

# ΦΩΣ

**Λουκάς Γ. Χριστοφόρου**

*Ακαδημία Αθηνών, Πανεπιστημίου 28, Αθήνα 106 79  
christophorou@academyofathens.gr*

Ευχαριστώ τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Διονύσιο Κόκκινο, Πρόεδρο του Σώματος Ομοτίμων Καθηγητών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών για την τιμητική πρόσκληση να μιλήσω σήμερα σε αυτόν τον όμορφο και ιστορικό χώρο, σε ένα τόσο εκλεκτό ακροατήριο.

Σεβασμιότατε εκπρόσωπε του Μακαριωτάτου Αρχιεπισκόπου Αθηνών και Πάσης Ελλάδος, Κύριε Πρύτανη, Κύριοι Συνάδελφοι, Κυρίες και Κύριοι,

Το έτος 2015 έχει προκηρυχθεί από τα Ηνωμένα Έθνη ως το "Διεθνές Έτος Φωτός και των Τεχνολογιών Φωτός" (The International Year of Light and Light-based Technologies). Θέμα λοιπόν της ομιλίας μου είναι το **φως**.

Θα σκιαγραφήσω τη γνώση και την ποικιλία των φαινομένων που σχετίζονται με το φως και τη σημασία του φωτός στη σύγχρονη τεχνολογία.

Η γνώση την οποία έχουμε για το φως είναι ένα ξεχωριστό δώρο σε μας γιατί με αυτή τη γνώση απεικονίζεται άμεσα ή έμμεσα ο φυσικός κόσμος στα μάτια και τη διάνοησή μας.

Στην απόλυτη αρχή του σύμπαντος, 13,8 δισεκατομμύρια έτη στο παρελθόν, όλα ήσαν ασύλληπτα πυκνή ύλη ενέργεια: ΦΩΣ· ορατό και αόρατο ΦΩΣ. Στο πρωταρχικό, αρχέγονο αυτό φως υπήρχε ό,τι είναι αναγκαίο για την εξέλιξη του σύμπαντος και της ζωής. Από αυτό, το πρωταρχικό φως, μέσω των αέναων μετασχηματισμών του, προήλθαν όλες οι μορφές της ενέργειας και της ύλης που έκτοτε υπήρξαν και που σήμερα υπάρχουν. Το φως διαμόρφωσε την εξέλιξη του σύμπαντος και διαμορφώθηκε από αυτή. Η αέναη αλλαγή οδήγησε σε έναν κόσμο δισεκατομμύρια δισεκατομμυρίων αστερών, σε "άπειρα" φώτα (Εικόνα 1).



**Εικόνα 1:** Η επιστήμη δείχνει ότι υπάρχουν γύρω μας «άπειρα» φώτα (Star cluster NGC 290, [1]).

Σε αυτόν τον απέραντο κόσμο, από όσα ως σήμερα επιστημονικά γνωρίζουμε, το φως οδήγησε στον άνθρωπο σε ένα μόνο πλανήτη, τη Γη (Εικόνα 2). Σε αυτόν τον πλανήτη, ο άνθρωπος και η όλη ζωή υποβαστάζονται από το φως, μάλιστα από το φως ενός κυρίως αστέρος, του Ήλιου.



**Εικόνα 2:** Περισσότεροι από επτά δισεκατομμύρια άνθρωποι ζουν στη Γη σήμερα.

\*

**Τι είναι το φως;** Είναι δύσκολο να απαντήσει κανείς στην ερώτηση αυτή γιατί δεν είναι εύκολο να ορίσει κανείς το φως.

Η φυσική επιστήμη περιγράφει το φως με την απαρίθμηση των ιδιοτήτων του και τη θεμελίωσή τους σε απλές αρχές, έννοιες και θεωρίες. Στη φυσική, λοιπόν, μαθαίνουμε για το φως με διάφορους τρόπους. Δύο τέτοιοι θεμελιώδεις τρόποι είναι: (1) *Οι μηχανισμοί της φύσης που παράγουν το φως, δηλαδή οι πηγές του φωτός και (2) οι μηχανισμοί της φύσης που περιγράφουν τις αντιδράσεις του φωτός με τη μικροσκοπική και τη μακροσκοπική ύλη και με τους οργανισμούς.*

Ωστόσο, πριν δούμε τον πλούτο αυτών των φαινομένων, ας εστιάσουμε την προσοχή μας σε δύο γενικώς αποδεκτές φυσικές θεωρήσεις για το φως, την *κυματική και τη σωματιδιακή θεώρηση*. Η πρώτη θεώρηση περιγράφει το φως ως ένα είδος κυματικής κίνησης και η δεύτερη ως σωματίδια που κινούνται με πολύ υψηλή ταχύτητα. Η πληρέστερη κατανόηση του φωτός επιβάλλει την αποδοχή και των δύο θεωρήσεων, γιατί οι δύο αυτές θεωρήσεις περιγράφουν συμπληρωματικές ιδιότητες μίας και της αυτής οντότητας που ονομάζουμε φως· ωστόσο, η γνώση αυτή δεν απαντά στην ερώτηση «*τι είναι το φως;*»

Η κυματική φύση του φωτός αναγνωρίστηκε και θεμελιώθηκε πριν από 200 περίπου χρόνια (με πρωταγωνιστές τους Christian Huygens, Thomas Young and Augustin Jean Fresnel). Η πειραματική επιστήμη ανακάλυψε ότι:

— Το φως ανακλάται, διαθλάται (αλλάζει κατεύθυνση όταν μεταδίδεται από ένα μέσο σε ένα άλλο διαφορετικής ταχύτητας), και περιθλάται (όταν συναντήσει μικρά αντικείμενα, εισέρχεται στην περιοχή πίσω τους).

— Τα κύματα του φωτός παρουσιάζουν το φαινόμενο της συμβολής (δηλαδή ενισχύουν ή εξασθενίζουν ή ακόμη εκμηδενίζουν το ένα το άλλο όταν περνούν μέσα από τον ίδιο χώρο την ίδια στιγμή)· τα κύματα του φωτός είναι εγκάρσια (το επίπεδο των ταλαντώσεών τους είναι κάθετο προς τη διεύθυνση διάδοσής τους) και μπορούν να πολωθούν (οι ταλαντώσεις τους να γίνονται σε ένα ορισμένο επίπεδο).

— Το λευκό φως μπορεί να αναλυθεί σε διάφορα χρώματα που αντιστοιχούν σε κύματα με διαφορετικό μήκος κύματος, κύματα με διαφορετική συχνότητα.

— Το μονοχρωματικό φως είναι σύμφωνο (δηλαδή υπάρχει μία προβλεπόμενη συσχέτιση μεταξύ του εύρους και της φάσης ενός σημείου του κύματος και οιοδήποτε άλλου σημείου του κύματος).

Αυτά και άλλα πειραματικά δεδομένα εξηγούνται με την κυματική θεώρηση του φωτός. *Τι είδους κύμα όμως είναι το φως;*

\*

Πρώτος ο James Maxwell απέδειξε θεωρητικά ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα (ένας συνδυασμός μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου), το οποίο μεταδίδεται με μία καθορισμένη ταχύτητα, που αργότερα μετρήθηκε και βρέθηκε ίση με περίπου 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο στο κενό, και πρώτος ο Heinrich Hertz επιβεβαίωσε πειραματικά την ηλεκτρομαγνητική φύση του φωτός. Η σχέση μεταξύ του φωτός και του ηλεκτρομαγνητισμού θεμελιώθηκε περαιτέρω αργότερα με τις ανακαλύψεις των επιδράσεων μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων στο φως, τα γνωστά, αντιστοίχως, φαινόμενα Zeeman and Kerr.

Ο Maxwell ήταν βαθύς γνώστης των τότε νόμων των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων, ιδιαίτερα των ανακαλύψεων του Faraday και της έννοιας του "πεδίου" όπως διατυπώθηκε από τον Faraday, επίσης των νόμων του Coulomb, του Ampere και του Gauss, και σύνθεσε την τότε επιστημονική γνώση με ένα όντως εντυπωσιακό τρόπο, τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού που συνοψίζονται στην Εικόνα 3 [2].

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = Q/\epsilon_0$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -d\Phi_B/dt$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I + (\mu_0 \epsilon_0) d\Phi_E/dt.$$

**Εικόνα 3:** Εξισώσεις Maxwell.

Οι εξισώσεις αυτές του Maxwell δημοσιεύθηκαν το 1864 και περιγράφουν το φως ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος. Στις εξισώσεις αυτές οι σταθερές  $\mu_0$  (permeability of free space) και  $\epsilon_0$  (permittivity of free space), καθορίζουν μία άλλη θεμελιώδη σταθερά, την ταχύτητα του φωτός,  $c$ , στο κενό,  $c = 1/(\mu_0 \epsilon_0)^{1/2}$ .

