

Τ.Ε.Ι. Αθήνας
Σχολή Γραφικών Τεχνών
και Καλλιτεχνικών Σπουδών
τμήμα Φωτογραφίας

Ασπρόμαυρη Φωτογραφία

Παναγιώτης Ηλίας

Παναγιώτης Ηλίας

Παναγιώτης Ηλίας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Δομή του ασπρόμαυρου αρνητικού film και σχηματισμός της λανθάνουσας εικόνας (σελ. 4-5)

- συστατικά του ασπρόμαυρου αρνητικού film
- δομή του κρυστάλλου και σχηματισμός της λανθάνουσας εικόνας

Εμφάνιση της λανθάνουσας εικόνας σε ορατή (σελ. 6-9)

- εμφάνιση της λανθάνουσας εικόνας
- η έκθεση και το μαύρισμα της φωτοευαίσθητης ουσίας
- η φωτογραφική διαδικασία

Έκθεση της φωτοευαίσθητης ουσίας (σελ. 10)

- διάφραγμα και χρόνος έκθεσης – νόμος της ισοδυναμίας

Αποτυχία του νόμου της ισοδυναμίας (σελ. 11-13)

- σφάλμα ισοδυναμίας
- αιτία του σφάλματος της ισοδυναμίας
- διόρθωση του σφάλματος ισοδυναμίας

Η χρωματική ευαισθησία των Ασπρόμαυρων φωτοευαίσθητων ουσιών (σελ. 14-17)

- εμπλουτισμός του κρυστάλλου με έγχρωμους ευαισθητοποιητές
- είδη φωτοευαίσθητων ουσιών
- χρώμα-τόνος
- το χρώμα και η απόδοση του στο film

Μέτρηση του μαυρίσματος του film (σελ. 18-19)

- διαπερατότητα του film
- διαφάνεια - αδιαφάνεια - πυκνότητα

Φωτομέτρηση (σελ. 20-22)

- φωτομέτρηση προσπίπτοντος φωτισμού
- φωτομέτρηση ανακλώμενου φωτισμού

Αντίθεση φωτεινότητας (σελ. 23-26)

- φωτεινότητα σκηνής
- σχέση μονάδων έκθεσης
- μονάδες έκθεσης
- κλίμακα τόνων της kodak

Χαρακτηριστική καμπύλη του film (σελ. 27-31)

- μέρη της καμπύλης
- μετρήσεις πάνω στην χαρακτηριστική καμπύλη του film
- χαρακτηριστικές καμπύλες
- η καμπύλη της διαβάθμισης του film σε συνάρτηση με το χρόνο εμφάνισης

Ταχύτητα φωτοανταπόκρισης του film (σελ. 32-33)

- ταχύτητα του υλικού

Εισαγωγή

Το φωτογραφικό film, το χαρτί και τα χημικά που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή μιας φωτογραφικής εικόνας, είναι υλικά, που η καλή γνώση της χρήσης και της επεξεργασίας τους, μας αποτρέπουν από την σπατάλη χρόνου και χρήματος.

Το να γνωρίζουμε πώς καταγράφεται η εικόνα πάνω στις φωτοευαίσθητες ουσίες, πως επιδρούν τα χημικά στους κρυστάλλους, τι σχέση υπάρχει μεταξύ της φωτογραφιζόμενης σκηνής, του film και του φωτογραφικού χαρτιού, πως επηρεάζει το ένα στο άλλο, μας δίνει τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε μία κατ' αρχήν καλή φωτογραφία. Αυτή, εκτός από τη θεματολογική αισθητική θα πρέπει να παρουσιάζει και μία αισθητική της τεχνικής, που αυτή καθ' αυτή γίνεται κοινά αποδεκτή γιατί υπακούει σε αντικειμενικούς νόμους, που δεν είναι άμεσα εξαρτημένοι από την κοινωνική κατάσταση μέσα στην οποία παρήχθη η φωτογραφική εικόνα.

Επιπρόσθετα η καλή γνώση της φωτογραφικής τεχνικής, μας δίνει τη δυνατότητα της δημιουργικής καταστροφής της.

Δομή του ασπρόμαυρου αρνητικού film και σχηματισμός της λανθάνουσας εικόνας

Το ασπρόμαυρο φωτογραφικό αρνητικό, film, είναι μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια, που με την επίδραση του φωτός διαφοροποιεί τη χημική της σύσταση. Έχει πάχος περίπου 127 χιλιοστά του χιλιοστού και αποτελείται από 6 στρώσεις. Η κάθε μία, παίζει έναν ξεχωριστό ρόλο στο σχηματισμό και στην ποιότητα της καταγραφόμενης εικόνας, αλλά και στην καλή διατήρηση της για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η σπουδαιότερη στρώση φυσικά είναι αυτή που καταγράφεται η εικόνα. Σε αυτήν υπάρχουν κρύσταλλοι αλογόνου του αργύρου (βρώμιο ή χλώριο)¹ μέσα σε ζωική ζελατίνη². Οι κρύσταλλοι αυτοί έχουν δομή στερεού που φυσικά δεν είναι τέλεια, γιατί τότε δεν θα μπορούσε να επέλθει καμία μεταβολή σ' αυτούς.

Μέσα στον κάθε κρύσταλλο και στην επιφάνεια του, υπάρχουν οι κηλίδες ευαισθησίας που είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό της εικόνας. Το αλογόνο είναι φορτισμένο αρνητικά γιατί έχει ένα ηλεκτρόνιο περίσσιο, ενώ ο άργυρος είναι φορτισμένος θετικά εφ' όσον του λείπει ένα ηλεκτρόνιο. Όταν ο κρύσταλλος και συγκεκριμένα το αλογόνο του, "χτυπηθεί" από δύο τουλάχιστον φωτόνια ($2h\nu$), τότε από αυτό αποσπάται το ηλεκτρόνιο που περισεύει. Αυτό έλκεται από την κηλίδα ευαισθησίας, που έχει σαν συνέπεια να φορτίζεται αρνητικά.

Στη συνέχεια ένα ελεύθερο ιόν αργύρου πάει στην

αρνητικά φορτισμένη κηλίδα ευαισθησίας και δεσμεύει το ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με αποτέλεσμα να σχηματιστεί εκεί μεταλλικός άργυρος.

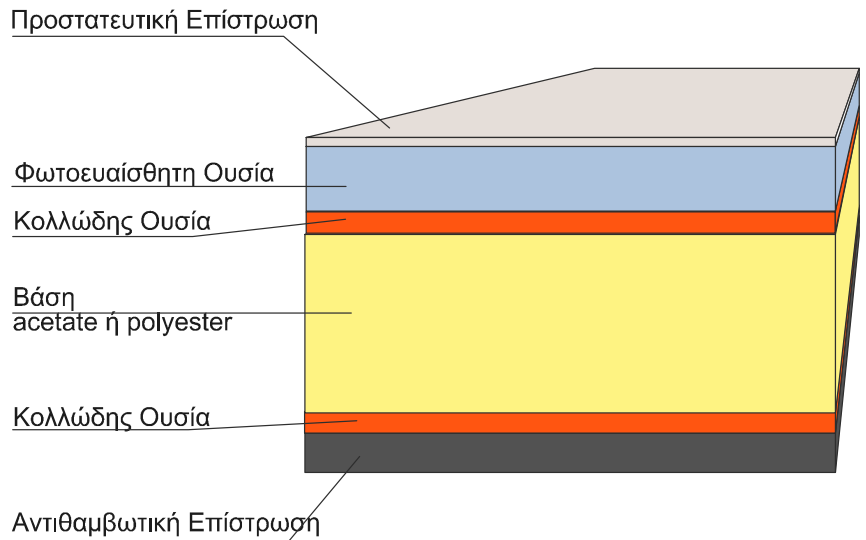
Από αυτή τη στιγμή έχει σχηματιστεί η εικόνα σε λανθάνουσα μορφή³ η οποία δεν μπορεί να παραμείνει σε αυτή την κατάσταση για πάρα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα⁴. Αυτό έχει σαν συνέπεια το film να πρέπει να εμφανιστεί μέσα στις επόμενες 72 ώρες ιδιικά αν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 24°C και η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος 50% ή χαμηλότερη. Αν η εμφάνιση δεν είναι δυνατόν να γίνει μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα ή η θερμοκρασία και η υγρασία είναι πάνω από τα όρια που αναφέρθησαν, τότε καλό είναι το εκτεθειμένο film να φυλάγεται σε αεροστεγές πλαστικό δοχείο και να τοποθετείται στο ψυγείο.

¹ Στα films δεν χρησιμοποιείται πια το χλώριο σαν αλογόνο του αργύρου, γιατί είναι αργό στο φως. Χρησιμοποιείται όμως στα χαρτιά και δίνει πάρα πολύ μεγάλη ποικιλία τόνων.

² Επειδή ακριβώς υπάρχει ζωική ζελατίνη, η αποθήκευση των αρνητικών films θέλει μεγάλη προσοχή. Καλό είναι να φυλάγονται σε φακέλους από ριζόχαρτο όσο και αν αυτοί καταστρέφονται εύκολα, ή σε πάρα πολύ καλής ποιότητας πλαστικούς που είναι όμως πάρα πολύ ακριβοί. Πρέπει ακόμη να αποθηκεύονται χωρίς ίχνος υγρασίας γιατί αν συμβεί το αντίθετο, τότε είναι σίγουρη η ανάπτυξη μικροοργανισμών (με αποτέλεσμα φυσικά την ανεπανόρθωτη καταστροφή των αρνητικών), ακόμα και αν έχουν φυλαχθεί σε φακέλους από ριζόχαρτο.

³ Αν υπάρξει μεγάλος χρόνος έκθεσης του κρυστάλλου στο φως, τότε η εικόνα αρχίζει να γίνεται εμφανής.

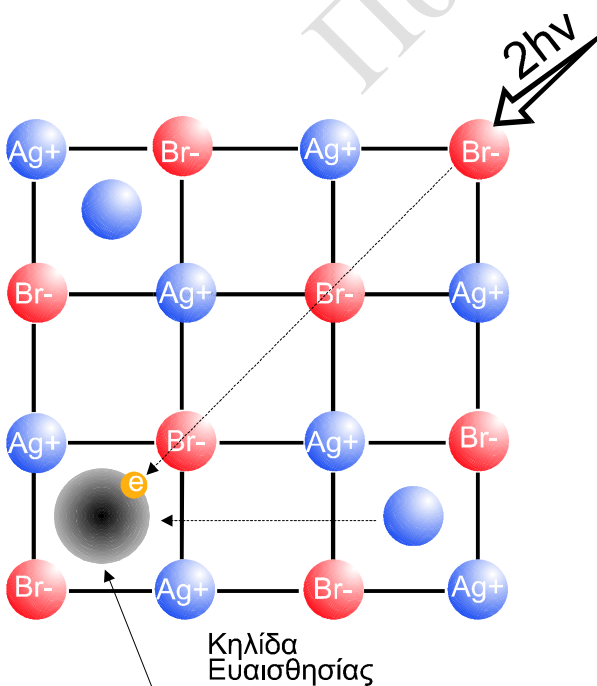
⁴ Ο χρόνος και η υψηλή θερμοκρασία, είναι οι κυριότεροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν και να καταστρέψουν την λανθάνουσα εικόνα.



ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΣΠΡΟΜΑΥΡΟΥ ΑΡΝΗΤΙΚΟΥ FILM

Η εγκάρσια τομή ενός ασπρόμαυρου αρνητικού film, παρουσιάζει τις εξής 6 στρώσεις:

- α) Την προστατευτική επίστρωση που προστατεύει τη φωτοευαίσθητη ουσία, από φθορές και γδαρσίματα κατά τη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης του στη φωτογραφική μηχανή.
- β) Τη φωτοευαίσθητη ουσία, που είναι αιωρήματα αλογόνων του αργύρου σε ζωική ζελατίνη, σε ποσοστό 40% προς 60% αντίστοιχα.
- γ) Την κολλώδη ουσία, που συγκολλά τη φωτοευαίσθητη στρώση με τη βάση.
- δ) τη βάση που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του πάχους του film. Στο 135mm film αυτή η βάση είναι συνήθως κατασκευασμένη από acetate, στην περίπτωση δε που πρόκειται για μεγαλύτερο format κατασκευάζεται από polyester.
- ε) Την κολλώδη ουσία που συγκολλά τη βάση με την αντιθαμβωτική επίστρωση (στρώση αντιάλω).
- στ) Την αντιθαμβωτική επίστρωση, που εμποδίζει την αντανάκλαση των ακτίνων που περνάνε μέσα από τις προηγούμενες επιστρώσεις. Αυτή διαλύεται στο πρώτο μπάνιο.



Ασπρόμαυρη Φωτογραφία

ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Είναι η σχηματική απεικόνιση της μίας πλευράς της κρυσταλλικής δομής του αλογόνου του Αργύρου (εδώ το αλογόνο είναι Βρώμιο/Br). Κάθε ιόν Αργύρου, περιβάλλεται από 6 ιόντα Βρωμίου. Ανάλογα με την κατασκευή, παράγονται διαφορετικά μεγέθη κρυστάλλων με αποτέλεσμα την διαφοροποιημένη ευαισθησία των φωτοευαίσθητων ουσιών. Ένας κρύσταλλος ανεξάρτητα από το μέγεθος, χρειάζεται ίδια ποσότητα φως για να σχηματίσει λανθάνουσα εικόνα. Ο εμπλουτισμός των κρυστάλλων με άλλα μέταλλα ευθύνεται για τον σχηματισμό μέσα σε αυτούς των κηλίδων ευαισθησίας.

Εμφάνιση της λανθάνουσας εικόνας σε ορατή.

Η διαδικασία της εμφάνισης της λανθάνουσας εικόνας και η μετατροπή της σε ορατή, γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Εμβάπτιζουμε το film σε ένα χημικό που έχει πολύ μεγάλη ποσότητα ελεύθερων ηλεκτρονίων. Αυτά εισχωρούν στον κρύσταλλο¹ και φορτίζουν έντονα αρνητικά την κηλίδα ευαισθησίας. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα καταστρέφεται η δομή του κρυστάλλου² και σχηματίζεται μεγάλη ποσότητα μεταλλικού αργύρου, με αποτέλεσμα η εικόνα να γίνεται εμφανής.

Παράμετροι που επιδρούν στην ποιότητα της ορατής εικόνας είναι ο χρόνος παραμονής του film στο εμφανιστικό υγρό, η ποσότητα του υγρού, η θερμοκρασία του συστήματος, η ανάδευση, η πρόπλυση³. Η εμβάπτιση του film στην εμφάνιση, αποτελεί το πρώτο στάδιο της όλης διαδικασίας.

Μετά το τέλος του μπάνιου αυτού, οι κρύσταλλοι του Αργύρου που δεν έχουν μεταβάλλει τη δομή τους εξ αιτίας της μη έκθεσης τους στο φως, παραμένουν επάνω στο film έτοιμοι να αλλάξουν την χημική τους σύσταση αν εκτεθούν.

Το δεύτερο βασικό στάδιο λοιπόν, είναι η στερεώση του film⁴. Ο στερεωτής δεσμεύει όλους τους ανεκφωτιστούς κρυστάλλους, με συνέπεια όταν έλθει το film σε επαφή με το φως, να μην είναι δυνατή η παραπέρα μεταβολή του. Έτσι σταθεροποιείται η εικόνα.⁵

ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η λανθάνουσα εικόνα γίνεται εμφανής με την εμβάπτιση του film στον εμφανιστή.

Εκεί ουσίες όπως το metol_ και η υδροκινόνη δίνουν ηλεκτρόνια, μετατρέποντας τα ιόντα Αργύρου σε μεταλλικούς Αργύρους, που σχηματίζουν μεταξύ τους "ελάσματα", με αποτέλεσμα την εμφάνιση της εικόνας

Τα ιόντα του Βρωμίου σχηματίζουν Υποβρωμικό οξύ και διαχέονται στον υγρό εμφανιστή.

Κατά τη διαδικασία της εμφάνισης, η λανθάνουσα εικόνα παίζει το ρόλο του καταλύτη.

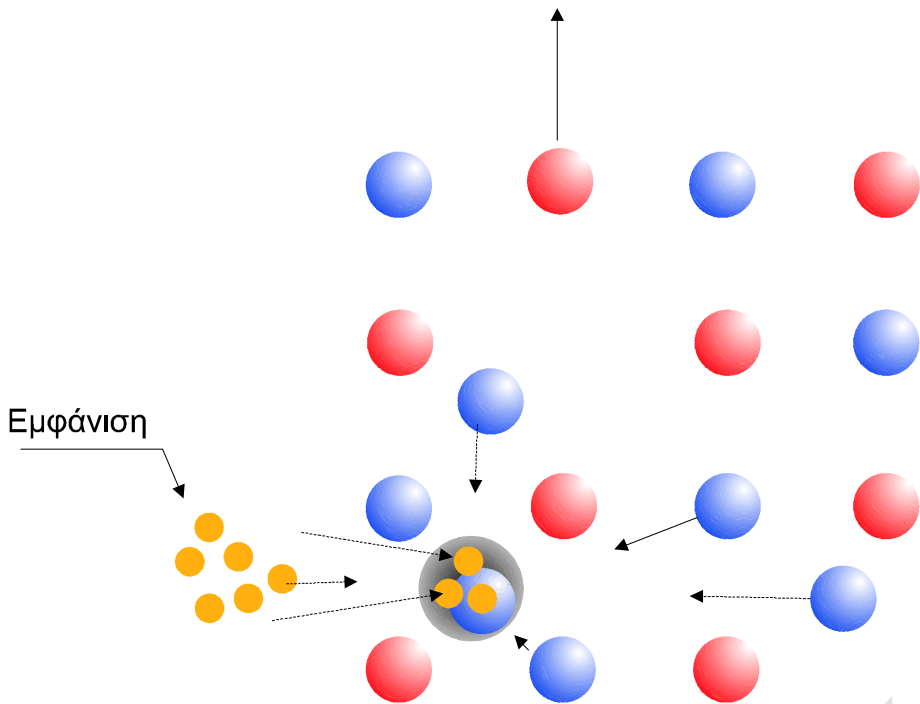
¹Όταν το film έρθει σε επαφή με τον εμφανιστή, δεν αρχίζουν αμέσως τα ηλεκτρόνια να εισβάλλουν στον κρύσταλλο, γιατί αυτός περιβάλλεται από ηλεκτρομαγνητικό πέπλο. Ο χρόνος έναρξης της εμφάνισης του film εξαρτάται από την κινητική ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων, (που σχετίζεται με την ολική θερμοκρασία του συστήματος), αλλά και από τον χρόνο παραμονής του, μέσα στο εμφανιστικό υγρό.

