

Εργαστηριακή Άσκηση 1

Χαρακτηριστικές καμπύλες Φωτοβολταϊκού πλαισίου

Γιάννης Κανάκης

Φυσικός, MSc, ΕΔΙΠ

Δομή παρουσίασης

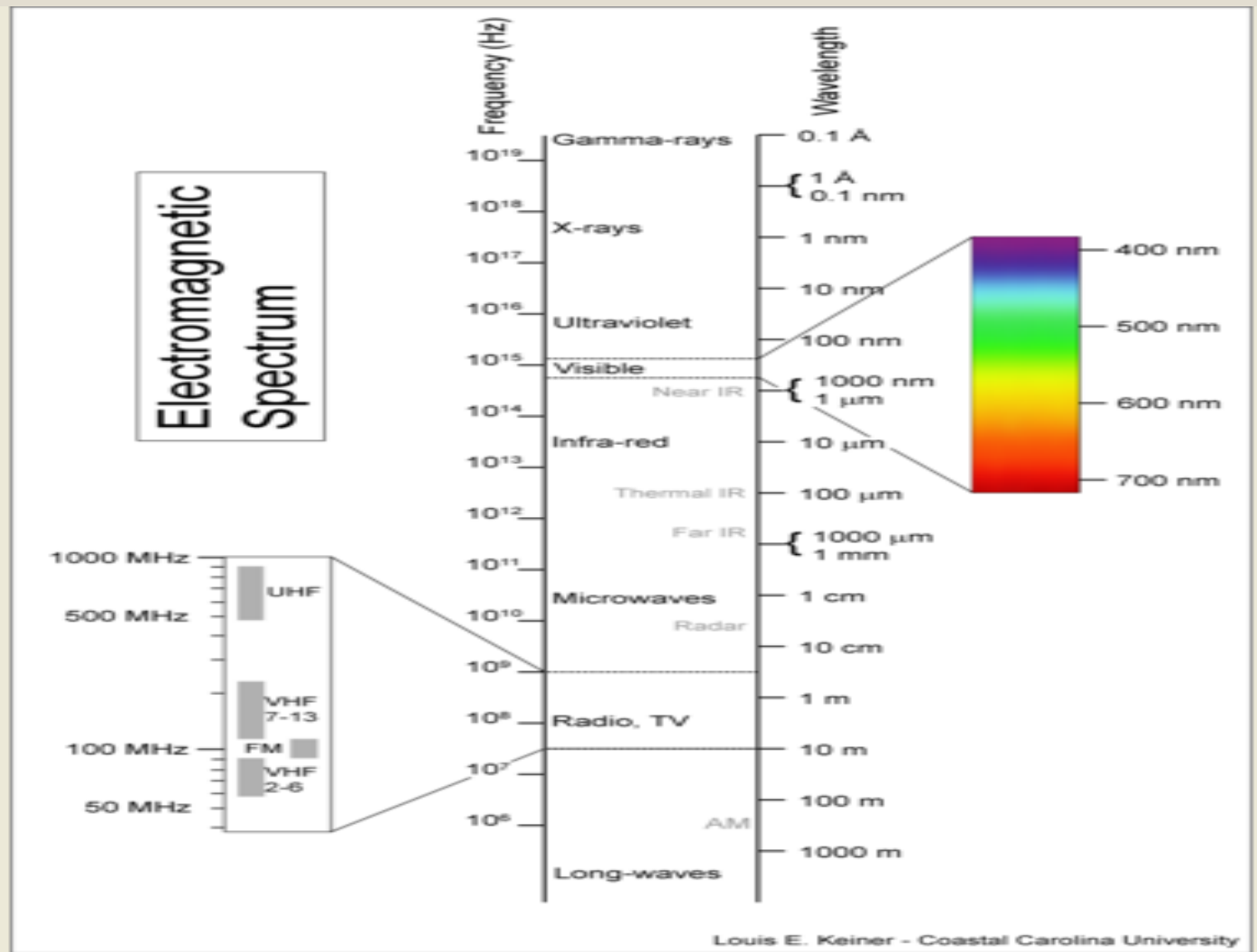
1. Γενικές έννοιες ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικού ρεύματος
2. Βασικές έννοιες για τα Φ/Β και την λειτουργία τους
3. Βασικά στοιχεία για το πείραμα(σκοπός, πειραματική διάταξη, πειραματικά όργανα, πειραματική διαδικασία, πειραματικά αποτελέσματα)

1.1 Ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία
1.2 Ηλιακή Ακτινοβολία
1.3 Air Mass (μάζα αέρα)
1.4 Συνιστώσες ολικής ηλιακής ακτινοβολίας
1.5 Φυσικά μεγέθη μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας
1.6 Βασικές έννοιες στο ηλεκτρικό ρεύμα

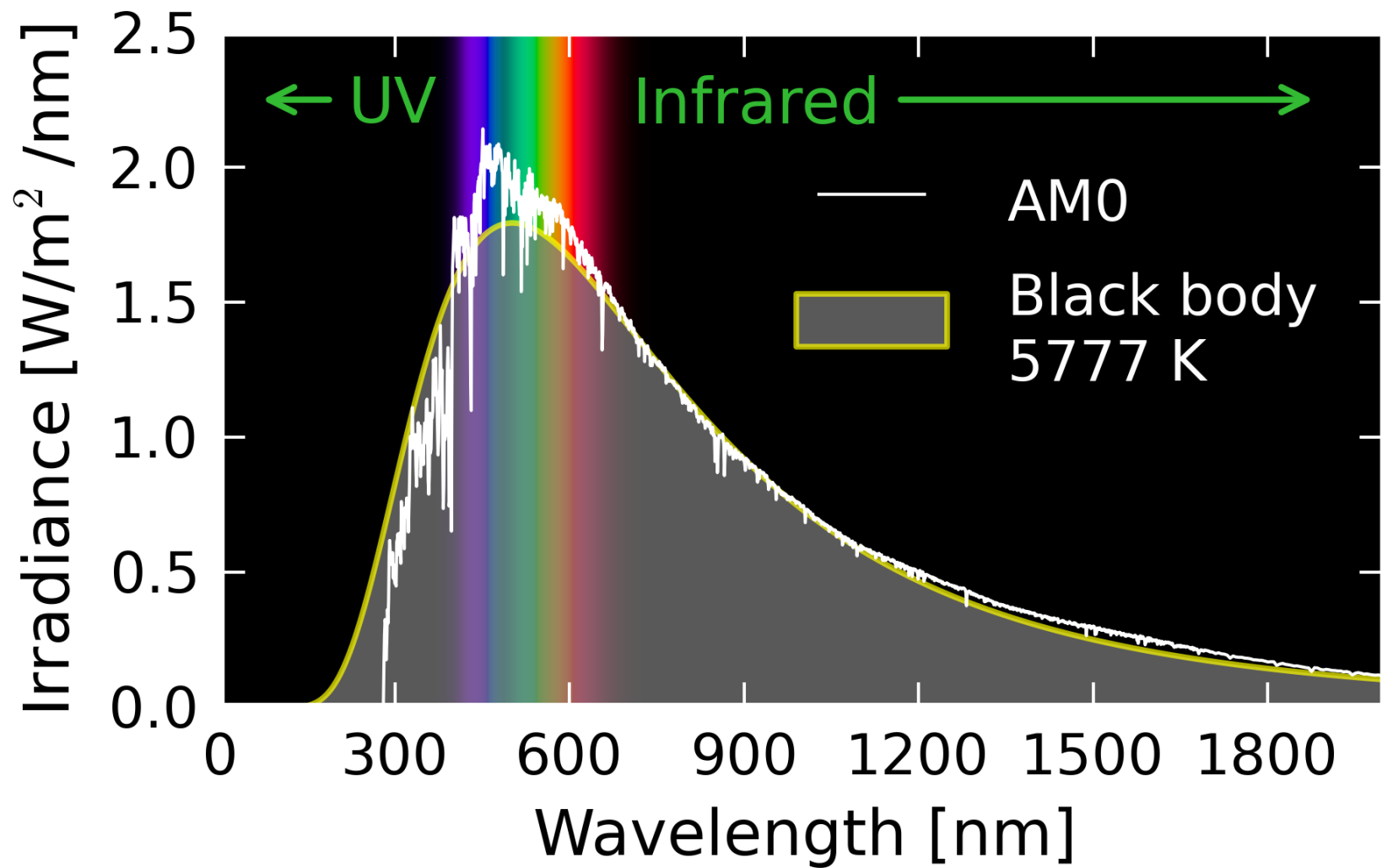
2.1 Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία
2.2 Η πορεία κατασκευής ενός Φ/Β
2.3 Ημιαγωγοί πρόσμιξης
2.4 Επαφή p-n και περιοχή απογύμνωσης
2.5 Πως λειτουργεί ένα Φ/Β στοιχείο/
2.6 Είδη Φ/Β στοιχείων πυριτίου
2.7 Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V του Φ/Β στοιχείου
2.8 Καμπύλη Ισχύος $P=f(V)$
2.9 Φ/Β στοιχείο - Φ/Β πλαίσιο
2.10 Λειτουργία Φ/Β σε διαφορετικές πυκνότητες ηλιακής/φωτεινής ισχύος
2.11 Ονομαστική ισχύς (ισχύς αιχμής) ενός Φ/Β πλαισίου
2.12 Απόδοση[efficiency] και συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου
2.13 Συντελεστής Πλήρωσης[Fill Factor, FF] ενός Φ/Β πλαισίου
2.14 Φ/Β συστοιχία (PV array)/ αυτόνομα Φ/Β- συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο

3.1 Πειραματική διαδικασία
3.2 Πειραματικές καμπύλες
3.3 Προετοιμασία για την πειραματική διαδικασία
3.4 Προετοιμασία για την διεξαγωγή του πειράματος

