1. 一束單色光由空氣進入水中，下列敘述何者正確？

(A)速度相同，波長相同　(B)速度變小，波長相同　(C)速度變大，頻率相同

(D)速度變小，頻率相同　(E)速度相同，頻率相同。

解答　D

解析：因為介質光速 $v=\frac{c}{n}$，光由空氣進入水中波速變小波長變小，頻率不變。

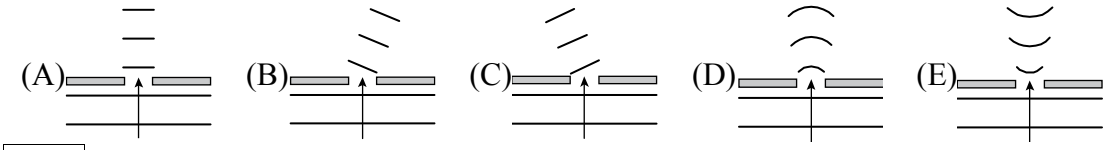
2. 下列何者為惠更斯原理的主要內容？

(A)兩波相遇時，其位移可以互相疊加　(B)所有的波最終都是圓形波

(C)波前上的每一點可視為新的點波源，並由此產生新的子波　(D)波可以傳遞能量　(E)波行進時，介質不隨波前進。

解答　C

3. 紫蝶同學在實驗室中進行水波槽實驗中，下列哪個圖形較能說明直線波經過小狹縫後，其波前的變化情形？（假設水波槽內各處水深相同）

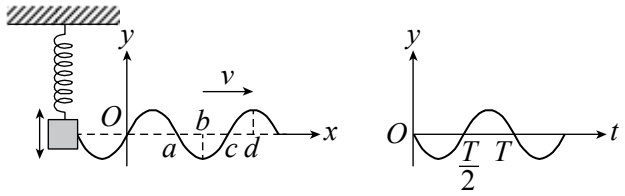


解答　D

解析　直線波通過小狹縫，發生「繞射彎曲」現象

4. 如圖(a)所示，將一細繩連接至鉛直震盪的彈簧下端物體上，繩子產生一向右沿 x 軸正向傳播的橫波，圖中 a、b、c、d 為介質中沿波傳播方向上四個質點的平衡位置。假設(a)圖為某瞬間的波形，之後，經過 $\frac{3}{4}$ 週期後開始計時，試問(b)圖所呈現為何處質點的振動圖像？

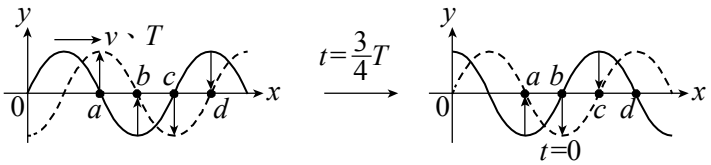
(a)　　(b)



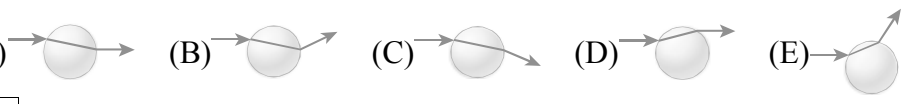
(A)a　(B)b　(C)c　(D)d　(E)以上皆非

解答　B

解析　如圖所示，繩波向右傳播，可以確定經過 $\frac{3}{4}T$ 後，b 質點處於「平衡位置」，且向下運動。從此時開始計時，b 質點的振動圖像即如題圖(b)所呈現的

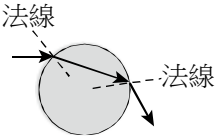


5. 一雷射發出的可見光，在空氣中由左向右通過一支實心玻璃圓柱。試問雷射光的可能軌跡為下列何者？

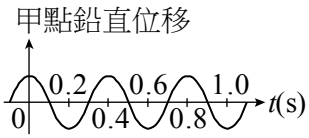


解答　C

解析　作圖後可知(C)選項正確



6. 某生觀測拉緊的水平細繩上行進波的傳播，發現繩上相距1.5公分的甲、乙兩點，其鉛直位移之和恆為零，而甲點鉛直位移隨時間 t 的變化如圖所示。試問下列何者可能是此繩波的波速？

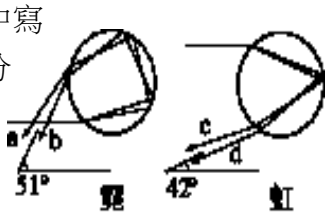


(A) 3.0 公分/秒　(B) 4.5 公分/秒　(C) 5.0 公分/秒　(D) 7.5 公分/秒
(E) 12 公分/秒　【105 學測題】

解答　D

解析　由圖可知繩波的週期 $T=0.4$s，由於甲、乙兩點的鉛直位移之和恆為零，即兩點的振動方式完全相反，因此甲、乙兩點的水平距離應為半波長的奇數倍，即 $1.5(\text{cm})=\frac{n}{2}\lambda$，故繩波波長 $\lambda=\frac{3}{n}(\text{cm})$，$n$=1、3、5、…，繩波的波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{\frac{3}{n}}{0.4}=\frac{7.5}{n}$，$n$=1、3、5、…，故繩波的波速可為 7.5 公分/秒、2.5 公分/秒、1.5 公分/秒、……

