVC)	$H_{\text{eff}} = 30$ για 8ωρη ημερήσια έκθεση	$[J \text{ m}^{-2}]$		οφθαλμός κερατοειδής χιτώνας επιπεφυκώς κρυσταλλοειδής φακός δέρμα	φωτοτραυματική * επιπεφυκίτιδα καταρρακτογένεση ερύθημα ελάσωση καρκίνος του δέρμ
β.	315-400 (UVA)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ για 8ωρη ημερήσια έκθεση	$[J \text{ m}^{-2}]$		οφθαλμός κρυσταλλοειδής φακός	καταρρακτογέ-νεο
γ.	300-700 (κυανό φως) βλέπε σημείωση 1	$L_B = \frac{10^6}{t}$ για $t \leq 10\ 000 \text{ s}$	$L_B: [W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$ $t: [\text{sec}]$	για $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$		
δ.	300-700 (κυανό φως) βλέπε σημείωση 1	$L_B = 100$ για $t > 10\ 000 \text{ s}$	$[W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$			
ε.	300-700 (κυανό φως) βλέπε σημείωση 1	$E_B = \frac{100}{t}$ για $t \leq 10\ 000 \text{ s}$	$E_B: [W \text{ m}^{-2}]$ $t: [\text{sec}]$	για $\alpha < 11 \text{ mrad}$ βλέπε σημείωση 2	οφθαλμός αμφιβληστροειδής χιτώνας	φωτοαμφιβληστρο
στ.	300-700 (κυανό φως) βλέπε σημείωση 1	$E_B = 0,01$ $t > 10\ 000 \text{ s}$	$[W \text{ m}^{-2}]$			



Δείκτης	Μήκος κύματος (nm)	Θριακή τιμή έκθεσης	Μονάδες	Παρατήρηση	Όργανο του σώματος	Κίνδυνος
ζ.	380-1 400 (ορατό και IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_a}$ για $t > 10$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	C <sub>a</sub> = 1,7 για α ≤ 1,7 mrad C <sub>a</sub> = α για 1,7 ≤ α ≤ 100 mrad C <sub>a</sub> = 100 για α > 100 mrad λ <sub>1</sub> = 380. λ <sub>2</sub> = 1 400	σοβαλμός αμφιβληστροειδής χιτώνας	έγκαυμα αμφιβληστροειδούς
η.	380-1 400 (ορατό και IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ για t < 10 μs	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	C <sub>a</sub> = 11 για α ≤ 11 mrad C <sub>a</sub> = α για 11 ≤ α ≤ 100 mrad C <sub>a</sub> = 100 για α > 100 mrad (οπτικό πεδίο μέτρησης: 11 mrad) λ <sub>1</sub> = 780. λ <sub>2</sub> = 1 400	σοβαλμός αμφιβληστροειδής χιτώνας	έγκαυμα αμφιβληστροειδούς
ι.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_a}$ για t > 10 s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	C <sub>a</sub> = 11 για α ≤ 11 mrad C <sub>a</sub> = α για 11 ≤ α ≤ 100 mrad C <sub>a</sub> = 100 για α > 100 mrad (οπτικό πεδίο μέτρησης: 11 mrad) λ <sub>1</sub> = 780. λ <sub>2</sub> = 1 400	σοβαλμός αμφιβληστροειδής χιτώνας	έγκαυμα αμφιβληστροειδούς
ια.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_a t^{0,25}}$ για 10 μs ≤ t ≤ 10 s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [sec]	C <sub>a</sub> = 11 για α ≤ 11 mrad C <sub>a</sub> = α για 11 ≤ α ≤ 100 mrad C <sub>a</sub> = 100 για α > 100 mrad (οπτικό πεδίο μέτρησης: 11 mrad) λ <sub>1</sub> = 780. λ <sub>2</sub> = 1 400	σοβαλμός αμφιβληστροειδής χιτώνας	έγκαυμα αμφιβληστροειδούς
ιβ.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_a}$ για t < 10 μs	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	C <sub>a</sub> = 11 για α ≤ 11 mrad C <sub>a</sub> = α για 11 ≤ α ≤ 100 mrad C <sub>a</sub> = 100 για α > 100 mrad (οπτικό πεδίο μέτρησης: 11 mrad) λ <sub>1</sub> = 780. λ <sub>2</sub> = 1 400	σοβαλμός αμφιβληστροειδής χιτώνας	έγκαυμα αμφιβληστροειδούς
ιγ.	780-3 000 (IRA και IRB)	E <sub>IR</sub> = 18 000 t <sup>-0,75</sup> για t ≤ 1 000 s	E: [W m <sup>-2</sup> ] t: [sec]	C <sub>a</sub> = 11 για α ≤ 11 mrad C <sub>a</sub> = α για 11 ≤ α ≤ 100 mrad C <sub>a</sub> = 100 για α > 100 mrad (οπτικό πεδίο μέτρησης: 11 mrad) λ <sub>1</sub> = 780. λ <sub>2</sub> = 1 400	σοβαλμός κερατοειδής χιτώνας κρυσταλλοειδής φακός	έγκαυμα κερατοειδούς καταρρακτογένεση
ιδ.	780-3 000 (IRA και IRB)	E <sub>IR</sub> = 100 για t > 1 000 s	[W m <sup>-2</sup> ]	C <sub>a</sub> = 11 για α ≤ 11 mrad C <sub>a</sub> = α για 11 ≤ α ≤ 100 mrad C <sub>a</sub> = 100 για α > 100 mrad (οπτικό πεδίο μέτρησης: 11 mrad) λ <sub>1</sub> = 780. λ <sub>2</sub> = 1 400	σοβαλμός κερατοειδής χιτώνας κρυσταλλοειδής φακός	έγκαυμα κερατοειδούς καταρρακτογένεση

