

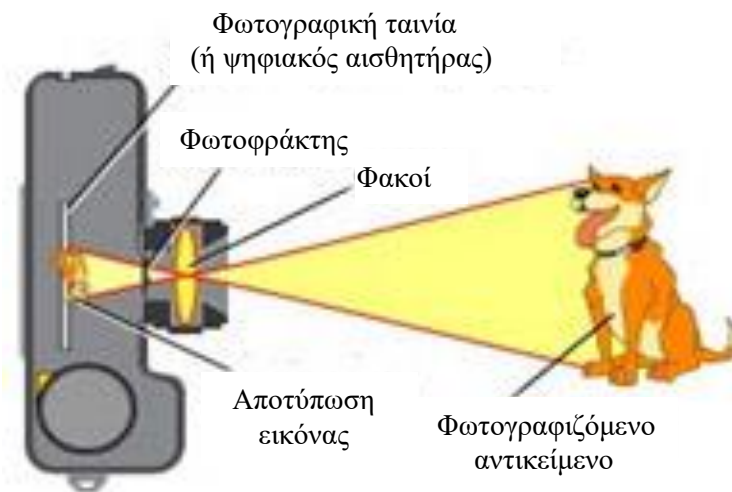
## 1 Σκοπός

Στην άσκηση αυτή γίνεται μία παρουσίαση των βασικών στοιχείων της φωτογραφικής μηχανής (φακός – φωτοφράκτης - διάφραγμα – αισθητήρας) καθώς και μία σύντομη αναφορά στις βασικές αρχές λειτουργίας της. Στην συνέχεια της άσκησης ορίζεται το βάθος πεδίου στην διαδικασία της φωτογράφισης και προσδιορίζονται τα στοιχεία από τα οποία το βάθος πεδίου εξαρτάται.

## 2 Θεωρία

### 2.1 Αρχή λειτουργίας

Η φωτογραφική μηχανή είναι στην ουσία της ένα απλό οπτικό όργανο. Αποτελείται από ένα σκοτεινό θάλαμο που στη μία πλευρά του φέρει ένα κυκλικού σχήματος παράθυρο. Στο κυκλικό αυτό παράθυρο υπάρχουν ο φωτοφράκτης, το διάφραγμα και ο συγκλίνων φακός (Σχήμα 1). Απέναντι από το φακό ευρίσκεται η φωτογραφική ταινία (φιλμ) που περιέχει φωτοευαίσθητη ουσία ή ένας ψηφιακού χαρακτήρα αισθητήρας.



Σχήμα 1. Αρχή λειτουργίας φωτογραφικής μηχανής.

Ο φωτοφράκτης είναι ένας μηχανισμός που επιλεκτικά ανοιγοκλείνει, κάθε φορά που λαμβάνεται μία φωτογραφία και έτσι ελέγχει τη διάρκεια που θα εκτεθεί στο φως η φωτοευαίσθητη επιφάνεια. Το διάφραγμα που φέρει κυκλικό άνοιγμα με μεταβλητή διάμετρο ρυθμίζει τη ποσότητα του φωτός (ή φωτεινή ροή) που θα περάσει μέσα στο θάλαμο.

Η αρχή λειτουργίας της φωτογραφικής μηχανής παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Ο φακός σχηματίζει ευκρινές (καθαρό) είδωλο του αντικειμένου πάνω στον αισθητήρα. Για να σχηματίζεται πάντα εστιασμένο είδωλο, πρέπει η απόσταση  $\beta$  του φακού από τον αισθητήρα να μεταβάλλεται με την απόσταση  $\alpha$  του αντικειμένου από το φακό, για να ισχύει η σχέση:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

όπου  $f$  η εστιακή απόσταση του φακού. Αυτό επιτυγχάνεται αξιόπιστα με τη χρησιμοποίηση διαφόρων μηχανικών συστημάτων.