Η γνώση είναι κάτι που οικοδομείται σταδιακά μέσα από την πράξη

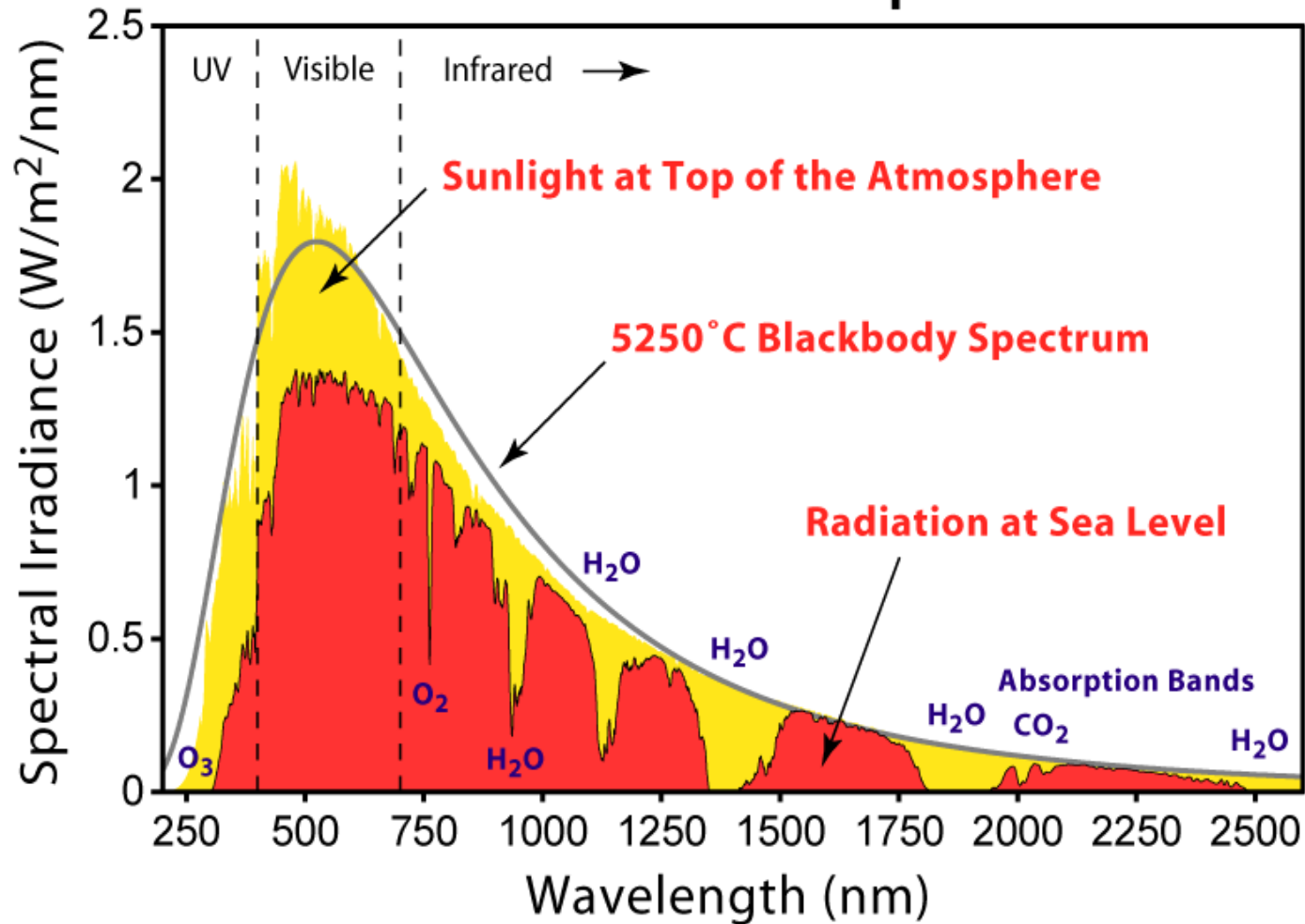


1.1 Ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία



1.2 Ηλιακή Ακτινοβολία

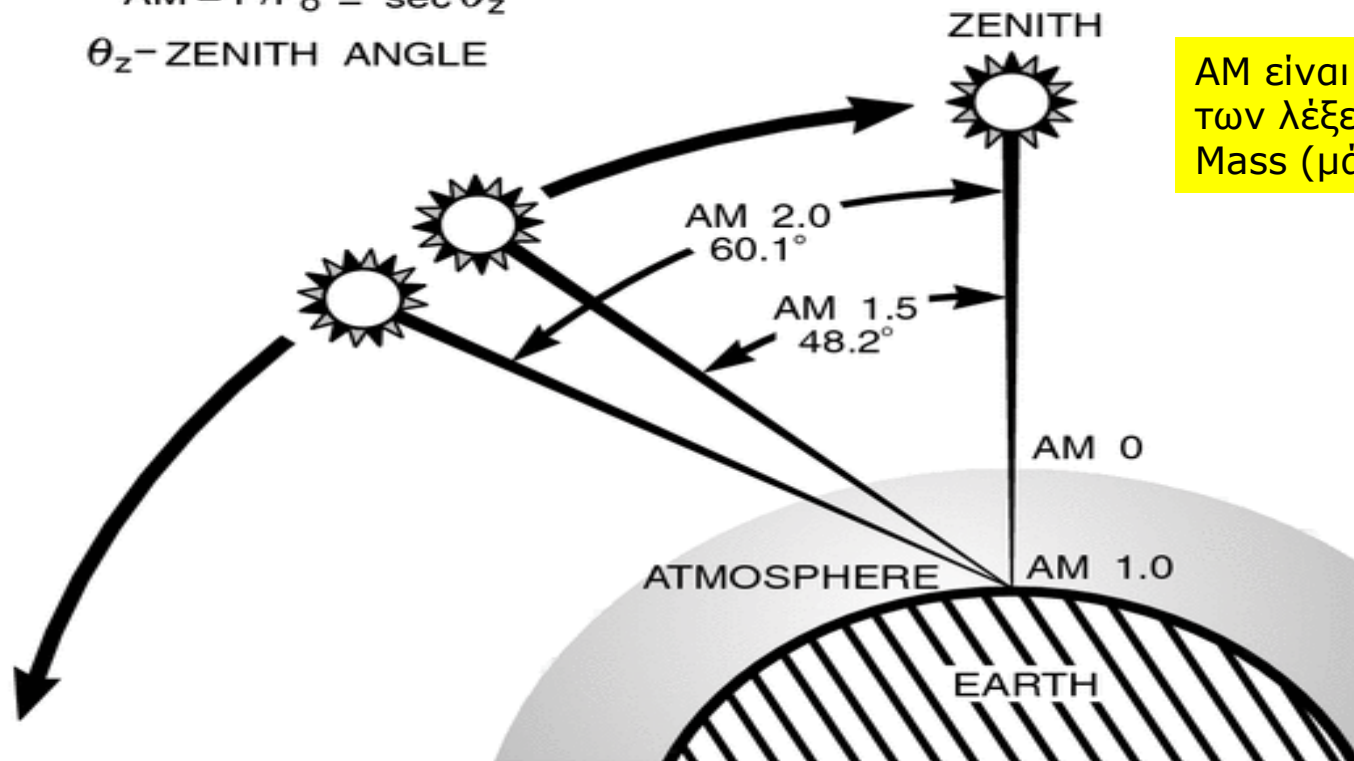
Solar Radiation Spectrum



1.2 Ηλιακή Ακτινοβολία

$$AM \approx P/P_0 = \sec \theta_z$$

θ_z - ZENITH ANGLE



AM είναι τα αρχικά των λέξεων Air Mass (μάζα αέρα)

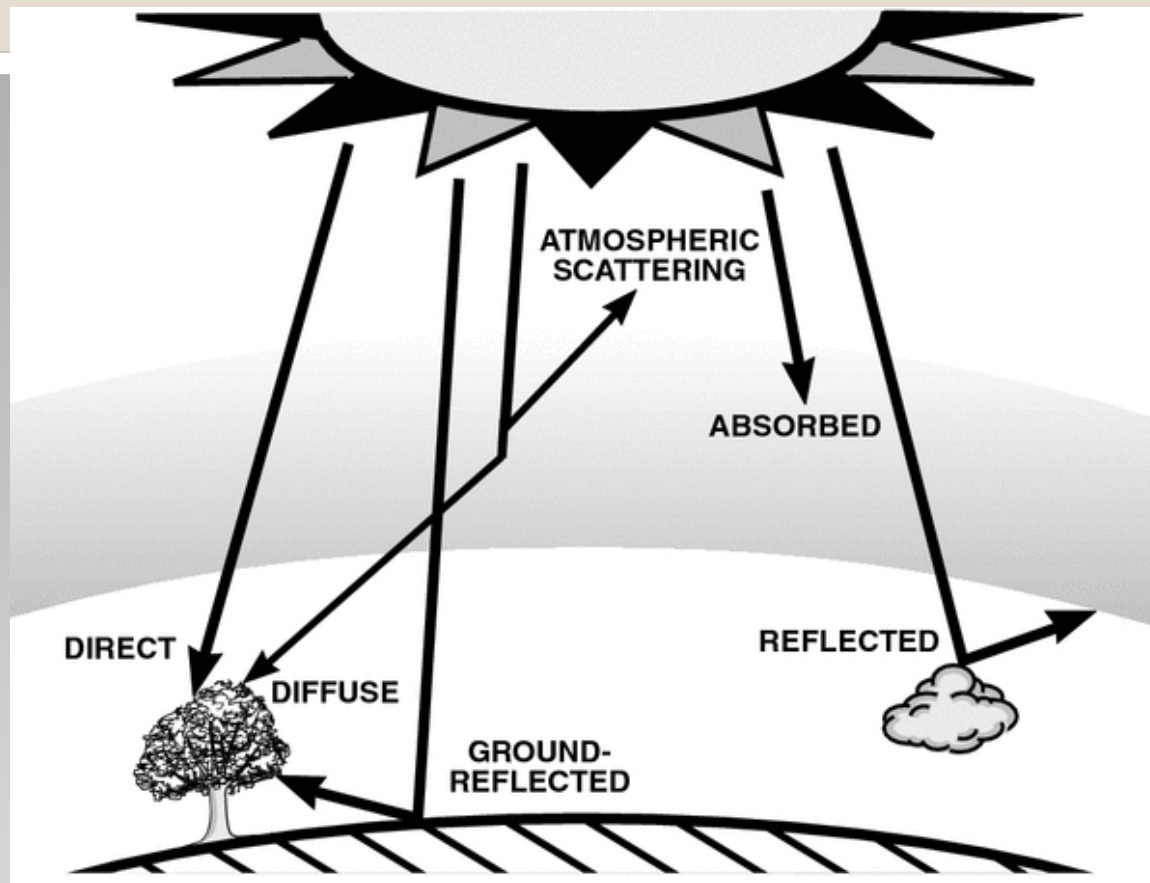
AM : απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης.