Δείκτης	Μήκος κύματος (nm)	Οριακή τιμή έκθεσης	Μονάδες	Παρατήρηση	Όργανο του σώματος	Κίνδυνος
1ε.	380-3 000 (ορατό, IRA και IRB)	$H_{skin} = 20\ 000\ t^{0,25}$ για $t < 10\ s$	H: $[J\ m^{-2}]$ t: [sec]		δέρμα	έγκαυμα

Σημείωση 1: Η περιοχή μήκους κύματος από 300 έως 700 nm καλύπτει μέρος του UVB, όλο το UVA και το μεγαλύτερο μέρος της ορατής ακτινοβολίας. Ωστόσο, ο συναφής κίνδυνος αναφέρεται συνήθως ως κίνδυνος «κυανού φωτός». Ακτινολογώντας, το κυανό φως καλύπτει μόνον την περιοχή μήκους κύματος από περίπου 400 έως 490 nm.

Σημείωση 2: Για την στενή παρατήρηση πολύ μικρών πηγών με γωνιακή υποτετανοουσα  $< 11\ mrad$ , η  $L_B$  μπορεί να μετατραπεί σε  $E_B$ . Αυτό ισχύει κανονικά μόνο για οφθαλμιατρικά εργαλεία ή για τον ακινητοποιημένο οφθαλμό κατά τη διάρκεια της ανασθησίας. Ο μέγιστος χρόνος προσηλώσης του βλέμματος, υπολογίζεται με τον τύπο:  $t_{max} = 100/E_B$ , όπου ο  $E_B$  εκφράζεται σε  $W\ m^{-2}$ . Λόγω των κινήσεων των οφθαλμών κατά τη διάρκεια των συνήθων οπτικών λειτουργιών, η τιμή αυτή δεν υπερβαίνει τα 100 s.

