





## IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
1. Le proprietà ondulatorie della materia	 <b>IN LABORATORIO</b> Diffrazione di un fascio di elettroni	2
2. Il principio di indeterminazione	 <b>ESPERIMENTO VIRTUALE</b> Onde e particelle Gioca, misura, esercitati	
	 <b>IN 3 MINUTI</b> • $E = hf$ • Il principio di indeterminazione	
	 <b>MAPPA INTERATTIVA</b>	

## VERSO IL CLIL

### FORMULAE IN ENGLISH

### AUDIO

Energy of a photon	$E = h\nu$	The energy of a photon is equal to the product of the Planck constant $h$ and the frequency $\nu$ of its associated electromagnetic wave.
Momentum of a photon	$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c}$	The momentum of a photon is equal to the ratio of the Planck constant $h$ to the wavelength $\lambda$ of its associated electromagnetic wave, or the ratio of its energy $E$ to the speed of light.
Heisenberg uncertainty principle	$(\Delta x)(\Delta p_x) = \frac{h}{2\pi}$	In describing an elementary particle, the uncertainty in the position ( $\Delta x$ ) multiplied by the uncertainty in its momentum ( $\Delta p_x$ ) is approximately equal to the Planck's constant divided by two pi.

### QUESTIONS AND ANSWERS

### AUDIO

- Summarise the wave-particle debate up to the end of the 19th century.

Early in the 11<sup>th</sup> century, the Arab scientist Alhazen ibn al-Haytham published his Book of Optics in which he argued that rays of light are composed of particles of light. This book was translated into Latin and influenced Newton, who argued that light travelled in a straight line and through a vacuum and hence must be made of particles. Huygens argued against Newton and for a wave theory of light: he cited the work of Francesco Grimaldi of

Bologna, arguing that diffraction effects can only be explained if light were wave-like. Almost universal acceptance of the wave theory came in 1801 when Young demonstrated diffraction with his double-slit experiment. Maxwell's description of electromagnetism further consolidated the wave theory. Before this however, the Irish physicist Sir William Hamilton had developed a theory that joined optics and mechanics and provided a formulation of mechanics in which the motion of a particle can be represented as a wave. In 1887, Hertz discovery of the photoelectric effect in which UV light shone on a metal plate in a vacuum leads to the emission of charged particles called for a new theory for light.

► **Why does the wave theory of light fail to explain the photoelectric effect?**

The principal observations of the photoelectric effect were that the kinetic energy of the emitted electrons is independent of the intensity of the UV source and increases with increasing frequency of the light, and importantly that below a certain threshold frequency no electrons are emitted. The failure of the wave theory lay in the assumption that the energy transported by the wave is proportional to its intensity, such that the electrons should absorb energy and be emitted regardless of the frequency of the light. This should occur also at low intensities, it should be just a matter of time for an electron to absorb sufficient energy to break free from the metal.

► **What is the Compton effect?**

In 1923, whilst the argument about the wave-particle nature of light was at its most heated, an American physicist named Arthur Compton published the results of his experiments from the previous year in which he measured the intensity of scattered X-rays from a solid target made of carbon as a function of wavelength at different angles. Compton observed that the peak in the scattered radiation was shifted to a longer wavelength than the source and that the amount of scattering depended on the scattering angle and not on the target material. Compton concluded that scattered X-rays had bounced off electrons – like billiard balls – and that the relationship between their energy and their frequency was  $E = hf$ , where  $h$  is the Planck constant. This phenomenon has since been called the Compton effect and is experimental evidence that light consisted of a stream of particle-like objects or quanta. Although it corroborated Einstein's explanation of the photoelectric effect, not everyone was convinced and a large number of experiments were made in an attempt to show that Compton had got it wrong, but which only served to corroborate his experimental method and results.

► **What was the first evidence for the wave nature of matter?**

In his thesis of 1924, Prince Louis de Broglie hypothesised the wave nature of electrons and suggested that all matter has wave properties: to every particle with mass  $m$ , momentum  $p$  and energy  $E$ , a wavelength  $\lambda$  is associated such that  $\lambda = h/|p| = h/\sqrt{2mE}$ . Experimental proof came in 1927 when American physicists Clinton Davisson and Lester Germer scattered a beam of electrons from the surface of a piece of nickel and found that plots of the number of scattered electrons as a function of the scattering angle could be explained in a similar way to Bragg's description of the scattering of X-rays from planes of atoms or ions in crystals. The conclusion was that an electron has a wavelength inversely related to its momentum and displays wave-like diffraction.