Χαρακτηριστικά στοιχεία των φακών των φωτογραφικών μηχανών είναι:

1. Η εστιακή απόσταση του φωτογραφικού φακού:  $f$
2. Η διάμετρος του φακού:  $d$
3. Το σχετικό άνοιγμα του φακού:  $f/d$

Η φωτεινότητα του ειδώλου εξαρτάται από την φωτεινή ροή που προσπίπτει στον αισθητήρα. Ο φωτισμός  $B$  που έτσι δημιουργείται εξαρτάται από την εστιακή απόσταση του φακού  $f$  καθώς και την διάμετρο του  $d$ . Αυτό προκύπτει από τους εξής συλλογισμούς.

Είναι προφανές ότι ο φωτισμός  $B$  είναι ανάλογος προς την επιφάνεια του φακού δηλαδή ανάλογος προς το τετράγωνο της διαμέτρου του, δηλαδή ισχύει:

$$B \propto d^2 \quad (2)$$

Ο φωτισμός όμως μίας περιοχής του αισθητήρα είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το τετράγωνο της απόστασης  $\beta$  του ειδώλου από το φακό. Για αντικείμενα πολύ απομακρυσμένα ισχύει:  $a \gg f$  και επομένως λόγω της (1)  $\beta \cong f$ . Άρα;  $B \propto \frac{1}{f^2}$

$$\text{Τελικά λοιπόν: } B \propto \frac{d^2}{f^2} = \left(\frac{d}{f}\right)^2 = \frac{1}{\left(\frac{f}{d}\right)^2}$$

Το πηλίκο  $f/d$  είναι το σχετικό άνοιγμα και πολλές φορές αναγράφεται στους φωτογραφικούς φακούς η τιμή για το αντίστροφό του δηλαδή:

$$\frac{1}{f/d}$$

Το πηλίκο  $f/d$  ονομάζεται αριθμός  $f$  του φακού. Ο αριθμός  $f$  μας δίνει το μέτρο της δυνατότητας συγκέντρωσης φωτός που έχει ο κάθε φωτογραφικός φακός και από αυτόν εξαρτάται ο χρόνος κατά τον οποίο πρέπει να παραμείνει ανοικτός ο φωτοφράκτης. Ένας “γρήγορος” φακός έχει μικρό αριθμό  $f$ . Οι “γρήγοροι” φακοί με αριθμό κοντά στο 1.4 στοιχίζουν ιδιαίτερα ακριβά γιατί η κατασκευή τους είναι δύσκολη και συνεπώς δαπανηρή, επειδή πρέπει να περιοριστούν τα σφάλματά τους. Συνήθως οι φωτογραφικοί φακοί χαρακτηρίζονται με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό  $f$  που αντιστοιχεί σε ανοικτό διάφραγμα.