Πίνακας 1.2

S (λ) [άνευ διαστάσεων], 180 nm έως 400 nm

λ (nm)	S (λ)	λ (nm)	S (λ)	λ (nm)	S (λ)	λ (nm)	S (λ)	λ (nm)	S (λ)
180	0,0120	228	0,1737	276	0,9434	324	0,000520	372	0,000086
181	0,0126	229	0,1819	277	0,9272	325	0,000500	373	0,000083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,000479	374	0,000080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,000459	375	0,000077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,000440	376	0,000074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8658	329	0,000425	377	0,000072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8522	330	0,000410	378	0,000069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8392	331	0,000396	379	0,000066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,8268	332	0,000383	380	0,000064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,8150	333	0,000370	381	0,000062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,8038	334	0,000355	382	0,000059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7932	335	0,000340	383	0,000057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,7832	336	0,000327	384	0,000055
193	0,0218	241	0,3111	289	0,7738	337	0,000315	385	0,000053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,7650	338	0,000303	386	0,000051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,7568	339	0,000291	387	0,000049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,7492	340	0,000280	388	0,000047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,7422	341	0,000271	389	0,000046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,7358	342	0,000263	390	0,000044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,7300	343	0,000255	391	0,000042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,7248	344	0,000248	392	0,000041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,7200	345	0,000240	393	0,000039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,7158	346	0,000231	394	0,000037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,7122	347	0,000223	395	0,000036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,7092	348	0,000215	396	0,000035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,7068	349	0,000207	397	0,000033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,7050	350	0,000200	398	0,000032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,7038	351	0,000191	399	0,000031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,7032	352	0,000183	400	0,000030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,7032	353	0,000175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,7038	354	0,000167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,7050	355	0,000160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,7068	356	0,000153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,7092	357	0,000147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,7122	358	0,000141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,7158	359	0,000136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,7200	360	0,000130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,7248	361	0,000126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,7300	362	0,000122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,7358	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,7422	364	0,000114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,7492	365	0,000110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,7568	366	0,000106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,7650	367	0,000103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,7738	368	0,000099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,7832	369	0,000096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,7932	370	0,000093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,8038	371	0,000090		

Πίνακας 1.3

B (λ), R (λ), [άνευ διαστάσεων] 380 nm έως 1 400 nm

λ (σε nm)	B (λ)	R (λ)
$300 \leq \lambda < 380$	0,01	—
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1
$700 < \lambda \leq 1\ 050$	—	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 150$	—	0,2
$1\ 150 < \lambda \leq 1\ 200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1\ 150 - \lambda)}$
$1\ 200 < \lambda \leq 1\ 400$	—	0,02

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

## Οπτική ακτινοβολία λέιζερ

Οι τιμές έκθεσης που σχετίζονται με βιολογικές επιπτώσεις εκ της οπτικής ακτινοβολίας δύνανται να προσδιοριστούν βάσει των παρακάτω τύπων. Οι χρησιμοποιητέοι τύποι εξαρτώνται από το μήκος κύματος και τη διάρκεια έκθεσης σε ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πηγή, τα δε αποτελέσματα θα πρέπει να συγκρίνονται με τις αντίστοιχες οριακές τιμές έκθεσης που περιλαμβάνονται στους πίνακες 2.2 έως 2.4. Για μια δεδομένη πηγή οπτικής ακτινοβολίας λέιζερ μπορεί να έχουν έννοια περισσότερες της μιας τιμές έκθεσης και αντίστοιχες οριακές τιμές έκθεσης.

Οι συντελεστές που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς των πινάκων 2.2 — 2.4 έχουν καταχωρηθεί στον πίνακα 2.5, οι δε διορθώσεις για επαναλαμβανόμενη έκθεση στον πίνακα 2.6.

$$E = \frac{dP}{dA} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

Σημειώσεις:

$dP$  ισχύς Εκφράζεται σε βατ [W].

$dA$  επιφάνεια Εκφράζεται σε τετραγωνικά μέτρα [ $m^2$ ];

$E(t)$ ,  $E$  ακτινοβολισμός ή πυκνότητα ισχύος: η ισχύς ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας, συνήθως εκφραζόμενη σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $W m^{-2}$ ]. Οι τιμές των  $E(t)$ ,  $E$  προέρχονται από μετρήσεις ή μπορεί να παρέχονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού.

$H$  έκθεση σε ακτινοβολία, το ολοκλήρωμα χρόνου του ακτινοβολισμού. Εκφράζεται σε τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο [ $J m^{-2}$ ];

$t$  χρόνος, διάρκεια της έκθεσης Εκφράζεται σε δευτερόλεπτα [s].

$\lambda$  μήκος κύματος Εκφράζεται σε νανόμετρα [nm].

$\gamma$  περιοριστική γωνία κώνου οπτικού πεδίου μέτρησης Εκφράζεται σε χιλιοστά του ακτινίου [mrad].