²Στους λεπτόκοκκους εμφανιστές υπάρχουν, εκτός από ελεύθερα ηλεκτρόνια και ποσότητα ιόντων Αργύρου, που εμπλουτίζουν την κηλίδα ευαισθησίας, χωρίς να καταστρέφεται ο κρύσταλλος, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ορατής εικόνας με μικρότερο και καλύτερο κόκκο.

³Έχει παρατηρηθεί ότι αν πριν την εμφάνιση εμβάπτισθεί το film σε νερό, μειώνεται η τελική πυκνότητα του.

⁴Αν αντί της αρνητικής θέλουμε να έχουμε θετική εικόνα, το δεύτερο βασικό στάδιο είναι το "ξάσηρισμα" του film.

⁵Τα μπάνια είναι περισσότερα αλλά έχουν βελτιωτικό χαρακτήρα και μπορούμε να τα δούμε στο σχήμα.

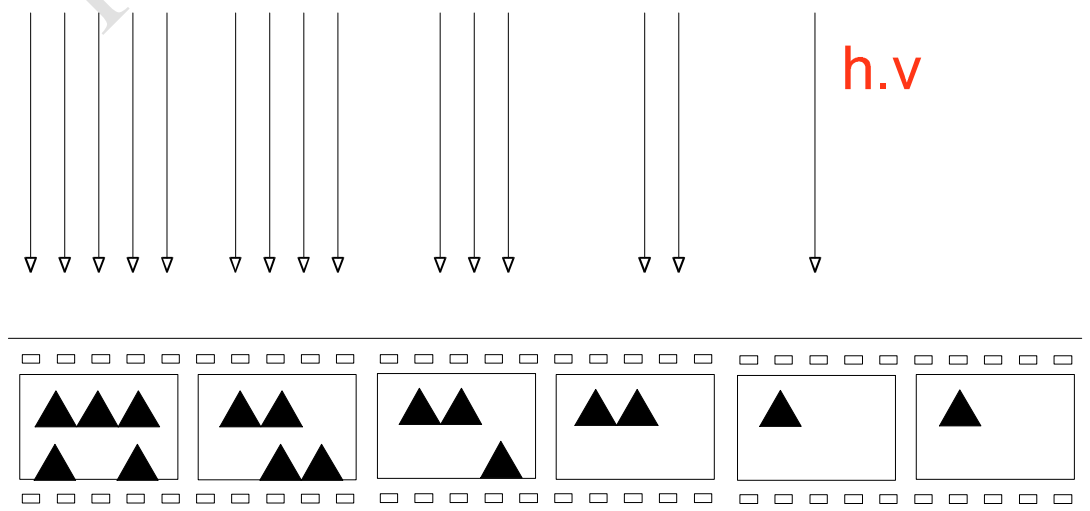


Η ΕΚΘΕΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΜΑΥΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΕΥΑΙΣΘΗΤΗΣ ΟΥΣΙΑΣ

Η αντανακλαστικότητα των διαφόρων περιοχών της φωτογραφιζόμενης σκηνής είναι υπεύθυνη για την ποικιλία των τόνων που παρουσιάζονται στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια.

Σε περιοχές με μεγάλη αντανάκλαση του φωτός προσβάλλονται περισσότεροι κρύσταλλοι με αποτέλεσμα σε αυτήν την περιοχή να παρουσιάζεται μεγάλη αμαύρωση σε αντίθεση με άλλες περιοχές που έχουν μικρή αντανάκλαση και παρουσιάζουν μικρή αμαύρωση.

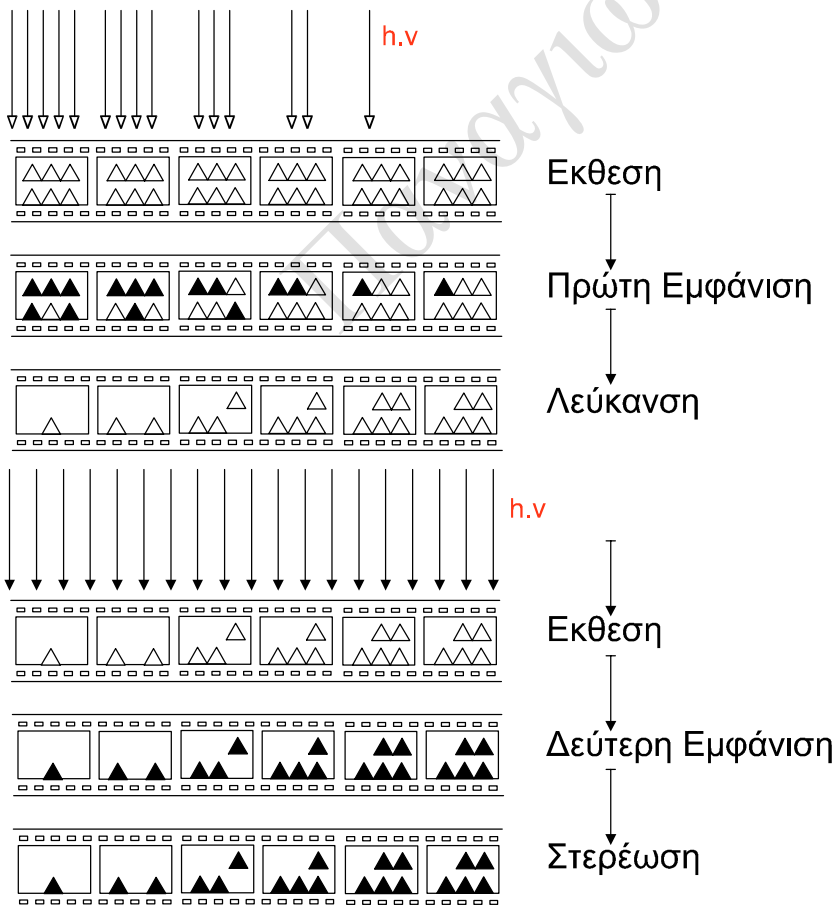
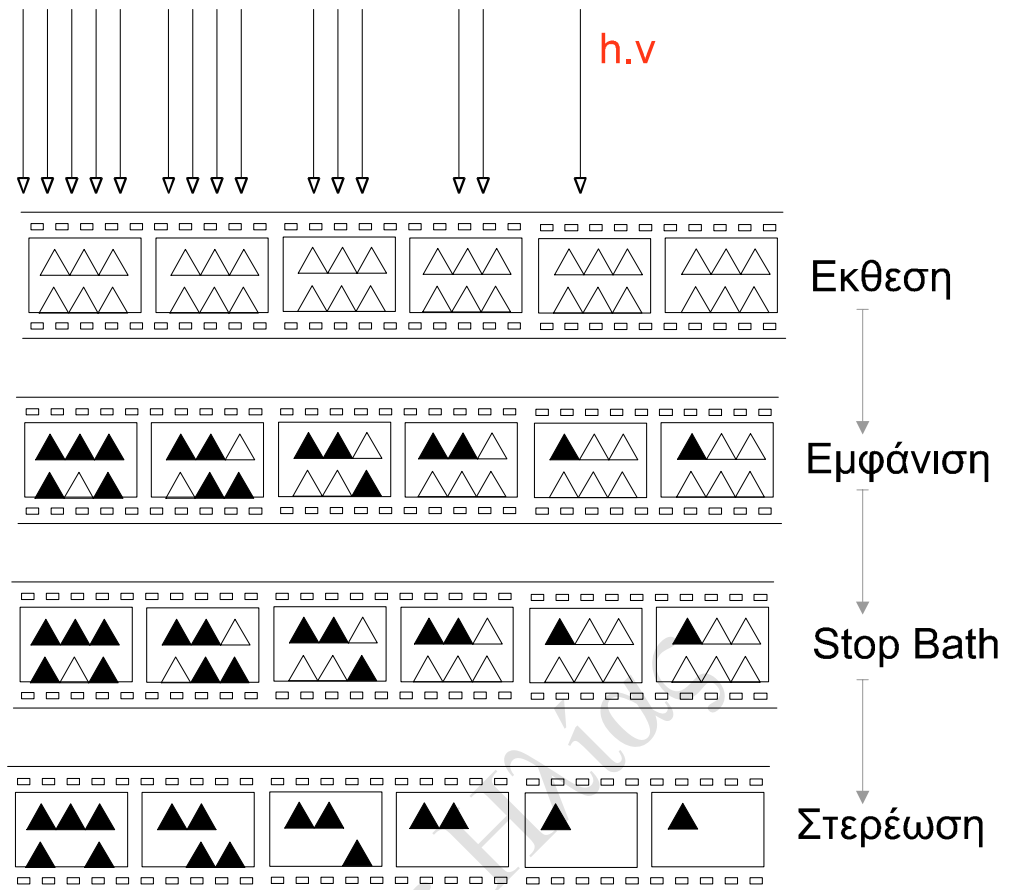
Είναι προφανές ότι δυο περιοχές που έχουν μεν διαφορετικές αντανακλάσεις αλλά είναι υπερβολικά μεγάλες, θα επιφέρουν στο film το ίδιο ανώτατο μαύρισμα. Μετά την εμφάνιση αν και μερικές περιοχές του film δεν έχουν εκτεθεί, παρουσιάζουν μια ελάχιστη “πυκνότητα πέπλου βάσης”.



Η ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Από την έκθεση της φωτοευαίσθητης ουσίας μέχρι την παρουσίαση της τελικής σταθερής εικόνας επάνω σ' αυτήν (η οποία φυσικά έχει παύσει να είναι πλέον φωτοευαίσθητη), υπεισέρχονται παράμετροι που καθορίζουν το αποτέλεσμα. Αυτές είναι:

1. Ο τύπος του φωτοευαίσθητου υλικού. (Εταιρεία παραγωγής, ονομασία, ταχύτητα φωτοανταπόκρισης)
2. Ο τύπος του εμφανιστή. (Υπάρχουν διάφοροι τύποι εμφανιστών σε διάφορες μορφές, π.χ. γενικής χρήσης, υψηλού contrast, λεπτόκοκκοι, κτλ)
3. Η διάλυση των χημικών.
4. Ο όγκος του διαλύματος της εμφάνισης
5. Η ποσότητα της φωτοευαίσθητης ουσίας μέσα στο συγκεκριμένο όγκο εμφάνισης
6. Ο χρόνος εμφάνισης
7. Η τελική θερμοκρασία του συστήματος. (Όλα τα υγρά όπου εμβαπτίζεται το film πρέπει να βρίσκονται στην ίδια σταθερή θερμοκρασία, που προτείνει ο κατασκευαστής. Η μεταβολή του χρόνου εμφάνισης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία επιφέρει πάντα ανεπιθύμητα αποτελέσματα γι' αυτό καλό είναι να αποφεύγεται. Οι κατασκευαστικές εταιρίες δίνουν πίνακες αυτής της μεταβολής. Εν τούτοις αν δεν είναι δυνατή η προμήθεια τους, ο νέος χρόνος εμφάνισης t_2 για μια θερμοκρασία εμφάνισης Θ_2 μπορεί να υπολογισθεί από τον τύπο: $t_2 = t_1 \cdot 1,11^{\Theta_1 - \Theta_2}$
8. Η ανάδευση. (Για την διαδικασία της εμφάνισης προτείνεται στην αρχή συνεχής ανάδευση 30sec έως 1min και κατόπιν ανά 1min ανάδευση 10sec. Η συνεχής ανάδευση της εμφάνισης αυξάνει το contrast της φωτοευαίσθητης ουσίας Πρέπει να γίνεται με παλινδρομική και περιστροφική ταυτόχρονα κίνηση του φωτοστεγούς δοχείου. Για το μπάνιο σταματήματος (stop bath), που είναι διάλυμα 30ml οξικού οξέος 90%, -CH₃COOH σε ένα λίτρο νερό και έχει σαν σκοπό να σταματήσει ακαριαία την εμφάνιση και να προστατεύσει την στερέωση από τα υπολείμματα του εμφανιστή, η ανάδευση πρέπει να γίνεται συνεχώς για 30sec έως 1min. Για την στερέωση τέλος είναι αρκετές πέντε αναδεύσεις ανά 1 min.)
9. Το φωτοευαίσθητο υλικό μετά την εμφάνιση και το μπάνιο σταματήματος εμβαπτίζεται σε μια διάλυση θειοθειϊκού νατρίου- hγρο Na₂S₂O₃- (στερέωση ή fix), για να αφαιρεθούν όλοι οι ανεκφώτιστοι αλογονούχοι κρύσταλλοι έτσι ώστε να μην μπορεί να επέλθει καμία μεταβολή πλέον. Συνήθως το μπάνιο αυτό περιέχει και στυπτηρία καλλίου- KAl(SO₄)₂. 12H₂O- που εμποδίζει το film να μαλακώσει, να φουσκώσει ή να αλλοιωθεί κατά τη μεγάλη διάρκεια του τελικού πλυσίματος. Η παρατεταμένη παραμονή του film μέσα στη στερέωση (περίπου τριπλάσιος χρόνος του κανονικού), παρουσιάζει μακροχρόνια προβλήματα στην εικόνα. Αυτό οφείλεται στο ότι μια δευτερεύουσα χημική αντίδραση, μετατρέπει τον μεταλλικό Άργυρο σε μία χημική ένωση του, που με την πάροδο του χρόνου έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή της εικόνας.
10. Το τελικό μπάνιο είναι το πλύσιμο του υλικού σε τρεχούμενο νερό από τα υπολείμματα της στερέωσης. Ο χρόνος κυμαίνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού (που σε ιδανικές συνθήκες δεν πρέπει να διαφέρει από τη θερμοκρασία των άλλων μπάνιων) και τη σκληρότητα του. Αν χρησιμοποιηθεί νερό θαλάσσης ο χρόνος πλυσίματος μειώνεται πολύ. Μερικές σταγόνες νερού, που στάζουν από το υλικό σε ένα διάλυμα υπερμαγγανικού καλλίου-KMnO₄- (αναλογία 2gr σε ένα λίτρο νερό), προδίδουν για το καλό ή όχι πλύσιμο αυτής. Αν αλλάξει το χρώμα του διαλύματος το πλύσιμο δεν έχει ολοκληρωθεί. Κάτι που πρέπει να γίνεται πριν το στέγνωμα, είναι η εμβάπτιση του film σε ένα διάλυμα διαβρεχτικού παράγοντα (οι διάφορες εταιρίες δίνουν και άλλη ονομασία σε αυτό το προϊόν). Έτσι μετά το στέγνωμα δεν θα παραμείνουν επάνω στην επιφάνεια του film άλατα από το νερό και θα αποφευχθεί αργότερα η ανάπτυξη μικροοργανισμών.



Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Στη διαδικασία της αντιστροφής, επιδιώκουμε να παραμείνει επάνω στη βάση του φωτοευαίσθητου υλικού, όχι ο εκφωτισμένος Άργυρος αλλά ο ανεκφώτιστος, με αποτέλεσμα να έχουμε μία θετική εικόνα. Γι αυτό μετά την εμφάνιση εμβαπτίζουμε την φωτοευαίσθητη ουσία σε ένα χημικό (συνήθως ένωση διχρωμικού καλίου- $K_2Cr_2O_7$ και θειϊκού οξέος- H_2SO_4) όπου γίνεται η αντίθετη διεργασία από τη στερέωση δηλαδή δεσμεύεται ο μεταλλικός άργυρος και έτσι επάνω στη βάση παραμένουν οι ανεκφώτιστοι κρύσταλλοι.

Στη συνέχεια με μία δεύτερη έκθεση δημιουργούνται λανθάνουσες εικόνες στους κρυστάλλους αυτούς και με την δεύτερη εμφάνιση μετατρέπονται τα ιόντα αργύρου σε μεταλλικούς αργύρους κατά τη γνωστή διαδικασία.

ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ – ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ

Με τη ρύθμιση του διαφράγματος και της ταχύτητας του κλείστρου επιτυγχάνουμε την επιθυμητή έκθεση των φωτοευαίσθητων ουσιών στο φως. Η μεταβολή του διαφράγματος κατά ένα stop, με την βοήθεια των μεταλλικών λεπίδων που υπάρχουν μέσα στο φακό, διπλασιάζει ή υποδιπλασιάζει το εμβαδόν της οπής, επιφέροντας ανάλογη μεταβολή και στην ένταση του εισερχομένου φωτός. Αυτό επιτυγχάνεται και με την μεταβολή της ταχύτητας του κλείστρου, ρυθμίζοντας τον χρόνο που θα κινηθεί αυτό εμπρός από την φωτοευαίσθητη επιφάνεια.