► **Summarise the wave-particle duality.**

Light has to be described by two theories: diffraction and interference phenomena can only be described in terms of waves, but other phenomena such as the photoelectric effect and the Compton effect can only be explained in terms of quanta or particles – light is always detected as discrete quanta (photons) not in fractions of them. Particles of matter – electrons, protons, neutrons, nuclei and small atomic ions – can also exhibit wave-like properties such as in diffraction or interference. The apparent paradox in the duality can best be dealt with by thinking of physics as describing rather than explaining: in observing the different phenomena we are describing how light or matter behaves not what it is.

## PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

### 5 IL PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE

**31** Un elettrone che passa attraverso uno schermo con due fenditure è descritto dallo stato

$$\Psi = \frac{1}{2}\Psi_a + \frac{\sqrt{3}}{2}\Psi_b$$

Dove  $\Psi_a$  è la funzione d'onda dell'elettrone quando sullo schermo è aperta solo la fenditura  $A$  e  $\Psi_b$  è la funzione

d'onda dell'elettrone quando sullo schermo è aperta solo la fenditura  $B$ .

► Qual è la probabilità che l'elettrone sia rilevato dietro ciascuna fenditura quando sono entrambe aperte?

[25%; 75%]

### PROBLEMI GENERALI

**7** La presenza di un campo magnetico modifica l'energia degli orbitali atomici e quindi anche le frequenze dei fotoni emessi nella transizione verso orbitali di energia inferiore. Indica con  $f_0$  la frequenza di emissione di una particolare transizione in assenza di campo magnetico e con  $f$  quella in presenza di un campo magnetico.

► Ricava la corrispondente variazione  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$  della lunghezza d'onda del fotone emesso in funzione della variazione della frequenza  $\Delta f = f - f_0$ .

**Suggerimento:** puoi usare l'approssimazione  $\lambda\lambda_0 \approx \lambda_0^2$ .

$$[\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_0^2}{c} \Delta f]$$

**8** Considera le righe della serie di Lyman, dovute all'emissione di radiazione da parte dell'atomo di idrogeno quando l'elettrone passa dallo stato con numero quantico principale  $n > 1$  allo stato con numero quantico principale  $n = 1$ .

► Spiega per quale motivo, in presenza di un campo magnetico  $\vec{B}$  uniforme, ogni riga di emissione si suddivide in più righe.

► Esaminando ora l'emissione di radiazione da parte dell'atomo di idrogeno quando l'elettrone passa dallo stato con numero quantico principale  $n = 2$  e numero quantico orbitale  $l = 1$  allo stato con numero quantico principale  $n = 1$ . Quante righe vengono rilevate sperimentalmente?

► Calcola la differenza delle lunghezze d'onda tra le righe adiacenti quando il campo magnetico ha intensità 3 T.

**Suggerimento:** fai uso del risultato del problema numero 7.

[3 righe;  $2,1 \times 10^{-12}$  m]

**9** **DIMOSTRA** che per ogni guscio atomico di numero  $n$ , esistono  $2n^2$  stati possibili.

**Suggerimento:** sfrutta la formula seguente, che esprime la somma  $S$  dei primi  $k$  numeri naturali:  $S = \frac{k(k+1)}{2}$ .

**10** Un pennello di luce monocromatica emessa da un laser illumina perpendicolarmente una doppia fenditura

praticata in uno schermo  $A$ . Le due fenditure distano tra loro 0,10 mm. Al di là della doppia fenditura, a una distanza di 2,00 m dallo schermo  $A$  e parallelamente allo stesso schermo, è disposto uno schermo  $B$  su cui si raccoglie la luce proveniente dalle due fenditure. Il primo massimo laterale è situato a una distanza di 10,0 mm dal massimo centrale. La luce emessa dallo stesso laser colpisce, successivamente, una placca di cesio, la cui minima frequenza per produrre l'effetto fotoelettrico vale  $4,34 \times 10^{14}$  Hz.