## 2.2 Διάφραγμα (ή άνοιγμα φακού)

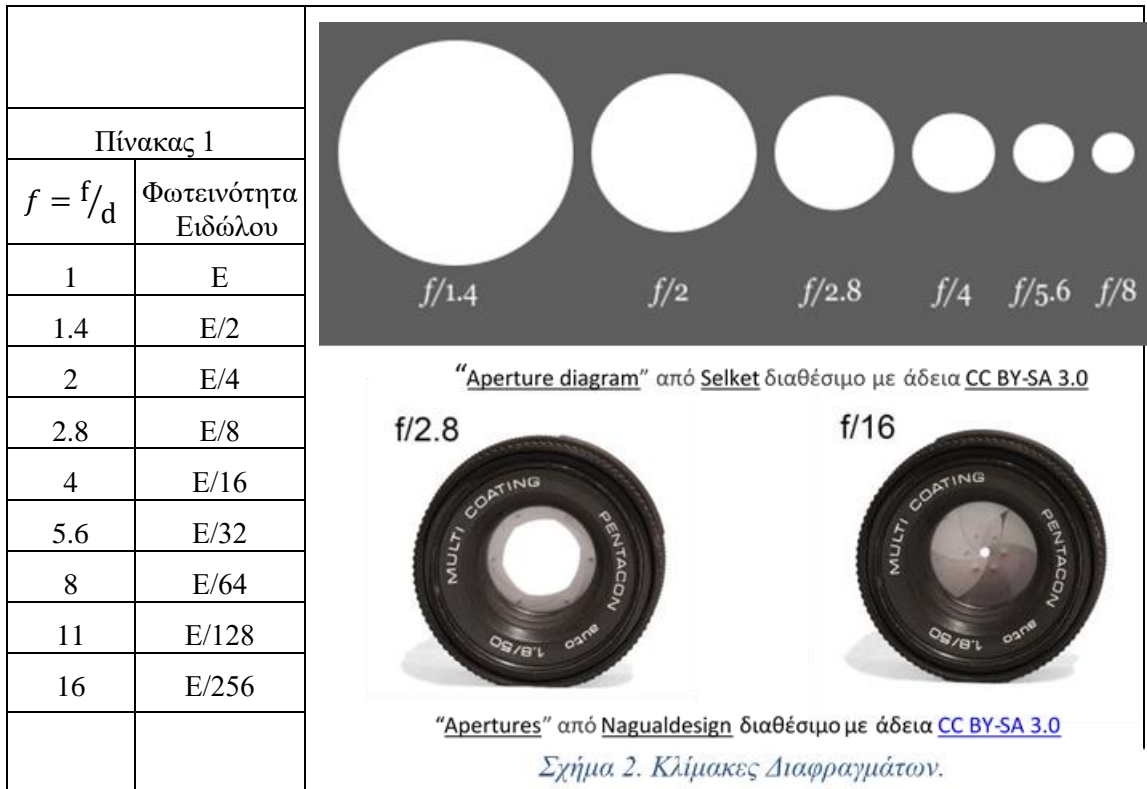
Πρόκειται για άνοιγμα κυκλικού συνήθως σχήματος πολύ κοντά στον φωτογραφικό φακό. Καθορίζει την ποσότητα του φωτός που εισέρχεται στη φωτογραφική μηχανή. Αναφέρεται σαν αριθμός  $f$  του φακού. Έτσι, μεγάλο  $f$  number σημαίνει και μικρό άνοιγμα.

Η καθιερωμένη σειρά διαφραγμάτων είναι:

1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32, ...

Πρόκειται για μία σειρά αριθμών που αποτελούν γεωμετρική πρόοδο με λόγο την ρίζα του αριθμού 2 (= 1.414).

Έτσι η μεταβολή κατά μία τιμή προς τα πάνω ή προς τα κάτω του  $f$  number σημαίνει και υποδιπλασιασμό ή διπλασιασμό του φωτός που προσπίπτει στον αισθητήρα στο εσωτερικό της φωτογραφικής μηχανής. Διάφραγμα (π.χ. 8) σημαίνει ότι για κάθε φακό η στερεά γωνία εισόδου είναι ακριβώς η ΙΔΙΑ. Στον πίνακα 1 που ακολουθεί εμφανίζεται η μεταβολή της φωτεινότητας του ειδώλου σε σχέση με τις διάφορες τιμές του  $f$  number του φακού.