Αν τοποθετήσουμε πραγματικές τιμές στα σύμβολα του σχήματος και υποθέσουμε ότι $f_1=8$, $f_2=5.6$, $f_3=4$, $f_4=2.8$ και $t_1=1/30$, $t_2=1/60$, $t_3=1/125$, $t_4=1/250$ τότε σύμφωνα με τον νόμο της Ισοδυναμίας τα ζεύγη (f_1 , t_1), (f_2 , t_2), (f_3 , t_3), (f_4 , t_4), είναι ισοδύναμα. Δηλαδή δίνουν ίσα αποτελέσματα έκθεσης.

Η επιλογή του ζεύγους υπαγορεύεται από την ανάγκη του φωτογράφου για μεγάλο "βάθος πεδίου", όπου επιλέγεται ζεύγος με μεγάλο αριθμό διαφράγματος, ή από την ανάγκη "παγώματος της κίνησης", οπότε επιλέγεται ζεύγος με μικρό αριθμό χρόνου.

Έκθεση της φωτοευαίσθητης ουσίας

Η έκθεση των φωτοευαίσθητων ουσιών στο φως, είναι η αιτία που συνεπάγεται την αμαύρωση τους.

$$E = I \cdot t$$

Έκθεση = Ένταση · Χρόνος

Δύο είναι οι παράμετροι που

καθορίζουν αυτή τη διαδικασία. Η ένταση του φωτός (I) και ο χρόνος (t) προσβολής των ουσιών από αυτό. Δηλαδή η έκθεση (E), είναι το γινόμενο της έντασης του φωτός επί τον χρόνο, με μονάδες μέτρησης τα lux επί seconds.

Όταν λοιπόν κάνουμε μια φωτογραφική λήψη, είμαστε υποχρεωμένοι να ρυθμίσουμε αυτές τις δύο παραμέτρους με τη φωτογραφική μηχανή. Την μεν ένταση του φωτός που θα προσβάλλει το film την

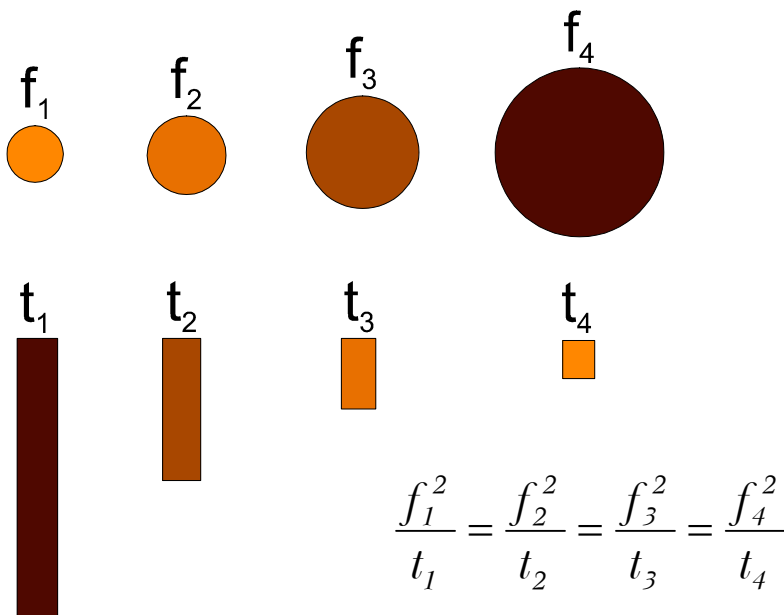
ρυθμίζει το διάφραγμα¹, τον δε χρόνο το κλείστρο της φωτογραφικής μηχανής.

Η μετακίνηση του διαφράγματος ή της ταχύτητας του κλείστρου στην επόμενη ή προηγούμενη, κατά σειρά θέση μεταβάλλει την έκθεση (E) κατά ένα stop, πράγμα που συνεπάγεται και τον υποδιπλασιασμό ή τον διπλασιασμό της αντίστοιχα.

Στη φωτογραφική έκθεση ισχύει ο νόμος της Ισοδυναμίας². Σύμφωνα μ' αυτόν, ίσες εκθέσεις παράγουν ίσα αποτελέσματα αν αυτές είναι υπό συνθήκη και οι παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή της εικόνας γίνονται σταθερές.

¹ Οι αριθμοί των διαφραγμάτων είναι καθορισμένοι (1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, n , $n * 1.4$,) και αποτελούν μία γεωμετρική πρόοδο με λόγο $\sqrt{2} \approx 1.4$. Πολλοί φωτογραφικοί φακοί όμως λόγω κατασκευής, εμφανίζουν διαφράγματα που δεν είναι μέλη αυτής της προόδου. Σ' αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι δυνατό να έχουμε τον αναμενόμενο διπλασιασμό ή υποδιπλασιασμό της έκθεσης μας, με δύο διαδοχικά διαφράγματα. Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω ας δούμε ένα παράδειγμα: Ένας φωτογραφικός φακός έχει μέγιστο διάφραγμα 3.8. Φωτομετρώντας μία επιφάνεια παίρνουμε τις εξής φωτομετρικές ενδείξεις: Διάφραγμα $f=3.8$ και χρόνος έκθεσης $t=1/60$. Αν το επόμενο διάφραγμα είναι 4, τότε το ζεύγος (4, 1/30) δεν είναι ισοδύναμο με το ζεύγος (3.8, 1/60), γιατί ακριβώς το 3.8 δεν είναι μέλος της γεωμετρικής προόδου που αναφέρθηκε.

² Αν για δυο εκθέσεις E_1 και E_2 χρησιμοποιήθηκαν χρόνος και διάφραγμα t_1, f_1 και t_2, f_2 αντίστοιχα και τα συνδέει η σχέση $\frac{f_1^2}{t_1} = \frac{f_2^2}{t_2}$ τότε αυτές οι δυο εκθέσεις είναι φωτομετρικά ισοδύναμες.



Αποτυχία του νόμου της ισοδυναμίας.

Η συνθήκη που πρέπει να υπάρχει για να ισχύσει ο νόμος της ισοδυναμίας, είναι ότι ο χρόνος έκθεσης οφείλει να παίρνει τιμές οι οποίες βρίσκονται μέσα σε όρια άμεσα εξαρτημένα από την φωτοευαίσθητη ουσία.

Το πρόβλημα δεν εντοπίζεται ακριβώς στην τιμή του χρόνου έκθεσης, αλλά στην ένταση του φωτός, που μας υποχρεώνει να χρησιμοποιούμε χρόνους εκτός των προσδιορισθέντων ορίων.

Αν ο χρόνος έκθεσης είναι πολύ μεγάλος, τότε ο νόμος αποτυγχάνει λόγω "χαμηλής έντασης φωτός", ενώ αν αντίστοιχα είναι πολύ μικρός, λόγω "υψηλής έντασης φωτός".

Το αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις είναι ν' αμαυρωθεί η φωτοευαίσθητη ουσία λιγότερο κατά τι από το αναμενόμενο¹.

Στην πρώτη περίπτωση επειδή το φως είναι χαμηλής έντασης, απελευθερώνονται ηλεκτρόνια με μικρή κινητική ενέργεια, με αποτέλεσμα να δεσμεύο-

νται από τα ιόντα του αργύρου κατά την πορεία τους προς την κηλίδα ευαισθησίας. Έτσι δεν είναι δυνατό να σχηματιστεί σε αυτήν μεταλλικός Άργυρος ικανός σε ποσότητα ώστε να εμφανιστεί και να παρουσιάσει ορατή εικόνα.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και όταν εκφωτίσουμε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια, διακόπτοντας τον συνολικό χρόνο έκθεσης²

Το αντίθετο συμβαίνει όταν το φως έχει υψηλή ένταση. Τότε τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται με πάρα πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια, με συνέπεια πάλι να μην είναι δυνατό να σχηματιστεί μεταλλικός Άργυρος στην κηλίδα ευαισθησίας. Αυτό συμβαίνει γιατί τότε τα ελεύθερα ιόντα Αργύρου, είναι αυτά που λόγω μικρότερης κινητικής ενέργειας, δεν μπορούν να δεσμεύσουν τα ηλεκτρόνια μέσα στην κηλίδα ευαισθησίας. Έτσι, όπως και στην πρώτη περίπτωση δεν είναι δυνατό να εμφανιστεί εικόνα.

¹ Στα έγχρωμα υλικά εκτός του λιγότερου αμυρώματος παρουσιάζεται και διαφοροποίηση στο χρώμα.

² Στην φωτογραφία, ισχύει ότι το άθροισμα των μερών είναι μικρότερο του όλου. Δηλαδή $(2 + 2 + 2 + 2) \text{ sec} < 8 \text{ sec}$

Το φαινόμενο είναι έντονο στις εκτυπώσεις των φωτογραφιών. Εκεί συνηθίζεται να κάνουμε δοκίμιο για να βρούμε τον επιθυμητό χρόνο έκθεσης της προς εκτύπωση φωτογραφίας με διακοπόμενο χρόνο. Η τελική όμως φωτογραφία εκτυπώνεται με συνεχή χρόνο έκθεσης, με αποτέλεσμα να είναι λίγο υπερφωτισμένη.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι ο σχηματισμός μεταλλικού Αργύρου και ουδέτερου αλογόνου με τη βοήθεια του φωτός είναι μια αντιστρέψιμη αντίδραση σύμφωνα με την εξίσωση $Ag^+X^- + \text{Φως} \leftrightarrow Ag^0X^0$. Το αν προκύψει η αντιστροφή εξαρτάται από τους προαναφερόμενους παράγοντες.

Οι κατασκευαστές των φωτοευαίσθητων ουσιών δίνουν τους ιδανικούς χρόνους έκθεσης, που συνήθως είναι από 1sec έως 1/1000sec για τις ασπρόμαυρες ουσίες.

Ακόμη παρουσιάζουν πίνακες και γραφήματα διόρθωσης, αν οι χρόνοι έκθεσης δεν βρίσκονται μέσα σε αυτά τα όρια.

ΣΦΑΛΜΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ

Μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα του σφάλματος ισοδυναμίας στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια αν φωτογραφίσουμε μια σκηνή με διάφορους συνδυασμούς, διαφραγμάτων και χρόνων έκθεσης, φωτομετρικά ίσους μεταξύ τους. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα μετά την εμφάνιση του film θα ήταν, σύμφωνα με τον νόμο της ισοδυναμίας, ίδια αμαύρωση του film για όλες τις εκθέσεις. Αντί τούτου όμως το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό για τις εκθέσεις εκείνες που έγιναν με μεγάλους χρόνους έκθεσης και κλειστά διαφράγματα.

Για τούτο πρέπει να αυξήσουμε της έκθεσης συμβουλευόμενοι τους πίνακες της κατασκευάστριας εταιρίας.

Αν δεν γίνει αυτό, είναι αδύνατον να καταγραφούν λεπτομέρειες υψής στις σκιερές περιοχές της φωτογραφιζόμενης σκηνής.

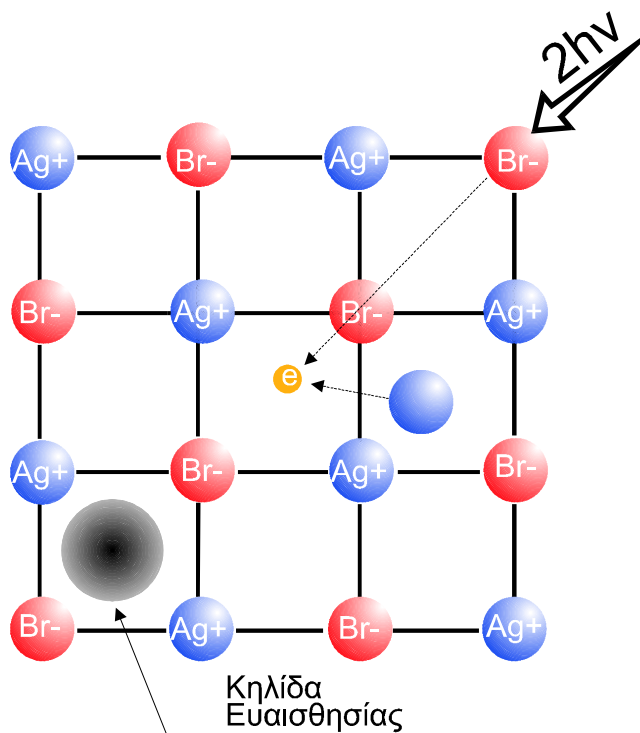
ΑΙΤΙΑ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ

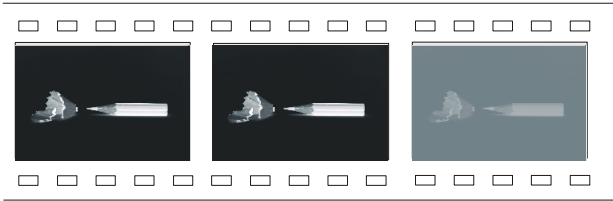
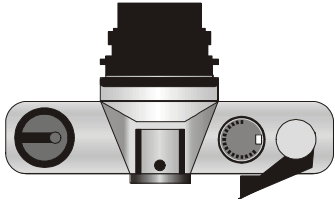
Όταν το φως που προσδίδει κινητική ενέργεια στο ηλεκτρόνιο του αλογόνου του φωτοευαίσθητου κρυστάλλου είναι χαμηλής έντασης, επόμενο είναι και η ταχύτητα του ηλεκτρονίου να είναι μικρή.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην δεσμεύεται αυτό από το ιόν του αργύρου στην κηλίδα ευαισθησίας, αλλά έξω από αυτήν.

Συνέπεια τούτου είναι ο σχηματιζόμενος μεταλλικός άργυρος, να είναι ασταθής και πολύ σύντομα να ξαναγίνεται ιόν.

Έτσι η συγκέντρωση αργύρου στην κηλίδα ευαισθησίας είναι πολύ μικρή και δεν μπορεί μετά την εμφάνιση να δώσει ορατή εικόνα.





$$f = 2,8$$

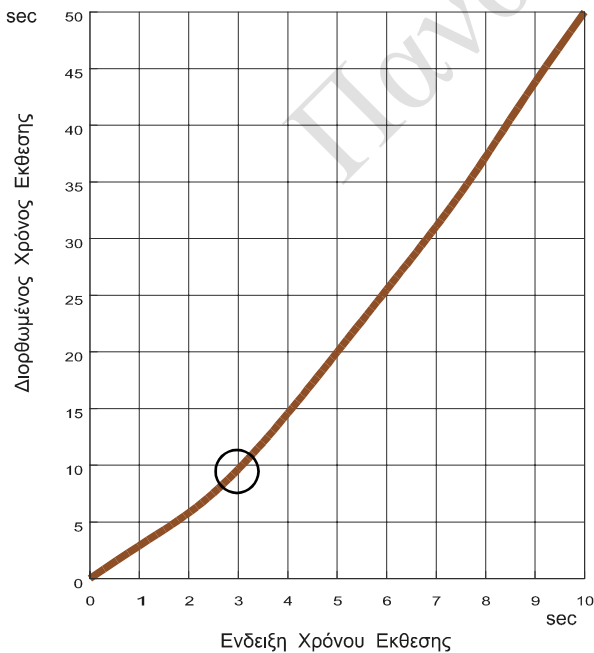
$$t = \frac{1}{4}$$

$$f = 4$$

$$t = \frac{1}{2}$$

$$f = 22$$

$$t = 16$$



ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ.

Φωτομετρούμε μια σκηνή στην οποία επικρατούν χαμηλές φωτιστικές συνθήκες, το δε φωτόμετρο μας δίνει ενδείξεις για την φωτογράφιση $f=16$ και $t=4\text{sec}$. Αν η φωτογράφιση γίνει τοποθετώντας στην μηχανή τις παραπάνω ενδείξεις, το αποτέλεσμα θα είναι ένα αρνητικό με ελάχιστη έως καθόλου λεπτομέρεια στα σκιερά μέρη της σκηνής μας. Για να έχουμε ένα σωστό αποτέλεσμα θα πρέπει να συμβουλευτούμε τη διόρθωση που προτείνει ο κατασκευαστής του film για το σφάλμα ισοδυναμίας. Αυτή μπορεί να δίνεται είτε σε μορφή πίνακα είτε σε μια καμπύλη. Στη δεύτερη περίπτωση, από τη καμπύλη βρίσκουμε ότι τα στοιχεία που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για την φωτογράφιση είναι $f=16$ και $t=15\text{sec}$.

Η χρωματική ευαισθησία των Ασπρόμαυρων φωτοευαίσθητων ουσιών.

Το ορατό φάσμα, το οποίο είναι υπεύθυνο για την οπτική αντίληψη που έχουμε για τον περιβάλλοντα χώρο είναι μέρος ενός ευρέως ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και βρίσκεται ανάμεσα στα μήκη κύματος 400nm έως 700nm.

Στα 300nm περίπου βρίσκεται η υπεριώδης ακτινοβολία, ενώ πέρα των 700nm η υπέρυθη.

Για να δημιουργηθεί η λανθάνουσα εικόνα είναι απαραίτητο κάποια ακτινοβολία να δώσει κινητική ενέργεια στο ηλεκτρόνιο ώστε να αποσπασθεί από το αλογόνο του Αργύρου.

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι αυτή που διαθέτει ικανή ενέργεια να αποσπάσει αυτό το ηλεκτρόνιο. Στο ορατό φάσμα αντίστοιχη ενέργεια διαθέτουν τα χρώματα που έχουν μήκος κύματος έως 410nm, εάν το αλογόνο του Αργύρου είναι Χλώριο, και έως 490nm εάν το αλογόνο είναι Βρώμιο.

