

Η βασική επιστήμη πίσω από τη δημιουργία χρωμάτων

Το λευκό φως είναι ένα μείγμα όλων των χρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων αυτών που το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να δει. Όταν λέμε ότι κάτι έχει χρώμα, αυτό που στην πραγματικότητα εννοούμε είναι ότι το φως ενός συγκεκριμένου εύρους μηκών κύματος ανακλάται πιο έντονα από το φως άλλων μηκών κύματος. Το πώς συμπεριφέρεται η ύλη παρουσία φωτός, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται έγχρωμη σε εμάς τους ανθρώπους, εξαρτάται από μερικούς σημαντικούς παράγοντες. Πρώτα απ' όλα - όλα αποτελούνται από ηλεκτρόνια και άτομα, αλλά κάθε ουσία έχει διαφορετικό αριθμό ατόμων και διαφορετική διαμόρφωση ηλεκτρονίων. Με αυτόν τον τρόπο, όταν το φως χτυπά την ύλη συμβαίνει ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα φαινόμενα:

Ανάκλαση και σκέδαση. Τα περισσότερα αντικείμενα αντανακλούν το φως, αλλά μερικά είναι πιο ανακλαστικά από άλλα, όπως τα μέταλλα. Αυτό σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων που μπορούν να περάσουν από άτομο σε άτομο με ευκολία. Αντί να απορροφούν ενέργεια από το φως, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δονούνται και η φωτεινή ενέργεια στέλνεται έξω από το υλικό με την ίδια συχνότητα με το αρχικό φως που εισέρχεται.

Απορρόφηση. Όταν δεν υπάρχει ανάκλαση (το αντικείμενο είναι αδιαφανές), τότε η συχνότητα της εισερχόμενης πηγής φωτός είναι ίδια ή πολύ κοντά στη συχνότητα δόνησης των ηλεκτρονίων στο δεδομένο υλικό. Τα ηλεκτρόνια απορροφούν έτσι το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ενέργειας, με μικρή ή καθόλου ανάκλαση.

Μετάδοση. Εάν η εισερχόμενη φωτεινή ενέργεια είναι πολύ χαμηλότερη ή πολύ μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για να δονείται τα ηλεκτρόνια που περιλαμβάνουν ένα αντικείμενο, τότε η πηγή φωτός θα περάσει μέσα από το υλικό αμετάβλητη. Με αυτόν τον τρόπο η ύλη θα φαίνεται διαφανής στο ανθρώπινο μάτι, όπως στην περίπτωση του γυαλιού.

Διάθλαση. Εάν η ενέργεια του εισερχόμενου φωτός είναι ίδια με τη συχνότητα δόνησης των ηλεκτρονίων στο υλικό, το φως μπορεί να εισχωρήσει βαθιά μέσα στο υλικό και προκαλεί μικρές δονήσεις στα ηλεκτρόνια. Στη συνέχεια, οι δονήσεις μεταδίδονται από άτομο σε άτομο, καθεμία από τις οποίες δονείται με την ίδια συχνότητα με την εισερχόμενη πηγή φωτός. Αυτό κάνει το φως μέσα στο υλικό να φαίνεται λυγισμένο. Παράδειγμα: ένα καλαμάκι σε ένα ποτήρι νερό.

ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Η πιο ευέλικτη πηγή έγχρωμου φωτός είναι αυτό που περιγράφει η Hilary Brueck μιλώντας για τα πυροτεχνήματα, δηλαδή τα χαρακτηριστικά χρώματα του φωτός που εκπέμπονται από συγκεκριμένα χημικά στοιχεία. Κάθε στοιχείο στον περιοδικό πίνακα έχει ένα μοναδικό σύνολο μηκών κύματος που θα απορροφήσει και θα εκπέμψει, επομένως η εύρεση του χρώματος που θέλετε είναι απλώς θέμα επιλογής του σωστού στοιχείου που εκπέμπει σε αυτό το μήκος κύματος.