Το 1905, η ηλεκτρομαγνητική (κυματική) θεώρηση του Maxwell συμπληρώθηκε με τη σωματιδιακή (φωτονική) θεώρηση του φωτός, την κβαντική θεωρία του φωτός του Einstein, στηριγμένη στη θεωρία του Planck για την κβάντωση της ενέργειας (1900) και την αξιωματική αποδοχή από τον Einstein ότι η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή και η μέγιστη δυνατή που μπορεί να έχει ένα σώμα ή σήμα στη φύση. Πέρασαν

από τότε 110 χρόνια και η υπόθεση αυτή – ότι η ταχύτητα του φωτός είναι η απροσπέλαστη σταθερά της φύσης – παραμένει αληθής παρά τις πολλές προσπάθειες, ακόμη, τελευταία, και τα πειράματα στο CERN [3], να αποδείξουν το εναντίον.

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός ερμηνεύει τη συμπεριφορά του φωτός υψηλής έντασης και τις αντιδράσεις του φωτός με τη μακροσκοπική ύλη και περιγράφει ικανοποιητικά τις παρατηρήσεις, τα φυσικά φαινόμενα και τα πειραματικά δεδομένα υπό αυτές τις συνθήκες. Ωστόσο, η κυματική θεώρηση του φωτός δεν είναι ικανή να ερμηνεύσει όλα τα φυσικά φαινόμενα που αφορούν στο φως, μάλιστα τις αντιδράσεις φωτός πολύ μικρής έντασης με μεμονωμένα άτομα και μόρια. Αυτό οφείλεται στο ότι η κυματική θεώρηση δεν μπορεί να ερμηνεύσει τις ιδιότητες του φωτός οι οποίες οδήγησαν στη διατύπωση της κβαντικής θεωρίας του φωτός από τους Max Planck και Albert Einstein. Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του φωτός, το φως εκπέμπεται από την πηγή του υπό μορφή σωματιδίων με μικροσκοπικές διακεκριμένες ποσότητες ενέργειας, τα φωτόνια, τα οποία ευθύς ως παραχθούν μετακινούνται στον κενό χώρο με την ίδια μέγιστη δυνατή ταχύτητα, ανεξάρτητα από την ενέργειά τους. Ακίνητα φωτόνια δεν υπάρχουν· το φως πάντοτε κινείται. Τα φωτόνια, είναι χωρίς «μάζα ηρεμίας», αλλά αποκτούν μάζα λόγω της μεγάλης τους ταχύτητας και αντιδρούν με την ύλη ως υλικά σωματίδια.

Το φως, λοιπόν, δεν είναι μόνο ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο κινείται με μία καθορισμένη μέγιστη δυνατή ταχύτητα ( $c$ ) και, ανάλογα με την ενέργειά του, με μία καθορισμένη συχνότητα ( $\nu$ ) και ένα καθορισμένο μήκος κύματος ( $\lambda$ ). Το φως είναι επίσης ένα σωματίδιο το οποίο, αν και κινείται με την ίδια μέγιστη δυνατή ταχύτητα ( $c$ ), έχει μία καθορισμένη ενέργεια ( $E = h\nu$ , όπου  $h$  είναι η σταθερά του Planck), μία καθορισμένη ορμή ( $p = E/c = h\nu/c$ ) και ένα καθορισμένο υλικό κύμα ( $\lambda = h/mv$ ). Κλασικά αρχικά παραδείγματα που αποδεικνύουν τη σωματιδιακή θεώρηση του φωτός είναι εκείνα του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και του φαινομένου Compton.

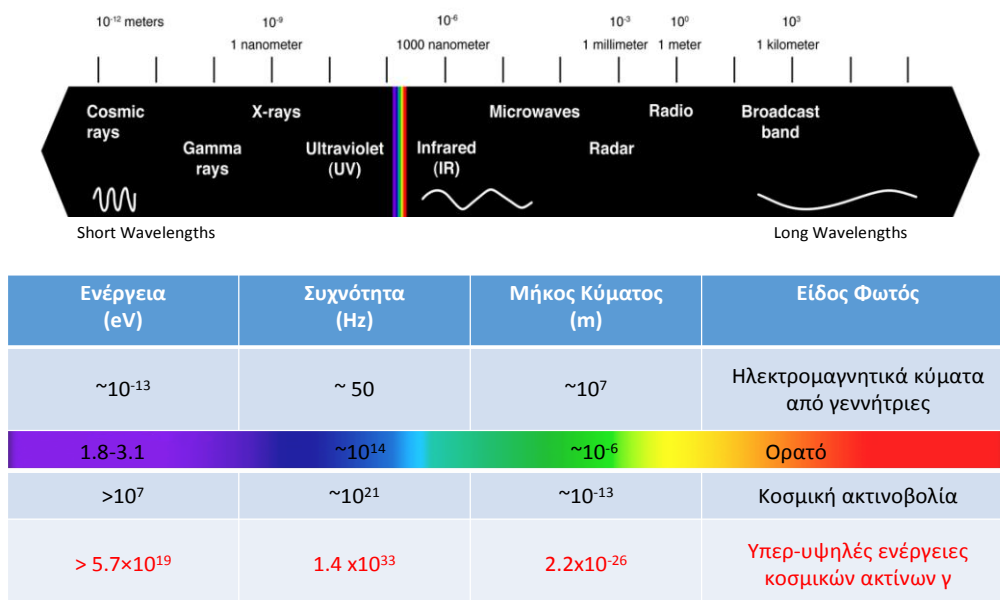
Το φως ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα ανακλάται, διαθλάται και περιθλάται· το φως ως σωματίδιο ανταλλάσσεται, σκεδάζεται, και εξαφανίζεται (απορροφάται) στις αντιδράσεις του με τα συστατικά της ύλης και εμφανίζεται υπό άλλη μορφή ενέργειας, όπως λ.χ. ως θερμική, χημική, ηλεκτρική, κ.λπ. Το πείραμα επαληθεύει πλήρως αυτήν τη συμπληρωματικότητα σε ό,τι αφορά στις αντιδράσεις του φωτός στη φύση.

Στην ομιλία μου θα χρησιμοποιήσω τον όρο φως με την ευρεία έννοια, ώστε να συμπεριλάβει ακτινοβολία φωτός σε όλα τα μήκη κύματος.



Τα διάφορα είδη φωτός λοιπόν αντιστοιχούν σε διαφορετικά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και συνεπώς σε φωτόνια με διαφορετικές ενέργειες. Τα μήκη κύματος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (και οι αντίστοιχες συχνότητες και ενέργειες) καλύπτουν μία τεράστια κλίμακα. Τα μήκη κύματος εκτείνονται από 10 εκατομμύρια μέτρα στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που δημιουργούνται κατά τη μεταφορά εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος και φτάνουν μέχρι μερικά χιλιοστά του τρισεκατομμυριοστού του μέτρου ( $10^{-15}$  μέτρα) στα κύματα των κοσμικών φωτονίων. Οι συχνότητες (ο αριθμός των ταλαντώσεων του κύματος σε ένα δευτερόλεπτο) εκτείνονται αντιστοίχως από 50 Hz (50 ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο, 50 κύκλους) μέχρι  $10^{23}$  Hz (μέχρι περίπου 1 τρισεκατομμύριο τρισεκατομμυρίων ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο). Τα μήκη κύματος (και οι αντίστοιχες συχνότητες και ενέργειες) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων / φωτονίων μεταβάλλονται κατά ένα παράγοντα μεγαλύτερο από  $10^{22}$ . Εάν μάλιστα λάβουμε υπόψη και τις υπερ-υψηλές ενέργειες των κοσμικών ακτίνων  $\gamma$  που μετρήθηκαν τελευταία [4], τότε τα μήκη κύματος (και οι αντίστοιχες συχνότητες και ενέργειες) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων / φωτονίων μεταβάλλονται κατά ένα παράγοντα μεγαλύτερο από  $10^{33}$  (μεγαλύτερο από 1 ακολουθούμενο από 33 μηδενικά).

Σε αυτό το τεράστιο φάσμα του φωτός, το τμήμα του φάσματος στο οποίο αντιστοιχεί το ορατό φως είναι μηδαμινό. *Σχεδόν όλο το φως είναι αόρατο* (Εικόνα 4).