Είναι φανερό ότι χρώματα του ορατού φάσματος με μικρότερη ενέργεια δεν είναι ικανά να καταγραφούν και να “δώσουν” μια ποσότητα μαυρίσματος στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει η ακτινοβολία μικρότερης ενέργειας πριν ακόμα επηρεάσει τον κρύσταλλο, να αποθηκευτεί και να μετατραπεί σε ακτινοβολία μεγαλύτερης ενέργειας.

Το 1873 ο γερμανός Vogel ανακάλυψε τους έγ-

χρωμους ευαισθητοποιητές που παίζουν ακριβώς αυτόν τον ρόλο.

Ένας έγχρωμος ευαισθητοποιητής, έχει μονοχρωματική απορρόφηση, βρίσκεται σε επαφή με το αλογόνο του κρυστάλλου και έχει την ικανότητα να εκπέμψει προς αυτό την ακτινοβολία που απορροφά, δίνοντας της μεγαλύτερη ενέργεια.

Οι φωτοευαίσθητες ουσίες που δεν έχουν επικαλυφθεί από κανένα ευαισθητοποιητή ονομάζονται αχρωματικές και είναι ευαίσθητες στην υπεριώδη ακτινοβολία¹ και στο ορατό φάσμα μέχρι τα 490nm.²

Επικαλύπτοντας το αλογόνο του κρυστάλλου με έναν ευαισθητοποιητή χρώματος μαζέντα, παρασκευάζεται η ορθοχρωματική φωτοευαίσθητη ουσία, που είναι ευαίσθητη στην υπεριώδη ακτινοβολία και στο ορατό φάσμα μέχρι τα 600 nm.³ Εμπλουτίζοντας την ορθοχρωματική με κυανούν, μπορεί να παρασκευασθεί η παγχρωματική η οποία είναι ευαίσθητη μέχρι τα 680nm.

Είναι δυνατό με την χρήση και άλλων ευαισθητοποιητών, μια φωτοευαίσθητη ουσία να είναι πιο ευαίσθητη στο κόκκινο χρώμα οπότε ονομάζεται υπερπαγχρωματική.

Από ετών προσφέρεται στο εμπόριο⁴ υπέρυθη⁵ φωτοευαίσθητη ουσία, που είναι ικανή να καταγρά-

¹Η υπεριώδης ακτινοβολία καταγράφεται στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια εντονότερα από ότι την αντιλαμβάνεται το μάτι μας, γεγονός πολλές φορές ανεπιθύμητο γιατί δημιουργεί ένα " θόλωμα " σε όλη την εικόνα. Αυτό μπορεί να αποκλειστεί με την χρήση εμπρός από την φωτοευαίσθητη ουσία ενός φίλτρου U.V. Το φίλτρο αυτό δεν πρέπει να έχει κανένα χρωματισμό και έχει συνήθως συντελεστή 1.

²Τέτοιες φωτοευαίσθητες ουσίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φωτογραφικών χαρτιών.

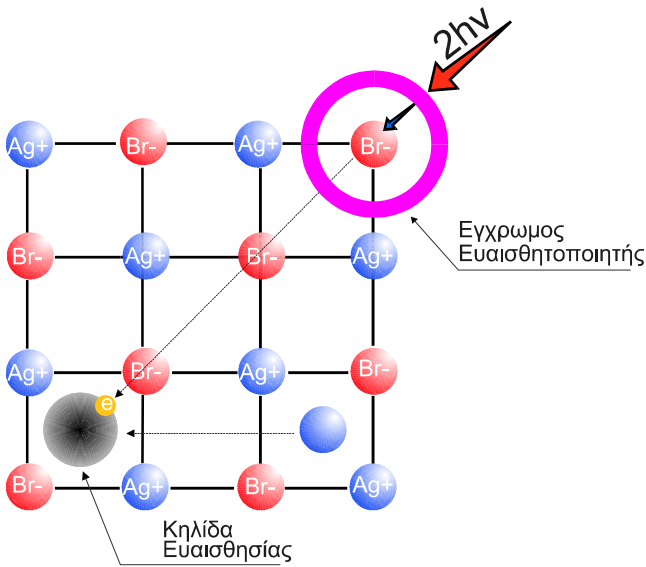
³Αυτές δεν είναι προφανώς ευαίσθητες στο κόκκινο φως και Γιαντί μπορούμε να τις επεξεργαστούμε παρατηρώντας την διαδικασία της εμφάνισης με την βοήθεια ενός λαμπτήρα ασφαλείας σκοτεινού θαλάμου χρώματος κόκκινου.

⁴Πριν μερικά χρόνια χρήση τέτοιων "films" ήταν δυνατή μόνο από στρατιωτικές υπηρεσίες.

⁵Χρησιμοποιείται στην αρχιτεκτονική, ιατρική γεωπονία κτ.λ

⁶Για να καταγραφούν μόνο θερμοκρασίες πρέπει εμπρός από αυτή να τοποθετηθεί ένα φίλτρο που είναι σε θέση να δεσμεύει όλη την ορατή ακτινοβολία.

⁷Η Kodak παρασκευάζει και φωτογραφικά χαρτιά παγχρωματικά, που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση έγχρωμων αρνητικών.



ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ ΜΕ ΕΓΧΡΩΜΟΥΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΤΕΣ

Μια ασπρόμαυρη φωτοευπαθής ουσία για να είναι ευαίσθητη σε όλα τα ορατά χρώματα, θα πρέπει να εμπλουτιστεί με έγχρωμους ευαισθητοποιητές.

Αυτοί περιβάλλουν το αλογόνο του κρυστάλλου και είναι σε θέση να μετατρέψουν μια χαμηλής ενέργειας ακτινοβολία σε μεγαλύτερη, έτσι ώστε αυτή να είναι ικανή να αποσπάσει ένα ηλεκτρόνιο και να σχηματιστεί "λανθάνουσα εικόνα"

φει την ορατή αλλά και την πέραν του κόκκινου μη αντιληπτή για το ανθρώπινο μάτι ακτινοβολία. Κατά συνέπεια είναι ικανή να καταγράφει και θερμοκρασίες⁶

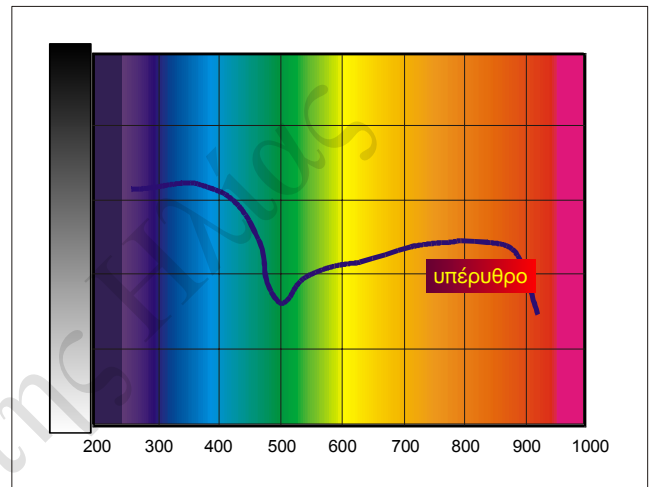
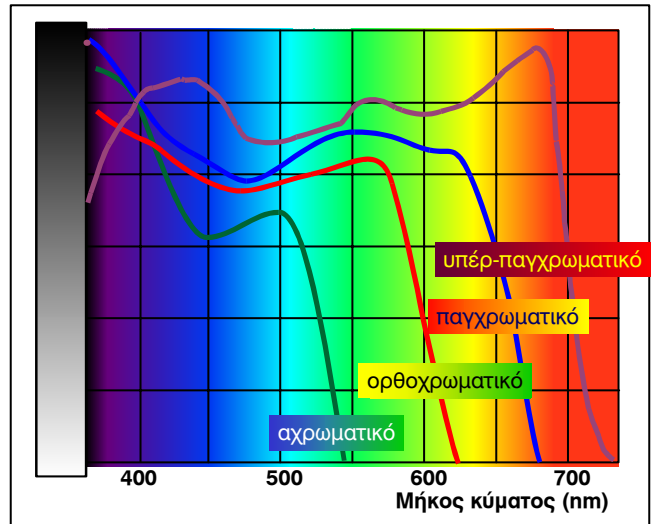
Το παγχρωματικό ασπρόμαυρο αρνητικό⁷ film, είναι αυτό που χρησιμοποιείται ευρέως και είναι ικανό, όπως αναφέρθηκε, να ευαισθητοποιείται από όλα τα χρώματα το ορατού φάσματος. Μετά δε την επεξεργασία του, παρουσιάζει "μαυρίσματα" που είναι αντίστοιχα των χρωμάτων που το επηρέασαν. Η αντιστοιχία αυτή χρώματος και βαθμού μαυρίσματος δεν είναι κατ' ανάγκη μονοσήμαντη. Για παράδειγμα, είναι δυνατό δυο χρώματα που παρουσιάζουν χρωματική αντίθεση στο θέμα, να δίνουν τον ίδιο βαθμό μαυρίσματος. Έτσι, στο αρνητικό, δεν υπάρχει τονική αντίθεση

Πολλές φορές εξ αιτίας της μη μονοσημαντότητας χρώματος- μαυρίσματος, για να δημιουργήσουμε αντίθεση μεταξύ δύο ισotonικών (μετά την καταγραφή) περιοχών είμαστε υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουμε φίλτρα.

ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΟΥΣΙΩΝ.

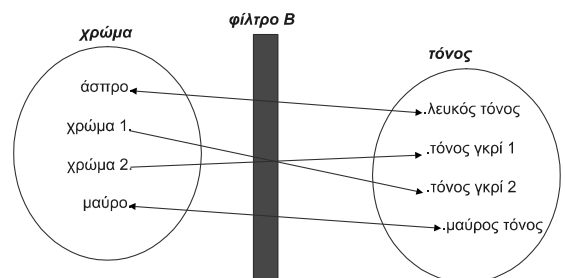
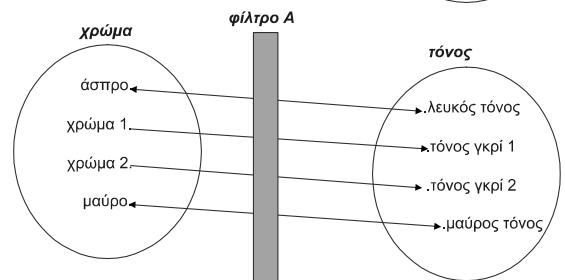
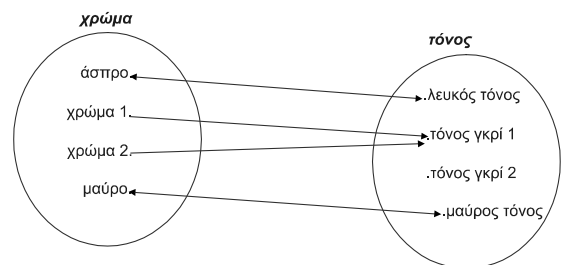
Οι φωτοευαίσθητες ουσίες ανάλογα τον εμπλουτισμό τους σε έγχρωμους ευαισθητοποιητές είναι σε θέση να καταγράψουν μικρή ή μεγάλη περιοχή του ορατού φάσματος.

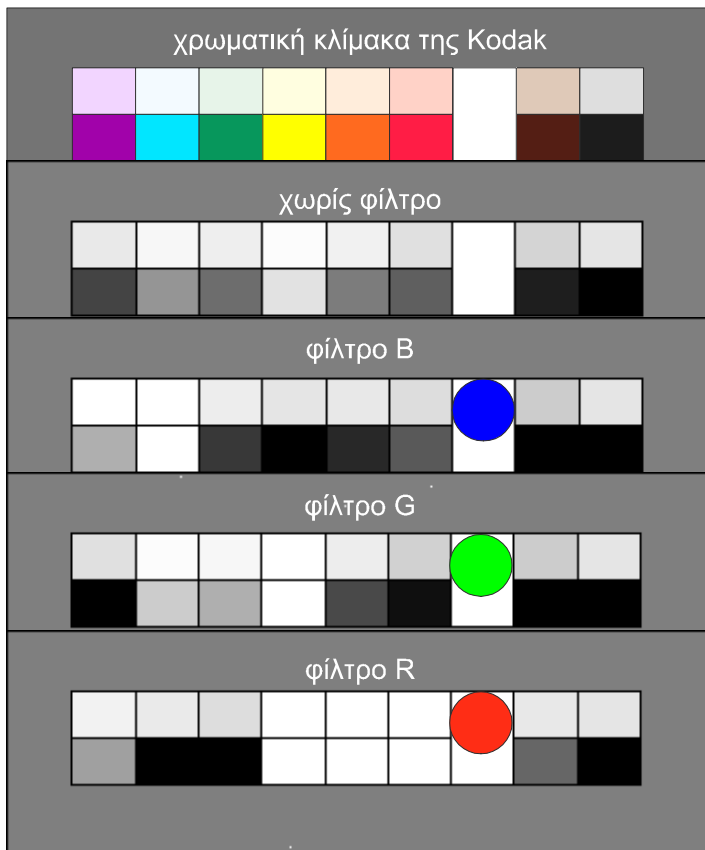
Όλες οι ουσίες μπορούν να ευαισθητοποιηθούν με την υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία λόγω του ότι πολλές φορές είναι ανεπιθύμητη μπορεί να απομονωθεί με την τοποθέτηση ενός φίλτρου U.V. Αυτό το φίλτρο πολλές φορές συνηθίζεται να χρησιμοποιείται και για την προστασία των φακών από διάφορες εκδορές και από την σκόνη. Ένα επιπλέον κρύσταλλο όμως στο φακό μεγεθύνει τα οπτικά σφάλματα του ή προκαλεί νέα. Αν όμως είναι ανάγκη να χρησιμοποιηθεί, επειδή απομακρύνει το 2% των ανακλάσεων πρέπει να αυξηθεί ο χρόνος εμφάνισης της φωτοευαίσθητης ουσίας κατά 5%.



ΧΡΩΜΑ ΕΝΤΟΝΟΣ

Η αντιστοιχία χρώματος-τόνου, δεν είναι κατ' ανάγκη μονοσήμαντος. Είναι δυνατό δύο επιφάνειες με έντονο χρωματικό contrast, να παρουσιάσουν ίδια γκρι στην καταγραφή τους, με συνέπεια το αισθητικό αποτέλεσμα να μην είναι το αναμενόμενο. Έτσι, το αίσθημα της αντίθεσης δεν αποδίδεται. Τότε είναι αναγκαία η χρήση φίλτρων για να μπορέσει να επιτευχθεί το επιθυμητό.





ΤΟ ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟ FILM

Η ασπρόμαυρη παγχρωματική φωτοευαίσθητη ουσία μετατρέπει τη χρωματική κλίμακα του ορατού φάσματος σε τόνους του γκρι. Τα χρώματα παρουσιάζουν διάφορες τονικές αξίες εκτός της φωτεινότητάς τους, και αυτό είναι μια επιπρόσθετη δυσκολία για την τονική σύνθεση της φωτογραφικής εικόνας.

Η καλή γνώση της τονικής απόδοσης του κάθε χρώματος, βοηθάει τον φωτογράφο για την καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος. Η Kodak προσφέρει στην αγορά το φίλτρο 90 Written σε μορφή ζελατίνας. Παρατηρώντας την σκηνή δια μέσου αυτού του φίλτρου, μπορούμε να πάρουμε μια ιδέα για την τονική απόδοση των χρωμάτων της.

Αν είναι επιθυμητό να εξισορροπήσουμε τη χρωματική ευαισθησία του film με τη χρωματική ευαισθησία του ματιού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα κίτρινο-πράσινο φίλτρο όπως είναι το 11 Written της Kodak.

Τα τρία βασικά φίλτρα (μπλε, πράσινο, κόκκινο), τροποποιούν εντελώς την τονικότητα μιας χρωματικής κλίμακας, με αποτέλεσμα την διαφορετική κάθε φορά απεικόνιση του θέματος.

Όταν χρησιμοποιούνται φίλτρα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ότι ο συντελεστής διόρθωσης (filter factor), που δίνεται από τον κατασκευαστή, εκφράζει μόνο την απορρόφηση του φωτός από το φίλτρο. Κατά τη χρήση του όμως, πρέπει να υπολογισθεί και η μεταβολή της ευαισθησίας της φωτοευαίσθητης ουσίας λόγω της ενέργειας του επικρατούντος χρώματος. Αυτή η μεταβολή διαφέρει κάθε φορά και βρίσκεται μόνο πειραματικά.

Υποστηρίζεται ότι μία διόρθωση φίλτρου είναι δυνατό να γίνει αυτόματα με τη βοήθεια του φωτόμετρου τοποθετώντας το φίλτρο εμπρός από τις κυψελίδες του. Αυτό όμως, μπορεί να οδηγήσει σε λάθος αποτέλεσμα, γιατί η χρωματική ευαισθησία του φωτόμετρου ίσως να είναι διαφορετική. (π.χ. εάν χρησιμοποιείται ένα φωτόμετρο με μεγάλη ευαισθησία στο κόκκινο χρώμα, τότε τοποθετώντας ένα κόκκινο φίλτρο εμπρός του, θα δείξει μικρότερη διόρθωση από την αναμενόμενη υπολογιστικά).

Μέτρηση του μαυρίσματος του film. Διαφάνεια - Αδιαφάνεια - Πυκνότητα.