AM1: ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει κατακόρυφα (δηλαδή η γωνία πρόσπτωσης είναι 0°).

AM1,5 και AM2 : δηλώνουν γωνία πρόσπτωσης $\sim 45^\circ$ και $\sim 60^\circ$ αντίστοιχα (δηλαδή μεγαλύτερη διανυόμενη απόσταση στην ατμόσφαιρα).

AM0: αντιστοιχεί στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στα όρια της ατμόσφαιρας (δηλαδή πριν εισέλθει στο εσωτερικό της).

1.3 Air Mass (μάζα αέρα)



Η ολική ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να διαχωριστεί σε δυο συνιστώσες:

- 1. άμεση ("Direct" or "beam" radiation)**
- 2. διάχυτη (Diffuse radiation)**

Τέλος υπάρχει και η ανακλώμενη απ' το έδαφος ηλιακή ακτινοβολία (ή albedo)

1.4 Συνιστώσες ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

- **E_{solar} : ηλιακή ακτινοβολία [solar radiation] ή ηλιακή ενέργεια [solar energy]**(μονάδες μέτρησης Joule (J) ,βατώρα (Wh) ή κιλοβατώρα (kWh))
- **J :πυκνότητα ηλιακής ενέργειας [Irradiation]:** «ποσότητα» ηλιακής ακτινοβολίας που «δέχεται» μια επιφάνεια ανά μονάδα μέτρησής της (1Wh/m^2 , 1 kWh/m^2)
- **G :πυκνότητα ηλιακής ισχύος [Irradiance]:** «ρυθμός» με τον οποίο δέχεται ενέργεια μια επιφάνεια ανά μονάδα μέτρησής της (1W/m^2 ή kW/m^2)



Το πυρανόμετρο μετράει «πυκνότητα ηλιακής ισχύος»!!

1.5 Φυσικά μεγέθη μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας

- **Ηλεκτρικό ρεύμα** :προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων σε μια κατεύθυνση
- **Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος i ή $I = \delta q / \delta t$**
:ρυθμός διέλευσης ηλεκτρικού φορτίου από την διατομή ενός αγωγού (μονάδα μέτρησης $Cb/sec = A$ (Ampere))
- **Ηλεκτρική τάση V (ή διαφορά δυναμικού)** στα άκρα δύο σημείων ενός ηλεκτρικού κυκλώματος (μονάδα μέτρησης $J/Cb = V$ (Volt))
- **Ισχύς ηλεκτρικού ρεύματος** : Η ενέργεια που «μεταφέρει» το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ανά μονάδα χρόνου $P = V * I$ ((μονάδα μέτρησης $V * A = Watt$ (W))

1.6 Βασικές έννοιες στο ηλεκτρικό ρεύμα



□ Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία :

δημιουργία συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος (DC) από ημιαγωγούς που φωτίζονται από ηλιακό ή τεχνητό φως.

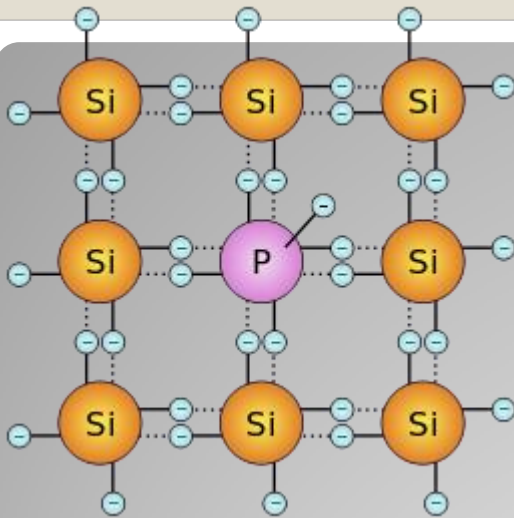
□ Το βασικό συστατικό στοιχείο της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας ονομάζεται **φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell)**.

□ Ο «πυρήνας» ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι μια **επαφή p-n** (p-n junction)

2.1 Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία



2.2Η πορεία κατασκευής ενός Φ/Β

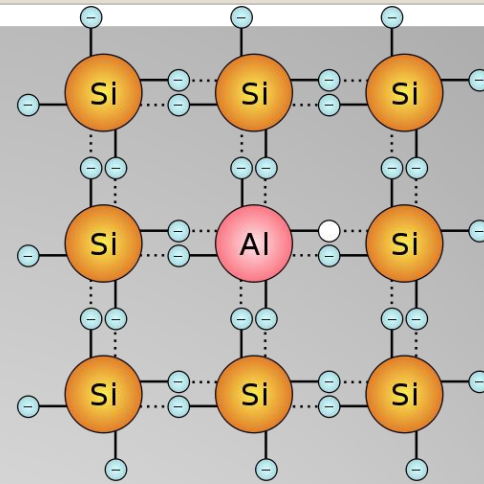


➤Ο ημιαγωγός πρόσμιξης
τύπου **n (negative)**
κρύσταλλος πυριτίου-
φωσφόρου [Si-P]).

➤Εισαγωγή ενός στοιχείου με
5 ηλεκτρόνια σθένους σε
κρυσταλλικό πυρίτιο.

➤

➤Αποτέλεσμα : παρουσία μέσα
στο κρυσταλλικό πλέγμα του
ημιαγωγού τύπου n
«ευκίνητων» ηλεκτρονίων.

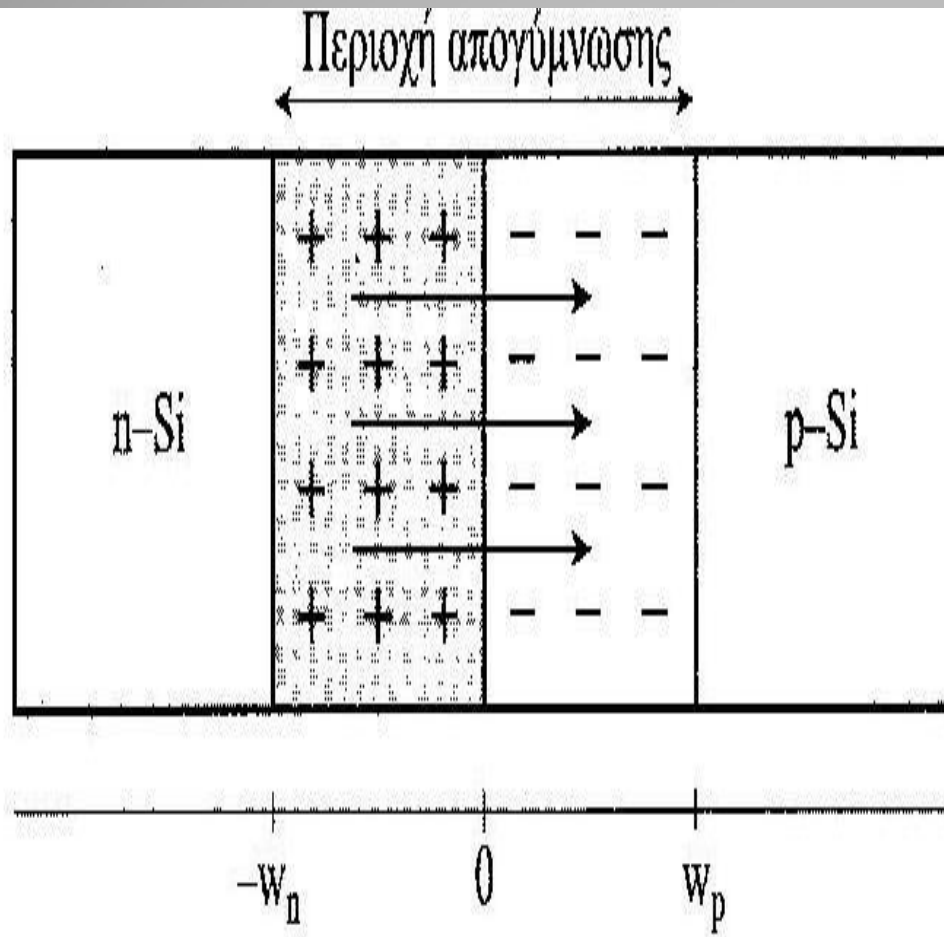


➤Ο ημιαγωγός τύπου **p**
(**positive**) κρύσταλλος
πρόσμιξης πυριτίου-αργιλίου
[Si-Al]

➤Εισαγωγή ενός στοιχείου με
3 ηλεκτρόνια σθένους σε
κρυσταλλικό πυρίτιο.