Το βασικό φαινόμενο των «φασματικών γραμμών» (όπως ονομάζονται αυτά τα διακριτά μήκη κύματος, επειδή σε ένα παραδοσιακό φασματομέτρο το φως διέρχεται από μια στενή σχισμή πριν διασκορπιστεί από ένα πρίσμα ή σχάρα και το φως από ένα συγκεκριμένο άτομο εμφανίζεται ως έγχρωμες λωρίδες, εικόνες της σχισμής) ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του 1850. Γρήγορα υιοθετήθηκε ως εργαλείο αναγνώρισης συγκεκριμένων στοιχείων-- η πρώτη απόδειξη του στοιχείου ήλιο εντοπίστηκε το 1868, ως μια γραμμή στο φάσμα του Ήλιου που δεν ταίριαζε με κανένα γνωστό στοιχείο (αν και το αέριο ήλιο δεν ήταν απομονωμένο στη Γη μέχρι το 1895), και μέχρι τα τέλη του 1800 τα νέα χημικά στοιχεία αναγνωρίζονταν τακτικά από το φως που εξέπεμπαν.

Ο λόγος για αυτό παρέμενε σκοτεινός, ωστόσο, μέχρι το 1913, όταν ο Niels Bohr, ένας Δανός θεωρητικός φυσικός, πρότεινε ένα επαναστατικό μοντέλο υδρογόνου. Ο Bohr εργαζόταν με τον Ernest Rutherford στο Μάντσεστερ, ο οποίος είχε εισαγάγει την ιδέα του ατόμου ως ένα μικροσκοπικό ηλιακό σύστημα, με αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω

από έναν θετικό πυρήνα που περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου. Αυτό εξήγησε τις παρατηρήσεις που έγιναν από τον Ράδερφορντ και τους μαθητές του, αλλά ήταν αδύνατη δεδομένης της φυσικής που ήταν γνωστή εκείνη την εποχή--σύμφωνα με την κλασική φυσική, ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε τροχιά πρέπει να εκπέμπει ακτίνες Χ προς όλες τις κατευθύνσεις και να χάνει γρήγορα ενέργεια, σπειροειδώς στον πυρήνα.

Ο Bohr έκανε τη ριζοσπαστική πρόταση ότι τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω από τα άτομα έχουν ορισμένες ειδικές τροχιές στις οποίες, για κάποιο λόγο, δεν εκπέμπουν καθόλου ακτινοβολία, αλλά γυρίζουν και γυρίζουν πολύ χαρούμενα, βασικά για πάντα. Σε αυτό το μοντέλο, τα άτομα απορροφούν και εκπέμπουν μόνο όταν τα ηλεκτρόνια κινούνται μεταξύ τροχιών και το μήκος κύματος καθορίζεται από την ενεργειακή διαφορά μεταξύ των δύο επιτρεπόμενων τροχιών. Μερικές απλές υποθέσεις σας επιτρέπουν να υπολογίσετε το ακριβές μοτίβο των μηκών κύματος που εκπέμπονται από το υδρογόνο, και αυτές ταιριάζουν σχεδόν τέλεια με τις παρατηρήσεις.

Το μοντέλο του Bohr εκτόξευσε την ανάπτυξη της κβαντικής φυσικής σε υψηλή ταχύτητα. Δεν ήταν τέλει-- το βασικό μοντέλο δεν λειτούργησε για κανένα άτομο πιο περίπλοκο από το υδρογόνο-- αλλά αυτό ξεκίνησε σχεδόν μια δεκαετία αυτού που σήμερα είναι γνωστό ως "η παλιά κβαντική θεωρία", προσθέτοντας διάφορες τροποποιήσεις στη βασική ιδέα του Bohr εξηγήσει το φάσμα άλλων στοιχείων. Αυτό έγινε αρκετά μπάροκ πριν καταργηθεί το όλο θέμα προς όφελος της σύγχρονης εκδοχής της κβαντικής μηχανικής, στα μέσα έως τα τέλη της δεκαετίας του 1920, αλλά η κεντρική ιδέα παραμένει: τα ηλεκτρόνια μέσα στα άτομα έχουν ένα σύνολο διακριτών καταστάσεων στις οποίες μπορούν ευτυχώς να υπάρχουν χωρίς να εκπέμπουν τίποτα, και απορροφούν και εκπέμπουν φως μόνο όταν κινούνται μεταξύ αυτών των καταστάσεων.