Μετά την έκθεση του film και την εμφάνιση του, παρατηρούμε ότι οι διάφορες περιοχές της φωτογραφημένης σκηνής έχουν αποτυπωθεί σ' αυτό με μια ποικιλία τόνων. Το πόσο πυκνή ή διάφανη είναι η κάθε περιοχή είναι εξαρτάται¹ από την τιμή ανακλαστικότητας της αντίστοιχης περιοχής του θέματος. Συγκεκριμένα, όσο φωτεινότερη είναι η περιοχή τόσο πιο πυκνή (μαύρη) παρουσιάζεται στο film αυτή, και αντίστροφα όσο σκοτεινότερη τόσο πιο διάφανη.

Το αποτέλεσμα μπορεί να μετρηθεί με τρεις τρόπους, που είναι βασισμένοι στην διαπερατότητα του film από το φως.

1. Η **διαφάνεια T** είναι το πηλίκο της ποσότητας I_1 του φωτός που έχει διαπεράσει το film δια της ποσότητας I_0 που έχει προσπέσει σε αυτό.

Είναι προφανές ότι η διαφάνεια δεν μπορεί να πάρει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας² και η αριθμητική της έκφραση είναι ένας καθαρός δεκαδικός αριθμός, ή μια απόδοση του δεκαδικού αριθμού σε ποσοστό επί "%".

2. Η **αδιαφάνεια O** είναι το αντίστροφο της διαφάνειας και είναι ίσο με το πηλίκο της ποσότητας I_0 που έχει προσπέσει στο film δια την ποσότητα I_1 που το έχει διαπεράσει. Η αριθμητική της έκφραση είναι ένας καθαρός αριθμός μεγαλύτερος της μονάδας.

3. Η **πυκνότητα D** είναι ο δεκαδικός λογάριθμος της αδιαφάνειας.

Σχέση Διαφάνειας - Αδιαφάνειας - Πυκνότητας

Πυκνότητα	Αδιαφάνεια	Διαφάνεια	Διαφάνεια %
0,0	1	1,0000	100,00%
0,3	2	0,5000	50,00%
0,6	4	0,2500	25,00%
0,9	8	0,1250	12,50%
1,2	16	0,0625	6,25%
1,5	32	0,0313	3,13%
1,8	64	0,0156	1,56%
2,1	128	0,0078	0,78%
2,4	256	0,0039	0,39%
2,7	512	0,0020	0,20%
3,0	1024	0,0010	0,10%
3,3	2048	0,0005	0,05%

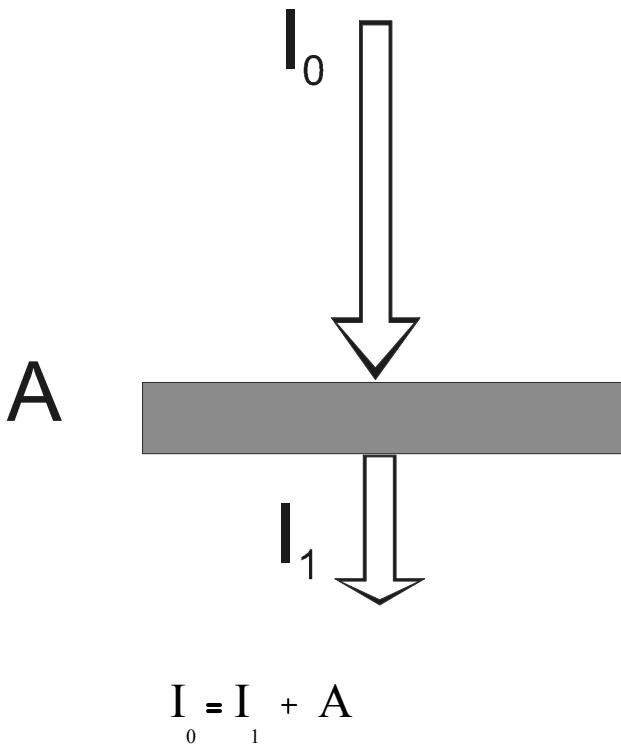
$$\text{Διαφάνεια} \\ T = I_1 / I_0$$

$$\text{Αδιαφάνεια} \\ O = 1 / T = I_0 / I_1$$

$$\text{Πυκνότητα} \\ D = \log O$$

¹ Ο χρόνος εμφάνισης, η θερμοκρασία, η ανάδευση είναι μεταβλητές που καθορίζουν και αυτές την ποσότητα του μαυρίσματος όμως η συμπεριφορά τους θα εξεταστεί πάρα κάτω.

² Τιμές μεγαλύτερης της μονάδας είναι δυνατόν να πάρει η διαφάνεια αν το υλικό που μετράται είναι φωσφορίζον.



ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ FILM

Για να μπορέσουμε να δούμε την ποικιλία των τόνων ενός αρνητικού, πρέπει να το στρέψουμε προς μια φωτεινή πηγή και να τοποθετήσουμε το μάτι μας στον άξονα φως - film - μάτι.

Η διέλευση της ποσότητας του φωτός δια μέσου του film είναι αντιστρόφως ανάλογη της ποσότητας του μαυρίσματος του.

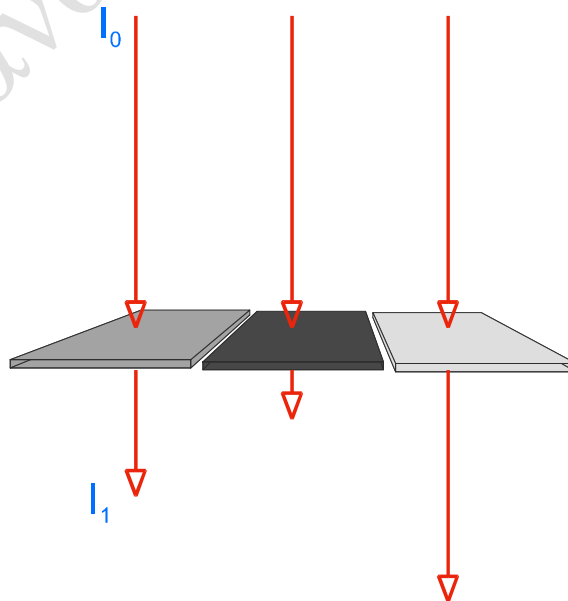
Η ποσότητα του φωτός που απορροφάται από τον μεταλλικό άργυρο του film μετατρέπεται σε θερμότητα.

Αν I_0 είναι η ποσότητα του φωτός που προσπίπτει στο film, A η απορροφημένη από αυτό ποσότητα ακτινοβολίας, και I_1 αυτή που το διαπερνά, τότε $I_0 = A + I_1$.

ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ - ΑΔΙΑΦΑΝΕΙΑ - ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Μπορούμε να ορίσουμε σχέσεις μεταξύ της ποσότητας του φωτός που προσπίπτει στο film, και στην ποσότητα που το διαπερνά, έτσι ώστε να έχουμε ένα έμμεσο μέτρο για την τιμή του μαυρίσματος. Μέχρι σήμερα έχουμε ορίσει τρεις σχέσεις.

Η διαφάνεια και η αδιαφάνεια εκφράζουν με γεωμετρική πρόοδο το αποτέλεσμα της έκθεσης, ενώ η πυκνότητα με αριθμητική.



$$T = \frac{I_1}{I_0} \quad O = \frac{I_0}{I_1}$$

$$D = \log O$$

Φωτομέτρηση.

Η ποσότητα και η διάρκεια του φωτός που θα επιδράσει στο film και γενικά σε όλες τις φωτοευαίσθητες ουσίες, για την καταγραφή της εικόνας, είναι η πρωταρχική και ίσως η βασικότερη παράμετρος για την σωστή απόδοση των τόνων πάνω σε αυτές.

Η απόδοση των λεπτομερειών στα φωτεινά και τα σκιερά μέρη¹ και η ποικιλία των τόνων, είναι η απόδειξη που μπορούμε να έχουμε για το αν η επιλογή του διαφράγματος και του χρόνου έκθεσης που επιλέξαμε ήταν η σωστή για τις συγκεκριμένες φωτιστικές συνθήκες.

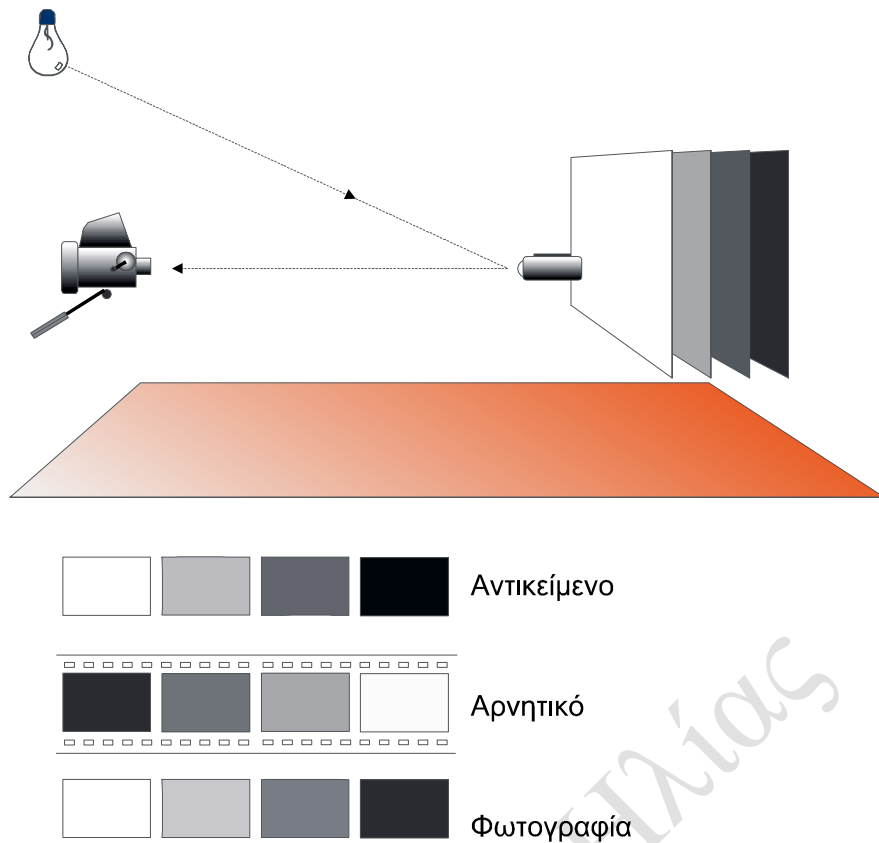
Για την επιλογή του σωστού συνδυασμού διαφράγματος και χρόνου έκθεσης, είναι ανάγκη να κάνουμε χρήση φωτόμετρου. Το φωτόμετρο είναι μια συσκευή που μετρά την ένταση του φωτός που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή, ή την ανάκλαση του από διάφορα σώματα. Διαθέτει μια φωτοκυψέλη για την συλλογή του φωτός. Στρέφοντας την προς την φωτεινή πηγή ή την επιφάνεια που επιθυμούμε να φωτομετρήσουμε, αφού πρώτα έχουμε ορίσει την ευαισθησία του film στην κλίμακα των ASA ή DIN, ενεργοποιούμε το φωτόμετρο. Στη συνέχεια με διάφορους χειρισμούς οι οποίοι εξαρτώνται από τον τύπο του φωτόμετρου, επιλέγουμε έναν από του ισοδύναμους συνδυασμούς διαφράγματος και χρόνου έκθεσης που παρουσιάζονται στην αντίστοιχη κλίμακα.

Αν φωτομετρηθεί η περιοχή μιας σκηνής και η φωτογράφιση γίνει με έναν από τους συνδυασμούς² που θα δώσει το φωτόμετρο για την συγκεκριμένη περιοχή, τότε ορίζουμε ότι αυτή εκτέθηκε με κανονική έκθεση, ή αλλιώς με 16 σχετικές μονάδες έκθεσης. Αυτή δε η περιοχή μετά από μια κανονική εμφάνιση του αρνητικού και την εκτύπωση του, θα

αποδοθεί στο φωτογραφικό χαρτί με έναν μέσο τόνο. Τούτο θα συμβεί γιατί όλα τα φωτόμετρα έχουν ρυθμιστεί έτσι ώστε ό,τι φωτεινή ένταση και αν προσπέσει στην φωτοκυψέλη τους, να δώσουν ένα συνδυασμό διαφράγματος και χρόνου έκθεσης ώστε να αποδοθεί αυτή σαν ένα μέσο γκρι.

¹ Αν δεν καταγραφούν λεπτομέρειες από τις σκιερές περιοχές της σκηνής κατά την λήψη, αυτές δεν είναι δυνατόν να παρουσιαστούν στην τελική φωτογραφία με κανένα τρόπο.

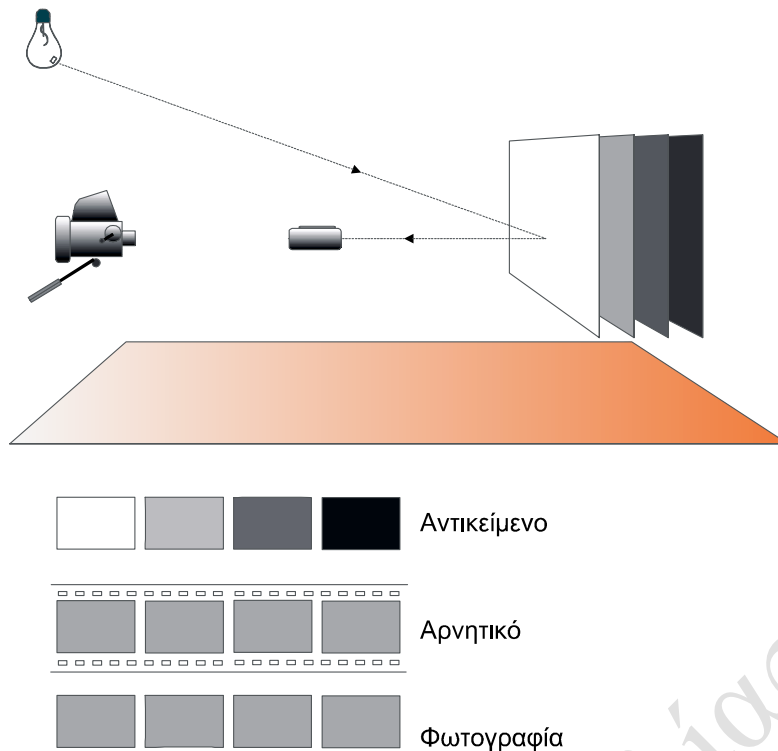
² Με την προϋπόθεση ότι ο χρόνος βρίσκεται μέσα στα όρια ισοδυναμίας.



ΦΩΤΟΜΕΤΡΗΣΗ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Με την μέθοδο του προσπίπτοντος φωτισμού μετρούμε την αξία του φωτός που προσπίπτει στην σκηνή. Όταν φωτομετρούμε με αυτή τη μέθοδο δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε τη σχέση των εντάσεων μεταξύ των διαφόρων περιοχών του θέματος. Γι' αυτό χρησιμοποιούμε συνήθως αυτόν τον τρόπο φωτομέτρησης όταν εκ των προτέρων έχει προκαθοριστεί αυτή η σχέση, όπως είναι στην φωτογράφιση με τεχνητό φωτισμό. Στην εικόνα υπάρχουν τέσσερες κάρτες διαφορετικής τονικότητας, που πρέπει η κάθε μια να φωτογραφηθεί ξεχωριστά. Αν στρέψουμε την φωτοκυψέλη του φωτόμετρου προς το φακό της φωτογραφικής μηχανής, έχοντας προκαθορίσει την ταχύτητα φωτοανταπόκρισης του film που χρησιμοποιούμε στην κλίμακα ASA ή DIN του φωτόμετρου, και έχοντας τοποθετήσει εμπρός από αυτήν τον ημισφαίριο διαχυτή, αυτή (η φωτοκυψέλη) θα συλλέξει όλον τον υπάρχοντα φωτισμό. Το φωτόμετρο επειδή έχει προρυθμιστεί από τον κατασκευαστή του θα θεωρήσει ότι εμείς επιθυμούμε να φωτογραφίσουμε μια κάρτα μέσης αντανακλαστικότητας. Έτσι θα δώσει ενδείξεις διαφράγματος και χρόνου έκθεσης, τέτοιες, που η υποθετική κάρτα θα καταγραφεί στο αρνητικό, έτσι ώστε μετά από μια κανονική, όπως προτείνει ο κατασκευαστής των υλικών, εμφάνιση και εκτύπωση, θα πάρει ένα γκρι τόνο στο φωτογραφικό χαρτί ίδιο με την γκρι κάρτα της Kodak.

Όμως οι πάρα πάνω κάρτες έχουν διαφορετική από την μέση αντανακλαστικότητα και ως εκ τούτου θα καταγραφούν με διαφορετικές πυκνότητες η κάθε μια στο film και θα δώσουν μετά την εκτύπωση διαφορετικό τόνο στο φωτογραφικό χαρτί αν φυσικά και τα τέσσερα αρνητικά εκτυπωθούν με τον ίδιο χρόνο εκτύπωσης.