**Εικόνα 4:** Είδη ορατού και αόρατου φωτός: ενέργεια, συχνότητα, μήκος κύματος.

Τα διάφορα τμήματα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αναφέρονται σε ακτινοβόλο ενέργεια η οποία είναι συνδεδεμένη με τον τρόπο με τον οποίο

το φως έχει παραχθεί στη συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι, συνηθίζεται να ονομάζεται το φως ανάλογα με τον χαρακτηριστικό τρόπο παραγωγής του (λ.χ., μικροκύματα, θερμική ακτινοβολία, ακτίνες γ), ή ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο διεγέρθηκε το σύστημα (άτομο, μόριο, πυρήνας, κ.λπ.) το οποίο εκπέμπει το φως.

— Φως παράγεται όταν ηλεκτρόνια ή άλλα φορτισμένα σωματίδια επιβραδύνονται. Ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητα ίση με εκείνη της γεννήτριας (συνήθως 50 ή 60 Hz). Λυχνίες κενού και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μέχρι  $10^{11}$  Hz (μέχρι 100 δισεκατομμύρια ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο). Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συχνότητα μεγαλύτερη από  $10^{11}$  Hz παράγεται με φυσικούς τρόπους ως εκπομπή φωτονίων από την αποδιέγερση διεγερμένων μορίων, ατόμων, πυρήνων, κ.ο.κ. Οι ενέργειες των φωτονίων που εκπέμπονται όταν αποδιεγερθούν τα διεγερμένα αυτά σωματίδια της ύλης εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων. Για παράδειγμα, διεγερμένοι πυρήνες εκπέμπουν κατά κανόνα μεγαλύτερης ενέργειας φωτόνια από διεγερμένα άτομα, και διεγερμένα άτομα εκπέμπουν κατά κανόνα μεγαλύτερης ενέργειας φωτόνια από διεγερμένα μόρια. Ανεξάρτητα από το πόσο μεγάλη είναι η ενέργεια των φωτονίων, μόνο σωματίδια που είναι διεγερμένα, που έχουν επί πλέον ενέργεια και είναι επομένως μετασταθή, εφήμερα, μπορούν να εκπέμψουν φως.

— Φως με μήκη κύματος από, περίπου 25 μικρά (25 εκατομμυριοστά του μέτρου) μέχρι και το ερυθρό χρώμα του ορατού φάσματος γύρω στα 0,7 μικρά ονομάζεται *υπέρυθρο φως* και παράγεται κατά την αποδιέγερση σταθμών περιστροφής και ταλάντωσης των μορίων.

— Φως με μήκη κύματος από το ερυθρό όριο του υπέρυθρου γύρω στα 0,7 μικρά μέχρι, περίπου, 0,4 μικρά λέγεται *ορατό φως*. Φως με μήκη κύματος στην περιοχή του φάσματος από, περίπου, 0,4 μικρά μέχρι, περίπου, 0,2 μικρά λέγεται *υπεριώδες φως*. Και τα δύο αυτά είδη φωτός προέρχονται από τις αποδιεγέρσεις των διεγερμένων ηλεκτρονίων που κινούνται στις εξωτερικές τροχιές των μορίων και μερικών ατόμων.

— Φως με μήκη κύματος μεταξύ, περίπου, 0,2 μικρά μέχρι, περίπου, 0,01 μικρά είναι γνωστό ως *υπεριώδες φως στο κενό* (vacuum ultraviolet) και εκπέμπεται από τις αποδιεγέρσεις των ηλεκτρονίων που κινούνται στις εξωτερικές τροχιές των ατόμων και των μορίων. Το υπεριώδες στο κενό είναι αόρατο φως. Αόρατο είναι επίσης όλο το φως που εκτείνεται σε μικρότερα μήκη κύματος.

— Φως που εκπέμπεται από την αποδιέγερση ηλεκτρονίων στους εσωτερικούς φλοιούς των ατόμων ονομάζεται *χαρακτηριστική ακτινοβολία X*.

- Φως που εκπέμπεται από την επιβράδυνση ελεύθερων ηλεκτρονίων ή άλλων φορτισμένων σωματιδίων με μήκη κύματος  $10^{-8}$  και  $10^{-10}$  μέτρα λέγεται *μπρεμστράλουνγκ* (Bremsstrahlung) ή *ακτινοβολία ακτίνων X με συνεχές φάσμα*.
- Φως που γεννάται από την αποδιέγερση διεγερμένων πυρήνων ή από ραδιενεργούς πυρήνες είναι γνωστό ως *ακτίνες γ* και η ενέργειά του είναι μεγάλη (τα αντίστοιχα μήκη κύματος μεταξύ  $10^{-10}$  και  $10^{-13}$  μέτρα).
- Φως που προέρχεται από τον διαστρικό χώρο με πολύ υψηλές ενέργειες μέχρι 1 δισεκατομμύριο ηλεκτρονιοβόλτ (GeV) (μήκη κύματος  $< 10^{-15}$  μέτρα) ονομάζεται *κοσμική ακτινοβολία*.
- Φως που παράγεται από την εκμηδένιση, εξαύλωση (annihilation) ενός ηλεκτρονίου ( $e^-$ ) και ενός ποζιτρονίου ( $e^+$ , ηλεκτρόνιο με θετικό φορτίο) ( $e^- + e^+ \rightarrow$  φως) – και γενικότερα από την εξαύλωση ύλης και αντιύλης – είναι γνωστό ως *ακτινοβολία εξαύλωσης* (annihilation radiation).
- Φως που παράγεται κατά την ακτινοβόλο σύλληψη ηλεκτρονίων από άτομα ( $A$ ) (ακτινοβόλος σύλληψη, radiative attachment,  $e^- + A \rightarrow A^- + h\nu$ ) είναι γνωστό ως *συνεχές φάσμα ακτινοβόλου σύλληψης* (radiative attachment continuum) και φως που παράγεται κατά την επανασύνδεση θετικών ( $A^+$ ) και αρνητικών ( $B^-$ ) ιόντων ( $A^+ + B^- \rightarrow AB + h\nu$ ) ή κατά την επανασύνδεση ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων ( $e^- + A^+ \rightarrow A + h\nu$ ) είναι γνωστό ως *φως (φωταύγεια) επανασύνδεσης* (recombination luminescence).
- Φως που παράγεται από διάφορα υλικά όταν διεγερθούν από φως χαμηλής ενέργειας (μικρότερης από την ενέργεια ιονισμού του υλικού) είναι γνωστό ως *φωταύγεια* (luminescence), *φθορισμός* (fluorescence), *φωσφορισμός* (phosphorescence) ανάλογα με τη φύση του συστήματος και την ηλεκτρονική στάθμη που εκπέμπει το φως.
- Φως που εκπέμπεται από μετασταθή διεγερμένα δυμόρια ή από μετασταθή διεγερμένα δυάτομα λέγεται *εκπομπή excimer*, όπως το φως των excimer λέιζερς.
- Φως που εκπέμπεται από υλικά που έχουν διεγερθεί μέσω χημικών αντιδράσεων, μέσω βιολογικών αντιδράσεων, με τριβή, με θερμότητα, ή με εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου είναι γνωστό, αντιστοίχως, ως *χημιφωταύγεια* (chemiluminescence), *βιοφωταύγεια* (bioluminescence), *τριβοφωταύγεια* (triboluminescence), *θερμοφωταύγεια* (thermoluminescence) και *ηλεκτροφωταύγεια* (electroluminescence).
- Φως που εκπέμπουν γενικά όλα τα σώματα ανεξάρτητα από τη σύνθεσή τους και αποκλειστικά λόγω της θερμοκρασίας τους (δηλαδή, φως το οποίο εκπέμπουν όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν) ονομάζεται *ακτινοβολία μελανού σώματος* (blackbody radiation).



— Φως που προέρχεται από το διάστημα και που έχει εκπεμφθεί από το σύμπαν πριν δισεκατομμύρια χρόνια και που σήμερα αντιστοιχεί σε θερμοκρασία μελανού σώματος 2,7 βαθμών Kelvin ονομάζεται *κοσμική ακτινοβολία περιβάλλοντος* (cosmic background radiation). Αυτό το φως καταγράφει την αρχική ιστορία του σύμπαντος.

\*

Είδαμε ότι όλα τα σώματα – μικρά ή μεγάλα – εκπέμπουν φως. Κατά αντίστροφο τρόπο, όλα τα σώματα, μικρά ή μεγάλα, απορροφούν το φως. Κατ' αρχή, κάθε φυσική αντίδραση που παράγει φως μπορεί να αντιστραφεί και να απορροφήσει το φως.