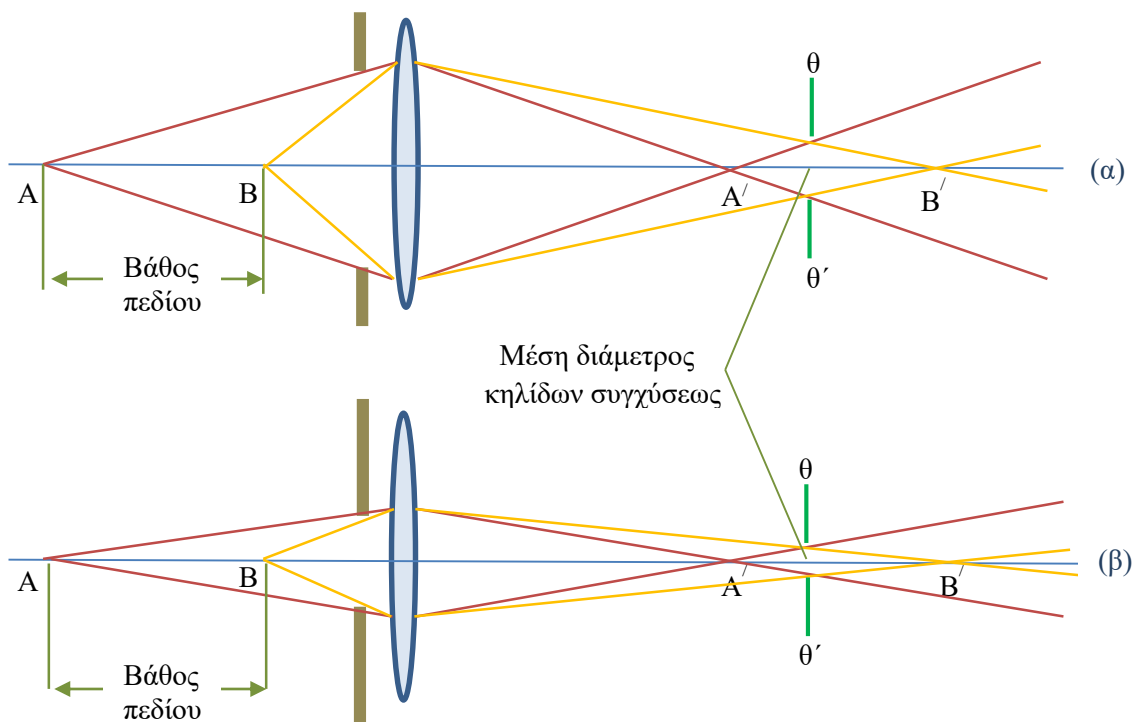


Στο σχήμα 2 εμφανίζονται σχηματικά διάφορες τιμές διαφραγμάτων και αποτυπώνεται σχηματικά το άνοιγμα σε δύο τιμές  $f/2.8$  και  $f/16$  της κλίμακας των διαφραγμάτων.

### 2.3 Βάθος πεδίου

Πρόκειται για την περιοχή των αποστάσεων από την φωτογραφική μηχανή για την οποία όλα τα προς φωτογράφιση αντικείμενα εμφανίζονται στην φωτογραφία καλά εστιασμένα.

Τα σημεία A,B του σχήματος 3(α) βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από το φακό, οπότε τα είδωλα τους A', B' σχηματίζονται επίσης σε διαφορετικές αποστάσεις από αυτόν.