$\gamma_m$  οπτικό πεδίο μέτρησης Εκφράζεται σε χιλιοστά του ακτινίου [mrad].

$\alpha$  γωνιακή υποτέμνουσα παρατηρούμενης πηγής Εκφράζεται σε χιλιοστά του ακτινίου [mrad].

περιοριστικό άνοιγμα: η κυκλική επιφάνεια επί της οποίας προσδιορίζεται ο μέσος όρος του ακτινοβολισμού και της έκθεσης σε ακτινοβολία.

$G$  ολοκληρωμένη ακτινοβολήση: το ολοκλήρωμα της ακτινοβολήσης για δεδομένη διάρκεια έκθεσης. Εκφράζεται ως ενέργεια ακτινοβολίας ανά μονάδα ακτινοβολούσας επιφάνειας ανά μονάδα στερεάς γωνίας εκπομπής, σε τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερεακτίσιο [ $J m^{-2} sr^{-1}$ ].



Πίνακας 2.1

## Κίνδυνοι εκ της ακτινοβολίας

Μήκος κύματος λ [nm]	Περιοχή ακτινοβολίας	Επηρεαζόμενο όργανο	Κίνδυνος	Πίνακας οριακών τιμών έκθεσης
180 έως 400	UV	οφθαλμός	φωτοχημική βλάβη και θερμική βλάβη	2.2, 2.3
180 έως 400	UV	δέρμα	ερύθημα	2.4
400 έως 700	Ορατή ακτινοβολία	οφθαλμός	βλάβη του αμφιβληστροειδούς	2.2
400 έως 600	Ορατή ακτινοβολία	οφθαλμός	φωτοχημική βλάβη	2.3
400 έως 700	Ορατή ακτινοβολία	δέρμα	θερμική βλάβη	2.4
700 έως 1 400	IRA	οφθαλμός	θερμική βλάβη	2.2, 2.3
700 έως 1 400	IRA	δέρμα	θερμική βλάβη	2.4
1 400 έως 2 600	IRB	οφθαλμός	θερμική βλάβη	2.2
2 600 έως 10 <sup>6</sup>	IRC	οφθαλμός	θερμική βλάβη	2.2
1 400 έως 10 <sup>6</sup>	IRB, IRC	οφθαλμός	θερμική βλάβη	2.3
1 400 έως 10 <sup>6</sup>	IRB, IRC	δέρμα	θερμική βλάβη	2.4

Πίνακας 2.2  
**Οριακές τιμές έκθεσης για την έκθεση του σφαιρικού σε ακτινοβολία λέιζερ — Βραχεία διάρκεια έκθεσης < 10 s**

Μήκος κύματος [nm]	Άνοιγμα	Διάρκεια [s]				
		$10^{13} - 10^{11}$	$10^{11} - 10^9$	$10^7 - 1,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5 - 10^3$
UVC	180 - 280	$10^{13} - 10^{11}$	$10^{11} - 10^9$	$10^9 - 10^7$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5 - 10^3$
	280 - 302					
	303					
	304					
	305					
	306					
	307					
	308					
	309					
	310					
UVB	400 - 700	$10^{11} - 10^9$	$10^{11} - 10^9$	$10^9 - 10^7$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5 - 10^3$
	700 - 1 050					
	1 050 - 1 400					
	1 400 - 1 500					
	1 500 - 1 800					
	1 800 - 2 600					
	2 600 - 10 <sup>6</sup>					
	315 - 400					
UVA	400 - 700	$10^{11} - 10^9$	$10^{11} - 10^9$	$10^9 - 10^7$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5 - 10^3$
	700 - 1 050					
	1 050 - 1 400					
	1 400 - 1 500					
Ορατή ακτινοβολία & IRA	400 - 700	$10^{11} - 10^9$	$10^{11} - 10^9$	$10^9 - 10^7$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5 - 10^3$
	700 - 1 050					
	1 050 - 1 400					
	1 400 - 1 500					
IRB & IRC	400 - 700	$10^{11} - 10^9$	$10^{11} - 10^9$	$10^9 - 10^7$	$1,8 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5 - 10^3$
	700 - 1 050					
	1 050 - 1 400					
	1 400 - 1 500					

α) Εάν στο μήκος κύματος του λέιζερ αντιστοιχούν δύο όρια, τότε ισχύει το πιο περιοριστικό από αυτά.