➤Αποτέλεσμα : παρουσία μέσα
στο κρυσταλλικό πλέγμα του
ημιαγωγού τύπου p
**«ευκίνητων» θετικών
φορτίων (οπών-holes)**

2.3 Ημιαγωγοί πρόσμιξης

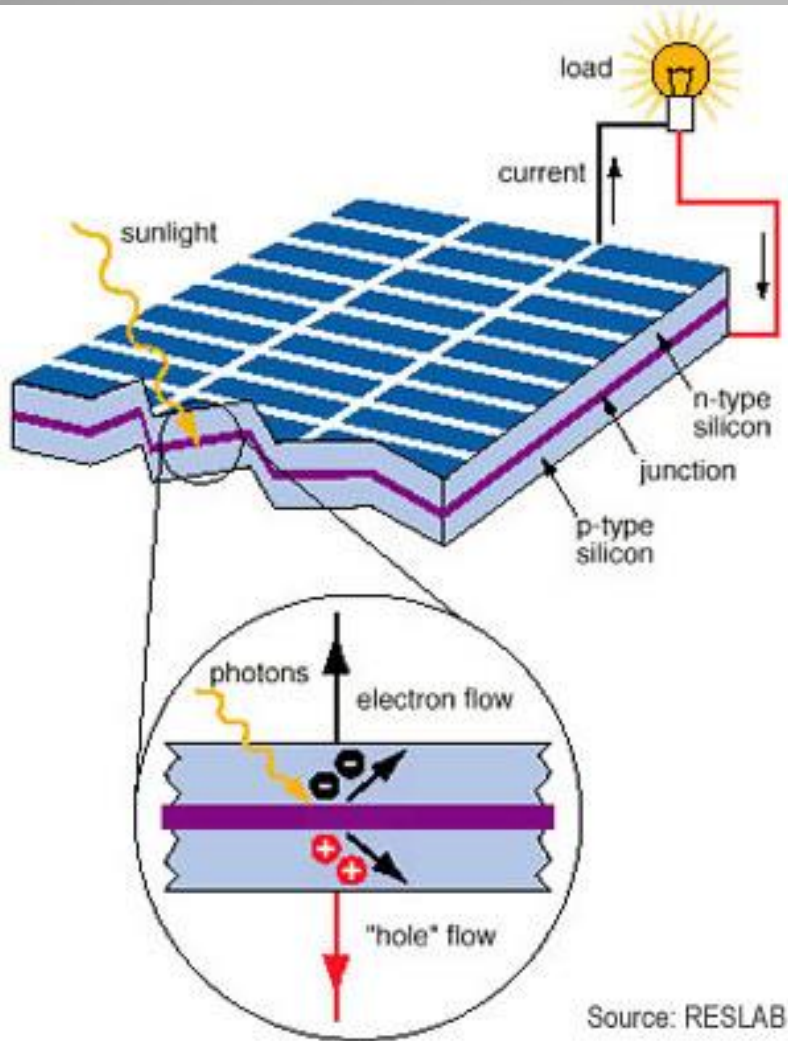


Σε μια επαφή p-n τα «ευκίνητα» ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό n-Si μεταβαίνουν με διάχυση (diffusion) στον ημιαγωγό p-Si. Αυτό συνεπάγεται ότι στο τμήμα του n-Si από όπου έφυγαν ηλεκτρόνια παραμένουν θετικά φορτισμένα ιόντα (οπές- holes).

Ομοίως οι ευκίνητες οπές του ημιαγωγού p-Si περνούν με διάχυση (diffusion) στον ημιαγωγό n-Si αφήνοντας σ' αυτό το τμήμα του ημιαγωγού αρνητικά φορτισμένα ιόντα

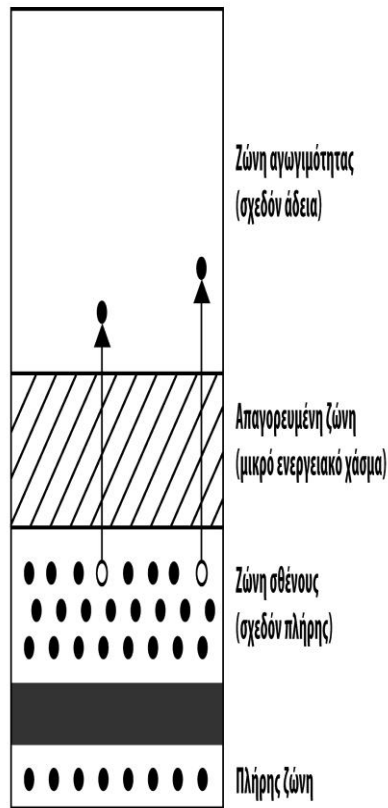
Έτσι δημιουργείται **η περιοχή απογύμνωσης (depletion region-layer)** δηλαδή ένα ενδογενές ηλεκτρικό πεδίο με μια αντίστοιχη τάση επαφής V_{bi}

2.4 Επαφή p-n και περιοχή απογύμνωσης



Το Φ/Β στοιχείο αποτελείται ουσιαστικά από δύο στρώματα ημιαγωγών τύπου p και n (ή πολλαπλές εναλλαγές τέτοιων στρωμάτων). Στην μπροστινή επιφάνεια από την οποία εισέρχεται το φως υπάρχει ένα αντιανακλαστικό στρώμα ενώ στην οπίσθια επιφάνεια υπάρχει ένα μεταλλικό στρώμα (μεταλλική επαφή).

2.5 Πως λειτουργεί ένα Φ/Β στοιχείο(A)



Όταν φωτεινή Η/Μ ακτινοβολία πέφτει πάνω στο Φ/Β στοιχείο ένα μέρος της **ανακλάται**, και ένα μέρος της **εισέρχεται** στο εσωτερικό του Φ/Β. Από το ποσοστό που εισέρχεται στο εσωτερικό ένα μέρος **απορροφάται** και το υπόλοιπο **εξέρχεται** από Φ/Β.

Απορροφητικότητα $a = E_{\text{απορ}} / E_{\text{προσπ}}$

Ανακλαστικότητα $\rho = E_{\text{ανακλ}} / E_{\text{προσπ}}$

Διαπερατότητα $\tau = E_{\text{διαπ}} / E_{\text{προσπ}}$

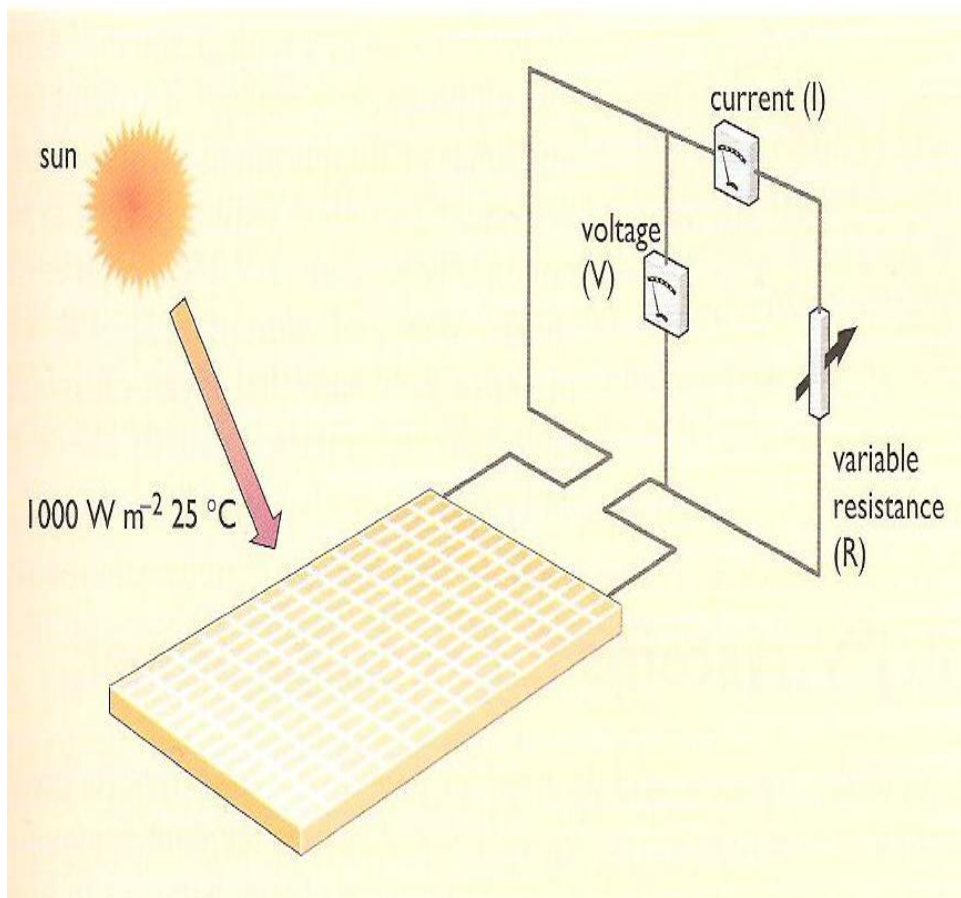
Προφανώς, με βάση της αρχή διατήρησης της ενέργειας, ισχύει $a + \rho + \tau = 1$

Το ποσοστό της απορροφούμενης Η/Μ ακτινοβολίας εξαρτάται από το **μήκος κύματος λ** της ακτινοβολίας και το **είδος του υλικού**. Δεν απορροφούνται όλα τα φωτόνια της Η/Μ ακτινοβολίας αλλά μόνο αυτά που έχουν ενέργεια ($E = hf = hc/\lambda$) ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα E_g .

Σε κάθε μήκος λ της προσπίπτουσας ηλιακής (ή γενικά φωτεινής) ακτινοβολίας αντιστοιχεί ένα ποσοστό απορρόφησης των φωτονίων της ακτινοβολίας.

Αυτά τα ηλεκτρόνια που απορροφούν την ενέργεια των φωτονίων συνεισφέρουν στο δημιουργούμενο φωτορεύμα I_L του Φ/Β στοιχείου.