— Φως μπορεί να απορροφηθεί από άτομα, μόρια, πυρήνες, από τη μακροσκοπική ύλη και από κάθε άλλο αντικείμενο και να εξαφανιστεί. Όταν, για παράδειγμα, φωτόνια απορροφώνται από τα μόρια, μπορεί να διεγερθούν οι περιστροφικές κινήσεις των ατόμων τους, οι ταλαντώσεις των ατόμων τους, τα ηλεκτρόνιά τους, ένα ή περισσότερα από τα ηλεκτρόνιά τους να απομακρυνθούν από το μόριο, ή ακόμα το μόριο μπορεί να διασπασθεί σε ουδέτερα ή φορτισμένα θραύσματα. Οι πιθανότητες με τις οποίες διεγείρονται οι διάφορες στάθμες ενέργειας των ατόμων και των μορίων είναι χαρακτηριστικές αυτών τούτων των ατόμων και μορίων, και ως εκ τούτου τα λεγόμενα οπτικά φάσματα των ατόμων και των μορίων συνιστούν τα «δακτυλικά τους αποτυπώματα». Αυτά τα χαρακτηριστικά οπτικά φάσματα αποτελούν τη βάση πολλών αναλυτικών μεθόδων για την αναγνώριση των διάφορων συστατικών της ύλης και την ανίχνευση χημικών ουσιών στο περιβάλλον.

— Όταν η ενέργεια των φωτονίων είναι μεγαλύτερη από μία ορισμένη τιμή (μεγαλύτερη από 2 φορές τη μάζα ηρεμίας του ηλεκτρονίου, ίση με  $1,02 \text{ MeV} = 2 m_0 c^2$ ) τα φωτόνια μπορούν να εξαφανισθούν στο πεδίο των πυρήνων των ατόμων και στη θέση τους να εμφανισθεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίων (ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόνιο) (Εικόνα 5). Αυτή η αντίδραση του φωτός έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί η ενέργεια (το «άυλο» φωτόνιο) εξαφανίζεται και δημιουργείται στη θέση της ύλη. *Υλοποιείται η ενέργεια όπως ακριβώς εξαϋλώνεται η ύλη στην αντίστροφη αντίδραση, όπως ανέφερα νωρίτερα.*



$$h\nu (> 1,02 \text{ MeV} = 2 m_0 c^2) \rightarrow e^- + e^+$$

Υλοποιείται το φως.

**Εικόνα 5:** Υλοποιείται το φως.

— Είναι επί πλέον δυνατόν ένα φωτόνιο να εξαφανισθεί (να απορροφηθεί) στη σύγκρουσή του με άτομα και μόρια και στη θέση του να παραχθούν διαφόρων ειδών θετικά και αρνητικά σωματίδια, όπως ζεύγη ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων ( $h\nu + A \rightarrow A^+ + e^-$ ), ή ζεύγη θετικών και αρνητικών ιόντων ( $h\nu + AB \rightarrow A^+ + B^-$ ).

— Το φως αντιδρά με το φως, το φως αντιδρά με ηλεκτρικά πεδία, το φως αντιδρά με μαγνητικά πεδία.

— Το φως απορροφάται από τη χλωροφύλλη και μετατρέπεται σε χημική ενέργεια. Μέσω της φωτοσύνθεσης τα φυτά μετατρέπουν φως σε χημική ενέργεια. Υπολογίζεται ότι με αυτόν τον μηχανισμό τα φυτά παράγουν κάθε χρόνο πάνω από 100 δισεκατομμύρια τόνους (metric tons) άνθρακα υπό μορφή υδρογονανθράκων [5].

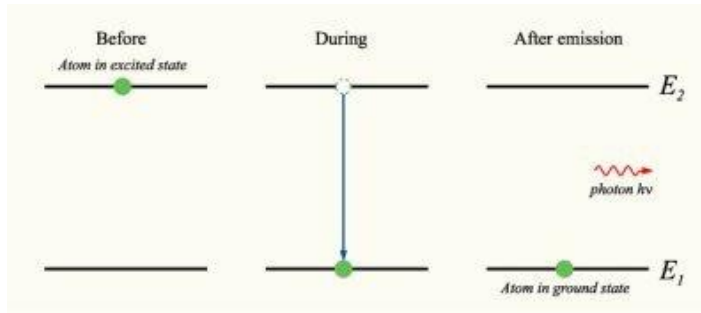
— Το φως, ακόμα, απορροφάται από το σώμα μας και μας ζεσταίνει.

*Όντως είναι αναρίθμητοι οι μηχανισμοί των αντιδράσεων του φωτός με την ύλη και οι μετασχηματισμοί του φωτός σε άλλες μορφές ενέργειας. Οι μηχανισμοί των αντιδράσεων του φωτός με την ύλη εξαρτώνται από το είδος του φωτός, την ενέργειά του και τη διαμόρφωσή του καθώς και από το είδος και την κατάσταση της ύλης με την οποία αντιδρά και επηρεάζει.*

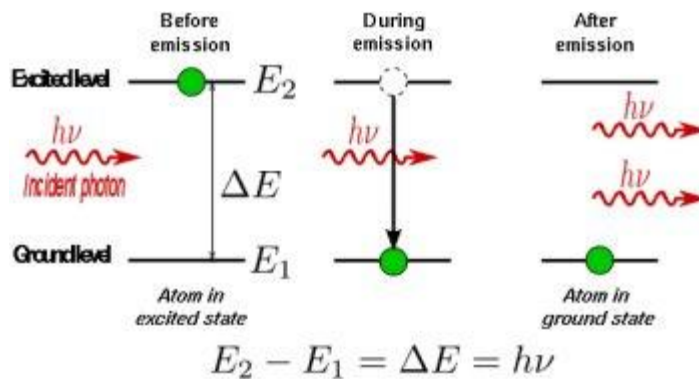
\*

Η σύγχρονη επιστήμη ανακάλυψε και άλλους τρόπους παραγωγής φωτός και εφηύρε και τελειοποίησε νέους τρόπους παραγωγής φωτός με ασυνήθιστες ιδιότητες. Δύο τέτοιοι νέοι τρόποι παραγωγής φωτός είναι η ακτινοβολία των **λέιζερ** (1960) και η **ακτινοβολία του σύγχροτρου** (synchrotron radiation) (1946).

Διεγερμένα άτομα αποδιεγείρονται αυτόματα (spontaneously) και εκπέμπουν φως με ενέργεια  $h\nu$  όπως δείχνει η Εικόνα 6α. Η φάση και η κατεύθυνση των εκπεμπόμενων φωτονίων είναι τυχαίες.



Εικόνα 6α: Αυτόματη εκπομπή (Spontaneous emission).

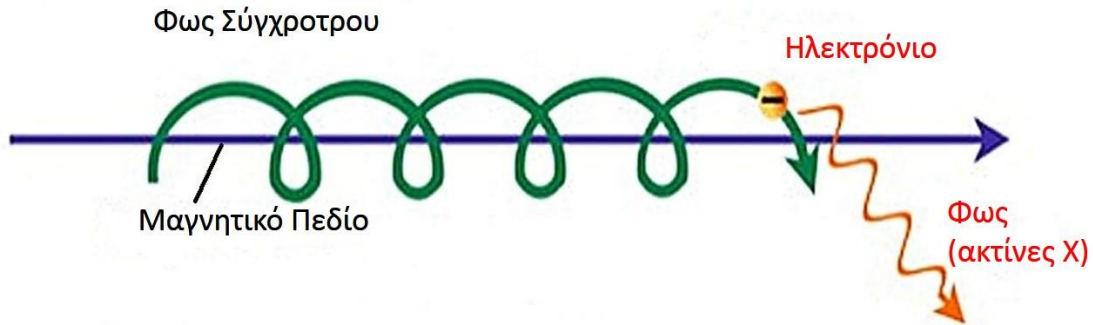


Εικόνα 6β: Εξαναγκαστική εκπομπή (Stimulated emission) [6].

Όταν όμως το διεγερμένο άτομο διαταραχθεί από το ηλεκτρικό πεδίο ενός φωτονίου με την ίδια συχνότητα  $\nu$ , το διεγερμένο άτομο μπορεί να εκπέμψει δεύτερο φωτόνιο της ίδιας συχνότητας και σε φάση με το πρώτο (και να επανέλθει στη θεμελιώδη του κατάσταση), όπως δείχνει η Εικόνα 6β. Το φως αυτό είναι γνωστό ως *εξαναγκαστική εκπομπή (stimulated emission)*. Αποτελεί την αρχή στην οποία στηρίζεται η τεχνολογία παραγωγής του φωτός των λέιζερς.

