

Introduzione

Benvenuti in questo avvincente viaggio attraverso i segreti dell'universo, dal macrocosmo al microcosmo. Esploreremo i fenomeni naturali legati all'interazione tra radiazione e materia, immergendoci in un mondo dove il profondo fascino della natura si svela in modi inaspettati.

In questo straordinario percorso, vi invito a lasciarvi guidare nell'esplorazione di un universo affascinante e misterioso, dove ogni scoperta scientifica è una chiave che sblocca un nuovo capitolo nella comprensione della complessità che ci circonda. Ma non temete, questo non è solo un trattato di formule e teorie astruse; è un viaggio avvincente alla ricerca della bellezza intrinseca nella realtà stessa.

La scienza sarà come una lanterna magica, che ci permetterà di scrutare oltre la superficie delle cose, svelando segreti nascosti e connessioni sottili tra i fenomeni naturali. In particolare, ci offrirà un'opportunità unica per apprezzare la bellezza con gli occhi della ragione e della curiosità, mentre ci immergeremo nella danza armoniosa tra la radiazione e la materia.

Attraverso nove affascinanti capitoli, affronteremo la doppia natura della luce, esploreremo la profondità della composizione della materia, riveleremo i segreti degli istanti primordiali dell'universo, da cui la radiazione e la materia hanno avuto origine. Ma questo è solo l'inizio, infatti ci avventureremo nei fenomeni ottici che plasmano la nostra esperienza quotidiana, dal macrocosmo al microcosmo. Tramonti, arcobaleni, stelle cadenti e aurore polari saranno i protagonisti di questa narrazione, insieme alle applicazioni moderne che emergono dall'interazione tra luce e materia, come i laser, la fibra ottica, le nanotecnologie e molto altro ancora.

Infine, daremo sfogo all'immaginazione, esplorando territori inesplorati tra la scienza e la fantascienza, come gli ologrammi, il mantello dell'invisibilità e il teletrasporto. Questi fenomeni apriranno la porta a mondi ancora inesplorati, invitandoci a sognare mentre ci avventuriamo nel regno dei concetti al confine tra realtà e fantasia.

Preparatevi a essere catturati dalla bellezza sottostante della nostra esistenza, a svelare segreti che attendono pazientemente di essere scoperti, e a innamorarvi di nuovo del mondo, sotto una luce mai vista prima. Comprendere meglio il mondo naturale ci spinge a preservarne la bellezza che lo caratterizza e a garantire che essa continui a prosperare.

Siete pronti ad affrontare questo viaggio attraverso la bellezza nascosta dell'universo?

Alla scoperta della luce

Onda o particella? La doppia natura della luce

Fin dai tempi di Huygens¹ (1629-1695), la luce è stata considerata come un'onda, un'entità che si propaga periodicamente attraverso lo spazio con una serie di oscillazioni, trasportando energia. Immaginate uno specchio d'acqua, dove una piccola pietra cade e genera una serie di onde concentriche che si espandono verso l'esterno. In modo simile, la luce ha un andamento ondulatorio, con creste e valli che si susseguono in un balletto continuo, che ci ricorda il movimento delle onde sull'acqua. In particolare, le onde luminose sono radiazioni elettromagnetiche, in quanto sono generate da campi elettrici e magnetici che si autosostengono, mentre si propagano nel vuoto a una velocità incredibile di circa 300.000 km/s (questa velocità è così elevata che la luce può percorrere la distanza tra la Terra e la Luna in soli 1,3 s). Il comportamento dei campi è descritto dalle celebri equazioni di Maxwell (1831-1879),² pubblicate nella sua opera *Trattato di elettricità e magnetismo*,³ in cui spiega che il campo elettrico⁴ e magnetico⁵ non sono