2.5 Πως λειτουργεί ένα Φ/Β στοιχείο(B)



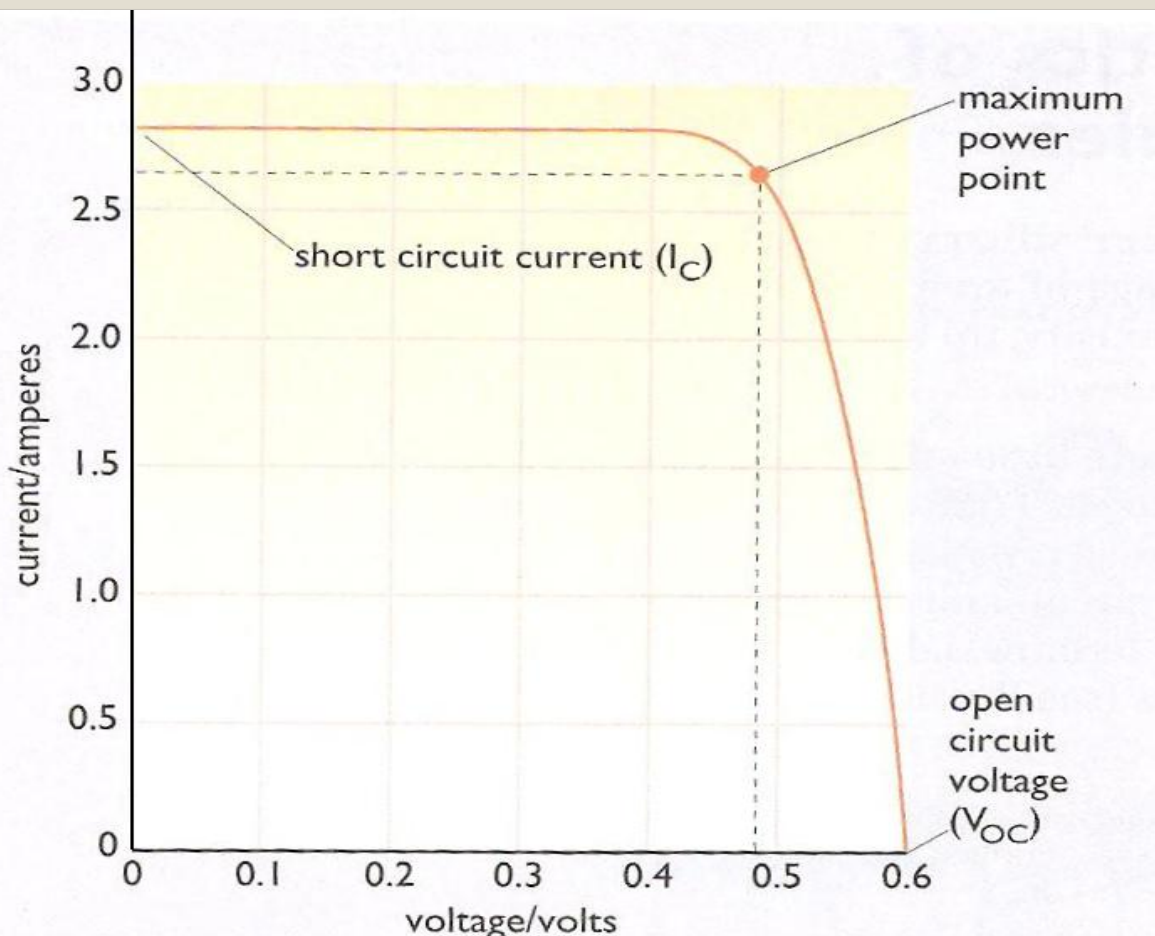
Αν στα άκρα ενός Φ/Β στοιχείου συνδέσουμε μια εξωτερική αντίσταση R τότε αυτή θα διαρρέεται από **ρεύμα I_R** που είναι μέρος του φωτορεύματος I_L (γενικά ισχύει ότι $I_R = I_L - I_\delta$ όπου το ρεύμα I_δ ονομάζεται ρεύμα διάχυσης)

2.5 Πως λειτουργεί ένα Φ/Β στοιχείο(Γ)

Τα πιο συνηθισμένα Φ/Β στοιχεία έχουν ως φωτοαγώγιμο υλικό το **πυρίτιο (silicon /Si)** και μπορούν να χωριστούν σε τρεις(3) κατηγορίες:

- Φ/Β στοιχεία **μονοκρυσταλλικού** πυριτίου (Single-crystal Silicon) με απόδοση ~21% έως ~24% (για τα στοιχεία) και ~13% έως 16% για τα πλαίσια.
- Φ/Β στοιχεία **πολυκρυσταλλικού** πυριτίου (Multicrystalline Silicon, mc-Si) με απόδοση ~17% έως ~20% (για τα στοιχεία) και ~10% έως 14% για τα πλαίσια.
- Φ/Β στοιχεία **άμορφου** πυριτίου (Amorphous or Thin Film Silicon) με απόδοση ~6% έως ~10% (αρχικά) που με την πάροδο του χρόνου πέφτει στο ~4% έως 8% για τα πλαίσια.

2.6 Είδη Φ/Β στοιχείων πυριτίου



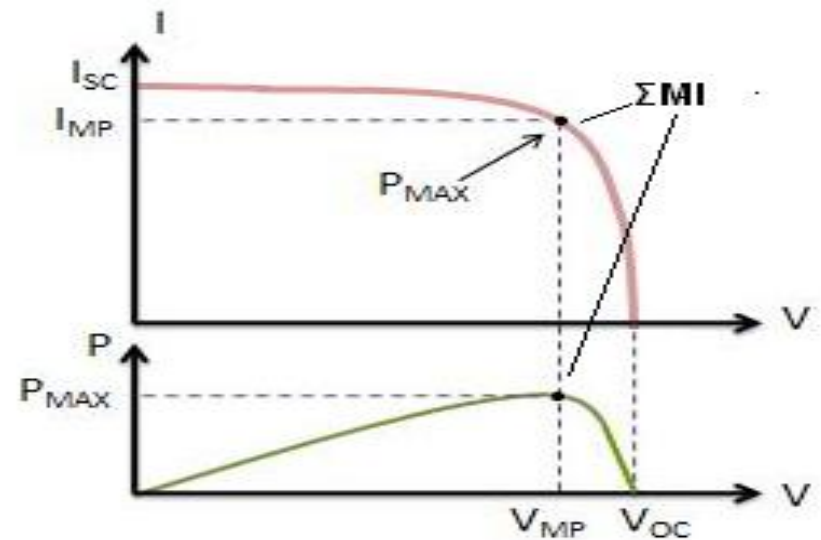
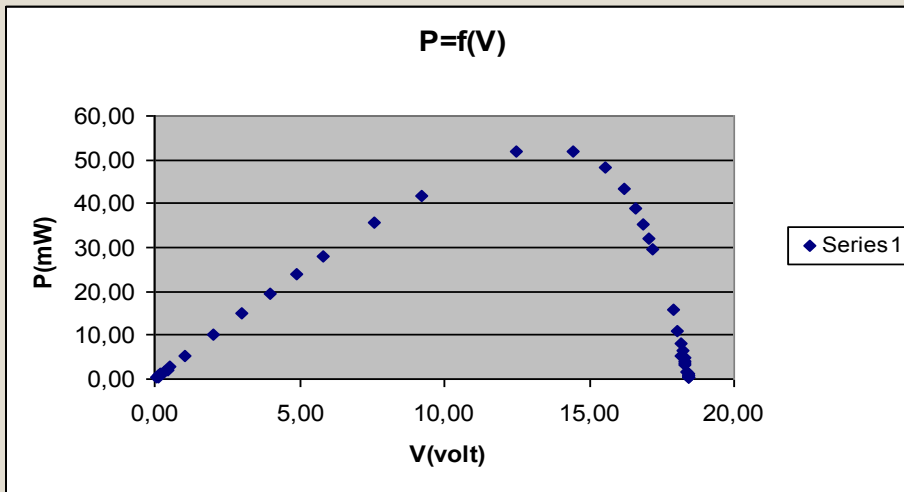
Τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} (open circuit): η μέγιστη τάση που υπάρχει στα άκρα του Φ/Β ($R=\infty$)

Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} (short circuit): μέγιστη απόλυτη τιμή του ρεύματος ($R=0$)

Σημείο Μέγιστης Ισχύος ΣΜΙ (Maximum Power Point MPP): Το σημείο που η ισχύς που παρέχει το Φ/Β είναι μέγιστη. Η αντίστοιχη τάση και το αντίστοιχο ρεύμα είναι τότε V_{mp} και I_{mp} και ισχύει

$$P_{max} = V_{mp} * I_{mp}$$

2.7 Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V του Φ/Β στοιχείου

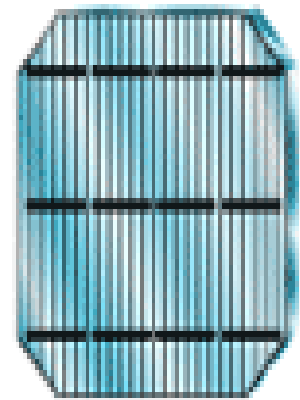


Σημείο Μέγιστης Ισχύος ΣΜΙ (Maximum Power Point MPP): Το σημείο που η ισχύς που παρέχει το Φ/Β είναι μέγιστη. Η αντίστοιχη τάση και το αντίστοιχο ρεύμα είναι τότε V_{mp} και I_{mp} και ισχύει

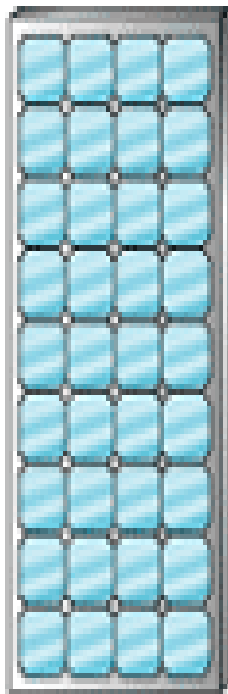
$$P_{max} = V_{mp} * I_{mp}$$

Προσοχή!!! Το P_{max} δεν είναι το γινόμενο των μέγιστων τιμών του ρεύματος (I_{sc}) και της τάσης (V_{oc})