Η φωτεινότητα, η μονοχρωματικότητα (monochromaticity) και η χωρική και χρονική συμφωνία (coherence) της δέσμης του φωτός του λέιζερ είναι διακριτικά χαρακτηριστικά αυτής της πηγής φωτός. Σήμερα μάλιστα έχουμε τη δυνατότητα παραγωγής παλμών φωτός λέιζερ διάρκειας  $<10^{-15}$  δευτερολέπτων (διάρκειας μικρότερης του ενός femtosecond, ενός χιλιοστού του τρισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου) και επομένως τη δυνατότητα μελέτης φυσικών φαινομένων τα οποία λαμβάνουν χώρα σε αυτή τη χρονική κλίμακα. Αυτού του είδους έρευνες ανοίγουν το δρόμο για τη θεμελίωση της γνώσης μας πάνω στα αρχικά στάδια των αντιδράσεων μεγάλης ενέργειας φωτονίων και άλλου είδους ιονιζουσών ακτινοβολιών με την ύλη και τις αντίστοιχες εφαρμογές.

Το φως του σύγχροτρου εκπέμπεται όταν μεγάλης κινητικής ενέργειας σωματίδια (ηλεκτρόνια ή πρωτόνια) επιταχύνονται κινούμενα σε ελικοειδείς (spiral) τροχιές υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου από ισχυρούς ηλεκτρομαγνήτες (Εικόνα 7).



**Εικόνα 7:** Το μαγνητικό πεδίο επιταχύνει τα ηλεκτρόνια σε ελικοειδή τροχιά και έτσι τα ηλεκτρόνια εκπέμπουν φως.

Τεράστιες εγκαταστάσεις παραγωγής φωτός σύγχροτρου βρίσκονται σήμερα διασπαρμένες σε πολλές χώρες του κόσμου. Η Εικόνα 8 δείχνει την πηγή φωτός σύγχροτρου στο Brookhaven National Laboratory των ΗΠΑ.



BNL Synchrotron light source

**Εικόνα 8:** Το Σύγχροτρο στο Brookhaven National Laboratory των ΗΠΑ (περιφέρεια 792 μέτρα, ενέργεια 3.0 GeV) [7].

Το φως του σύγχροτου εκτείνεται από το υπέρυθρο ως τις ακτίνες  $X$  και είναι υψηλής έντασης. Είναι η πιο φωτεινή πηγή παλμών ακτίνων  $X$  διάρκειας μικρότερης του ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου (1 ns).

Στις πηγές φωτός λέιζερ και σύγχροτου οφείλει η επιστήμη και η επιστημονική τεχνολογία μεγάλο μέρος της προόδου της σήμερα. Κατέστησαν δυνατές νέες επαναστατικές έρευνες στην περιοχή της φυσικής, της χημείας, της βιολογίας, της ιατρικής, των νάνο-υλικών, της ροής της ενέργειας σε βιολογικά συστήματα, και των κβαντικών φαινομένων που καθιστούν δυνατές νέες τεχνολογίες. **Κατέδειξαν περαιτέρω τη σημασία του φωτός στη μελέτη του φυσικού κόσμου.**

Σήμερα μάλιστα η φωτονική επιστήμη (τα *photonics*) διαμορφώνει το φως ανάλογα με τις ανάγκες της έρευνας και της τεχνολογικής καινοτομίας [8, 9]. "Σφίγγει" (περιορίζει), λόγω χάρη, το φως σε νανο-διαστάσεις και επιτρέπει έτσι τη μελέτη των αντιδράσεων του φωτός με την ύλη και της ροής του φωτός σε διαστάσεις πολύ μικρότερες του μήκους κύματος του φωτονίου. Όταν οι διαστάσεις περιορισμού του φωτός πλησιάσουν εκείνες των κυματικών συναρτήσεων των ηλεκτρονίων στα άτομα, οι αντιδράσεις του φωτός με την ύλη λαμβάνουν χώρα σε χώρους συγκρίσιμους με εκείνους των ατόμων.

Το **κβαντικό φως** έχει διακριτικά χαρακτηριστικά, όπως την κβαντική διεμπλοκή (entanglement) που βρίσκει εφαρμογή στις αναδυόμενες τεχνολογίες των κβαντικών υπολογιστών και των κβαντικών τηλεπικοινωνιών. Αν ο 20<sup>ος</sup> αιώνας στηρίχθηκε εν πολλοίς στις τεχνολογίες του ηλεκτρονίου, ο 21<sup>ος</sup> αιώνας μάλλον θα στηριχθεί στις νέες, ταχύτερες, τεχνολογίες του φωτός,

Παλμοί φωτός χρησιμοποιούνται επίσης σε συνδυασμό με παλμούς χαμηλής ενέργειας ηλεκτρονίων για τη μετατροπή των βασικών ιδιοτήτων της ύλης σε χρονικά διαστήματα μικρότερα του ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου ( $10^{-9}$  s) κατά βούληση. Για παράδειγμα, στο δικό μου εργαστήριο στο Oak Ridge National Laboratory πριν 25 περίπου χρόνια πειραματικές μελέτες ταυτόχρονων αλληλεπιδράσεων φωτονίων και ηλεκτρονίων με διεγερμένα και αδιέγερτα μόρια έδειξαν ότι παλμοί φωτός λέιζερ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταχεία μετατροπή υλικών από αγώγιμα σε μονωτικά και αντιστρόφως – σε χρονικά διαστήματα της τάξης των  $10^{-9}$  s [10].

Γενικότερα, το φως αποτελεί σήμερα τη βάση των σπουδαιότερων τεχνολογιών πάνω στις οποίες στηρίζεται η σημερινή κοινωνία. Κλασικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών τα οποία άλλαξαν τη ζωή μας είναι εκείνα της τηλεόρασης, των μικροκυμάτων, του φωτισμού, της φωτογραφίας, της ακτινογραφίας, της ιατρικής θεραπείας, των ηλεκτρομαγνητικών τηλεπικοινωνιών, της δορυφορικής επικοινωνίας, του διαδικτύου, της



ταχύτατης μεταφοράς πληροφοριών, της αποθήκευσης και μετάδοσης δεδομένων, του Παγκόσμιου Συστήματος Εντόπισης (Global Positioning System), κ.ο.κ.

Το φως ανοίγει νέους δρόμους στην επιστήμη και στη χρήση της επιστημονικής γνώσης για το καλό, αλλά δυστυχώς και για το κακό της ανθρωπότητας. Για παράδειγμα, πολύ μεγάλης ισχύος λέιζερ, είναι δυνατόν να επιτρέψουν, όπως θα περιγράψω παρακάτω, την παραγωγή ενέργειας από πυρηνική σύντηξη με χρήση λέιζερ. Ταυτόχρονα, και αλίμονο!, το φως του λέιζερ χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τα φονικά όπλα του σύγχρονου πολέμου.

Επιτρέψατέ μου, πολύ σύντομα, να αναφέρω μερικά παραδείγματα για το βασικό ρόλο του φωτός στην περιοχή της ενέργειας.

(1) **Φως για φωτισμό.** Υπολογίζεται ότι σήμερα περίπου 25% της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώνει ο άνθρωπος ετησίως δαπανάται για παραγωγή ορατού φωτός. Η κατανομή του στη Γη είναι όμως ανομοιόμορφη (Εικόνα 9). Υπάρχουν λίγα φώτα στην Αφρική.