ΦΩΤΟΜΕΤΡΗΣΗ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

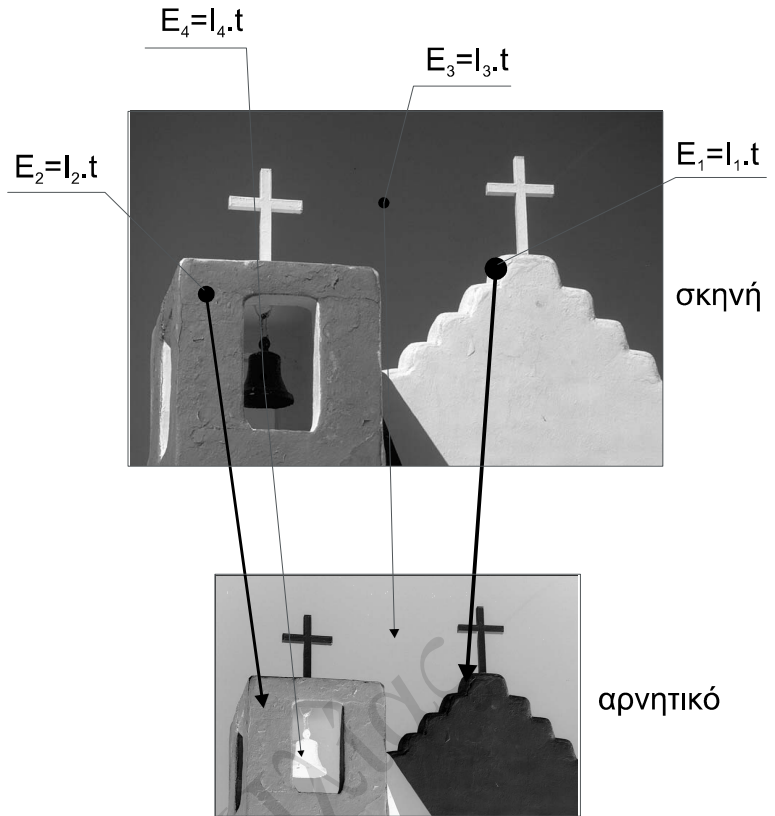
Η μέθοδος φωτομέτρησης του ανακλώμενου φωτισμού χρησιμοποιείται όταν είναι ανάγκη να γνωρίζουμε τη διαφορά των φωτεινών εντάσεων μεταξύ των διάφορων περιοχών του θέματος και την αξία αντανακλαστικότητας της κάθε περιοχής. Όπως αναφέρθηκε το φωτόμετρο είναι προρυθμισμένο έτσι ώστε οποιαδήποτε φωτεινή ένταση και αν μετρηθεί αυτό να δίνει συνδυασμούς διαφραγμάτων και χρόνων έκθεσης, τέτοιους που αυτή να καταγραφεί έτσι, ώστε μετά από μια προτεινόμενη από τον κατασκευαστή διαδικασία εμφάνισης και εκτύπωσης, να αποδοθεί η περιοχή με ένα γκρι ίδιο με την γκρι κάρτα της Kodak. Παίρνοντας ενδείξεις από διάφορες περιοχές του θέματος, έχουμε την δυνατότητα να αποφασίσουμε ποια από όλες θα τοποθετήσουμε σε αυτήν την θέση της κλίμακα των γκριζων, και να γνωρίζουμε ποια θέση θα πάρουν οι άλλες περιοχές. Στρέφουμε τη φωτοκυβέλη προς την λευκή κάρτα. Το φωτόμετρο θα συλλέξει το ανακλώμενο από αυτήν φως, και αφού έχουμε ορίσει την ευαισθησία του film στην κλίμακα ASA ή DIN του φωτόμετρου θα διαβάσουμε στην κλίμακα των διαφραγμάτων και χρόνων έκθεσης ένα συνδυασμό, $f1,t$ τέτοιο που η κάρτα να αποδοθεί στην τελική φωτογραφία όπως έχει προαναφερθεί. Φωτομετρώντας μια άλλη κάρτα που ανακλά τον μισό φωτισμό από την λευκή, θα διαβάσουμε στην κλίμακα του φωτόμετρου ένα συνδυασμό $f2,t$ όπου $f2=f1/1,4$. Τοποθετώντας αυτά τα στοιχεία στην φωτογραφική μηχανή, κάνοντας την φωτογράφιση, και αυτή η κάρτα θα καταγραφεί στο αρνητικό με την ίδια πυκνότητα όπως και η λευκή. Αυτό θα συμβεί και με τις άλλες κάρτες. Ως εκ τούτου αν φωτομετρηθεί κάθε κάρτα ξεχωριστά και φωτογραφηθεί με τα στοιχεία που δίνει το φωτόμετρο, μετά την εμφάνιση του film, όλα τα "καρέ" θα έχουν την ίδια πυκνότητα.

Στην φωτογράφιση με τεχνητό φωτισμό είναι ανάγκη πολλές φορές, επειδή χρησιμοποιούνται πολλές φωτιστικές πηγές να χρησιμοποιηθούν και οι δυο τρόποι φωτομέτρησης. Δηλαδή αφού με την μέθοδο φωτομέτρησης του ανακλώμενου φωτισμού διευθετήσουμε τις σχέσεις των εντάσεων από τις διάφορες περιοχές του θέματος, έτσι ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή όλων των τόνων από το film, για να ορίσουμε τα στοιχεία φωτογράφισης, φωτομετρούμε με την μέθοδο του προσπίπτοντος φωτισμού.

ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ ΣΚΗΝΗΣ

Όταν φωτίζεται μια σκηνή οι διάφορες περιοχές ανάλογα με τη θέση που έχουν ως προς την φωτεινή πηγή, το χρώμα, την υφή και τον τόνο, αντανακλούν με διαφορετική ένταση το προσπίπτον φως.

Κατά την στιγμή της φωτογράφισης, ο χρόνος έκθεσης παραμένει σταθερός για όλες τις περιοχές της σκηνής ενώ είναι διαφορετικές οι εντάσεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διαφορετική έκθεση του film και κατ' επέκταση την παρουσίαση διαφορετικών πυκνοτήτων σε αυτό.



Αντίθεση φωτεινότητας

Κατά την φωτογράφιση μιας σκηνής, δεν μεταφέρονται στην φωτοευαίσθητη ουσία αυτές καθ' αυτές οι τονικές αξίες της, αλλά η σχέση τους.

Η ποικιλία των τόνων στο film οφείλεται στην διαφορετική αντανάκλαση του φωτός στις ποικίλες επιφάνειες του θέματος.

Σε κάθε σκηνή και κάτω από οποιοσδήποτε φωτιστικές συνθήκες υπάρχουν τρεις περιοχές που μπορούν να θεωρηθούν ως οδηγοί για την "σωστή" καταγραφή της εικόνας. Αυτές είναι οι φόρμες με την ελάχιστη την μεσαία και την μέγιστη αντανακλαστικότητα.

Στο φωτογραφικό χαρτί, αυτές οι περιοχές, πρέπει να παρουσιάζουν μια ορισμένη τονικότητα. Συγκεκριμένα οι δύο ακραίες περιοχές πρέπει να πάρουν τέτοια πυκνότητα, μετά την εμφάνιση στο film, ώστε

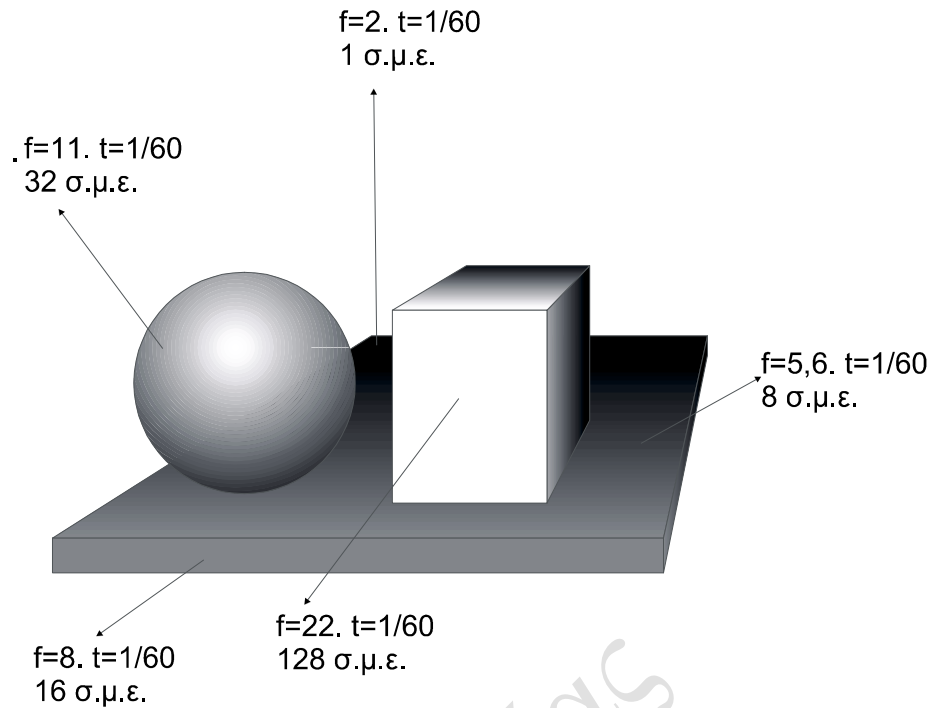
κατά την εκτύπωση να παρουσιάζουν μια ελάχιστη λεπτομέρεια, ως προς τα λευκά και τα μαύρα, ενώ η μεσαία να καταγραφεί στο φωτογραφικό χαρτί, όπως προαναφερθεί, με ένα τόνο ίδιο με την γκρι κάρτα της Kodak.

Κατά τον αφοπλισμό του κλειστρου για να γίνει η λήψη, η ρύθμιση της φωτογραφικής μηχανής έχει γίνει έτσι ώστε αυτή η μεσαία περιοχή να εκτεθεί με κανονική έκθεση, ή 16 σχετικές μονάδες έκθεσης².

Αν μια άλλη περιοχή αντανακλά τον μισό φωτισμό από αυτόν που αντανακλά η περιοχή που εκθέτει το film με 16 σ.μ.ε. (σχετικές μονάδες έκθεσης), τότε ορίζουμε ότι αυτή εκθέτει το film με την μισή έκθεση δηλαδή 8 σ.μ.ε

Με 8 σ.μ.ε όμως είναι δυνατόν να εκτεθεί και αυ-

¹ "Σωστή" φωτογραφία μπορούμε να θεωρήσουμε αυτή που βλέποντας την ικανοποιούνται οι αναμνήσεις μας από την πραγματικότητα.



Μονάδες Εκθεσης	1	2	4	8	16	32	64	128
Διάφραγμα	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22
Χρόνος	1/60	1/60	1/60	1/60	1/60	1/60	1/60	1/60

ΣΧΕΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ.

Για να καταφέρουμε να δούμε καλύτερα την τονικότητα μιας σκηνής, μπορούμε να μισοκλείσουμε τα μάτια μας όπως κάνουμε στο ελεύθερο σχέδιο ή να τοποθετήσουμε στον άξονα μάτι - θέμα, ένα πολύ σκούρο καφέ-πράσινο φίλτρο που συνήθως χρησιμοποιούν οι σκηνοθέτες του κινηματογράφου. Με αυτόν τον τρόπο οι λεπτομέρειες από το θέμα εξαλείφονται και η εντύπωση που έχουμε γι αυτό, προέρχεται μόνο από τις καθαρές φόρμες που φτιάχνει το φως. Έτσι, είναι πιο εύκολο να συνθέσουμε την εικόνα και να τοποθετήσουμε σωστά την τονική αξία της κάθε περιοχής στην φωτογραφία. Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να βρούμε ποια είναι η πιο σκούρα περιοχή της σκηνής και να τη φωτομετρήσουμε με την μέθοδο του ανακλώμενου φωτισμού. Έστω ότι μετά την φωτομέτρηση στην κλίμακα των διαφραγμάτων και χρόνων έκθεσης του φωτόμετρου, αφού πρώτα από όλα έχουμε τοποθετήσει στην κλίμακα των ASA την ευαισθησία του film, διαβάζουμε γι αυτήν την περιοχή $f=2$ και $t=1/60$. Αν αποφασίσουμε ότι αυτή η περιοχή θα έκθεση το film με 1 σ.μ.ε. τότε μια άλλη που θα δώσει φωτομετρώντας την $f=8$ και $t=1/60$ θα έκθεσει το film με 16 σ.μ.ε. Στον πίνακα εύκολα μπορούμε να δούμε ανάλογα το διάφραγμα που δίνει μετά την φωτομέτρηση η κάθε περιοχή, με πόσες μονάδες έκθεσης εκθέτει το film.

Παίρνοντας ενδείξεις από τις δυο ακραίες περιοχές και υπολογίζοντας τις μονάδες έκθεσης που θα εκθέσει η κάθε μια το film, μπορούμε να υπολογίσουμε την αντίθεση φωτεινότητας της σκηνής. Στην εικόνα η αντίθεση είναι $128 : 1$, το $\text{contrast} = \log(128 : 1) = 2,1$ ενώ η διαφορά stop είναι $\Delta\text{stop} = 7$.

τή η περιοχή που εκθέτει την φωτοευαίσθητη ουσία με 16 σ.μ.ε. αρκεί κατά την φωτογράφιση να μειώσουμε το διάφραγμα ή τον χρόνο έκθεσης κατά ένα stop. Αν αυξήσουμε κατά ένα stop την έκθεση τότε θα έχει εκτεθεί με 32 σ.μ.ε. και θα καταγραφεί με την ίδια πυκνότητα, που καταγράφεται η περιοχή που έχει την διπλάσια αντανακλατικότητα από την μέση.

Φαίνεται λοιπόν ότι ο διπλασιασμός ή ο υποδιπλασιασμός της αντανακλατικότητας μεταξύ των επιφανειών μιας σκηνής, διπλασιάζει ή υποδιπλασιάζει τις σχετικές μονάδες έκθεσης, που εκθέτει η κάθε μια περιοχή το film.

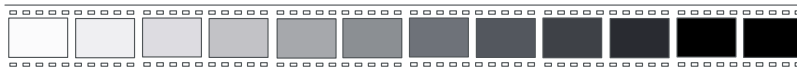
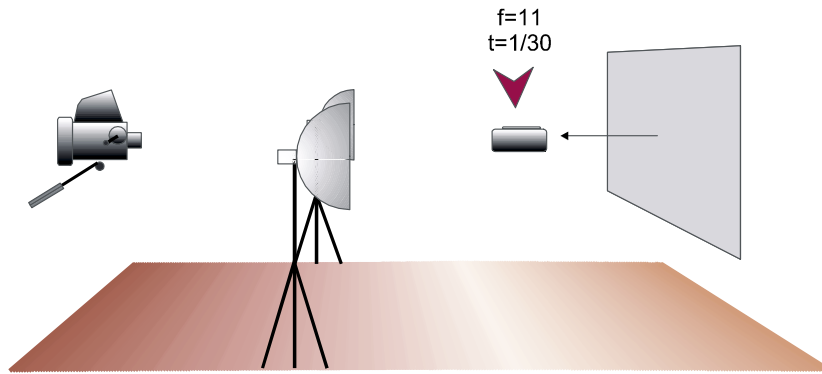
Όπως ειπώθηκε πάρα πάνω, σε κάθε θέμα υπάρχουν δυο ακραίες φόρμες που εκθέτουν το film με ελάχιστη και μέγιστη έκθεση, ή άλλως, με τις λιγότερες και τις περισσότερες σχετικές μονάδες έκθεσης. Το πηλίκο αυτών δυο αριθμών που εκφράζουν τις μονάδες έκθεσης ονομάζεται αντίθεση φωτεινότητας του θέματος, και γράφεται υπό μορφή πηλίκου π.χ. $64 : 2 = 32 : 1$. Είναι φανερό ότι η αύξηση των μονάδων έκθεσης γίνεται με γεωμετρική πρόοδο. Για να έχουμε την αριθμητική έκφραση της μεταβολής, λογαριθμούμε την αντίθεση φωτεινότητας και η νέα πρόοδος ονομάζεται contrast θέματος. Στο παρά πάνω παράδειγμα το contrast του θέματος είναι ίσο με 1,5 ($\log(32:1)=1,5$).

Ακόμη μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο αριθμός που εκφράζει την αντίθεση φωτεινότητας μπορεί να παρασταθεί σαν μια δύναμη του 2, όπου ο εκθέτης είναι η διάφορα stop μεταξύ των δυο ακραίων περιοχών, δηλαδή $32 : 1 = 2^5 : 2^0$. Έτσι καταλήγουμε ότι η διάφορα είναι 5 stops .

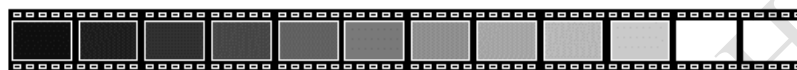
Σχέση $\Delta stop$ - αντίθεση φωτεινότητας - contrast

$\Delta stop$	Αντίθεση φωτεινότητα	Contrast
0	1:1	0
1	2:1	0,3
2	4:1	0,6
3	8:1	0,9
4	16:1	1,2
5	32:1	1,5
6	64:1	1,8
7	128:1	2,1
8	256:1	2,4

² Κανονικά η έκθεση έχει μονάδες μέτρησης *lx.sec.* αλλά τούτος ο τρόπος μέτρησης δεν μας είναι απαραίτητος, γιατί δεν μας ενδιαφέρει η απόλυτη τιμή της, αλλά η σχέση της έκθεσης της μιας περιοχής με την έκθεση της άλλης. Ο ορισμός της κανονικής έκθεσης σαν 16 σ.μ.ε. μπορεί να φαίνεται αυθαίρετος, αλλά αυτός θα συγκεκριμενοποιηθεί σε επόμενα μαθήματα.



