

IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
9. L'interferenza della luce e l'esperimento di Young	 ESPERIMENTO VIRTUALE Forever Young Gioca, misura, esercitati.	
10. La diffrazione della luce	 IN LABORATORIO Diffrazione da una fenditura	2
 MAPPA INTERATTIVA	20 TEST INTERATTIVI SU ZTE CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»	

VERSO IL CLIL

 FORMULAE IN ENGLISH	 AUDIO
Refractive index or index of refraction $n = \frac{c}{v}$	The refractive index n of a medium equals the ratio of the speed of light in a vacuum c to the speed of light in the medium v .
Snell's law of refraction $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$	For light or other waves passing through a boundary between two different isotropic media, the product of the refractive index of the first medium n_1 and the sine of the angle of incidence θ_1 at the boundary equals the product of the refractive index of the second medium n_2 and the sine of the angle of refraction θ_2 .
Critical angle for total internal reflection $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2)$	The sine of the critical angle θ_c the largest possible angle of incidence that still results in a refracted ray, equals the ratio of the refractive index of the less refractive medium n_2 to the refractive index of the more refractive medium n_1 .
Diffraction $\sin \theta = \frac{\lambda}{D}$	For diffraction through a single long slit, the first minimum intensity occurs at an angle θ , the sine of which equals the ratio of the wavelength λ of the light incident on the slit to the thickness of the slit D .
$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$	For diffraction through a circular aperture, the first minimum intensity occurs at an angle θ , the sine of which equals 1.22 times the ratio of the wavelength λ of the light incident on the aperture to the diameter of the aperture D .

 QUESTIONS AND ANSWERS

 AUDIO

► How was light identified as an electromagnetic phenomenon?

In 1864, James Clerk Maxwell presented his electromagnetic theory of light in which he hypothesised an “elastic medium” through which light is propagated with a view to investigating if other phenomena also propagate in this “medium”. Maxwell investigated fields surrounding electrified and magnetic bodies and arrived at a set of equations for electromagnetic phenomena alone. By considering a plane wave propagating with velocity v he showed that the magnetic disturbance had to be in the plane of the wave and that the wave had all the properties of plane polarised light. Maxwell showed that v was equal to the inverse of the square root of the product of vacuum permeability and the permittivity of free space (units of metres per second). This constant had been measured in 1855 by Weber and Kohlrausch as 310,740,000 m/s and given the symbol c by Weber. Maxwell stated that this quantity should be equal to the velocity of light and quoted Foucault’s measurement of 298,000,000 m/s for the speed of light in air as sufficient corroboration of his theory.

► Describe the electromagnetic spectrum and the conventional units of measure for its constituent parts.

The electromagnetic spectrum is the range of all possible frequencies or wavelengths of electromagnetic radiation (EMR). The spectrum can be represented graphically, from left to right, according to increasing frequency and decreasing wavelength or viceversa. For the former, the spectrum commences with radio waves, then microwaves, infrared radiation, the visible spectrum, ultraviolet, X-rays and finally gamma waves. The electromagnetic spectrum can also be expressed as a range of energies (Planck relation: $E = hf$ or $E = hc/\lambda$, where h is the Planck constant). By convention – to ensure that the numbers used are not unwieldy – the radio and microwaves are measured in terms of frequency (Hz), infrared, visible light and ultraviolet in terms of wavelength (metres) and X-rays and gamma rays in terms of energy (electron volts).

► Explain the visible spectrum.

The visible spectrum is determined by photochemical reactions in photosensitive pigment in the retina, in which electrons within these molecules are excited by light entering the eye. The molecules undergo a very complicated cyclic process of decomposition and reconstitution that results in the transduction (the conversion of one form of energy into another) of the original light into nervous signals. These signals are assembled by complex connections between retinal nerves into a pattern that is carried through the optic nerve to the visual centres of the brain for interpretation into what we experience as vision. The range of wavelengths detectable with this mechanism stretches from 780 nanometres (7.80×10^{-7} m), which is interpreted as red, down to 390 nanometres (3.90×10^{-7} m), which is interpreted as violet.

► Describe the behaviour of light waves when they encounter different media.