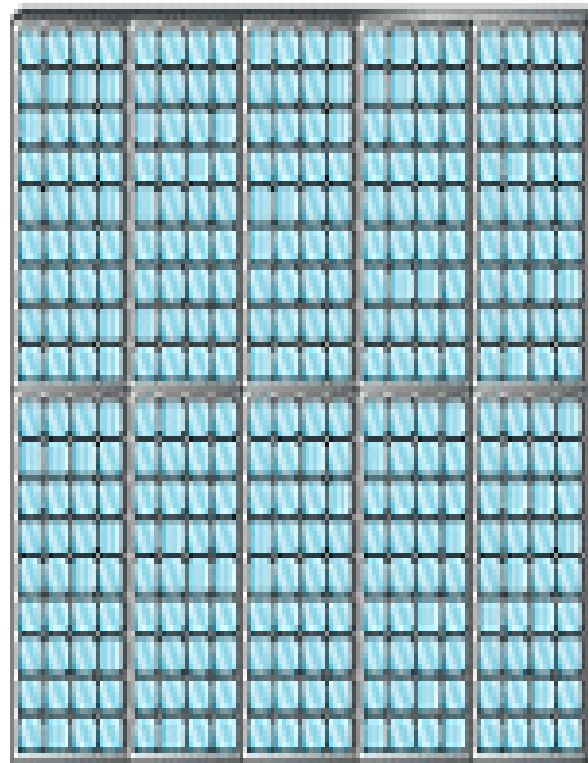
2.8 Καμπύλη Ισχύος $P=f(V)$



Cell



Module



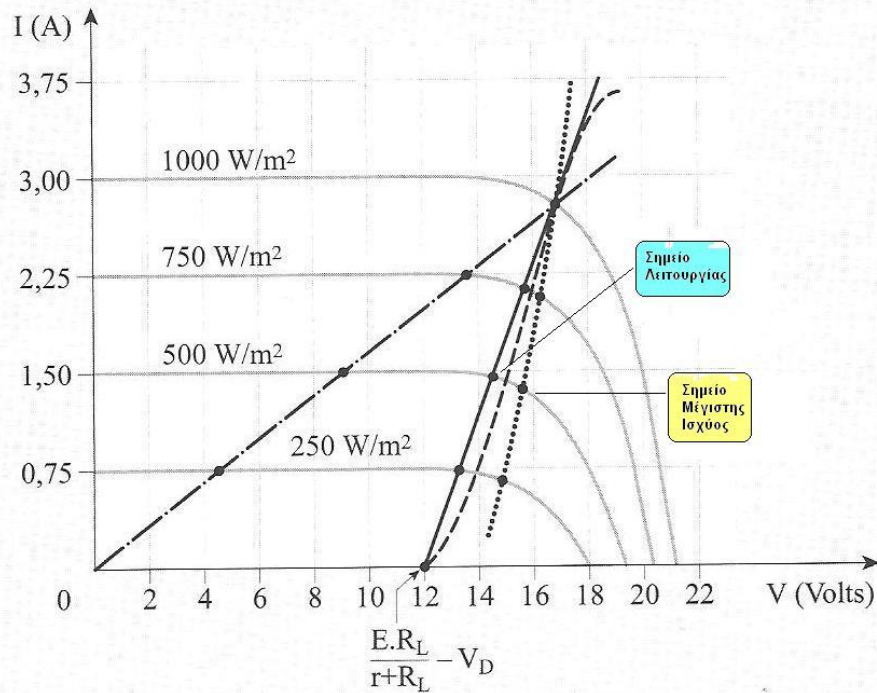
Array

Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} που μπορεί να δώσει ένα τυπικό Φ/Β στοιχείο πυριτίου είναι περίπου 0.6V. 20 Φ/Β στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά δίνουν μια τάση $20 \times 0.6 = 12V$.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή πάνελ (Photovoltaic module): κατασκευή που περιλαμβάνει ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ή (και) παράλληλα, προσαρμοσμένη σε ένα μεταλλικό πλαίσιο.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες του Φ/Β πλαισίου είναι ίδιες ποιοτικά με αυτές του Φ/Β στοιχείου και το μόνο που αλλάζει είναι οι ποσοτικές τιμές για το ρεύμα και την τάση.

2.9 Φ/Β στοιχείο - Φ/Β πλαίσιο



Η χαρακτηριστική καμπύλη είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις

Το μέγιστο ρεύμα I_{sc} που διαρρέει το κύκλωμα **είναι ανάλογο** με την πυκνότητα ηλιακής/φωτεινής ισχύος.

Η μέγιστη τάση V_{oc} στα άκρα του Φ/Β **δεν είναι ανάλογη** με την πυκνότητα ηλιακής/φωτεινής ισχύος

- Ευθεία φόρτου χωρίς φόρτιση συσσωρευτή. Κλίση: $1/R_L$
- Ευθεία φόρτου, κατά τη φόρτιση συσσωρευτή. Κλίση: $(r+R_L)/r \cdot R_L$
- - - - - Πραγματική καμπύλη φόρτου ηλεκτρικού συσσωρευτή
- Καμπύλη σημείων μέγιστης ισχύος

2.10 Λειτουργία Φ/Β σε διαφορετικές πυκνότητες ηλιακής/φωτεινής ισχύος

Solar Module Typical Performance Characteristics	
Model	SRM005P
Peak Power	5W
Maximum Power Voltage (V_{mp})	18V
Maximum Power Current (I_{mp})	0.278A
Open Circuit Voltage (V_{oc})	21.8V
Short Circuit Current (I_{sc})	0.302A
At STC (Standard Test Conditions): AM1.5, 1000W/m², 25°C	



Ισχύς αιχμής, Ονομαστική ισχύς ενός Φ/Β πλαισίου (ή διαφορετικά **P_p Peak power**):

Η μέγιστη ισχύς με την οποία το Φ/Β αποδίδει ενέργεια κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) και είναι μια σταθερή τιμή που αναγράφεται στα χαρακτηριστικά κάθε Φ/Β πλαισίου.

Πρότυπες συνθήκες ελέγχου

STC (Standard Test Conditions) είναι οι συνθήκες με τις οποίες πρέπει να ελέγχονται στα πρότυπα εργαστήρια όλα τα Φ/Β. Αυτές είναι:

- Ηλεκτρομαγνητική φωτεινή ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος $1\text{KW}/\text{m}^2 = 1000\text{W}/\text{m}^2$
- Φάσμα φωτός αντίστοιχο με το ηλιακό AM1,5 (Air Mass 1,5)
- Θερμοκρασία πλαισίου Θερμοκρασία πλαισίου 25°C

Προσοχή!! Είναι διαφορετική η **Ισχύς αιχμής P_p Peak power** ενός Φ/Β πλαισίου από την **μέγιστη ισχύ P_{max}** που δίνει σε συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας, φάσματος, θερμοκρασίας και «φορτίου» στα άκρα του (στις περισσότερες περιπτώσεις **$P_{\text{max}} < P_p$**)

2.11 Ονομαστική ισχύς (ισχύς αιχμής) ενός Φ/Β πλαισίου

Solar Module Typical Performance Characteristics	
Model	SRM005P
Peak Power	5W
Maximum Power Voltage(V _{mp})	18V
Maximum Power Current(I _{mp})	0.278A
Open Circuit Voltage(V _{oc})	21.8V
Short Circuit Current(I _{sc})	0.302A
At STC(Standard Test Conditions): AM1.5 1000W/m ² 25°C	



SOLO LINE 36



Longlife tested



Power proofed



Safety provided



WARNING - ELECTRICAL HAZARD

This Photovoltaic Module produces electricity when exposed to light. Follow all applicable electrical safety precautions. Only qualified personnel should handle this module. Do not scratch or damage rear surface. Do not handle modules when they are wet. Never disconnect cables when system is operating.

Luxor Solar GmbH | Königstraße 26 | 70173 Stuttgart | Germany | www.luxor-solar.com

LUXOR
the sunshine people

Description: Solo Line 10
LX-10M/62,5×31,25-36| Art.No.LD14737

P_{mp}: 10Wp (0/+5%)

U_{mp}: 17,39 V

I_{mp}: 0,58 A

U_{oc}: 21,60 V

I_{sc}: 0,64 A

Max. system voltage: 150 V

nominal rating at STC (1000 W/m² - AM 1.5 - 25°C)

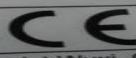
Serial number:



11601256463



The validity of the certificates/listings for a specific country has to be examined under:
www.luxor-solar.com/download.htm

Model Number	STP010D-12/KEA
Rated Maximum Power	10W
Output Tolerance	±10%
Current at P _{max}	(I _{mp}) 0.57A
Voltage at P _{max}	(V _{mp}) 17.4V
Short-Circuit Current	(I _{sc}) 0.65A
Open-Circuit Voltage	(V _{oc}) 21.6V
Nominal Operating Cell Temp.	(T _{NOCT}) 45°C±2°C
Weight	1.5kg
Dimension	368mm×310mm×18mm
Maximum System Voltage	30V
Maximum Series Fuse Rating	5A
Cell Technology	multi-Si
Application Class C	
All technical data at standard test condition	
AM=1.5	E=1000W/m ² Tc=25°C
 	
Add: 17-6 ChangJiang South Road, New District Wuxi, China 214028	
Customer Service Hot Line: +86 400 8888 009 Fax: +86 510 8534 3321	
Made in China	

Στοιχεία λειτουργίας Φ/Β πλαισίου



Ο (στιγμιαίος) συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου η ($\eta < 1$)

$$\eta = P_m / P_{inc} =$$

(απόδοση είναι $\eta * 100\%$)

Όπου:

$P_{inc(incident)}$: προσπίπτουσα ισχύ φωτεινής ακτινοβολίας πάνω στο Φ/Β πλαίσιο

$P_m (module)$: η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει το πλαίσιο στο σημείο μέγιστης ισχύος (δηλαδή είναι η μέγιστη ισχύς **P_{MAX}**)

Η **P_{inc}** μπορεί να υπολογιστεί από την ένδειξη του πυρανόμετρου και το εμβαδόν του Φ/Β πλαισίου.