1. Scienziato olandese annoverato tra i protagonisti della rivoluzione scientifica, ovvero il periodo compreso tra il 1543 e il 1687, caratterizzato da una straordinaria fase di sviluppo scientifico, che ha rivoluzionato la comprensione del mondo e ha gettato le basi per il metodo scientifico moderno.
2. Scienziato inglese noto per avere unificato i contributi sull'elettricità e sul magnetismo degli scienziati Faraday e Ampère in una serie di equazioni, note come equazioni di Maxwell. Il suo modello unificato per l'elettromagnetismo è considerato uno dei più grandi risultati della fisica del XIX secolo.
3. Maxwell J. C., *Trattato di elettricità e magnetismo*. Torino: UTET.
4. Il campo elettrico è un campo di forze generato nello spazio dalla presenza di una carica elettrica o di un campo magnetico variabile nel tempo.
5. Il campo magnetico è un campo di forze generato nello spazio dal moto di una carica

quantità indipendenti, ma rappresentano aspetti diversi di un unico ente fisico, il campo elettromagnetico.

La luce è caratterizzata da due grandezze fisiche: la lunghezza d'onda e la frequenza; la prima fa riferimento alla periodicità spaziale dell'onda luminosa, mentre la seconda è legata alla periodicità temporale. Esse, se moltiplicate tra loro danno la velocità della luce nel vuoto secondo la seguente relazione: $c = \lambda \nu$, dove λ rappresenta la lunghezza d'onda, ovvero la distanza tra due creste d'onda consecutive e ν è la frequenza, che indica il numero di oscillazioni al secondo. Siccome la velocità della luce nel vuoto è costante, se aumentiamo la frequenza, cioè il numero di creste che passano in un minuto, la lunghezza d'onda deve diminuire affinché il prodotto tra le due grandezze resti costante e uguale alla velocità della luce nel vuoto. Quindi, quando la frequenza aumenta, le creste si avvicinano l'una all'altra, e la lunghezza d'onda diminuisce.

Ipotizzate di avere una sorgente luminosa, una doppia fenditura e uno schermo, su cui viene raccolta la luce che attraversa le fenditure. Quello che vi aspettate di osservare sullo schermo è la proiezione delle due fenditure illuminate. In realtà non è proprio così. Si osserva che la luce, che attraversa le due sottili fenditure, forma un'immagine che presenta un massimo luminoso centrale e, simmetricamente ad esso, una serie di frange laterali alternativamente chiare e scure. La figura di interferenza, che appare sullo schermo, è dovuta all'incontro e alla sovrapposizione delle onde emesse dalla sorgente, in particolare nelle zone chiare vi è interferenza costruttiva (si sommano i contributi delle onde), mentre nelle zone scure vi è interferenza distruttiva (si annullano reciprocamente i contributi delle onde). Il risultato dell'interferenza dipende dalla differenza di lunghezza tra i cammini percorsi dalle onde, provenienti dalle due fenditure.

elettrica o da un campo elettrico variabile nel tempo.

Questo esperimento, noto come interferenza di Young⁶ (1733-1829), è una chiara evidenza della natura ondulatoria della luce. Tuttavia, nonostante il consolidamento della teoria ondulatoria, la sua applicabilità inizia a vacillare verso la fine del XIX secolo a seguito dell'identificazione di fenomeni, che sfuggono alle spiegazioni fornite dal modello elettromagnetico-ondulatorio. Tra questi fenomeni enigmatici si evidenziano: l'emissione del corpo nero, la luce emessa e assorbita dagli atomi di alcuni elementi chimici nello stato gassoso, l'effetto Compton e l'effetto fotoelettrico.⁷

Un corpo nero, in termini fisici, rappresenta un ente capace di assorbire integralmente tutta la radiazione elettromagnetica incidente su di esso, senza riflettere alcuna luce. Nonostante questa capacità di assorbire, un corpo nero è altresì in grado di emettere la radiazione elettromagnetica. Applicando la fisica conosciuta all'epoca a questo fenomeno, qualsiasi corpo con una temperatura superiore allo zero assoluto (-273 gradi centigradi) avrebbe dovuto emettere una quantità infinita di energia sotto forma di radiazione, quando la lunghezza d'onda considerata si avvicinava a zero, dando origine alla cosiddetta "catastrofe ultravioletta".⁸ I dati sperimentali, però, confutano questa previsione teorica, poiché indicavano che al diminuire della lunghezza d'onda della radiazione emessa, la potenza tendeva ad annullarsi.