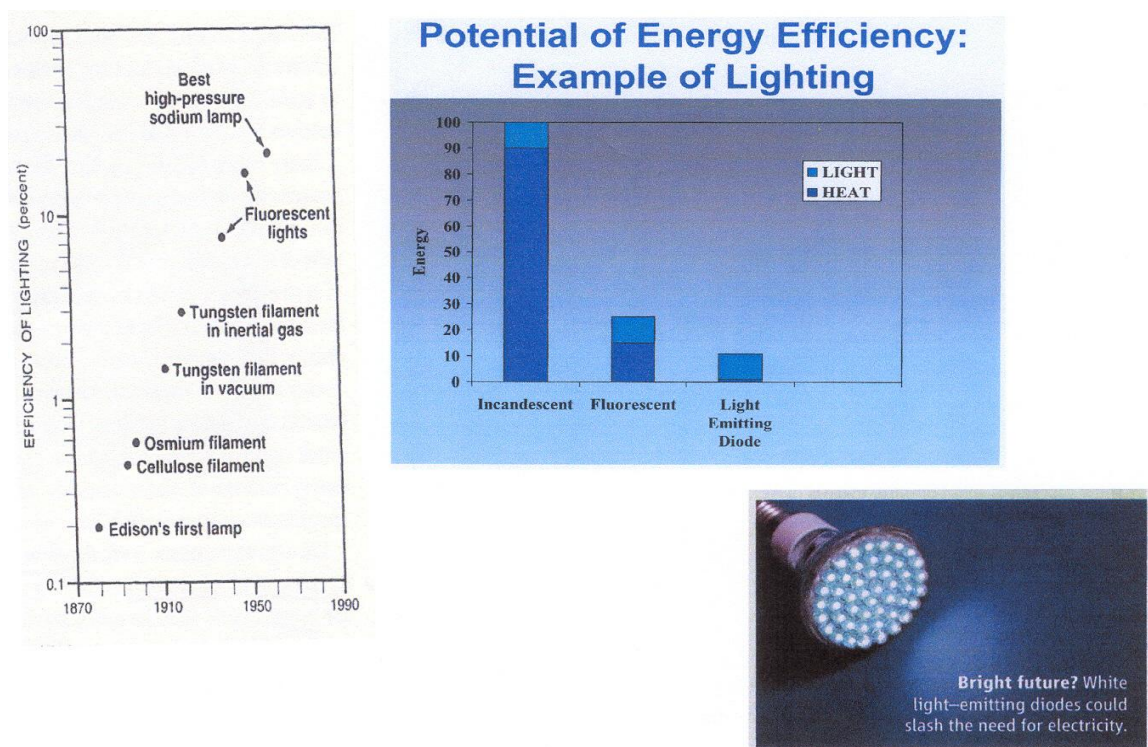


**Εικόνα 9:** Κατανομή φωτισμού στην επιφάνεια της Γης [11].

Είναι επομένως αναγκαίο να τελειοποιήσουμε τις πηγές του ορατού φωτός και να ανακαλύψουμε νέους τρόπους παραγωγής ορατού φωτός. Νέα υλικά και τεχνολογία (Εικόνα 10), επέτρεψαν σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας των πηγών ορατού φωτός [12, 13]. Πέρασαν περίπου 130 χρόνια από τότε που ο Thomas Edison εφεύρε την πρώτη



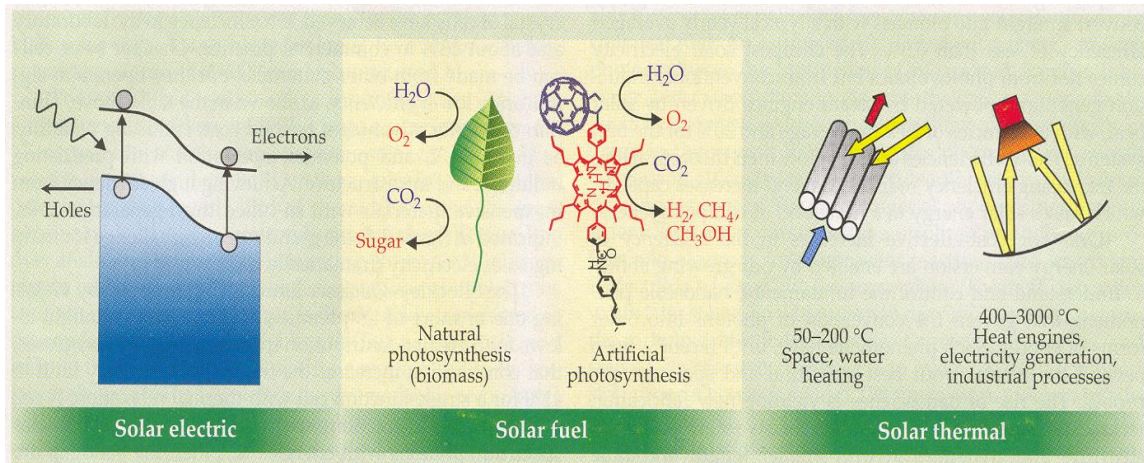
λυχνία φωτισμού. Στο χρονικό αυτό διάστημα η αποδοτικότητα των πηγών ορατού φωτός αυξήθηκε πάνω από 100 φορές με τη χρήση νέων υλικών και τεχνολογίας. Ιδιαίτερης σημασίας εν προκειμένω είναι οι λυχνίες LED (Light-Emitting Diodes). Όπως δείχνει η εικόνα (άνω δεξιά), στις λυχνίες πυρακτώσεως μόλις 4-5% της δαπανώμενης ενέργειας μετατρέπεται σε ορατό φως (το 96% δαπανάται σε παραγωγή θερμότητας), ενώ η αποδοτικότητα των LED φθάνει τα 50- 80%.



**Εικόνα 10:** Άνω αριστερά: Αύξηση της αποδοτικότητας λαμπτήρων φωτισμού – ιστορική αναδρομή στα τελευταία 130 χρόνια [13]. Άνω δεξιά: Σύγκριση ενεργειακής αποδοτικότητας τριών ειδών λαμπτήρων φωτισμού [14]. Κάτω: LED λευκού φωτός [15].

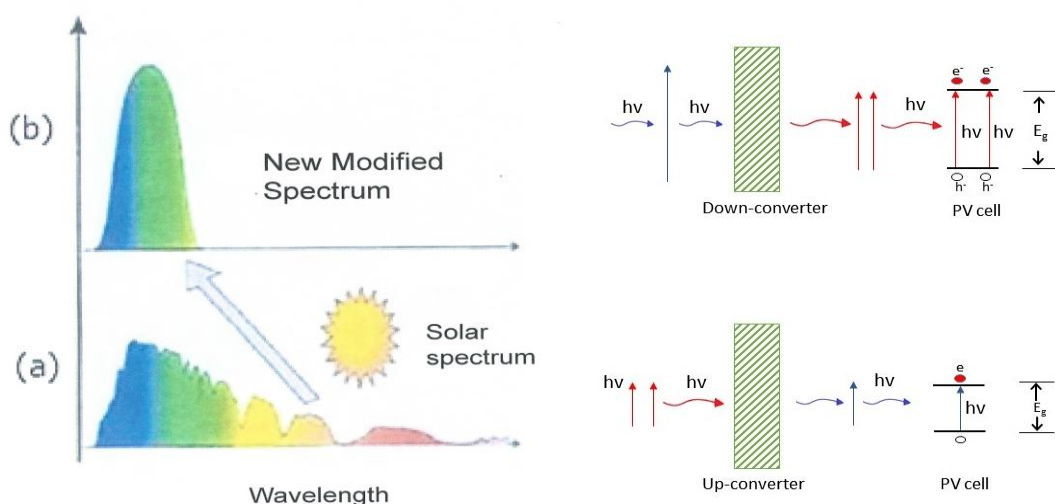
## (2) Μετατροπή του φωτός σε άλλες χρήσιμες μορφές ενέργειας

(α) Στην Εικόνα 11 σκιαγραφείται η μετατροπή φωτονίων ηλιακής ακτινοβολίας σε **ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα, και θερμότητα** [16]. Τεράστια είναι εν προκειμένω η σημασία των αντιδράσεων του φωτός με τα υλικά για την αποδοτικότερη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε χρήσιμες μορφές ενέργειας, λ.χ. ηλεκτρική ενέργεια. Και εδώ η ευελιξία του φωτός επιτρέπει το μετασχηματισμό της ενεργειακής κατανομής των ηλιακών φωτονίων όπως σχηματικά δείχνει η Εικόνα 12 (αριστερά), έτσι ώστε μεγαλύτερο μέρος των ηλιακών φωτονίων να απορροφάται για την αποδοτικότερη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.



**Εικόνα 11:** Σχηματικές απεικονίσεις μετατροπής φωτονίων ηλιακής ακτινοβολίας σε *ηλεκτρική ενέργεια*, σε *καύσιμα*, και σε *θερμότητα* [16].

Όπως δείχνει η Εικόνα 12 στα (δεξιά), κατάλληλα υλικά θα μπορούσαν να μετατρέψουν ηλιακά φωτόνια των οποίων η ενέργεια είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για την παραγωγή ενός ηλεκτρονίου σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε δύο φωτόνια, τα οποία ακολούθως να απορροφώνται και να παράγουν το καθένα τους ηλεκτρόνια. Ομοίως, στην περίπτωση ηλιακών φωτονίων με μικρότερη ενέργεια από αυτή που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρονίων σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, κατάλληλα υλικά θα μπορούσαν να μετατρέψουν την ενέργεια δύο τέτοιων φωτονίων σε ένα φωτόνιο, που να απορροφάται και να παράγει ηλεκτρόνια. Έτσι θα μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων.