1/2	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	Σχετικές Μονάδες Έκθεσης
+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	stop
64	45	32	22	16	11	8	5,6	4	2,8	2	1,4	Διάφραγμα
1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	Χρόνος
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	Διάφραγμα
1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	Χρόνος

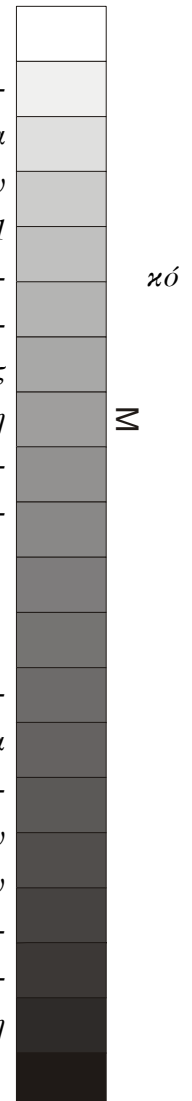


ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Μια ισοτονική επιφάνεια φωτίζεται ομοιόμορφα. Φωτομετρούμε αυτήν με την μέθοδο του ανακλώμενου φωτισμού, έχοντας πλησιάσει τόσο το φωτόμετρο, ώστε η οπτική του γωνία να καλύπτεται πλήρως από την ανάκλαση της επιφάνειας. Έστω, ότι μετά την ενεργοποίηση του φωτόμετρου, στην κλίμακα των διαφραγμάτων και των χρόνων, διαβάζουμε διάφραγμα $f=11$ και χρόνο $t=1/30$. Μπορούμε να μεταβάλουμε την τονική απόδοση της επιφάνειας στο αρνητικό και κατ' επέκταση στο φωτογραφικό χαρτί, μεταβάλλοντας ανάλογα την έκθεση τροποποιώντας το διάφραγμα ή τον χρόνο έκθεσης. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η σχέση μεταξύ της έκθεσης και του μαυρίσματος του film, δεν είναι πάντα ανάλογη. Υπάρχει μια οριακή έκθεση προς τις μεγάλες μονάδες, που μετά από αυτήν δεν μπορεί να επέλθει καμιά μεταβολή στο αρνητικό, ενώ χρειάζεται μια ελάχιστη έκθεση για να αρχίσει να παίρνει αυτό μια ελάχιστη πυκνότητα.

ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΝΩΝ ΤΗΣ Kodak .

Η Kodak μαζί με την χρωματική προμηθεύει και μια τονική κλίμακα. Ο τόνος που έχει την ένδειξη M είναι αυτός που πρέπει να πάρει στο φωτογραφικό χαρτί η περιοχή που τα στοιχεία φωτομέτρησης χρησιμοποιήθηκαν για την φωτογράφιση. Μια άλλη περιοχή με μικρότερη ανακλαστικότητα κατά $1/3$ του stop θα πρέπει να αποδοθεί κατά την εκτύπωση με τον τόνο που βρίσκεται δίπλα M προς το μαύρο, ενώ αν είχε μεγαλύτερη ανακλαστικότητα κατά $1/3$ του stop θα έπαιρνε έναν τόνο προς το λευκό. Αυτή η κλίμακα είναι απαραίτητο να φωτογραφίζεται μαζί με το έργο κατά την αντιγραφή έργων τέχνης για να είναι δυνατή η σύγκριση της τονικότητας του κατά την έντυπη αναπαραγωγή. Ακόμη μπορεί να χρησιμεύσει, για την πρόβλεψη της τονικής απόδοσης των διαφόρων περιοχών της φωτογραφιζόμενης σκηνης



Χαρακτηριστική καμπύλη του film

Η φωτογραφική εικόνα έχει μια συναρτησιακή σχέση με την πραγματικότητα σε όλα τα επίπεδα της. Για να έχουμε μια μετάβαση από την φωτογραφιζόμενη σκηνή, στην εικόνα της, πάνω στην φωτοευαίσθητη ουσία, παίρνουν μέρος μια σειρά από ενέργειες (φωτομέτρηση, απόφαση πιο ζεύγος διαφράγματος και χρόνου θα χρησιμοποιηθούν, κτλ), διαδικασίες (εμφάνιση του film, εκτύπωση της φωτογραφίας, κτλ) και όργανα, (φωτογραφική μηχανή, φακός, φωτόμετρο) τα οποία όλα αυτά θα μπορούσαμε να τα ονομάσουμε στο σύνολο τους, συνάρτηση της πραγματικότητας επί της φωτογραφίας¹.

Στην φωτογραφική διαδικασία υπάρχει μια σχέση αιτίας και αποτελέσματος, προβλέψιμη, κάτω από προϋποθέσεις. Δηλαδή είναι σίγουρο ότι αν εκτεθεί το film σε μια ποσότητα φωτός θα σχηματιστεί λανθάνουσα εικόνα η οποία στη συνέχεια με την βοήθεια της διαδικασίας της εμφάνισης θα γίνει ορατή.

Αυτή η σχέση αιτίας και αποτελέσματος μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους.

Το 1890 οι Ferdinand Hurter και Vero Driffield χημικοί περιέγραψαν αυτήν με μια γραφική παράσταση, όπου στον οριζόντιο άξονα των καρτεσιανών συντεταγμένων τοποθέτησαν την αιτία, έκθεση, και μάλιστα τον δεκαδικό λογάριθμο της² ενώ στον κάθετο το αποτέλεσμα πυκνότητα.

Αυτή η καμπύλη ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη του film και μεταβάλλεται αν κάποιος παράγοντας που λαμβάνει μέρος στην φωτογραφική διαδικασία μεταβληθεί.

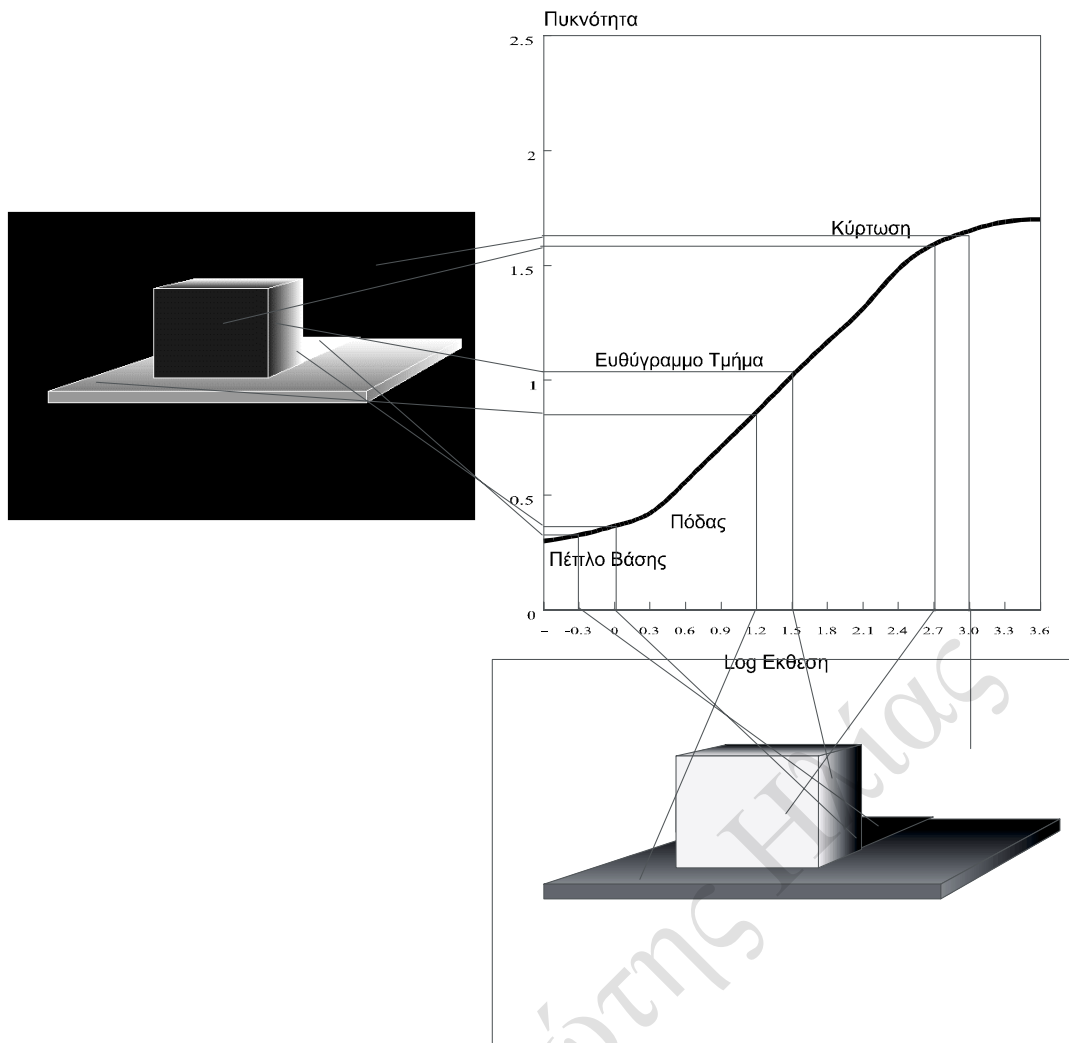
Οι τιμές για τα δυο μέλη της συνάρτησης λαμβάνο-

νται πειραματικά

Οι πληροφορίες που μπορούν να ληφθούν από την παρατήρηση της, είναι πολυάριθμες και μας βοηθούν τόσο στην σωστή επιλογή του υλικού, όσο και στην σωστή χρησιμοποίησή του. Οι εταιρίες φωτογραφικών υλικών προσφέρουν έντυπα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες των φωτοευαίσθητων ουσιών τις οποίες παράγουν. Αυτές όμως θα μπορούσαν να ληφθούν σαν μια πρώτη προσέγγιση και παρατήρηση για το υλικό και τούτο γιατί τα πειραματικά αποτελέσματα έχουν ληφθεί κάτω από τις συνθήκες του κατασκευαστή, οι οποίες είναι πολύ διαφορετικές από αυτές που υπάρχουν κατά τις δικές μας φωτογραφίσεις.

¹ Φυσικά, με πλήρη γνώση του κινδύνου που εμπεριέχει αυτός ο διαχωρισμός, εδώ μας απασχολεί μόνο η σχέση της τεχνικής με την πραγματικότητα

² Θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι δεν είναι δυνατόν να υπάρχει διαφορετική μεταβολή της έκθεσης (γεωμετρική), και διαφορετική της πυκνότητας (αριθμητική). Γι' αυτό τον λόγο διαίρεται η έκθεση δια του μοναδιαίου μέτρου της ώστε να απαλειφθούν οι μονάδες μέτρησης της και κατόπιν λογαριθμηται. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνεται να υπάρχει αριθμητική αύξηση και στους δυο άξονες



ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

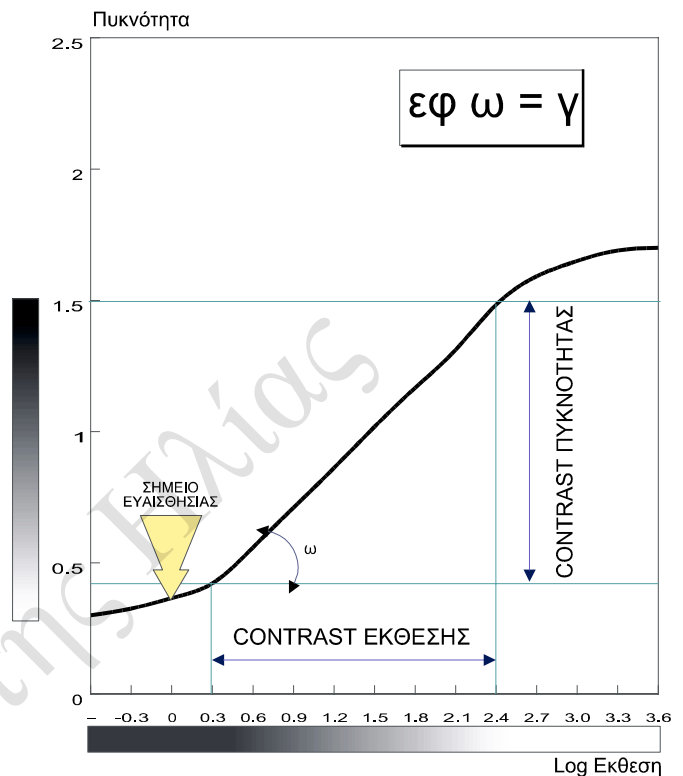
Χαράσσοντας την χαρακτηριστική καμπύλη ενός film, ανεξάρτητα από την ονομασία του τον χρόνο εμφάνισης και την ονομασία του εμφανιστή που χρησιμοποιήθηκε για την εμφάνιση του, παρατηρούμε σε αυτήν κοινά χαρακτηριστικά όσο αφορά την μορφή της. Όπως έχει αναφερθεί η περιοχή του film που δεν έχει καθόλου εκτεθεί θα παρουσιάσει μετά την εμφάνιση μια ελάχιστη πυκνότητα που ονομάζεται "πυκνότητα πέπλου βάσης", "ομίχλισμα" ή "fog". Αυτή η πυκνότητα αποδίδεται στο φωτογραφικό χαρτί κατά την εκτύπωση ως το απόλυτο μαύρο. Αν το film εκτεθεί με $\frac{1}{2}$ σ.μ.ε. (-0,3 λογαριθμικές μονάδες έκθεσης) ή με 1σ.μ.ε. (0 λογαριθμικές μονάδες έκθεσης), θα παρουσιάσει μια ελάχιστη αύξηση της πυκνότητας, η οποία όμως δεν είναι ανάλογη της έκθεσης. Η περιοχή αυτή ονομάζεται πόδας της καμπύλης. Αυτή είναι μεν διακριτή στο αρνητικό, αλλά στο φωτογραφικό χαρτί αποδίδεται και αυτή όπως η πυκνότητα πέπλου βάσης, σαν απόλυτο μαύρο. Από τις 2σ.μ.ε. (0,3 λογαριθμικές μονάδες έκθεσης) αρχίζει να υπάρχει αναλογία έκθεσης και πυκνότητας και αυτό συμβαίνει μέχρι τις 128 σ.μ.ε. (2,1 λογαριθμικές μονάδες έκθεσης) περίπου και αυτό εξαρτάται από την ποιότητα του film. Σε αυτό το διάστημα όπως είναι φανερό η καμπύλη είναι ευθεία. Αυξάνοντας την έκθεση πέραν των 256 σ.μ.ε. (2,4 λογ. μονάδες έκθεσης) αρχίζει ο ώμος της καμπύλης. Σε αυτήν την περιοχή κάθε αύξηση της έκθεσης δεν συνεπάγεται ανάλογη αύξηση της πυκνότητας, και τούτο γιατί δεν υπάρχουν πλέον πολλοί κρύσταλλοι να μεταβάλλουν την δομή τους με την επίδραση του φωτός.

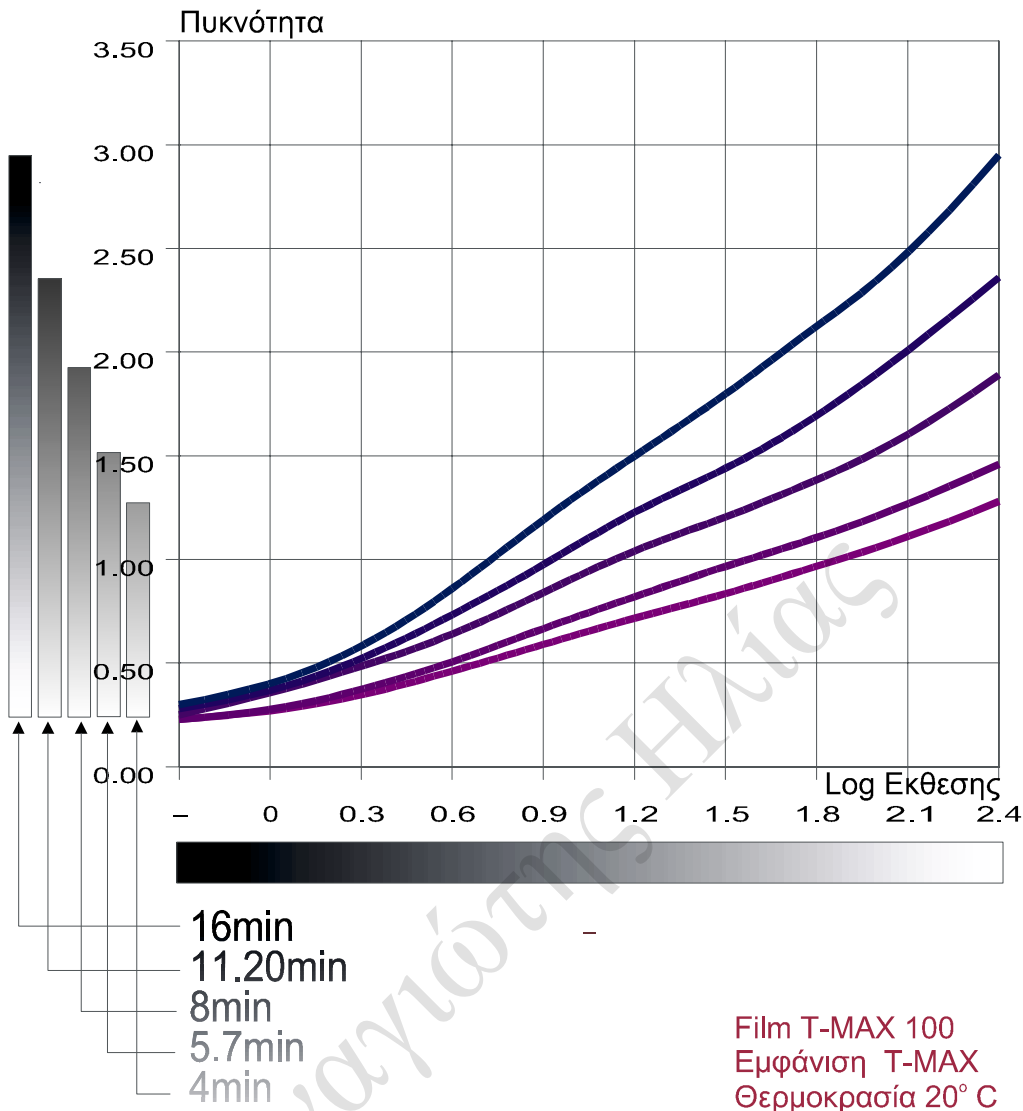
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ FILM

Ας υποθέσουμε ότι εκθέτουμε ένα film από -0,3 λογ. Μον. Εκθ. έως 3,6 λογ. Μον. Εκθ. Κατόπιν εμφανίζουμε το αρνητικό για ένα συγκεκριμένο χρόνο, μετράμε την πυκνότητα που παράγει το κάθε μέγεθος έκθεσης και χαράζουμε την καμπύλη.