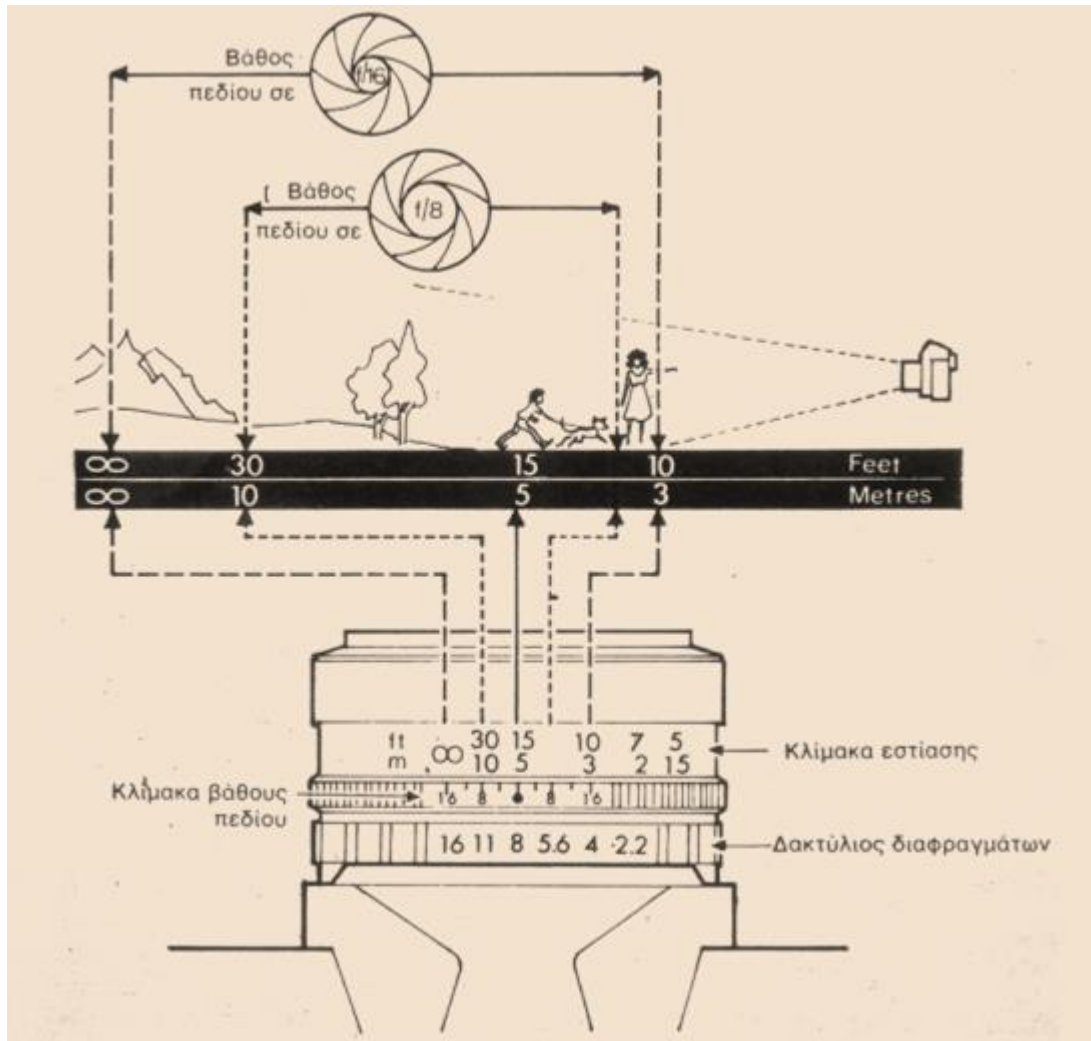


Είναι φανερό ότι δεν είναι δυνατόν να βρεθεί θέση στο επίπεδο του αισθητήρα, για την οποία όλα τα φωτογραφιζόμενα σημεία να απεικονίζονται ταυτόχρονα καθαρά.

Το καλύτερο είναι να τοποθετηθεί η φωτοευαίσθητη επιφάνεια σε τέτοια θέση  $\theta\theta'$ , ώστε τα παρατηρούμενα σημεία επί του φιλμ να σχηματίζουν τις μικρότερες κηλίδες. Μικρές κηλίδες εμφανίζονται όταν τα σημεία A,B βρίσκονται σε μία στενή περιοχή απεικόνισης (βάθος ευκρινούς απεικόνισης).

Για να επιτευχθεί η αύξηση του βάθους πεδίου πρέπει να ελαττωθεί το σχετικό άνοιγμα παρεμβάλλοντας το διάφραγμα Δ. Έτσι ελαττώνονται οι διαστάσεις των κηλίδων.

Συνήθως οι φακοί έχουν χαραγμένες επάνω τους ενδείξεις που υπολογίζουν το βάθος πεδίου.