**Εικόνα 12:** Αριστερά: Δυνατός μετασχηματισμός της ενεργειακής κατανομής των ηλιακών φωτονίων. Δεξιά: Δυνατότητες ενεργειακής μετατροπής των ηλιακών φωτονίων για αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [17].



Η Εικόνα 13 δείχνει μία από τις τεχνολογίες που μετατρέπουν την ενέργεια του φωτός του Ήλιου σε θερμότητα και ακολούθως σε ηλεκτρισμό· είναι το *Σύστημα Ηλιακού Πύργου Ισχύος* στην Ισπανία. Τα συστήματα Ηλιακών Πύργων Ισχύος χρησιμοποιούν κεντρικό δέκτη και κυκλικές σειρές μεγάλου μεγέθους επιπέδων κατόπτρων (τους λεγόμενους ηλιοστάτες, heliostats). Το κάθε κάτοπτρο παρακολουθεί τον ήλιο και συγκεντρώνει το φως του ήλιου στον κεντρικό δέκτη, που είναι τοποθετημένος στην κορυφή του πύργου (στο κέντρο της εικόνας). Από εκεί, η παραγόμενη θερμική ενέργεια μεταφέρεται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση υγρών συνήθως μέσω μεταφοράς. Αυτού του είδους *Συγκεντρωτικές Ηλιακές Τεχνολογίες* είναι μεγάλης σημασίας και για τη Χώρα μας, κυρίως στα Ελληνικά νησιά.

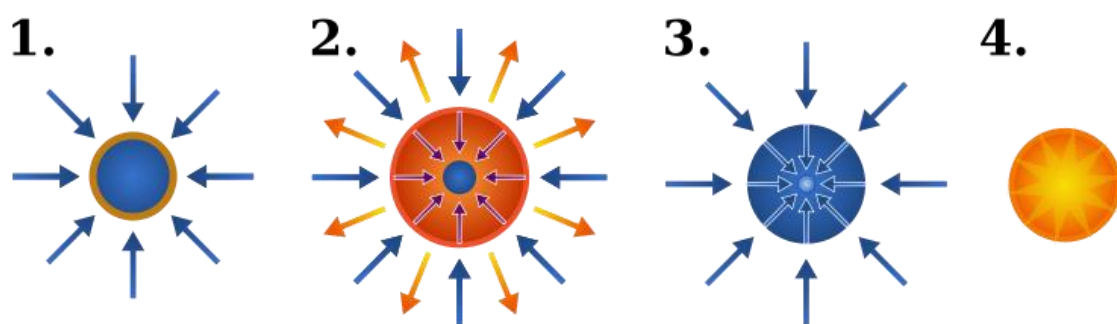


**Εικόνα 13:** Gemasolar plant of Torresol Energy in Andalucia, Spain (Toresol Energy) [18].

### **(γ) Ενέργεια από την ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη ισοτόπων του υδρογόνου με λείζερ**

Η φυσική επιστήμη δίδαξε τον άνθρωπο να δημιουργεί συνθήκες για τη σύντηξη των πυρήνων των ελαφρών ατόμων [π.χ., των ισοτόπων ( $D$  και  $T$ ) του ατόμου του υδρογόνου] και να παράγει ενέργεια. Αν και προσπάθειες για την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας από ελεγχόμενες (controlled) πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης άρχισαν από το 1951, ελεγχόμενες αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης δεν έχουν ακόμη καταστεί πηγή χρήσιμης ενέργειας για τον άνθρωπο. Πιστεύω όμως ότι αυτό θα επιτευχθεί μια μέρα και θα παράσχει στην ανθρωπότητα μία όντως βιώσιμη και καθαρή πηγή ενέργειας.

Το πλέον κρίσιμο επιστημονικό/τεχνολογικό πρόβλημα στην προσπάθεια του ανθρώπου να παράγει χρήσιμη ενέργεια από την πυρηνική σύντηξη είναι ο περιορισμός του θερμοπυρηνικού πλάσματος (plasma confinement). Στους αστέρες, η βαρύτητα κρατά τους πυρήνες στο αστρικό πλάσμα σε αποστάσεις εξαιρετικά μικρές ώστε να συντήκονται. Προφανώς αυτό δεν μπορεί να γίνει στον πλανήτη μας. Η επιστήμη όμως βρήκε δύο άλλους τρόπους περιορισμού του θερμοπυρηνικού πλάσματος: μαγνητικό περιορισμό (magnetic confinement) και περιορισμό αδράνειας (inertial confinement). Πολύ ισχυροί παλμοί λέιζερ χρησιμοποιούνται στον περιορισμό αδράνειας για τον σκοπό αυτό, όπως δείχνει σχηματικά η Εικόνα 14.

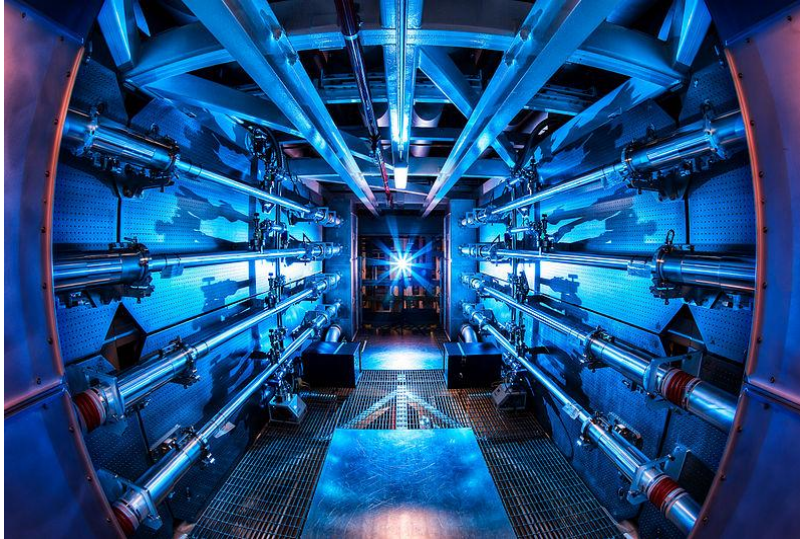


**Εικόνα 14:** Σχηματική περιγραφή περιορισμού αδράνειας, με χρήση πολύ ισχυρών παλμών λέιζερ [19].

(1) Το φως ισχυρών δεσμών λέιζερ θερμαίνει την επιφάνεια του σφαιριδίου (pellet) συντήξιμου υλικού (διαμέτρου περίπου 1 mm) και δημιουργεί ένα στρώμα από πλάσμα το οποίο το περιβάλλει. (2) Το επιφανειακό στρώμα εκτοξεύεται προς τα έξω και το σφαιρίδιο συμπιέζεται. (3) Το σφαιρίδιο καταρρέει (implodes), η αδράνειά του το περιορίζει για χρονικά διαστήματα της τάξης του ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου (1 ns) και (4) αναφλέγεται όταν η θερμοκρασία του φθάσει τους 100.000.000 °C. Η καύση του θερμοπυρηνικού καυσίμου απελευθερώνει περισσότερη ενέργεια από αυτήν που δαπανήθηκε για να το θερμάνει και περιορίσει.

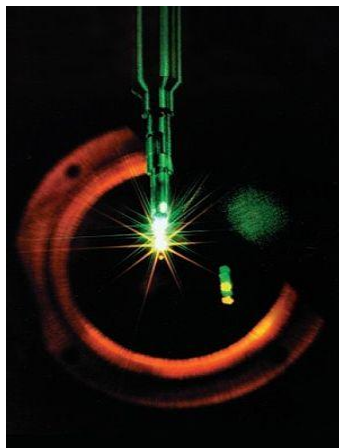
Η πλέον προχωρημένη εγκατάσταση για τη διεξαγωγή πειραμάτων σύντηξης με περιορισμό αδράνειας (inertial confinement) είναι η National Ignition Facility (NIF) (σύστημα Nova) στο Lawrence Livermore National Laboratory (LLN) των ΗΠΑ στην Καλιφόρνια [20]. Στην Εικόνα 15 βλέπει κανείς το φως πολλών (10) εξαιρετικά ισχυρών Nd glass λέιζερς, που μετά τον τριπλασιασμό της ενέργειάς του, κατευθύνεται σε ένα μικρό σφαιρίδιο θερμοπυρηνικού καυσίμου συνισταμένου από δευτέριο και τρίτιο από την καύση

του οποίου αναμένεται να παραχθεί περισσότερη ενέργεια από αυτή που τοποθετήθηκε στο καύσιμο. Οι δεσμίδες των παλμών λέιζερ εστιάζονται σε μία επιφάνεια διαμέτρου 1 mm, και εναποθέτουν 100.000 joules ενέργειας στο σφαιρίδιο σε 1 ns.