When light waves propagating in one medium encounter another, they can be absorbed, reflected, transmitted or scattered. In *absorption*, the energy of the incident light causes the atoms and molecules in the medium to vibrate more and the medium becomes hotter. In *reflection*, a portion of the incident light is diverted back. Depending on the medium, reflection can be either *specular* (as with mirrors) or *diffuse* (the diverted light retains the energy but not the image). In *transmission*, the incident light passes through the medium, which is described as transparent. In *scattering*, the light is diverted back in a variety of directions depending on the surface structure of the medium. Optical behaviour between media can be a combination of these phenomena. For example, light passing from air into water can be reflected (image of the Sun), transmitted (clean water is transparent) and absorbed (the water is heated up).

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

3 L'ENERGIA DELLA LUCE

24 ★★★ Il caricabatterie solare SOLIO, costituito da tre pannelli solari di superficie approssimativa 50 cm^2 ciascuno, accumula l'energia irradiata dal Sole. L'irradiazione vale in media $0,10 \text{ W/cm}^2$.

- ▶ Quanta energia può immagazzinare SOLIO in un secondo?



SOLIO 2006

[15]

4 LE GRANDEZZE FOTOMETRICHE

PROBLEMA MODELLO 2 ILLUMINAMENTO DI UN FOGLIO DI CARTA

Un foglio di carta è posto a $2,0 \text{ m}$ da una lampadina che emette un flusso luminoso di 1500 lm .

- ▶ Quanto vale l'illuminamento del foglio?
- ▶ Come cambia l'illuminamento del foglio se esso viene posto ad una distanza pari alla metà della precedente?



■ DATI

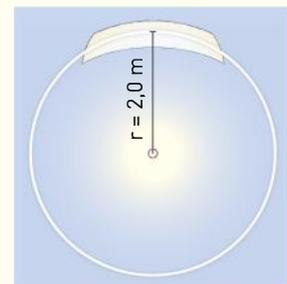
Distanza foglio-lampadina: $r_1 = 2,0 \text{ m}$.
 Flusso luminoso: $\Phi_L = 1500 \text{ lm}$.
 Distanza foglio-lampadina: $r_2 = 1,0 \text{ m}$.

■ INCOGNITE

Illuminamento: $E_{L1} = ?$
 Illuminamento: $E_{L2} = ?$

L'IDEA

- Per semplicità, consideriamo la lampadina come una sorgente di luce puntiforme. La luce che essa emette sarebbe in grado di illuminare non soltanto il foglio posto a $2,0 \text{ m}$ da essa, ma tutta la superficie sferica di raggio $2,0 \text{ m}$ avente centro nella lampadina.
- Per calcolare come cambia l'illuminamento, ricordiamo che a parità di flusso luminoso, l'illuminamento varia in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra la sorgente e la superficie illuminata.



LA SOLUZIONE

Calcolo l'area della superficie sferica investita dalla radiazione.

$$A_{S1} = 4\pi r_1^2 = 4\pi \times (2,0 \text{ m})^2 = 50 \text{ m}^2$$

Determino l'illuminamento per la distanza r_1 .

$$E_{L1} = \frac{\Phi_L}{A_{S1}} = \frac{1500 \text{ lm}}{50 \text{ m}^2} = 30 \text{ lx}$$

Utilizzo la legge dell'inverso del quadrato della distanza per calcolare l'illuminamento alla distanza r_2 .

Tenendo presente che $E_L = \frac{\Phi_L}{4\pi r^2}$ e poiché il flusso luminoso è costante, possiamo scrivere:

$$\begin{aligned}\Phi_L &= E_{L1} 4\pi r_1^2 = E_{L2} 4\pi r_2^2 \rightarrow \\ E_{L2} &= E_{L1} \frac{4\pi r_1^2}{4\pi r_2^2} = E_{L1} \frac{r_1^2}{r_2^2} = 4E_{L1} = 4 \times 30 \text{ lx} = 1,2 \times 10^2 \text{ lx}\end{aligned}$$

PER NON SBAGLIARE

- Sarebbe stato un errore dividere il flusso luminoso della lampadina per l'area del foglio, perché non tutta la luce emessa dalla lampadina va a finire sul foglio di carta (come accadrebbe, per esempio, se si trattasse del fascio di una torcia elettrica o di un riflettore).

27 **★★★** Per preservare i quadri di una pinacoteca l'illuminamento medio prodotto da una sorgente luminosa posta a 5,0 m di distanza non può superare il valore di 60 lux.

- ▶ Qual è il flusso luminoso massimo?