Una spiegazione innovativa alla problematica della radiazione del corpo nero si basa sull'ipotesi rivoluzionaria di Planck (1858-1947),⁹ il quale suggeriva che all'interno di un corpo

6. Scienziato inglese noto per i suoi studi sulla luce e sulle proprietà meccaniche dei solidi.

7. Amaldi U., 2020, *Induzione e onde elettromagnetiche, relatività e quanti*. Bologna: Zanichelli.

8. Il termine "catastrofe ultravioletta" si riferisce al fatto che il problema appare nella regione di alta frequenza dello spettro elettromagnetico, in corrispondenza delle frequenze caratteristiche dei raggi ultravioletti (UV).

9. Scienziato tedesco celebre per la teoria dei quanti, per cui gli atomi emettono e assorbono radiazioni in modo discontinuo, sulla base di unità discrete di energia.

nero la radiazione elettromagnetica poteva essere assorbita ed emessa solo in quantità discrete, chiamate quanti.

Ulteriori esperimenti in cui la teoria ondulatoria si discosta dai risultati ottenuti in laboratorio riguardano la luce emessa dagli atomi allo stato gassoso, quando viene fatta passare attraverso un prisma, per essere separata nelle sue componenti e raccolta su uno schermo. La figura ottenuta presenta soltanto alcune righe colorate corrispondenti a determinate lunghezze d'onda, caratteristiche per ciascun tipo di atomo, come una sorta di "impronta digitale". Inizialmente, la concezione predominante era basata sul modello atomico classico, che prevedeva un nucleo atomico carico positivamente attorniato da un certo numero di elettroni esterni carichi negativamente, il che garantiva la neutralità complessiva dell'atomo. Tuttavia, secondo l'elettromagnetismo classico, l'elettrone, costretto a muoversi in orbita attorno al nucleo atomico, avrebbe dovuto irradiare energia in modo continuo a causa delle continue accelerazioni subite. Questo modello entrava in conflitto con le osservazioni sperimentali della spettroscopia atomica.

Gli studi spettroscopici condotti in quegli anni avevano accumulato una vasta quantità di dati, che dimostrano in modo inconfutabile l'esistenza di spettri atomici di emissione e di assorbimento discreti.¹⁰ Le righe dello spettro, corrispondenti a lunghezze d'onda specifiche della radiazione, presentavano una regolarità che sfidava l'intuizione dell'epoca. La spiegazione di questo fenomeno avrebbe richiesto un approccio completamente nuovo, così come per l'esperimento condotto da Compton (1892-1962),¹¹ che era mirato a esplorare la natura della diffusione dei raggi X quando incidono su un bersaglio

10. Figure generate dalla scomposizione della luce emessa o assorbita da una sostanza elementare.

11. Scienziato americano noto per la scoperta dell'effetto che porta il suo nome. Fu a capo del laboratorio dell'Università di Chicago dove si conducevano le ricerche segrete per il Progetto Manhattan, finalizzate alla realizzazione del primo reattore artificiale di fissione nucleare.

di grafite. Questo procedimento si basava sul dirigere un fascio monocromatico di raggi X contro il materiale di grafite e, successivamente, misurare la lunghezza d'onda della radiazione diffusa in diverse direzioni rispetto alla traiettoria di incidenza.

Ciò che rende l'effetto Compton particolarmente intrigante è che le previsioni dell'elettromagnetismo classico non riuscivano a spiegare in maniera soddisfacente le osservazioni sperimentali. In accordo con la teoria classica, ci si aspetterebbe che la radiazione diffusa mantenga la stessa lunghezza d'onda di quella incidente. Tuttavia, i risultati sperimentali di Compton mostrarono chiaramente un aumento della lunghezza d'onda di una parte della radiazione diffusa.