Σχήμα 4. Καθορισμός βάθους πεδίου

Στο σχήμα 4 εμφανίζεται ένας φακός ο οποίος είναι εστιασμένος σε απόσταση 5m και το διάφραγμα είναι στο 8. Τότε το βάθος πεδίου σύμφωνα με τις ενδείξεις εκτείνεται από 3,6m έως 10m.

Στην περίπτωση που το διάφραγμα είναι στην ένδειξη 16 το βάθος πεδίου σύμφωνα πάντα με τις ενδείξεις εκτείνεται από τα 3m έως το ∞). Σε άλλες φωτογραφικές μηχανές το βάθος πεδίου υπολογίζεται από πίνακα που δίνεται μαζί με το φακό.

Το βάθος πεδίου εξαρτάται από:

- Την εστιακή απόσταση  $f$  του φακού,

β. Την απόσταση  $a$  του αντικειμένου από το φακό και

γ. Από το << σχετικό άνοιγμα >> του φακού (ή τον αριθμό  $f$ ).

Εάν διατηρηθεί σταθερό το σχετικό άνοιγμα και η απόσταση  $a$ , διαπιστώνεται ότι το βάθος πεδίου είναι αντιστρόφως ανάλογο της εστιακής απόστασης.

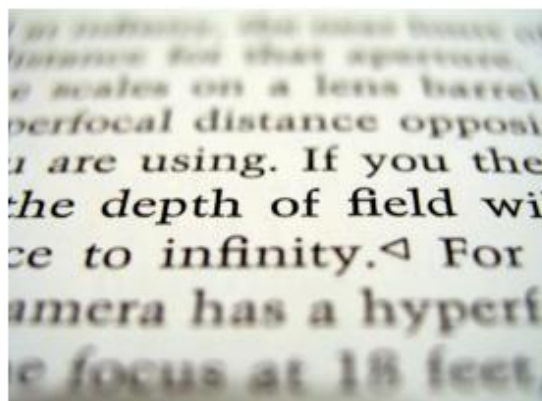
Εάν διατηρηθεί σταθερή η εστιακή απόσταση και το σχετικό άνοιγμα, το βάθος πεδίου, είναι ανάλογο με την απόσταση  $a$ .

Τέλος η σχέση βάθους πεδίου και σχετικού ανοίγματος φωτογραφικής μηχανής διαπιστώνεται στο σχήμα 3(β). Δηλαδή μικρές τιμές  $f$  number αντιστοιχούν σε μικρό βάθος πεδίου ενώ σε μεγάλες τιμές (μικρά ανοίγματα) το βάθος πεδίου είναι σημαντικό.

Η επιλογή της εστιακής απόστασης για φακό φωτογραφικής μηχανής εξαρτάται από το μέγεθος του φιλμ και από την επιθυμητή γωνία παρατήρησης. Η πιο δημοφιλής φωτογραφική μηχανή των 35mm έχει μέγεθος ειδώλου, στο επίπεδο της φωτοευαίσθητης επιφάνειας, 24mm x 36mm. Ο κανονικός φακός για μια τέτοια φωτογραφική μηχανή έχει συνήθως εστιακή απόσταση περίπου 50mm, η οποία επιτρέπει μια γωνία παρατήρησης περίπου 45°.

Ένας φακός με μεγαλύτερη εστιακή απόσταση π.χ. 135mm ή 200mm, δίνει μικρότερη γωνία παρατήρησης και μεγαλύτερο είδωλο ενός τμήματος του αντικειμένου, σε σύγκριση με τον κανονικό φακό. Αυτό δημιουργεί την εντύπωση πως η φωτογραφική μηχανή είναι πλησιέστερα από ότι είναι στην πραγματικότητα. Ένας τέτοιος φωτογραφικός φακός ονομάζεται τηλεφακός.