Η **P_m** μπορεί να υπολογιστεί από το πίνακα τιμών της γραφικής παράστασης $P=f(V)$



$$\eta = P_{output} / P_{input} = E_{output} / E_{input}$$

2.12 Απόδοση[efficiency] και συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου



Ο συντελεστής πλήρωσης FF

το ηλίκο της μέγιστης ισχύος που δίνει ένα πλαίσιο $P_{\max} = V_{mp} * I_{mp}$ (όπου V_{mp} και I_{mp} είναι η τάση και η ένταση στο σημείο μέγιστης λειτουργίας του πλαισίου)

προς την ισχύ $P = V_{oc} * I_{sc}$ που θα έδινε το πλαίσιο αν είχε στα άκρα του μέγιστη τάση V_{oc} και διαρρεόταν ταυτόχρονα από το μέγιστο ρεύμα I_{sc}

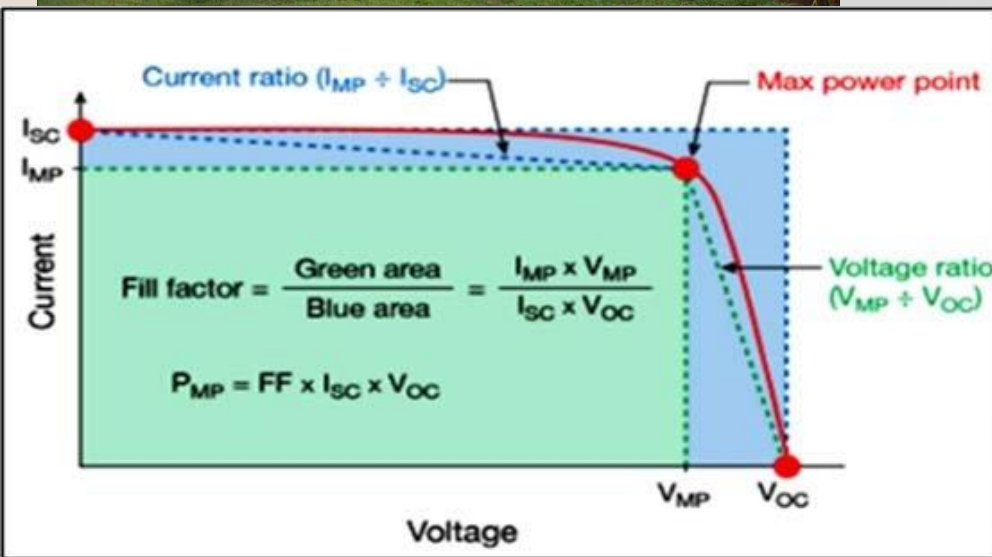
(στην διπλανή γραφική παράσταση είναι το ηλίκο της επιφάνειας του πράσινου προς την επιφάνεια του μπλε παραλληλογράμμου)

$$FF = P_{\max} / V_{oc} * I_{sc} = V_{mp} * I_{mp} / V_{oc} * I_{sc}$$

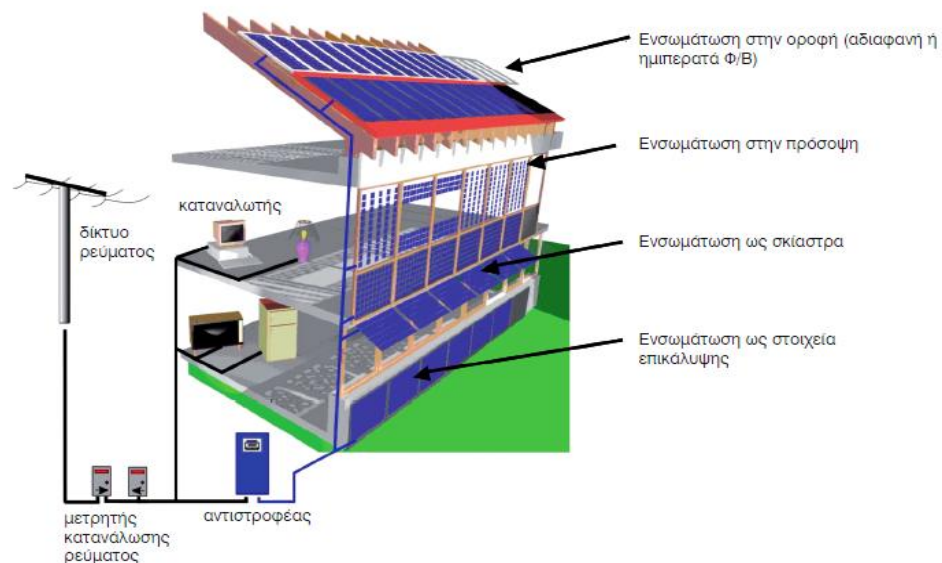
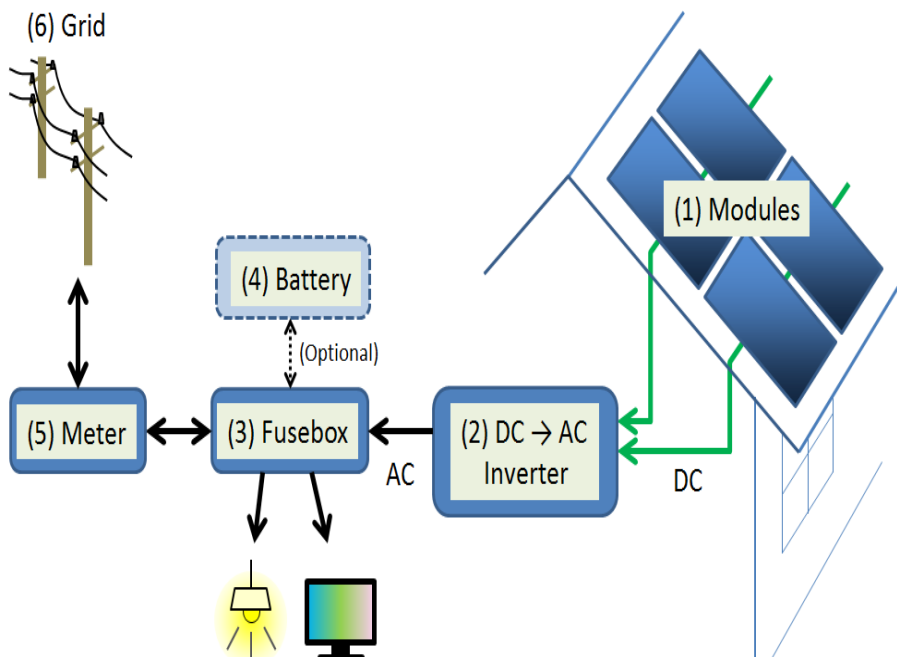
$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}}$$

Ο FF δείχνει την μέγιστη ισχύ ($P_{\max}$) που παράγει ένα Φ/Β (που φωτίζεται από φωτεινή ισχύ G) ως ποσοστό της ανώτατης «θεωρητικής» ισχύος ($V_{oc} * I_{sc}$) που θα μπορούσε να παράξει.

Για την ακρίβεια ο συντελεστής πλήρωσης ορίζεται για ένα Φ/Β στοιχείο κι όχι για ένα πλαίσιο, όμως για τις εκπαιδευτικές ανάγκες του πειράματος εδώ τον ορίζουμε για ένα Φ/Β πλαίσιο (με τον ίδιο τρόπο)



2.13 Συντελεστής Πλήρωσης[Fill Factor, FF] ενός Φ/Β πλαισίου



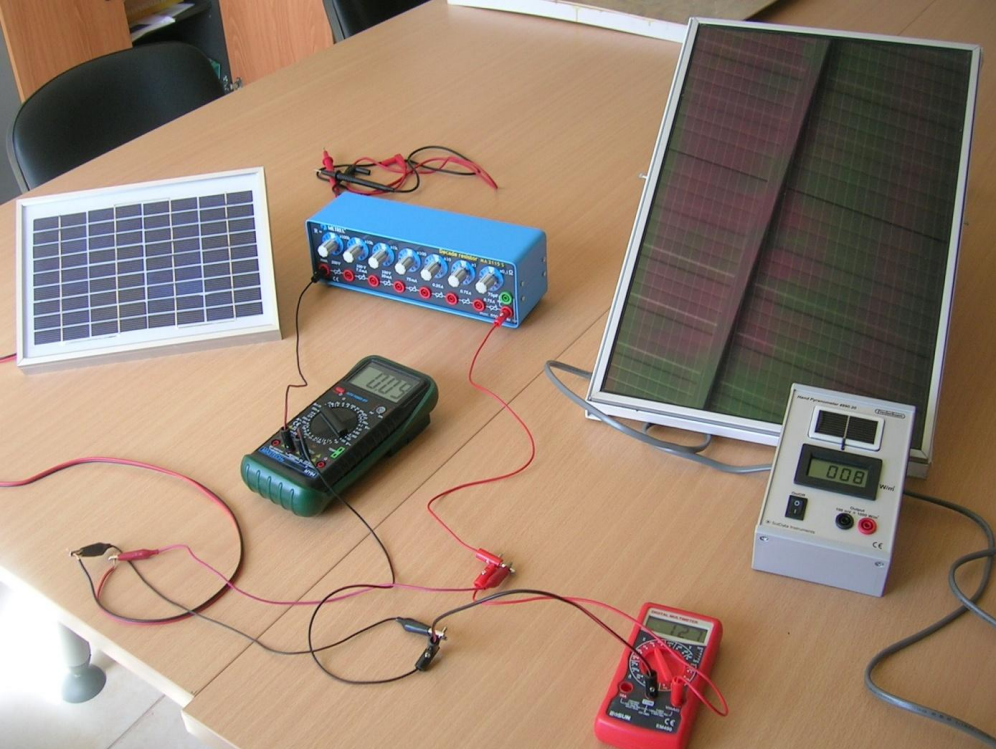
Φ/Β συστοιχία (PV array)

Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα (ανάλογα με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που χρειάζεται το σύστημα).