L'interpretazione rivoluzionaria di Compton consisteva nel considerare la radiazione come composta da particelle discrete, i fotoni, anziché come onde. Propose che durante la collisione tra un fotone e un elettrone libero, parte dell'energia del fotone venisse trasferita all'elettrone, causando così una variazione nella lunghezza d'onda della radiazione diffusa. Questo concetto, in contrasto con le concezioni classiche, contribuì in modo significativo alla formulazione di una nuova teoria.

Anche l'effetto fotoelettrico costituisce un capitolo rivoluzionario della fisica. Esso è caratterizzato dall'emissione di elettroni da parte di una lastra metallica, soggetta a irraggiamento elettromagnetico. Secondo la teoria classica, un elettrone può essere emesso dalla lastra a condizione di attendere un periodo sufficientemente lungo affinché la radiazione trasferisca gradualmente energia all'elettrone, consentendogli di superare l'energia di legame¹² con il reticolo cristallino¹³ circostante. Tuttavia, esperimenti dedicati dimostrarono che al di sotto di una specifica

12. Energia necessaria a strappare un elettrone dal reticolo cristallino.

13. Un reticolo è una disposizione tridimensionale di ioni o atomi in un cristallo. Se si amplifica qualsiasi materiale fino alla scala atomica, ci si immerge in un universo straordinariamente ordinato. A questo livello, gli atomi si dispongono con precisione, seguendo un'organizzazione che si rivela essere una ripetizione di una disposizione fondamentale.

frequenza della radiazione incidente sulla lastra, nessun elettrone veniva liberato, indipendentemente dalla durata dell'irraggiamento. Al contrario, al di sopra di questa frequenza limite, l'emissione di elettroni avveniva istantaneamente, senza richiedere tempi prolungati.

Un altro aspetto dell'effetto fotoelettrico, che sfidava le spiegazioni della teoria classica, riguarda l'energia cinetica¹⁴ degli elettroni emessi. Secondo la logica classica, un'onda elettromagnetica più intensa conferisce maggiore energia cinetica agli elettroni. Tuttavia, i risultati sperimentali mostrarono una discrepanza sorprendente: l'energia cinetica dipende dalla frequenza dell'onda, non dalla sua intensità. In altre parole, gli elettroni venivano liberati solo da onde di una specifica frequenza, e la loro energia cinetica risultava essere proporzionale a tale frequenza.

Questi due risultati sperimentali contraddicevano le previsioni della teoria classica, aprendo la strada a una rivoluzione concettuale.

Nel 1905 Albert Einstein (1879-1955),¹⁵ osservando l'effetto fotoelettrico, propose l'idea che la luce fosse composta da particelle, i fotoni, i quali possiedono proprietà discrete e quantizzate. "Discrete" significa che i fotoni esistono in quantità ben definite, contate come se fossero piccoli pacchetti di energia, come se la luce viaggiasse in pacchetti, ognuno contenente una quantità specifica di energia luminosa. Non possiamo avere una frazione di fotone; ne avremo uno, due, tre, e così via, ma non una frazione di uno.

Il significato di "quantizzato" è altrettanto affascinante, in quanto indica che l'energia portata da ciascun fotone non può variare in modo continuo, ma solo in determinati valori discreti. È come salire una scala, dove possiamo muoverci solo di gra-

14. Energia posseduta da un corpo in movimento.

15. Scienziato tedesco tra i più illustri del Novecento, noto in particolare per l'equivalenza massa-energia e per i suoi contributi alla fisica teorica.

dino in gradino, senza possibilità di posizioni intermedie. In modo simile, l'energia dei fotoni può essere solo uno di questi valori discreti, e non può assumere qualsiasi valore intermedio tra di essi. Ogni fotone ha una specifica energia e una specifica lunghezza d'onda, e queste due grandezze sono legate dalla relazione di Planck-Einstein: $E=h\nu$, dove E rappresenta l'energia del fotone, h è la costante di Planck; quindi, un numero fisso e ν è la frequenza della luce. Come si può evincere dalla relazione di Planck, all'aumentare della frequenza della luce, cresce la quantità di energia trasportata dal fotone, in quanto le due grandezze considerate sono direttamente proporzionali.