Ένας φακός με μικρότερη εστιακή απόσταση π.χ. 35 mm ή 28 mm, επιτρέπει ευρύτερη γωνία παρατήρησης και ονομάζεται ευρυγώνιος φακός. Ένας εξαιρετικά ευρυγώνιος (fish - eye) φακός μπορεί να έχει ελάχιστη εστιακή απόσταση, ακόμη και ως 6mm.



“Jonquil flowers at  $f32$ ” και “Jonquil flowers at  $f5$ ”  
από Fir0002 διαθέσιμο με άδεια CC BY-NC

“DOF-ShallowDepthofField” από Ligar~commonswiki  
διαθέσιμο με άδεια CC BY-SA 3.0

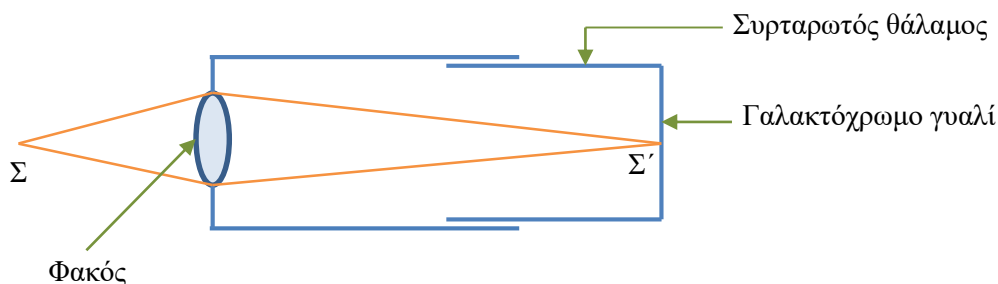
### Σχήμα 5. Βάθος πεδίου. Φωτογραφικά παραδείγματα

Το σχήμα 5 δείχνει ένα τοπίο φωτογραφημένο από το ίδιο σημείο αλλά με φακούς διαφορετικών εστιακών αποστάσεων όπου παρατηρούμε ότι το βάθος πεδίου αυξάνει

αντιστρόφως ανάλογα με την εστιακή απόσταση, όπου το  $f$  αυξάνει, από τα 28mm σε 300mm (λόγος 1 : 10).

### 3 ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Απαραίτητα όργανα



Φωτογραφικός θάλαμος, Λαμπτήρας πυρακτώσεως, Φωτόμετρο, Διαφράγματα διαφόρων διαμέτρων.

1. Αναγνωρίζονται τα σχετικά στοιχεία του φωτογραφικού θαλάμου.
2. Μετριέται η εστιακή απόσταση του φακού, σχηματίζοντας το είδωλο ενός αντικειμένου που βρίσκεται αρκετά μακριά, πάνω στο γαλακτόχρωμο γυαλί. Η εστιακή απόσταση συμπίπτει τότε με την απόσταση φακού - γαλακτόχρωμου γυαλιού.

$f =$	(cm)
-------	------

3. Μετριέται η διάμετρος του φακού  $d$  και υπολογίζεται το αντίστοιχο σχετικό άνοιγμα:

$d =$	(cm)	$f/d =$
-------	------	---------

4. Γνωρίζοντας το μέγιστο ολικό μήκος του θαλάμου υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση  $\alpha_{\min}$  για την οποία είναι θεωρητικά δυνατός ο σχηματισμός ειδώλου στο γαλακτόχρωμο γυαλί.

$\alpha_{\min} =$	(cm)
-------------------	------

5. Μετριέται πειραματικά η απόσταση αυτή πλησιάζοντας τον λαμπτήρα πυρακτώσεως στο φωτογραφικό φακό και, λαμβάνοντας το είδωλο στο γαλακτόχρωμο γυαλί. (Το μήκος του θαλάμου είναι το μέγιστο δυνατό).

$\alpha'_{\min} =$	(cm)
--------------------	------

6. Απομακρύνεται ο λαμπτήρας σε απόσταση  $1m$  περίπου από το φακό. Εστιάζεται το είδωλο στο γαλακτόχρωμο γυαλί μετακινώντας κατάλληλα τον εσωτερικό συρταρωτό θάλαμο.