**Εικόνα 15:** Δέσμες παλμών λέιζερ καθοδόν προς τον θάλαμο σύντηξης της National Ignition Facility [19, 20].

Η Εικόνα 16 δείχνει σύντηξη με περιορισμό αδράνειας, ένα "μικρό ήλιο", στη National Ignition Facility (NIF) (Nova) (σφαιρίδιο D-T, σύστημα λέιζερ  $10^{11}$  kW, διάρκεια παλμού λέιζερ  $10^{-9}$  s). Μέχρι σήμερα δεν έχει επιτευχθεί πλήρης ανάφλεξη του θερμοπυρηνικού καυσίμου.



**Εικόνα 16:** Σύντηξη με περιορισμό αδράνειας (National Ignition Facility NIF -Nova) [19, 20].

Αυτές και άλλες νέες τεχνολογίες του φωτός αναμένονται στο μέλλον. Θα μας οδηγήσει άραγε το φως και σε νέες πηγές ενέργειας που να μη στηρίζονται στον ηλεκτρισμό;

Θα αντικατασταθούν τα ηλεκτρόνια ως φορείς ενέργειας από τα φωτόνια; Ανοικτά ερωτήματα, κρίσιμα για το μέλλον της ανθρωπότητας.

Κυρίες και κύριοι,

Μπορούμε νομίζω να ισχυρισθούμε ότι κατανοούμε επιστημονικά τις αντιδράσεις του φωτός σε όλο το τεράστιο μήκος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η συνοχή αυτής της γνώσης – βασισμένης στις δύο συμπληρωματικές θεωρήσεις για το φως – είναι όντως εντυπωσιακή και υπέροχη.

Η απέραντη γνώση που έχουμε για το φως είναι κατά το πλείστον έμμεση – κατανοούμε το φως με τα μέσα της επιστήμης γιατί μας δίδαξε η επιστήμη πώς να γνωρίζουμε χωρίς να βλέπουμε. Όσο όμως έμμεση και να είναι αυτή η επαφή μας με το φως, είναι εξαιρετικά όμορφη και μεγαλοπρεπής.

Παραμένει όμως δεδομένο της ανθρώπινης εμπειρίας, ότι από όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, εκείνα τα οποία εκτείνονται στην ασήμαντη περιοχή των 0,7 – 0,4 μικρών τα οποία αντιστοιχούν στο **ορατό φως** είναι τα πιο όμορφα και τα πιο θαυμαστά. Σε αυτό κυρίως το φως, στο ορατό φως, η ομορφιά του φυσικού κόσμου γίνεται ορατή, αισθητή, και νοητή στον άνθρωπο.

***Φως! Είναι υπέροχο το φως και ποθητό στον άνθρωπο, σε κάθε εποχή και σε κάθε λαό.***

Έτσι, το φως είχε και έχει πάντοτε μία ξεχωριστή θέση στη ζωή μας, στην ποίηση, στην τέχνη, στη φιλοσοφία. Για παράδειγμα, στην Οδύσσεια, ο Όμηρος διηγείται ότι η μητέρα του Οδυσσέα, Αντίκλεια, διερωτάται γιατί ο γιος της άφησε το φως και ήλθε στο χώρο των νεκρών να τη συναντήσει ... **και τον προστάζει να τρέξει γρήγορα στο φως.** Ήξερε ο Όμηρος, όπως αργότερα και άλλοι, και στις μέρες μας ο Σεφέρης, πως **ο άνθρωπος πρέπει να ζήσει με το φως.**

Πάνω όμως από όλες τις ξεχωριστές θέσεις που έδωσε ο άνθρωπος στο φως, πιο μεγαλοπρεπής είναι η θέση που επιφύλαξαν στο φως οι θρησκείες του ανθρώπου, κυρίως ο Χριστιανισμός, όπως θα ακούσουμε από τον κ. Οικονόμου. Με τρόπο δραματικό περιγράφει η Γραφή την ιδιαίτερη θέση που έδωσε ο Θεός στο φως. Στη Γένεση, διηγείται η Γραφή, πρόσταξε ο Θεός να γίνει το φως, και όταν γεννήθηκε το φως, όπως ο Θεός παράγγειλε, **«είδεν ο Θεός το φώς ότι καλόν».**

Κυρίες και κύριοι,



*Το φως θα συνεχίσει τις αέναες αντιδράσεις του και τους μετασχηματισμούς του και εμείς θα συνεχίσουμε να παρατηρούμε την αέναη ροή του με την ελπίδα ότι θα κατανοήσουμε καλύτερα και πληρέστερα αυτό που βλέπουμε.*

*Χρειαζόμαστε το φως για να κατανοήσουμε το φως.*

Σας ευχαριστώ.

#### Αναφορές

- [1] Star cluster NGC 290 <http://hubblesite.org>
- [2] Βλέπε, λ.χ., Loucas G. Christophorou, *Place of Science in a World of Values and Facts*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2001.
- [3] Βλέπε, λ.χ., A. Cho, *Science* **333**, 30 September 2011 p. 1809 και *Science* **334**, 2 December 2011, p.1200; A Cho, *Science Insider*, 8 June 2012; G. Brumfiel, *Nature*, 22 September 2011; E.S. Reich, 20 October 2011, και *Nature*, 22 February 2012.
- [4] *Physics Today* (May 2010), p. 15.
- [5] C. B. Field, M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson and P. Falkowski, *Science* **281**, 10 July 1998, p. 237; (1 metric ton = 1000 kg).
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated\\_emission](https://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated_emission)
- [7] <https://www.bnl.gov/ps/images/NSLS2-banner-1.jpg>  
<https://www.bnl.gov/ps/accelerator/>
- [8] A. F. Kaenderink, A. Alù and A. Polman, *Science* **348**, 1 May 2015, p. 516.
- [9] I. A. Walmsley, *Science* **348**, 1 May 2015, p. 525.
- [10] Loucas G. Christophorou and James K. Olthoff, *Electron interactions with excited atoms and molecules*, *Advances in Atomic and Molecular Physics*, vol. **44**, 2000, pp.155-292; L. A. Pinnaduwege, L. G. Christophorou, and S. R. Hunter, Optically Enhanced Electron Attachment and Its Possible Applications in Diffuse Discharge Switches, *Proceedings of the 6th International IEEE Pulsed Power Conference* (P. J. Turchi and B. H. Bernstein, Eds.), IEEE Catalog No. 87CH 2522-1, 1988, pp. 81-84; L. G. Christophorou and S. R. Hunter, Laser-Activated Diffuse Discharge Switch, Patent No 4,743,807 (May 10, 1988).
- [11] *Physics Today* 55, April 2002.
- [12] Λουκάς Γ. Χριστοφόρου, Πρακτικά Ημερίδας: *Υλικά Για Ενεργειακές Εφαρμογές*, Ακαδημία Αθηνών, Αθήνα 2010, σελ.11-22.
- [13] V. Smil, *Energy in World History*, Westview Press, Inc. Boulder, Co. 1994.

- [14] Βλέπε, για παράδειγμα, C. J. Humpheys, MRS Bulletin, Vol. **33** (April 2008), p. 459 ([www.mrs.org/bulletin](http://www.mrs.org/bulletin)); *Energy Future: Think Efficiency*, American Physical Society, September 2008 (<http://www.aps.org/energyefficiency> report).
- [15] R. F. Service, Science **325**, 14 August 2009, p. 809.
- [16] G. W. Crabtree and N. S. Lewis, Physics Today, March 2007, p. 37.
- [17] USA DOE 2005 Basic Energy Science  
<http://www.sc.doe.gov/bes/reports/abstracts.html#SEU>
- [18] European Academies Science Advisory Council (EASAC), *Concentrating solar power: its potential contribution to a sustainable energy future*, EASAC Policy Report 16 (November 2011).
- [19] [https://en.wikipedia.org/wiki/inertial\\_confinement\\_fusion](https://en.wikipedia.org/wiki/inertial_confinement_fusion)
- [20] [https://en.wikipedia.org/wiki/national\\_ignition\\_facility](https://en.wikipedia.org/wiki/national_ignition_facility)