Τα χαρακτηριστικά χρώματα των πυροτεχνημάτων, λοιπόν, είναι άμεση συνέπεια της κβαντικής φυσικής. Όταν ανάβετε ένα δείγμα κάποιου στοιχείου, τα ηλεκτρόνια στα άτομα διεγείρονται σε πολύ υψηλές καταστάσεις, μερικές φορές αφαιρούνται εντελώς από το άτομο και σε σύντομο χρονικό διάστημα, πέφτουν πίσω στη χαμηλότερη διαθέσιμη ενεργειακή κατάσταση. Στην πορεία, εκπέμπουν βασικά όλα τα πιθανά μήκη κύματος για το συγκεκριμένο στοιχείο (μερικά πιο έντονα από άλλα), οδηγώντας στα χαρακτηριστικά χρώματα που βλέπουμε.

ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ

Ο όμως κβαντομηχανικός τρόπος για να φτιάξετε χρώμα είναι ακόμα πιο απλός: απλά ζεστάνετε ένα αντικείμενο. Η Rhett Allain μιλάει για αυτό άμεσα συζητώντας όμως λαμπτήρες πυρακτώσεως και η Brueck το υπαινίσσεται όταν σημειώνει ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες στα πυροτεχνήματα οδηγούν σε πιο χλωμά χρώματα.

Η φυσική εδώ είναι η «ακτινοβολία μαύρου σώματος». Είναι μια απλή, καθολική σχέση που εξηγείται μαθηματικά από τον Max Planck: ανεξάρτητα από το τι είναι φτιαγμένο ένα αντικείμενο, αν το ζεσταίνετε (αλλά όχι τόσο ζεστό ώστε να χάσει τη δομική του ακεραιότητα), θα εκπέμπει ένα ευρύ φάσμα φωτός του οποίου το μέγιστο μήκος κύματος εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία.

Η εξήγηση του Planck για την ακτινοβολία μαύρου σώματος ήταν η πρώτη εισαγωγή κβαντικών ιδεών--για να εξηγήσει τον μαθηματικό τύπο που περιγράφει το φάσμα, αναγκάστηκε να προσποιηθεί ότι η ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορούσε να έρθει μόνο σε πολλαπλάσια μιας χαρακτηριστικής ενέργειας που εξαρτάται από το

μήκος κύματος. Ο όμως ο Πλανκ δεν ήταν ποτέ τόσο ευχαριστημένος με αυτή την ιδέα, αλλά δημιούργησε το σκηνικό για την επαναστατική συμβολή του Αϊνστάιν στην κβαντική φυσική, και αυτό, με τη σειρά του, είναι κρίσιμο για το ατομικό μοντέλο του Μπορ.

Ωστόσο, ως τρόπος δημιουργίας έγχρωμου φωτός, η ακτινοβολία του μαύρου σώματος είναι αρκετά περιορισμένη. Παίρνετε ένα συγκεκριμένο χρώμα για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, και αυτό είναι όλο – τα καυτά αντικείμενα ανάβουν κόκκινο, σκιάζονται σε πορτοκαλί, μετά κίτρινο και μετά λευκό καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Αυτό το φαινόμενο όμως επιτρέπει να αναγνωρίσουμε όμως θερμοκρασίες των μακρινών αστεριών, κάτι που με τη σειρά του παρέχει ενδείξεις για τη φυσική στην εργασία για να τα κάνει να λάμπουν, επομένως είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για τη φυσική. Αν ο στόχος όμως είναι να φτιάξετε ένα φως που να φαίνεται, όμως πούμε, πράσινο, όμως, δεν έχετε τύχη, λόγω του τρίτου παράγοντα που εμπλέκεται στην παραγωγή χρώματος.

ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΟΡΑΣΗ

Το μέγιστο μήκος κύματος που εκπέμπεται από τον Ήλιο είναι περίπου 500 nm, και στην πραγματικότητα είναι πολύ κοντά σε αυτό που οι περισσότεροι άνθρωποι θα αποκαλούσαν πράσινο - όλες οι πράσινες αποχρώσεις του γρασιδιού και των φύλλων και ούτω καθεξής προέρχονται τελικά από το ανακλώμενο φως του ήλιου. Αλλά ο ήλιος δεν φαίνεται πράσινος στα μάτια μας, εξαιτίας όλων των άλλων μηκών κύματος που τον συνοδεύουν. Και αυτό που αντιλαμβανόμαστε ως χρώμα είναι τόσο προϊόν βιολογίας όσο και φυσικής.

Η καλύτερη απόδειξη αυτού είναι το χρώμα «μωβ», το οποίο κάθε παιδί προσχολικής ηλικίας μπορεί να σας πει ότι γίνεται προσθέτοντας κόκκινο και μπλε. Ωστόσο, αυτή η προσθήκη χρώματος δεν έχει βάση στη φυσική, αλλά είναι το αποτέλεσμα μιας ιδιορρυθμίας της ανθρώπινης βιολογίας. Τα μάτια μας κατασκευάζουν αυτό που αντιλαμβανόμαστε ως χρώμα από την απόκριση τριών τύπων κυττάρων στον αμφιβληστροειδή μας, το καθένα ευαίσθητο στο φως μιας συγκεκριμένης σειράς χρωμάτων. Το ένα είναι πιο ευαίσθητο στο μπλε φως (μικρό μήκος κύματος), το ένα είναι πιο ευαίσθητο στο κόκκινο φως (μεγάλο μήκος κύματος) και το τρίτο σε ένα είδος κιτρινοπράσινου. Με βάση το πόσο έντονα ανταποκρίνεται κάθε ένα από αυτά τα κύτταρα στο εισερχόμενο φως, ο εγκέφαλός μας κατασκευάζει την αντίληψή μας για το χρώμα.

Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να ξεγελάσουμε έναν ανθρώπινο εγκέφαλο για να δει ένα χρώμα που δεν υπάρχει στην πραγματικότητα, απλά παίρνοντας το σωστό συνδυασμό κόκκινου, πράσινου και μπλε φωτός. Αυτό φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η οποία απεικονίζει το φάσμα ενός λέιζερ με μήκος κύματος κορυφής 405 νανόμετρα σε σχέση με το φάσμα φωτός από μια οθόνη υπολογιστή που έχει ρυθμιστεί σε κάτι που ταιριάζει πολύ με το χρώμα του λέιζερ, τουλάχιστον σύμφωνα με το μάτι μου. Η έξοδος της οθόνης είναι ένας μεγάλος όγκος μπλε, πράσινου και κόκκινου χρώματος, χωρίς ουσιαστικά φως στο πραγματικό μήκος κύματος του λέιζερ, αλλά χάρη στον ανθρώπινο εγκέφαλο, το αντιληπτό χρώμα είναι πολύ παρόμοιο.

1. Έτσι, αυτοί είναι οι τρεις τρόποι με τους οποίους μπορείτε να φτιάξετε ένα συγκεκριμένο χρώμα: επιλέξτε ένα στοιχείο που εκπέμπει το συγκεκριμένο χρώμα που θέλετε. θερμάνετε ένα αντικείμενο στην κατάλληλη θερμοκρασία. ή ξεγελάστε τον ανθρώπινο εγκέφαλο για να δει ένα χρώμα που δεν υπάρχει χάρη στις ιδιορρυθμίες της ανθρώπινης όρασης.