[$1,9 \times 10^4 \text{ lm}$]

28 **★★★** Un paralume di forma sferica con diametro 40 cm diffonde la luce di una lampadina di intensità 15 cd collocata nel suo centro.

- ▶ Calcola l'illuminamento prodotto sul paralume dalla lampadina.

[$3,8 \times 10^2 \text{ lx}$]

29 **★★★** Il flusso luminoso di una lampada al sodio (luce giallo-verde) è pari a 1200 lm ed è distribuito in modo omogeneo su una semisfera.

- ▶ Calcola l'intensità luminosa.
- ▶ L'intensità luminosa aumenta o diminuisce se anziché luce gialla si adopera una lampada con luce rossa?

[191 cd]

6 LA RIFLESSIONE E LA DIFFUSIONE DELLA LUCE

46 **★★★** Un uomo di statura 1,80 m vuole riflettersi interamente in uno specchio alto 50 cm appeso alla parete.

- ▶ A che distanza deve porsi dallo specchio?

47 **★★★** Un pannello solare di superficie $S = 1,00 \text{ m}^2$ riceve l'80,0% dell'energia dalla radiazione solare diretta perpendicolarmente alla sua superficie e il resto dalla radiazione diffusa e genera una potenza di 60,0 W con un

rendimento di conversione del 12,0%. Il rendimento è definito come rapporto tra la potenza elettrica generata e la potenza della luce solare complessiva sulla superficie del pannello.

- ▶ Calcola la potenza della radiazione solare totale in quel momento della giornata.
- ▶ Calcola la potenza della radiazione diffusa.

[$5,00 \times 10^4 \text{ W}$; $1,00 \times 10^2 \text{ W}$]

7 LA RIFRAZIONE DELLA LUCE

52 **★★★** Una lampada al sodio illumina un cristallo di sale, che ha indice di rifrazione pari a 1,54, contenuto all'interno di un contenitore di vetro con indice di rifrazione di 1,60.

- ▶ Calcola gli indici di rifrazione relativi nel passaggio del raggio:
 - dall'aria al vetro;
 - dall'aria al sale;

- dal sale all'aria;
- dal vetro all'aria.

- ▶ In quali dei precedenti casi il raggio si allontana dalla perpendicolare alla superficie di separazione dei mezzi e in quali si avvicina?

[1,60; 1,54; 0,65; 0,63]

- 53** ★★★ Un raggio di luce colpisce con un angolo di incidenza di 45° il vetro di una finestra di spessore $0,70$ cm e indice di rifrazione di $1,41$.
- Calcola la lunghezza del tratto percorso dalla luce all'interno della lastra.

[0,81 cm]

8 ANGOLO LIMITE E RIFLESSIONE TOTALE

- 69** ★★★ Un raggio di luce attraversa le pareti in vetro ($n_1 = 1,60$) di una vasca d'acqua salata ($n_2 = 1,55$).
- Quanto vale l'angolo limite per un raggio di luce che passa dal vetro all'acqua salata?
- Immagina poi che il raggio di luce esca dalla vasca attraverso il vetro. Quanto vale in questo caso l'angolo limite?

[circa 76° ; circa 39°]

9 L'INTERFERENZA DELLA LUCE E L'ESPERIMENTO DI YOUNG

- 77** ★★★ Due sorgenti laser identiche interferiscono costruttivamente in un punto P per il quale la differenza delle distanze dalle due sorgenti è $2,356 \times 10^{-5}$ m.
- Le due sorgenti emettono luce di lunghezza d'onda $\lambda_1 = 546$ nm o $\lambda_2 = 589$ nm?

$[\lambda_2]$

- 78** ★★★ Due sorgenti laser identiche emettono in fase radiazioni infrarossa di lunghezza d'onda 800 nm. Il punto P dista 1200 μm dalla prima sorgente e 3640 μm dalla seconda.

10 LA DIFFRAZIONE DELLA LUCE

- 88** **PENSACI BENE** La verifica sperimentale definitiva della diffrazione della luce si ottenne con un esperimento in cui la luce di una sorgente veniva inviata su un ostacolo circolare (ad esempio un disco) e si osservava la figura di diffrazione su uno schermo posto oltre l'oggetto. Secondo le previsioni teoriche si sarebbe dovuto vedere un punto luminoso – chiamato punto di Poisson – al centro dell'ombra proiettata sullo schermo, come effettivamente accadde.
- Sai spiegare perché è presente il punto luminoso centrale?