Μετριέται κατάλληλα ο φωτισμός ( $B$ ) του ειδώλου με ( $B_1$ ) και χωρίς ( $B_0$ ) φως από τον λαμπτήρα (αυτό γίνεται για να αφαιρεθεί το εκ διαχύσεως φως). Υπολογίζεται ο φωτισμός του ειδώλου από τη σχέση:

$B = B_1 - B_0 =$	(Lux)
-------------------	-------

όπου  $B_1$  είναι η ένδειξη του φωτόμετρου με το λαμπτήρα αναμμένο και  $B_0$  η ένδειξη με τον

λαμπτήρα εκτός λειτουργίας.

Επαναλαμβάνεται η εργασία παρεμβάλλοντας διαφράγματα διαφόρων διαμέτρων ακριβώς πίσω από τον φακό. Καταγράφονται τα αποτελέσματα στο πίνακα 2 που ακολουθεί.

Πίνακας 2

<b>d (mm)</b>	<b>d<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>B<sub>i</sub> (Lux)</b>	<b>B<sub>0</sub> (Lux)</b>	<b>B (Lux)</b>

8. Αποδίδουμε γραφικά τη σχέση  $B = f(d^2)$  συμπεριλαμβάνοντας και τη μέτρηση της εργασίας 6 για τη διάμετρο του φακού όπως μετρήθηκε στην εργασία 3. Τι συμπεράσματα βγάξετε από τη μορφή της πειραματικής καμπύλης;

9. Για διάφραγμα διαμέτρου  $d = 50\text{mm}$  λαμβάνουμε ευκρινές είδωλο στο γαλακτόχρωμο γυαλί μετακινώντας τη πλάτη της φωτογραφικής μηχανής. Σημειώνεται η απόσταση  $\alpha$  για την οποία λαμβάνεται ευκρινές είδωλο.

$\alpha =$ (cm)
-----------------

10. Διατηρώντας σταθερό το μήκος του θαλάμου, μετακινείται ελαφρά ο λαμπτήρας δεξιά και αριστερά από την αρχική θέση. Σημειώνεται το εύρος της περιοχής για την οποία λαμβάνεται το ευκρινές είδωλο. Αυτό είναι το βάθος πεδίου.

11. Επαναλαμβάνονται οι εργασίες 9 και 10 για διάφραγμα  $d = 20\text{mm}$  και συμπληρώνεται ο πίνακας 3 που ακολουθεί.

Πίνακας 3

<b>d (mm)</b>	<b>Βάθος πεδίου (m)</b>
<b>50</b>	
<b>20</b>	

13. Με δεδομένο ότι τα μεγέθη  $f$  και  $\beta$  είναι σταθερά τι συμπέρασμα βγάξετε για τη σχέση βάθους πεδίου - διαφράγματος;

Σταθερά μεγέθη:	$f =$ (cm)
	$\beta =$ (cm)

#### ΑΣΚΗΣΗ

α) Μια γυναίκα ύψους 1.7m στέκεται σε απόσταση 5m μπροστά από μια φωτογραφική μηχανή που διαθέτει φακό εστιακής απόστασης 50mm. Ποιο είναι το μέγεθος του ειδώλου της που σχηματίζεται πάνω στον αισθητήρα;

β) Υποθέστε ότι η φωτογραφική μηχανή που φαίνεται στο Σχήμα 1 έχει ορισμένη εστιακή απόσταση 6,5 cm και είναι ρυθμισμένη να εστιάζει το είδωλο ενός μακρινού αντικειμένου. Κατά πόσο και κατά ποιά διεύθυνση πρέπει να μετακινηθεί αντίστοιχα ο φακός ώστε να εστιάζει το είδωλο ενός αντικειμένου που βρίσκεται σε απόσταση 2m;