□ **Αυτόνομα** Φ/Β πλαίσια (με σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως σε συσσωρευτές/μπαταρίες)

□ **Συνδεδεμένα** Φ/Β πλαίσια στο ηλεκτρικό δίκτυο (*grid connected systems*)

2.14 Φ/Β συστοιχία (PV array)/ αυτόνομα Φ/Β- συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο



Σκοπός του πειράματος:

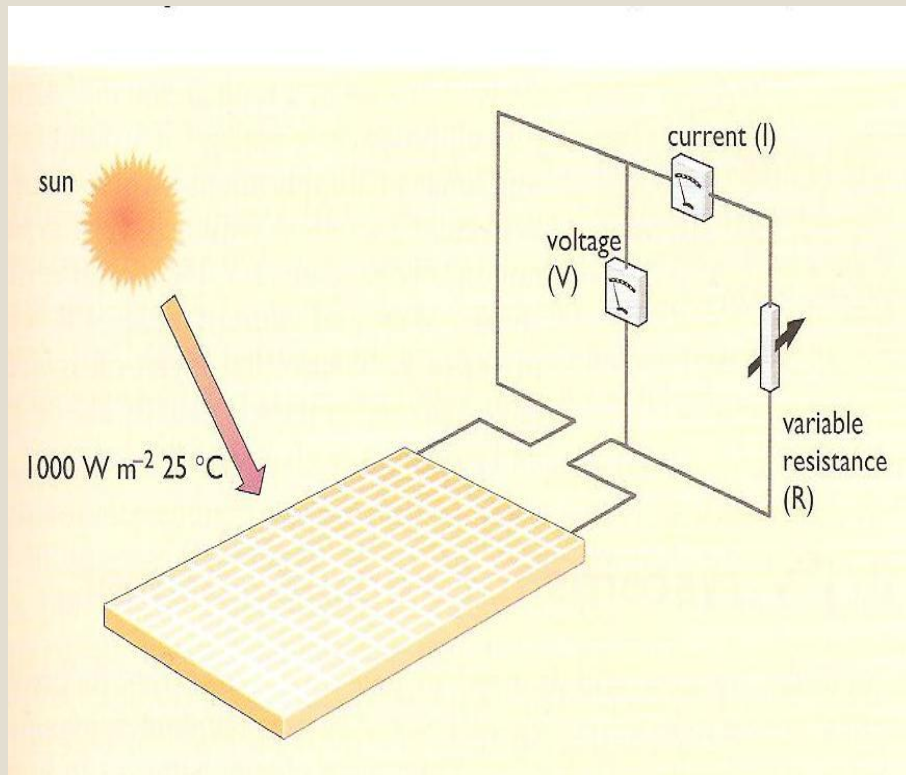
1. σχεδιασμός των χαρακτηριστικών καμπύλων $I=f(V)$ και $P=f(V)$
2. ο υπολογισμός της απόδοσης
3. ο υπολογισμός του συντελεστή πλήρωσης

για δυο Φ/Β πλαίσια (άμορφο και μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό)

Πειραματική διάταξη

Φ/Β πλαίσιο άμορφου πυριτίου 5 W_p (διαστάσεων 29,3X44,5cm)
Φ/Β πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου 5 W_p (διαστάσεων 25,5X15,6 cm)
Φ/Β πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου 10 W_p (διαστάσεων 29,9X25,6 cm)
Φορητό βολτόμετρο και αμπερόμετρο
Κιβώτιο αντιστάσεων
Φορητό πυρανόμετρο
Καλώδια σύνδεσης
Λαμπτήρας τεχνητού ηλιακού φωτός

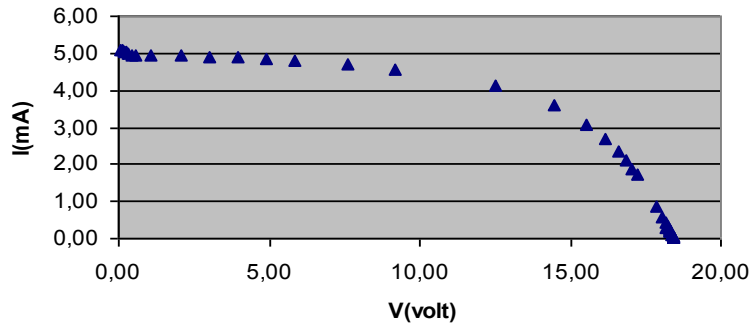
3.1 Πειραματική Διαδικασία (1)



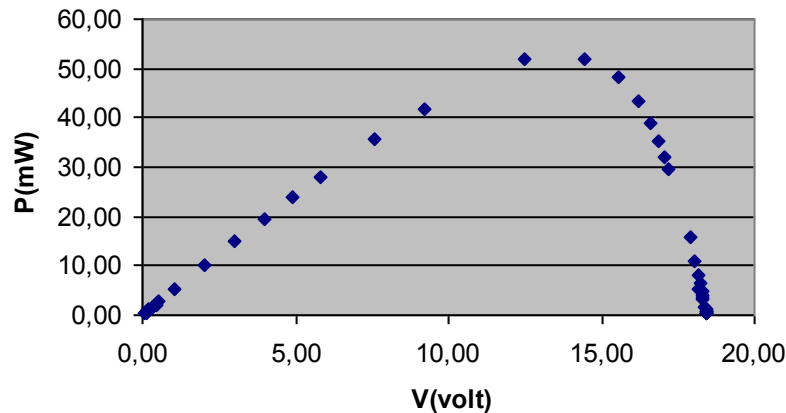
Εκτέλεση του πειράματος

1. Συνδέουμε με τον κατάλληλο τρόπο το πρώτο Φ/Β πλαίσιο με το κιβώτιο αντιστάσεων καθώς και με το βολτόμετρο και το αμπερόμετρο.
2. Φωτίζουμε το πλαίσιο με το λαμπτήρα και μετράμε με το πυρανόμετρο την πυκνότητα ηλιακής ισχύος που δέχεται το πλαίσιο.
3. Θέτοντας διάφορες τιμές τις αντίστασης (ξεκινώντας από την μικρότερη αντίσταση) στο κιβώτιο αντιστάσεων παίρνουμε τις ενδείξεις του αμπερόμετρου (το οποίο μετράει το ρεύμα I_R) και του βολτόμετρου και τις σημειώνουμε στο κατάλληλο πίνακα τιμών (μαζί με τα σφάλματά τους).
4. Καταγράφουμε τις τιμές V_{oc} και I_{sc} θέτοντας κατάλληλες τιμές αντίστασης από το κιβώτιο αντιστάσεων.

3.2 Πειραματική Διαδικασία (2)

$I=f(V)$ 

▲ Series1

 $P=f(V)$ 

◆ Series1

Φύλλο εργασίας για την Εργαστηριακή άσκηση 1

Μάθημα ΤΕΠ

Εργαστηριακή Άσκηση 1 / Χαρακτηριστικές καμπύλες Φωτοβολταϊκού πλαισίου

Έγγραφο ΕΑ1/3

Φύλλο εργασίας για την Εργαστηριακή άσκηση 1

Το παρόν φύλλο πρέπει να είναι εκτυπωμένο από κάθε ομάδα όταν έρθει να εκτελέσει την εργαστηριακή άσκηση

Οι φοιτητές/φοιτήτριες πρέπει να προσέρχονται προετοιμασμένοι/νες κατά την εκτέλεση κάθε εργαστηριακής άσκησης, δηλαδή **να έχουν μελετήσει την αντίστοιχη άσκηση από το εργαστηριακό φυλλάδιο και να μπορούν να απαντούν σε ερωτήσεις κατά την διάρκεια της προφορικής εξέτασης που θα προηγείται του πειράματος**. Για αυτό τον σκοπό πρέπει να μελετήσουν τις «Ερωτήσεις θεωρίας» (έγγραφο ΕΑ1/1) και «Βασικές Έννοιες» (έγγραφο ΕΑ1/2)

Έγγραφο ΕΑ1/1

Ερωτήσεις θεωρίας για την προετοιμασία για το εργαστηριακό πείραμα, την εργαστηριακή αναφορά και την τελική εξέταση

Έγγραφο ΕΑ1/2

Βασικές έννοιες που πρέπει να ξέρουν οι φοιτητές για το πείραμα της Εργαστηριακής άσκησης 1

3.3 Πειραματική Διαδικασία (3) Πειραματικές καμπύλες

Από τον κανονισμό του μαθήματος (eclass)

- Οι φοιτητές/φοιτήτριες πρέπει να προσέρχονται **προετοιμασμένοι** κατά την εκτέλεση κάθε εργαστηριακής άσκησης, δηλαδή να έχουν μελετήσει την αντίστοιχη άσκηση από το εργαστηριακό φυλλάδιο και να μπορούν να απαντούν σε ερωτήσεις κατά την διάρκεια της προφορικής εξέτασης που θα προηγείται του πειράματος.
- Σε περίπτωση που κάποιος/κάποια έρχεται απροετοίμαστος/η-αδιάβαστος/η για την διεξαγωγή της εργαστηριακής άσκησης ο εργαστηριακός υπεύθυνος διατηρεί το δικαίωμα να μην του/της επιτρέψει να διεξάγει την συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση και μηδενίζεται ο προφορικός βαθμός του.

3.4 Προετοιμασία για την διεξαγωγή του πειράματος

**Ευχαριστώ
για την
Προσοχή σας !**

**Γιάννης Κανάκης
Φυσικός, MSc, ΕΔΙΠ**