β) Εάν  $1400 \leq \lambda < 10^5$  nm: διάμετρος ανώματου = 1 mm για  $t \leq 0,3$  s και  $1,5 \cdot 10^{0,375}$  mm για  $0,3 < t < 10$  s. Εάν  $10^5 \leq \lambda < 10^6$  nm: διάμετρος ανώματου = 11 mm.

γ) Λόγω ελλείψεως δεδομένων για αυτές τις διάρκειες παλμού, η ICNIRP συνιστά να χρησιμοποιούνται τα όρια ακτινοβολισμού για 1 ms.

δ) Ο πίνακας παρέχει τιμές για απλούς παλμούς λέιζερ. Στην περίπτωση πολλαπλών παλμών λέιζερ εδριάζονται οι διάρκειες παλμού λέιζερ που επισημαίνονται εντός χρονικού διαστήματος  $T_{min}$  (όπως καθορίζεται στον πίνακα 2.6), και η προκύπτουσα τιμή χρόνου εισάγεται ως  $t$  στον τύπο  $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ .

Πίνακας 2.3

Οριακές τιμές έκθεσης για την έκθεση του σφραλισμού σε ακτινοβολία λέιζερ — Μακρά διάρκεια έκθεσης ≥ 10 s

Μήκος κύματος <sup>(α)</sup> [nm]	Άνοιγμα	Διάρκεια [s]	
UVC		$10^1 - 10^2$	
		$10^4 - 3 \cdot 10^4$	
UVB	180 - 280	$H = 30 [J m^{-2}]$	
	280 - 302	$H = 40 [J m^{-2}]$	
	303	$H = 60 [J m^{-2}]$	
	304	$H = 100 [J m^{-2}]$	
	305	$H = 160 [J m^{-2}]$	
	306	$H = 250 [J m^{-2}]$	
	307	$H = 400 [J m^{-2}]$	
	308	$H = 630 [J m^{-2}]$	
	309	$H = 1,0 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
	310	$H = 1,6 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
	311	$H = 2,5 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
	312	$H = 4,0 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
	313	$H = 6,3 \cdot 10^3 [J m^{-2}]$	
	314	$H = 10^4 [J m^{-2}]$	
UVA		$H = 10^4 [J m^{-2}]$	
Ορατή ακτινοβολία 400 - 700	7 mm	$H = 100 C_B [J m^{-2}]$ ( $\gamma = 11 \text{ mrad}$ ) <sup>(δ)</sup>	
		$E = 1 C_B [W m^{-2}] \cdot (\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad})$ <sup>(δ)</sup>	
IRA	7 mm	εάν $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ εάν $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ και $t \leq T_2$ εάν $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ και $t > T_2$	τότε $E = 10 [W m^{-2}]$ τότε $H = 18 CE t^{0,75} [J m^{-2}]$ τότε $E = 18 CE T_2^{-0,25} [W m^{-2}]$
		εάν $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ εάν $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ και $t \leq T_2$ εάν $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ και $t > T_2$	τότε $E = 10 CA CC [W m^{-2}]$ τότε $H = 18 C_A C_C C_E t^{0,75} [J m^{-2}]$ τότε $E = 18 C_A C_C C_E T_2^{-0,25} [W m^{-2}]$ (να μην υπερβάνει όμως τα $1\ 000\ W m^{-2}$ )
			$E = 1\ 000 [W m^{-2}]$
IRB & IRC	βλ. τεύχος 2		