- 89** ★★★ Un esperimento di diffrazione attraverso una fenditura è realizzato con luce verde. La larghezza della fenditura misura $7,25$ μm e la prima fascia scura è posizionata in

- 54** ★★★ Due raggi paralleli, ma di colore diverso incidono su un vetro flint con un angolo di $18,0^\circ$. Il primo raggio ha un angolo di rifrazione pari a $11,7^\circ$, mentre il secondo un angolo di rifrazione di $11,8^\circ$.

- Calcola la differenza tra gli indici di rifrazione del vetro per i due diversi raggi.
- Indica di che colore sono i due raggi.

Suggerimento: vedi tabella del paragrafo 2.

[0,013; violetto-giallo]

- 70** ★★★ Due cornici hanno rispettivamente angoli limite di $42,2^\circ$ e $33,4^\circ$.

- Indica i materiali di cui sono costituite le due cornici.
- Calcola il rapporto dei loro indici di rifrazione.

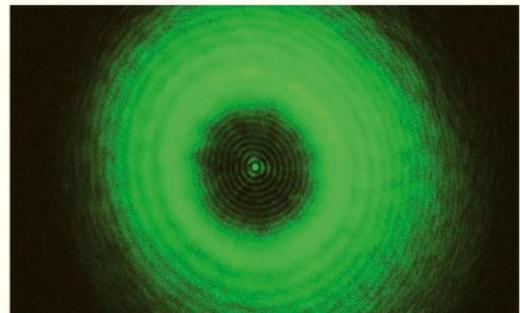
[Plexiglas e vetro; 0,82]

Nel punto P si ha interferenza costruttiva o distruttiva?

- 79** ★★★ Due fenditure poste a una distanza $2,00 \times 10^{-4}$ m sono attraversate da un fascio di luce monocromatica. Il secondo minimo sopra la frangia centrale forma un angolo di $0,254^\circ$ con la perpendicolare allo schermo.
- Qual è la lunghezza d'onda della luce?

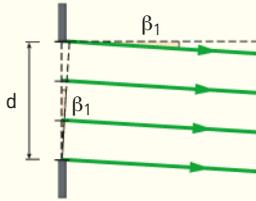
[591 nm]

Suggerimento: tieni conto del cammino che fanno le onde prodotte sul bordo dell'oggetto per giungere fino al centro dell'ombra sullo schermo.



Buffalo State University

un angolo di $3^\circ 54'$ rispetto alla fascia luminosa centrale.



- Calcola la lunghezza d'onda della luce utilizzata nell'esperimento.

[493 nm]

90 ★★★ Un fascio piano di microonde incide su una fenditura larga 6,0 cm. Le prime zone con assenza di microonde diffratte si rilevano in corrispondenza di un angolo di 30°.

- Qual è la lunghezza d'onda della radiazione utilizzata?
- In quali direzioni si dovrebbero rilevare le seconde zone di assenza di radiazione?

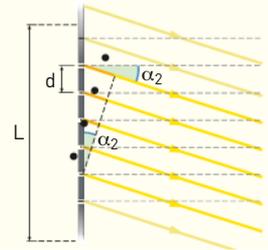
[3,0 cm; 90°]

11 IL RETICOLO DI DIFFRAZIONE

PROBLEMA MODELLO 7 IL RETICOLO DI DIFFRAZIONE IN TRASMISSIONE

Una luce gialla, con una lunghezza d'onda di 589 nm, è inviata su un reticolo di diffrazione largo 1,00 cm e su cui sono praticate 4800 fenditure.

- A quale angolo, rispetto alla perpendicolare al reticolo, si trova la seconda frangia luminosa di diffrazione?
- Con questo reticolo, quante frange chiare per parte si possono ottenere a fianco della frangia luminosa centrale?



■ DATI

Lunghezza d'onda: $\lambda = 589 \text{ nm}$
Larghezza reticolo: $L = 1,00 \text{ cm}$
Numero di fenditure: $N = 4800$

■ INCOGNITE

Angolo seconda frangia luminosa: $\alpha_2 = ?$

L'IDEA

- Prima di poter applicare la formula $\text{sen } \alpha_k = k \frac{\lambda}{d}$ con $k = 2$ come richiesto dalla domanda, occorre determinare il passo reticolare $d = L/N$.