Η κλίση της γωνίας "ω" που σχηματίζει το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης ως προς τον άξονα του "logE" είναι άμεσα εξαρτημένη από τον χρόνο εμφάνισης, αν όλες οι άλλες παράμετροι (θερμοκρασία ανάδευση κτλ) παραμένουν σταθερές μέσα σε όρια, η σχέση γωνίας "ω" και χρόνος εμφάνισης είναι ανάλογη. Η εφαπτόμενη αυτής της γωνίας ονομάζεται "διαβάθμιση του αρνητικού" και αρχικά συμβολιζόταν με το ελληνικό γράμμα "γ". Με την πάροδο του χρόνου όμως και επειδή οι νέες εμουλσιόν δεν παρουσίαζαν τέλεια ευθύγραμμα τμήματα, οι κατασκευαστές εμουλσιόν όρισαν διαφορετικά την "διαβάθμιση του αρνητικού" και συμβόλισαν διαφορετικά αυτήν. Συγκεκριμένα η Kodak την ονόμασε "συντελεστή contrast (C.I.)" ενώ η Ilford την συμβόλισε με το γράμμα "G".

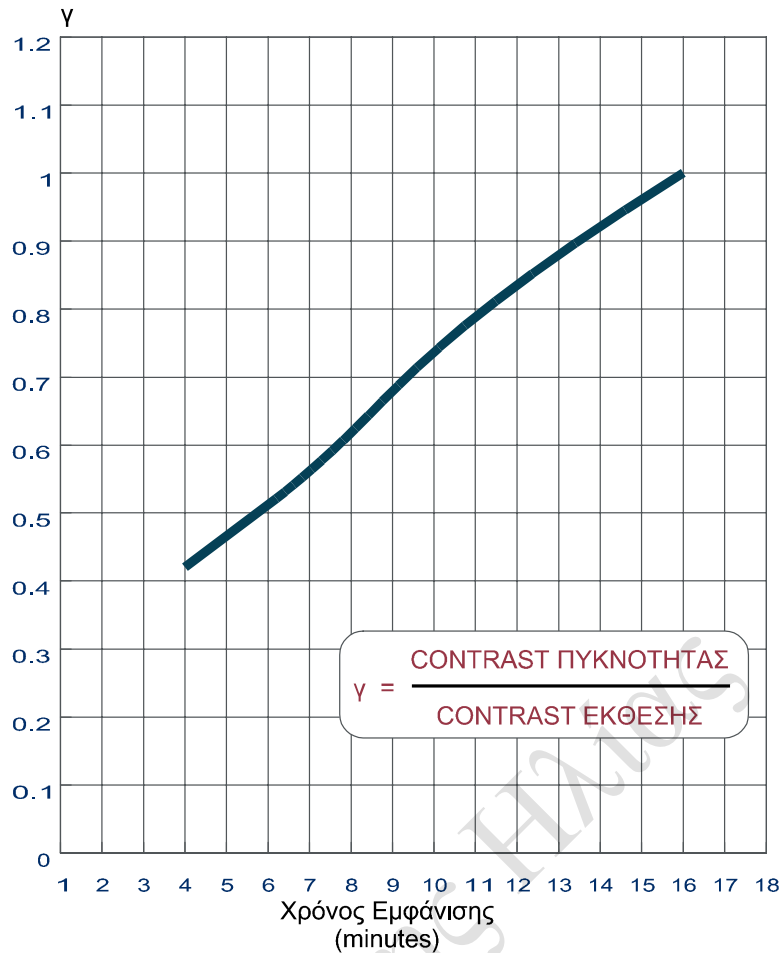
Υπάρχει ένα σημείο της καμπύλης που η προβολή του στον άξονα των πυκνοτήτων έχει τιμή ίση με $0,1 + D_{fog}$ (D_{fog} = πυκνότητα πέπλου βάσης). Αυτό το σημείο ονομάζεται "σημείο ευαισθησίας" του film και στις μοντέρνες εμουλσιόν μεταβάλλεται ανάλογα με τον χρόνο εμφάνισης, μέσα σε όρια. Το μέγεθος της προβολής του ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης στον άξονα "logE", μας προδίδει το μέγεθος του contrast που μπορεί να έχει η φωτογραφιζομενη σκηνή, έτσι ώστε να έχουμε μια σωστή απόδοση αυτής στο αρνητικό, με τον συγκεκριμένο χρόνο εμφάνισης, ενώ η προβολή του ευθυγράμμου τμήματος στον άξονα των πυκνοτήτων μας δηλώνει το contrast πυκνότητας που έχει το αρνητικό για το συγκεκριμένο "contrast έκθεσης" και για τον συγκεκριμένο χρόνο εμφάνισης.





ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Εκθέτουμε πέντε film στο ίδιο contrast έκθεσης και κατά την διαδικασία της εμφάνισης το μόνο που μεταβάλλεται είναι ο χρόνος. (Στην εικόνα για το film T-max 100 ο κατασκευαστής πρότεινε για τους 20° C χρόνο εμφάνισης 8min. Το ένα film εμφανίστηκε για αυτόν τον χρόνο ενώ για να βρεθούν οι χρόνοι για τα άλλα τέσσερα, πολλαπλασιάστηκαν και διαιρέθηκαν τα 8min με ένα συντελεστή 1,4.) Αφού εμφανιστούν και πυκνομετρηθούν τα film κατασκευάζουμε στον ίδιο καναβο τις "χαρακτηριστικές καμπύλες" και των πέντε. Παρατηρούμε ότι η πυκνότητα πέπλου βάσης ελάχιστα μεταβάλλεται με τον χρόνο εμφάνισης και το ίδιο θα μπορούσαμε να πούμε για τις μικρές τιμές των μονάδων έκθεσης ενώ όσο αυξάνονται αυτές, αυξάνονται και οι αντίστοιχες πυκνότητες. Αυτό έχει σαν συνέπεια η κλίση της κάθε καμπύλης ως προς τον άξονα "logE" να είναι διαφορετική και έτσι να συμπεραίνουμε ότι η μεταβολή του χρόνου εμφάνισης μεταβάλλει την διαβάθμιση του film.



Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ FILM ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ.

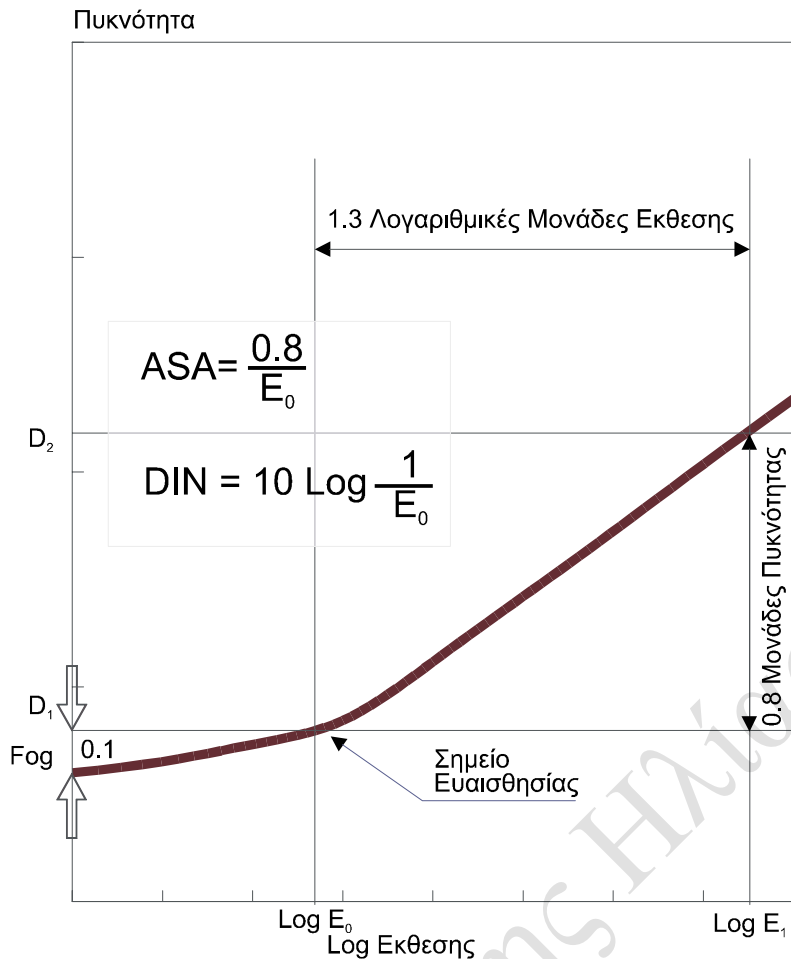
Η διαβάθμιση του film γενικά, αφαιρώντας τις ιδιαιτερότητες του κάθε τρόπου μέτρησης, έχει αναφερθεί ότι είναι η κλίση του ωφέλιμου μέρους της καμπύλης, δηλαδή του μέρους αυτού όπου υπάρχει μια ομαλή αύξηση της πυκνότητας σε συνάρτηση της έκθεσης, ως προς τον άξονα $\log E$. Η αριθμητική τιμή της είναι ίση με την εφαπτόμενη της γωνίας αυτής της κλίσης, δηλαδή είναι ίση με το πηλίκο του contrast πυκνότητας δια του αντίστοιχου contrast έκθεσης. Ακόμη έχει αναφερθεί ότι η κλίση αυτή αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος εμφάνισης. Εδώ θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι υπάρχουν όρια χρόνου προς τα κάτω και προς τα πάνω που μέσα σε αυτά έχουμε μια ομαλή μεταβολή της διαβάθμισης μεταβάλλοντας τον χρόνο εμφάνισης. Πιο συγκεκριμένα, αν ο χρόνος είναι πολύ μικρός, το εμφανιστικό υγρό δεν προλαβαίνει να εισχωρήσει στον κρύσταλλο του film, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να δημιουργηθεί αρκετή ορατή εικόνα, σχεδόν καθόλου πυκνότητα, ενώ αν ο χρόνος είναι αρκετά μεγάλος τότε υπάρχει μια μεγάλη αύξηση της πυκνότητας του πέπλ'εφν βάσης του film, με φυσικό επακόλουθο την πτώση της διαβάθμισης. Η μεταβολή της διαβάθμισης του film σε συνάρτηση του χρόνου εμφάνισης είναι δυνατόν να παρασταθεί γραφικά, αν στον οριζόντιο άξονα τοποθετήσουμε τον χρόνο εμφάνισης, ενώ στον κάθετο την αντίστοιχη διαβάθμιση του film. Αφού χαραχθεί αυτή η καμπύλη για ένα συγκεκριμένο αρνητικό, είμαστε πλέον σε θέση να προβλέπουμε για οποιονδήποτε χρόνο εμφάνισης του, την αντίστοιχη διαβάθμιση, ή αν είναι επιθυμητή μια συγκεκριμένη διαβάθμιση να γνωρίζουμε για πόσο χρόνο πρέπει να εμφανιστεί το film. Προχωρώντας ακόμη περισσότερο βλέπουμε ότι είμαστε σε θέση, αν γνωρίζουμε το contrast έκθεσης, να μπορούμε να προβλέψουμε το contrast πυκνότητας για έναν ορισμένο χρόνο εμφάνισης.

Ταχύτητα φωτοανταποκρίσης του film.

Κατά την παρασκευή του φωτοευαίσθητου υλικού λαμβάνεται υπ' όψιν από τους παρασκευαστές, τόσο η ποσότητα των κρυστάλλων, μεταβάλλοντας το πάχος της εμουλσιόν, όσο και το μέγεθος των. Και αυτό γιατί αυτοί οι δυο είναι οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα φωτοανταποκρίσης του υλικού. Δηλαδή καθορίζουν την ποσότητα της έκθεσης που χρειάζεται το film έτσι ώστε να αποκτήσει αυτό μετά από μια κανονική διαδικασία εμφάνισης, μια συμφωνημένη από τους κατασκευαστές, πυκνότητα. Ο σχηματισμός της λανθάνουσας εικόνας είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος του κόκκου, συνεπώς μια επιφάνεια η οποία έχει ευαισθητοποιηθεί με μια ποσότητα μεγάλων κρυστάλλων, χρειάζεται λιγότερη έκθεση από μια ισοεμβαδική της επιφάνεια η οποία έχει επιστρωθεί με μικρότερους και φυσικά περισσότερους, κρυστάλλους. Η ταχύτητα φωτοανταποκρίσης του film, επειδή ακριβώς εξαρτάται από του δυο παραπάνω παράγοντες, δηλαδή μέγεθος και ποσότητα κρυστάλλων, προδίδει μερικά πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά του, όπως είναι ο κόκκος που γίνεται αντιληπτός στους μεσαίους τόνους κατά την εκτύπωση της φωτογραφίας, και η διακριτική ικανότητα του, που είναι η ικανότητα του film να διαχωρίζει λεπτομέρειες.

Η ταχύτητα του film μπορεί μετρηθεί σε διάφορες μονάδες μέτρησης. Μερικές από αυτές αυξάνονται με γεωμετρική πρόοδο, όπως είναι τα ASA. Σε ένα τέτοιο σύστημα μέτρησης, ένας διπλασιασμός της ευαισθησίας κατά ένα stop, συνεπάγεται και διπλασιασμό της τιμής, ενώ άλλες με αριθμητική πρόοδο, όπως είναι τα DIN. Σε αυτό το σύστημα μέτρησης ο διπλασιασμός της ευαισθησίας του film, εκφράζεται με την πρόσθεση μιας σταθεράς, (στο σύστημα DIN είναι ο αριθμός 3) στον προηγούμενο αριθμό. Τελευταία οι εταιρίες συμφώνησαν σε ένα νέο σύστημα μέτρησης που είναι τα ISO αυτά είναι μια συνεχφορά του ASA και του DIN. Συγκεκριμένα $ISO=ASA/DIN$.

Τα film ανάλογα την αριθμητική τιμή της φωτοανταποκρίσης τα κατατάσσουμε σε αργά (από 0 έως 100 ASA), σε μεσαία (από 100 έως 400 ASA) και σε γρήγορα (από 400 έως 3200 ASA).



TAXYTHTA TOY YΛIKOY

Υπάρχει μια έκθεση E_0 τέτοια που όταν εκτεθεί σε αυτήν το film αποκτά πυκνότητα $D_1 = 0,1 + D_{fog}$. Ακόμη υπάρχει μια έκθεση E_1 τέτοια που $\log E_1 = \log E_0 + 1,3$, που όταν εκτεθεί το film, και εμφανιστεί για έναν συγκεκριμένο χρόνο εμφάνισης, παρουσιάζεται πάνω σε αυτό πυκνότητα $D_2 = 0,8 + 0,1 + D_{fog}$. Τότε τα ASA ορίζονται σαν το πηλίκο της σταθεράς 0,8 δια την έκθεση E_0 , δηλαδή $ASA = 0,8/E_0$ ενώ τα DIN σαν τον δεκαδικό λογάριθμο του 1 προς E_0 επί τον αριθμό 10. Δηλαδή $DIN = 10 \cdot \text{Log} (1/E_0)$. Από τις παραπάνω εκφράσεις των ASA και DIN γίνεται εύκολα κατανοητό γιατί τα ASA μεταβάλλονται με γεωμετρική πρόοδο ενώ τα DIN με αριθμητική. Όταν ο χρόνος εμφάνισης μεταβληθεί, δηλαδή η έκθεση E_1 μετά την διαδικασία της εμφάνισης δεν μας δίνει την πυκνότητα D_2 , τότε δεν μπορούμε να μιλάμε για ASA αλλά για συντελεστή έκθεσης του film που συμβολίζεται με "E.I." (exposure index).

Κατά την φωτομέτρηση μιας σκηνής, πρώτα από όλα πρέπει να επιλέγουμε στην κλίμακα των ASA ή DIN του φωτόμετρου, τον αριθμό που αντιστοιχεί στην ταχύτητα του film, έτσι ώστε μετά την μέτρηση της γενικής φωτεινής έντασης της σκηνής, να μπορέσουμε να εκθέσουμε για το συγκεκριμένο film. Εξάλλου όπως έχει προαναφερθεί η αξία έκθεσης "EV" είναι άμεσα εξαρτημένη από ταχύτητα της φωτοευαίσθητης ουσίας.

Η χρωματική θερμοκρασία του φωτός που εκθέτουμε το film, είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει δραστικά την ευαισθησία των φωτοευαίσθητων ουσιών. Οι κατασκευαστές των film, δηλώνουν σε αναλυτικά φυλλάδια που συνοδεύουν τα προϊόντα τους, αν η χρήση αυτών πρέπει να γίνει με φως ημέρας ή λάμπες τεχνικού φωτισμού. Γίνεται φανερό λοιπόν, ότι η χρήση έγχρωμων φίλτρων, για την μεταβολή μιας περιοχής του contrast της σκηνής που φωτογραφίζουμε, επηρεάζει την ευαισθησία του film. Αυτό το γεγονός πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε τέτοιες φωτογραφικές καταστάσεις και να γίνονται οι ανάλογες διορθώσεις..