α) Εάν στο μήκος κύματος του λέιζερ ή σε κάποια άλλη συνθήκη λειτουργίας αυτού αντιστοιχούν δύο όρια, τότε ισχύει το πιο περιοριστικό από αυτά.  
 β) Για μικρές πηγές, με γωνιακή υποτέμνουσα  $1,5 \text{ mrad}$  ή λιγότερο, τα δικά όρια E για την ορατή ακτινοβολία από  $400 \text{ nm}$  ως  $600 \text{ nm}$  περιλαμβάνονται στα θερμοκρασιακά όρια για μεγαλύτερες διάρκειες. Για τις τιμές των  $T_1$  και  $T_2$  βλέπε πίνακα 2.5. Το όριο κινδύνου φωτοχημικής βλάβης του αμφιβληστροειδούς μπορεί επίσης να εκφραστεί ως χρονικός ολοκληρωμένος ακτινοβολήσης  $G = 10^3 C_B [J m^{-2} sr^{-1}]$  για  $10s < t \leq 10\ 000\ s$  και ως  $L = 100 C_B [W m^{-2} sr^{-1}]$  για  $t > 10\ 000\ s$ . Για τη μέτρηση των G και L το  $\gamma_m$  πρέπει να χρησιμοποιείται ως οπτικό πεδίο προς υπολογισμό του μέσου όρου. Το επίσημο όριο μεταξύ ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι τα  $780 \text{ nm}$  όπως καθορίζεται από την CIE. Η στήλη με τα ονόματα των ζωνών μήκους κύματος παρατίθεται μόνο για να εξασφαλιστεί η πληρέστερη κατανοήση του θέματος. (Ο συμβολισμός G χρησιμοποιείται από την CEN, ο συμβολισμός L χρησιμοποιείται από την CIE και ο συμβολισμός  $L_p$  από τις IEC και CENELEC.)  
 γ) Για μήκη κύματος από  $1\ 400$  ως  $10^5 \text{ nm}$ : διάμετρος ανοίγματος =  $3,5 \text{ mm}$ . Για μήκη κύματος από  $10^5$  ως  $10^6 \text{ nm}$ : διάμετρος ανοίγματος =  $11 \text{ mm}$ .  
 δ) Για τη μέτρηση της τιμής έκθεσης, το  $\gamma$  προσδιορίζεται ως ακολούθως: Εάν  $\alpha$  (η γωνιακή υποτέμνουσα της πηγής)  $> \gamma$  (η περιοριστική γωνία κωνού οπτικού πεδίου μέτρησης, οι τιμές της οσίας παρέχονται εντός παρενθέσεων στην αντίστοιχη στήλη), τότε το οπτικό πεδίο μέτρησης  $\gamma_m$  λαμβάνει την παρέρχουσα για το  $\gamma$  τιμή. (Εάν χρησιμοποιηθεί ευρύτερο οπτικό πεδίο μέτρησης, τότε ο κίνδυνος θα υπερεκτιμηθεί). Εάν  $\alpha < \gamma$ , τότε το οπτικό πεδίο μέτρησης  $\gamma_m$  πρέπει να είναι αρκετά ευρύ για να περιλάβει πλήρως την πηγή, αλλά πέραν αυτού δεν περιορίζεται και μπορεί να λάβει τιμή μεγαλύτερη του  $\gamma$ .

Πίνακας 2.4

## Οριακές τιμές έκθεσης για την έκθεση του δέρματος σε ακτινοβολία λέιζερ

Μήκος κύματος <sup>a)</sup> [nm]	Άνοιγμα	Διάρκεια [s]			
		$< 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^1 - 10^3$
UV (A, B, C)	3,5 mm				$10^3 - 3 \cdot 10^4$
Ορατή ακτινοβολία & IR A	400 - 700	$E = 3 \cdot 10^{10} [W m^{-2}]$	ισχύουν οι ίδιες οριακές τιμές έκθεσης όπως για την έκθεση του σφραδαλιού		
	700 - 1 400	$E = 2 \cdot 10^{11} [W m^{-2}]$	$H = 200 C_A$ $[J \cdot m^{-2}]$	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A t^{0,25} [J m^{-2}]$	$E = 2 \cdot 10^7 C_A [W m^{-2}]$
IRB & IRC	1 400 - 1 500	$E = 10^{12} [W m^{-2}]$	ισχύουν οι ίδιες οριακές τιμές έκθεσης όπως για την έκθεση του σφραδαλιού		
	1 500 - 1 800	$E = 10^{13} [W m^{-2}]$			
	1 800 - 2 600	$E = 10^{12} [W m^{-2}]$			
	2 600 - 10 <sup>6</sup>	$E = 10^{11} [W m^{-2}]$			

a) Εάν στο μήκος κύματος του λέιζερ ή σε κάποια άλλη συνθήκη λειτουργίας αυτού αντιστοιχούν δύο όρια, τότε ισχύει το πιο περιοριστικό από αυτά.