A questo punto gli scienziati si sono imbattuti in un enigma intrigante: il dualismo onda-particella della luce, per il quale a seconda di come la osserviamo e la misuriamo, sembra comportarsi in modi completamente diversi.

Siete confusi dalla doppia personalità della luce? Vi dirò di più.

Nel 1924, Louis de Broglie¹⁶ (1892-1987) ipotizzò che, come la luce possiede proprietà corpuscolari e ondulatorie, tutta la materia possa avere anche proprietà ondulatorie. Le sue ipotesi rivoluzionarie sono state verificate negli anni successivi dagli scienziati Davisson (1881-1958) e Germer (1896-1971),¹⁷ dirigendo un fascio di elettroni contro una lastra di alluminio. Gli elettroni, che erano stati fino ad allora assimilati esclusivamente a particelle, hanno prodotto una figura simile a quella che si osserva nel caso delle onde luminose, confermando così un comportamento inequivocabilmente ondulatorio delle particelle.

Questa doppia personalità della luce e della materia è il cuore della fisica quantistica, una delle teorie più rivoluzionarie e

16. Scienziato francese celebre per aver ipotizzato il dualismo onda-particella della materia, uno degli aspetti fondamentali della meccanica quantistica, per cui ha vinto il premio Nobel nel 1929.

17. Scienziati americani noti per l'esperimento che dimostra il dualismo onda-particella.

intriganti del nostro tempo, che ci sfida a rivedere la nostra concezione tradizionale della realtà¹⁸. Einstein stesso ha tentato in tutti i modi di contrastare questa visione dualistica della realtà, elaborando sofisticati esperimenti mentali, ma si è dovuto arrendere all'evidenza dei fatti sperimentali e alla potenza predittiva della fisica quantistica nel mondo microscopico, a cui anche lui, indirettamente, ha dato contributi notevoli.

La nuova affascinante teoria interpreta il comportamento di sistemi atomici e subatomici come atomi, molecole e fotoni attraverso la probabilità. Questa caratteristica sottolinea la distanza notevole dal senso comune, tanto che lo scienziato Richard Feynman (1918-1988),¹⁹ tra i più brillanti fisici dello scorso secolo, ha affermato che “Nessuno la comprende davvero”.

Secondo i principi della fisica classica, conoscendo le condizioni iniziali di un sistema (ad esempio posizione e velocità iniziali), è possibile dedurre il suo stato finale (posizione e velocità finali), nel mondo quantistico ciò che si può fare è identificare soltanto i possibili stati finali assegnando loro specifiche probabilità. In questo contesto, il determinismo, basato sull'idea che le posizioni e le velocità di tutti i punti del sistema in un dato istante costituiscano un insieme di informazioni sufficiente per prevedere completamente il comportamento futuro del sistema²⁰, viene sostituito da una trattazione probabilistica della realtà.²¹

Lo stato di un sistema (atomo o molecola) non è unico e determinato come in fisica classica, ma è la sovrapposizione di

18. Rovelli C., 2020, *Helgoland*. Milano: Adelphi.

19. Fisico e divulgatore statunitense, celebre per aver elaborato la teoria dell'elettrodinamica quantistica, la teoria quantistica del campo elettromagnetico.

20. Riflette la convinzione che, date le condizioni iniziali precise, il moto di ogni particella e, di conseguenza, l'intero sistema, possa essere calcolato in modo preciso con delle equazioni matematiche della fisica classica.