► Calcola la lunghezza d'onda della luce emessa dal laser.

► Determina se dalla placca di cesio ci sarà emissione di elettroni.

(Dalla *Maturità Scientifica sperimentale, Progetto Brocca 1998*)

**Suggerimento:** per il calcolo di  $\lambda$  supponi che la distanza tra i due schermi sia molto maggiore della distanza tra le due fenditure.

[0,50  $\mu\text{m}$ ]

**11** In un laboratorio di ottica si studia l'irradiazione del Sole e di un puntatore laser HeNe per fare un confronto sui danni arrecati alla retina da un'esposizione diretta. Considera i seguenti dati e rispondi alle domande:

**a. Sole.** L'irradiazione massima della luce solare è pari a 1,0 mW/mm<sup>2</sup>, il diametro della pupilla è pari a 2,0 mm. Il Sole è assunto come sorgente di luce puntiforme, e il fascio di luce è focalizzato dalle lenti dell'occhio formando un'immagine sulla retina di raggio 100  $\mu\text{m}$ .

► Calcola la potenza "raccolta" dall'occhio, cioè la potenza che passa attraverso l'apertura della pupilla.

► Calcola l'irradiazione che colpisce la retina.

**b. Laser.** Ha una potenza pari a 1,0 mW. Il fascio laser è ben collimato e, attraversando la pupilla, forma una piccola immagine sulla retina il cui raggio è pari a 10  $\mu\text{m}$ .

► Calcola l'irradiazione che colpisce la retina e confrontalo con il risultato relativo alla radiazione solare.

[3,1 mW;  $1,0 \times 10^2$  mW/mm<sup>2</sup>;  $3,2 \times 10^3$  mW/mm<sup>2</sup>]

## TEST

- 6 Lo stato fondamentale di un atomo è quello in cui:
- A tutti i suoi elettroni occupano il livello dell'atomo che ha il minimo valore di energia.
  - B tutti i suoi elettroni occupano i livelli con l'energia più bassa possibile, compatibilmente con il principio di Pauli.
  - C l'atomo non possiede più di tre elettroni.
  - D l'atomo emette fotoni.

- 7 Il termine *bosone* indica una particella con spin:
- A esclusivamente uguale a 1.
  - B  $\frac{1}{2}$ .
  - C intero.
  - D semidispari.

- 8 Il termine *fermione* indica una particella con spin:
- A esclusivamente uguale a 1.
  - B 0.
  - C intero.
  - D semidispari.

- 9 Detto  $n$  il numero quantico principale, il numero quantico secondario può assumere valori che vanno:
- A da 1 a  $(n - 1)$
  - B da 1 a  $n$
  - C da 0 a  $n$
  - D da 0 a  $(n - 1)$

*Test di ammissione Biotechnologie 2011/2012*

- 10 I raggi X hanno una energia che è:
- A costante
  - B proporzionale alla frequenza.
  - C sempre maggiore di quella dei raggi gamma.
  - D proporzionale alla lunghezza d'onda.
  - E proporzionale alla massa quantistica.

*Test ammissione Professioni Sanitarie 2012/2013*

- 11 Which one of the following statements is WRONG in the context of X-rays generated from a X-ray tube?
- A Wavelength of characteristic X-rays decreases when the atomic number of the target increases.
  - B Cut-off wavelength of the continuous X-rays depends on the atomic number of the target.
  - C Intensity of the characteristic X-rays depends on the electrical power given to the X-ray tube.
  - D Cut-off wavelength of the continuous X-rays depends on the energy of the electrons in the X-ray tube.

*Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE), India, 2008/2009*

- 12 Electrons with de-Broglie wavelength  $\lambda$  fall on the target in an X-ray tube. The cut-off wavelength of the emitted X-rays is:
- A  $\lambda_0 = \frac{2mc\lambda^2}{h}$
  - B  $\lambda_0 = \frac{2h}{mc}$
  - C  $\lambda_0 = \frac{2m^2c^2\lambda^3}{h^2}$
  - D  $\lambda_0 = \lambda$

*Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) – 2011*