Πίνακας 2.5

## Χρησιμοποιούμενοι συντελεστές διόρθωσης και άλλες παράμετροι υπολογισμού

Παράμετρος όπως αναφέρεται στην ICNIRP	Ισχύουσα φασματική περιοχή (nm)	Τιμή
$C_A$	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700 — 1 050	$C_A = 10^{0,002(\lambda - 700)}$
	1 050 — 1 400	$C_A = 5,0$
$C_B$	400 — 450	$C_B = 1,0$
	450 — 700	$C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$
$C_C$	700 — 1 150	$C_C = 1,0$
	1 150 — 1 200	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1 150)}$
	1 200 — 1 400	$C_C = 8,0$
$T_1$	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450 — 500	$T_1 = 10 \cdot [10^{0,02(\lambda - 450)}] \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
Παράμετρος όπως αναφέρεται στην ICNIRP	Ισχύει για βιολογικό αποτέλεσμα	Τιμή
$a_{\min}$	όλα τα θερμικά αποτελέσματα	$a_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
Παράμετρος όπως αναφέρεται στην ICNIRP	Ισχύουσα περιοχή γωνιών (mrad)	Τιμή
$C_E$	$\alpha < a_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$a_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha/a_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2/(a_{\min} \cdot a_{\max}) \text{ mrad}$ όπου $a_{\max} = 100 \text{ mrad}$
$T_2$	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(\alpha - 1,5) / 98,5}] \text{ s}$
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$

Παράμετρος όπως αναφέρεται στην ICNIRP	Ισχύουσα περιοχή διάρκειας έκθεσης (s)	Τιμή
γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11$ [mrad]
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5}$ [mrad]
	$t > 10^4$	$\gamma = 110$ [mrad]

Πίνακας 2.6

**Διορθώσεις για επαναλαμβανόμενη έκθεση**

Σε όλες τις περιπτώσεις επαναλαμβανόμενης έκθεσης που προέρχεται από συστήματα λέιζερ επαναληπτικών παλμών ή από συστήματα λέιζερ σάρωσης θα πρέπει να εφαρμόζονται οι εξής τρεις γενικοί κανόνες:

1. Η έκθεση που προέρχεται από ένα μόνον παλμό μιας παλμοσειράς δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή έκθεσης που ισχύει για ένα μόνον παλμό ίσης διάρκειας.
2. Η έκθεση που προέρχεται από κάθε ομάδα παλμών (ή υποομάδα παλμών μιας παλμοσειράς) που εκπέμπονται εντός χρονικού διαστήματος  $t$  δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή έκθεσης που ισχύει για χρονικό διάστημα  $t$ .
3. Η έκθεση που προέρχεται από ένα μόνον παλμό εντός μιας ομάδας παλμών δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή έκθεσης που ισχύει για ένα μόνον παλμό πολλαπλασιασμένη επί ένα συντελεστή αθροιστικής θερμικής διόρθωσης  $C_p = N^{-0,25}$ , όπου  $N$  είναι ο αριθμός των παλμών. Ο κανόνας αυτός ισχύει μόνον για τις οριακές τιμές έκθεσης που αποσκοπούν στην προστασία από θερμική βλάβη, όπου όλοι οι παλμοί που εκπέμπονται εντός χρονικού διαστήματος μικρότερου του  $T_{min}$  λογίζονται σαν ένας και μόνον παλμός.

Παράμετρος	Ισχύουσα φασματική περιοχή (nm)	Τιμή
$T_{min}$	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{min} = 10^{-9}$ s (= 1 ns)
	$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$T_{min} = 18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 μs)
	$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$T_{min} = 50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 μs)
	$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	$T_{min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	$T_{min} = 10$ s
	$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	$T_{min} = 10^{-3}$ s (= 1 ms)
	$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{min} = 10^{-7}$ s (= 100 ns)