21. Griffith T., 2018, *Introduction to Quantum Mechanics*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.

tutti gli stati possibili per quel sistema. Questo concetto quantistico, descritto dal principio di sovrapposizione, è spiegato dal celebre esperimento mentale del “gatto di Schrödinger”, per cui si suppone di avere un gatto chiuso in una scatola dove un meccanismo può innescare o non innescare l'emissione di un gas velenoso. Entrambe le situazioni hanno una probabilità di verificarsi pari al 50%. Dato che è impossibile sapere, prima di aprire la scatola, se il gas sia stato rilasciato o meno, mentre essa rimane chiusa il gatto si trova in uno stato indeterminato: sia vivo sia morto. Aprendo la scatola, questa “sovrapposizione di stati” si risolverà, in una delle due possibilità. Questo esempio spiega come l'azione legata all'osservazione determina il risultato dell'osservazione stessa, per cui lo stato diventerà “puro”, unico, solamente dopo una misura o un'interazione con un altro sistema.

Un altro principio cardine della meccanica quantistica è il principio di indeterminazione di Heisenberg, secondo il quale esistono proprietà che definiscono lo stato di una particella, come la posizione e la velocità, che non possono essere misurate contemporaneamente con precisione assoluta. Ad esempio, se determinassimo con precisione assoluta la posizione, otterremmo la massima incertezza sulla sua velocità e viceversa. Immaginate di utilizzare un microscopio, sempre più potente, per individuare la posizione della particella con una maggiore precisione. Per fare ciò, illuminiamo la particella con un fascio di luce, ma dato che la luce trasporta energia, la nostra particella riceverebbe una piccola spinta che modificherebbe il suo stato di moto, quindi la sua velocità. Di conseguenza, lo scienziato che cerca di misurare la posizione della particella, non può mai essere considerato un semplice spettatore, poiché il suo intervento produce degli effetti non calcolabili sulla velocità e dunque un'indeterminazione, che non si può eliminare.

Oltre alle particelle che si comportano come onde e le onde che si comportano come particelle in determinate circostanze

ze, nel mondo quantistico si possono verificare delle stranezze incredibili. Ad esempio, può accadere che le particelle riescano ad attraversare delle barriere, come dei fantasmi che attraversano un muro. Questa non è fantascienza, è l'effetto tunnel.

Grazie a questo fenomeno, esiste una certa probabilità che una particella sia in grado di superare una barriera, anche se non possiede abbastanza energia per farlo.

Facendo un'analogia con il mondo macroscopico, immaginate di spingere una palla su per una collina, senza fornirgli l'energia necessaria per superarla. Secondo la fisica classica essa tornerà indietro. Se la palla venisse sostituita da una piccola particella, come un elettrone, e la collina diventasse una barriera di energia, ci aspetteremmo che l'elettrone rimbalzi indietro, come nel caso della palla. In realtà, secondo la fisica quantistica, c'è una piccola probabilità che l'elettrone "attraversi" la barriera, come se fosse passato attraverso un tunnel invisibile.

Un altro comportamento magico che caratterizza il mondo quantistico è la capacità delle particelle di comunicare tra di loro in modo "telepatico", grazie al fenomeno dell'entanglement. Ipotizzate di avere due particelle microscopiche come i fotoni, legate da una connessione speciale, l'"entanglement" (intreccio).²² Questo significa che qualsiasi cosa accada a una di queste particelle influenzerà immediatamente l'altra, ovunque si trovino, anche se sono separate da distanze incommensurabili nello spazio. È come se fossero gemelli quantistici che condividono un segreto.

Quando si compie una misura su una delle due particelle, collassa lo stato di sovrapposizione, rivelando l'informazione segreta.

Nonostante le caratteristiche della fisica quantistica siano ben lontane dal senso comune, nel corso del secolo scorso è maturata in una teoria ben consolidata e corroborata da nume-

22. Correlazione quantistica, legame tra due o più particelle aventi proprietà correlate.

rosi esperimenti, emergendo come una teoria fondamentale della natura a livello microscopico. Di conseguenza, la fisica classica rappresenta un'approssimazione valida principalmente per sistemi di dimensioni considerevoli, tipici del nostro vissuto quotidiano.