LA SOLUZIONE

Calcolo il passo reticolare.

$$d = \frac{L}{N} = \frac{1,00 \times 10^{-2} \text{ m}}{4800} = 2,08 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Determino l'angolo relativo alla seconda frangia luminosa.

$$\text{sen } \alpha_2 = 2 \frac{\lambda}{d} \rightarrow \alpha_2 = \arcsen \left(2 \frac{\lambda}{d} \right) = \arcsen \left(2 \times \frac{5,89 \times 10^{-7} \text{ m}}{2,08 \times 10^{-6} \text{ m}} \right) = 34,5^\circ.$$

Determino il numero massimo di frange luminose per il reticolo.

Cercando, secondo la formula $\text{sen } \alpha_k = k \frac{\lambda}{d}$, l'angolo a cui si trova la quarta frangia luminosa, ottengo la condizione:

$\text{sen } \alpha_4 = 4 \frac{\lambda}{d} = 1,13$, che è impossibile perché il seno di un angolo non può essere maggiore di 1.

Quindi, con il reticolo di diffrazione del problema, posso ottenere solo tre frange chiare per parte a fianco della fascia luminosa centrale. Il fatto di generare poche frange è una proprietà comune dei reticoli di diffrazione.

- 102** In un reticolo largo 2,50 cm sono praticate 10 000 fenditure.
 ★★★
- ▶ Determina il passo del reticolo.

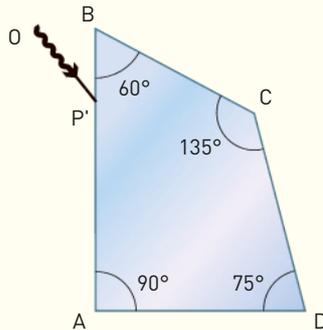
- ▶ Qual è la densità lineare delle fenditure, cioè il numero di fenditure per metro?
- ▶ Qual è la relazione che li lega?

[$2,50 \times 10^{-6}$ m; $4,00 \times 10^5$ fenditure/m]

TEST

- 16** L'angolo limite per la rifrazione vetro-acqua è di circa 63° . Due raggi di luce arrivano sulla superficie di separazione vetro-acqua con angoli rispettivamente di 62° e 72° . Come si comportano i due raggi?
- A Sono rifratti.
 - B Il primo è rifratto nell'acqua, il secondo è riflesso nel vetro.
 - C Il primo è riflesso nel vetro, il secondo è rifratto nell'acqua.
 - D Sono riflessi.

- 17** A ray OP of monochromatic light is incident on the face AB of prism ABCD near vertex B at an incident angle of 60° (see figure). If the refractive index of the material of the prism is $\sqrt{3}$, which of the following is (are) correct?



- A The ray gets totally internally reflected at face CD.
- B The ray comes out through face AD.
- C The angle between the incident ray and the emergent ray is 90° .
- D The angle between the incident ray and the emergent ray is 120° .

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) – 2010

- 18** La diffrazione della luce da una fenditura è dovuta:
- A all'interferenza delle onde prodotte al centro della fenditura.
 - B all'interferenza delle onde prodotte dalle fenditure virtuali di cui si immagina formata la fenditura.
 - C all'interferenza delle onde prodotte sul bordo della fenditura.
 - D all'interferenza distruttiva delle onde prodotte in ogni punto del fronte d'onda incidente.

- 19** Due fenditure sono poste a distanza x . La parete su cui si trovano le fenditure dista d dallo schermo e chiamiamo l la distanza fra il massimo centrale e il primo massimo laterale di una figura di interferenza generata da un fascio luminoso che incide sulle fenditure. Come si esprime in funzione di queste grandezze la relazione che permette di calcolare la lunghezza d'onda λ della luce?

- A $\lambda = \frac{d}{x \cdot l}$
- B $\lambda = \frac{x \cdot l}{d}$
- C $\lambda = \frac{x}{d \cdot l}$
- D $\lambda = \frac{d \cdot x}{l}$

- 20** Una sorgente emette onde di lunghezza d'onda pari a 1 cm che incontrano poi sul loro cammino una barriera. Per meglio evidenziare il fenomeno della diffrazione quale ampiezza sceglieresti per le dimensioni della fenditura?