Lo spettro elettromagnetico e i colori

Quando pensiamo alla luce, tendiamo a fare riferimento a ciò che possiamo vedere con i nostri occhi, cioè la luce visibile. Essa copre una piccola parte dell'intero spettro elettromagnetico, l'insieme delle radiazioni elettromagnetiche, organizzate in base alle relative lunghezze d'onda o alle frequenze corrispondenti. Ad un'estremità dello spettro, troviamo le "note" più alte, come i raggi X e i raggi gamma, che sono come le note acute nella musica, vibrano velocemente. Dall'altro lato dello spettro, ci sono le "note" più basse, come le onde radio e le microonde, che portano meno energia e vibrano più lentamente: se potessimo udire questa musica, sentiremmo una melodia molto grave e tranquilla.

Le onde radio, che includono onde utilizzate nelle telecomunicazioni, hanno lunghezze d'onda considerevoli che, per scala, potrebbero essere analoghe alla lunghezza di un campo di calcio. Le microonde, utilizzate per riscaldare il cibo nei forni a microonde, presentano lunghezze d'onda leggermente più corte, ma ancora significative, nell'ordine dei millimetri. Le radiazioni ultraviolette sono di notevole interesse per le loro implicazioni sulla salute e sulle dinamiche delle molecole. La lunghezza d'onda ultravioletta rivela processi molecolari e atomici che avvengono su scale di tempo e spazio ridotte. Allo stesso tempo, le radiazioni ultraviolette presentano rischi potenziali per la salute umana, avendo la capacità sia di abbronzare la pelle che di causare danni.

I raggi X, con lunghezze d'onda ancora più corte, rivelano la loro importanza nei contesti medici. Attraverso la diagnostica per immagini a raggi X, è possibile penetrare nei tessuti corporei per osservare strutture ossee e organi interni, fornendo preziose informazioni diagnostiche. Infine, l'estremo ad alta energia dello spettro è occupato dai raggi gamma, emessi da processi di alta energia come le esplosioni stellari. L'importanza dei raggi gamma nel contesto astrofisico è indiscutibile, fornendo indizi su eventi celesti violenti e sperimentazioni nucleari. Inoltre, i raggi gamma possono essere utilizzati per trattare il cancro, dimostrando il loro impiego nell'ambito medico.

Ma ora, iniziamo a parlare della parte più affascinante dello spettro: la luce visibile. La luce visibile è solo una piccola porzione di questo vasto spettro, capace di stimolare la visione umana. Questa regione spazia dalle lunghezze d'onda più lunghe, associate al colore rosso, a quelle più corte, associate al colore violetto. Ogni colore che vediamo nell'arcobaleno rappresenta una specifica lunghezza d'onda della luce visibile, con lunghezze d'onda che si estendono tra i 400 e i 700 nm.²³

Il mondo non è come ci appare: i colori e il meccanismo della visione

Quando la luce visibile colpisce i nostri occhi, le cellule fotosensibili della retina²⁴ catturano l'energia luminosa, come una sorta di schermo sensibile, trasformandola in impulsi elettrici. In particolare, la retina è costituita da una complessa rete di

23. Il nanometro (nm) equivale a una milionesima parte di un metro. Questa unità di misura è comunemente utilizzata per descrivere dimensioni molto piccole, come il diametro di un atomo.
24. La retina, una membrana del bulbo oculare interno, assume un ruolo cruciale nel processo visivo umano. Questa sottile membrana è dedicata alla suddivisione in punti immagine, alla valutazione della luminosità e alla discriminazione dei colori delle immagini che vengono rifratte attraverso l'ottica dell'occhio, comprendente la cornea, l'umor acqueo, il cristallino e l'umor vitreo.