- A $\frac{1}{10}$ m
- B $\frac{1}{100}$ m
- C $\frac{1}{1000}$ m
- D $\frac{1}{10000}$ m

- 21** La distanza tra le due fenditure di un esperimento di Young viene diminuita. Ti aspetti che la distanza tra due massimi d'intensità della figura di interferenza:

- A rimanga la stessa.
- B aumenti.
- C diminuisca.
- D si annulli.

- 22** Nella diffrazione dovuta a una singola fenditura:

- A le frange luminose hanno tutte la stessa intensità luminosa.
- B le frange luminose hanno tutte la stessa larghezza.
- C la frangia centrale ha intensità luminosa minore delle fasce laterali.
- D la frangia centrale ha intensità luminosa maggiore delle fasce laterali.

- 23** Quante frange luminose sono presenti nella figura di diffrazione prodotta da un reticolo di diffrazione avente 300 fenditure/mm illuminato con luce di lunghezza d'onda di 600 nm?

- A 1
- B 3

C 11

D 2

- 24 In un esperimento di Young che utilizza luce monocromatica ti aspetti che la differenza tra due massimi successivi sia:
- A indipendente dal colore della luce.
 - B minore per la luce rossa.
 - C minore per la luce verde.
 - D minore per la luce blu.
- 25 Le macchie di olio nelle pozzanghere danno luogo a strisce colorate. Questo fenomeno è dovuto:
- A alla combinazione di interferenza e diffrazione.
 - B alla differenza in riflettività tra acqua ed olio.
 - C al fatto che il cielo diffonde tutti i colori e l'olio ne riflette solo alcuni.
 - D all'interferenza tra le interfacce dello strato sottile di olio con l'acqua e l'aria.
 - E alla diffrazione della luce.

Prova di ammissione al corso di laurea in Ingegneria, 2006

- 26 A light source, which emits two wavelengths $\lambda_1 = 400$ nm and $\lambda_2 = 600$ nm, is used in a Young's double slit experiment. If recorded fringe widths for λ_1 and λ_2 are β_1 and β_2 and the number of fringes for them within a distance y on one side of the central maximum are m_1 and m_2 , respectively, then
- A $\beta_2 > \beta_1$
 - B $m_1 > m_2$
 - C From the central maximum, 3rd maximum of λ_2 overlaps with 5th minimum of λ_1
 - D The angular separation of fringes for λ_1 is greater than λ_2

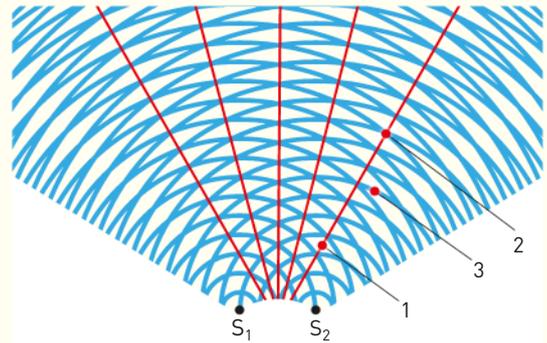
Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) - 2014

- 27 Young's double slit experiment is carried out by using green, red and blue light, one color at a time. The fringe widths recorded are β_G , β_R and β_B , respectively. Then,
- A $\beta_G > \beta_B > \beta_R$
 - B $\beta_B > \beta_G > \beta_R$
 - C $\beta_R > \beta_B > \beta_G$
 - D $\beta_R > \beta_G > \beta_B$

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) - 2012

- 28 Se si guarda un foglio di carta bianca attraverso un vetro blu, il foglio sembra avere colore blu. Ciò accade perché:
- A la luce blu viene assorbita dal vetro colorato.
 - B la luce blu si propaga più rapidamente nel vetro colorato di blu.
 - C il vetro assorbe tutti i colori tranne il blu.
 - D il vetro aggiunge una luce blu a quella che proviene dal foglio di carta.

- 29 Gli archi di circonferenza disegnati nella figura sotto rappresentano i massimi di oscillazione delle onde prodotte dalle due sorgenti S_1 e S_2 . In quali punti si ha interferenza costruttiva e in quali si ha interferenza distruttiva?



- A Interferenza costruttiva in 1, interferenza distruttiva in 2.
- B Interferenza costruttiva in 2, interferenza distruttiva in 3.
- C Interferenza costruttiva in 3, interferenza distruttiva in 2.
- D Interferenza costruttiva in 2, interferenza distruttiva in 1.