7. 中國古人對許多自然現像有深刻認識，唐人張志和在《玄真子•濤之靈》中寫道：「雨色映日而為虹」。從物理學的角度看，霓和虹是太陽光在水珠內分別經過兩次和一次反射後出射形成的，可利用白光照射玻璃球來說明。兩束平行白光照射到透明玻璃球後，各自會形成兩條彩色光帶，如圖所示。a、b、c、d 的顏色分別為？



(A)紫、紅、紅、紫　(B)紅、紫、紅、紫　(C) 紫、紅、紫、紅
(D) 紅、紫、紫、紅(E)紅、紅、紫、紫。

解析 D

因為紫光折射率大，所以偏折較多，因此 b 與 c 偏折較多為紫光。

8. 怡靜站在池塘邊看到水中有樹的倒影及悠游的魚兒，以下的說法何者是正確的？

(A) 魚是光的折射所形成的虛像，樹是光的反射所形成的虛像　(B) 魚是光的反射所形成的虛像，樹是光的反射所形成的實像　(C)魚是光的折射所形成的實像，樹是光的折射所形成的虛像　(D)魚是光的反射所形成的實像，樹是光的反射所形成的實像　(E)這兩種光學現象，都是光的干涉結果

解答　A

解析　(i)樹發出的光線經界面「反射」而進入人眼中，使人看到水中樹的倒影。由樹所發出各方向的光線經反射後，會在其反射光線的反向延伸線匯聚，為一「虛像」
(ii)魚發出的光線經界面「折射」而進入人眼中，使人看到水中的魚。魚由同一處發出各方向的光線經折射後，會在其折射光線的反向延伸線匯聚，亦為一「虛像」　(E)╳：這種光學現象，不是「干涉」的結果

9. 若利用靜止的傳統雷達朝一目標物發出 5000 赫茲的射頻脈衝訊號，而偵測到 8000 赫茲的回波訊號，則下列何者為可能的原因？

(A)目標物正在遠離雷達　(B)目標物朝向雷達前進　(C)訊號的能量在空中傳遞的過程中損失了　(D)回波訊號在空中的傳播速度變快　(E)單純是測量上的誤差，為正常現象

解答　B

解析　依「都卜勒效應」得知，雷達與目標物間有相對運動，今「視頻變大」，表示「目標物朝向雷達前進」

10. 交通部為方便民眾，提供更便捷、舒適的運輸建設，在國道高速公路實施電子收費 ETC 專案。有兩組方案將被裁決採用，甲組使用紅外線（波長範圍介在 10^{-6}～10^{-3} 公尺）掃描，需要在時速 40 公里的車速且對準感應器才可被感應扣款；乙組則使用微波（波長範圍介於 10^{-3}～10^{-2} 公尺）掃描。最後乙組勝出，裁決此組方案所持的合理理由為下列何者？

(A)微波波長較長，容易產生繞射，掃描較精確　(B)微波波長較長，容易產生干涉，掃描較精確　(C)微波波長較長，可產生反射，掃描較精確　(D)微波波長較長，可產生折射，接收廣、較無死角　(E)微波波長較長，傳播波速較快，接收較準確

解答　A

解析　波長較長的電磁波較易產生「繞射」，因此在訊號的接收上比較不會有死角

11. 日常生活中，如高速公路上取締超速車輛的測速雷達、職棒比賽時測量投手投出的球速所架的測速槍等都是運用都卜勒效應原理，藉著波源本身「發出一電磁波撞擊物體後反射回來時的波長改變」來測量車速或球速。若雷達時時發出波長為 5.000000 毫米的微波，經某車反射，迅即測出反射波的波長為 4.999999 毫米，發出紅色警燈告知該車減速。假定不考慮相對論效應時，且微波波速為 3×10^8 公尺/秒，因為車速 v 遠小於微波波速 c，得知微波波長的偏移率 $|\frac{\Delta\lambda}{\lambda}|=\frac{2v}{c}$，據此可以計算得該車時速若干公里/小時？

(A)95　(B)108　(C)120　(D)150　(E)160

解答　B

解析　已知 $|\frac{\Delta\lambda}{\lambda}|=\frac{2v}{c}\Rightarrow\frac{5.000000-4.999999}{5.000000}=\frac{2v}{3\times10^8}$ $\therefore v=30(\text{m/s})=\frac{30\times10^{-3}}{(\frac{1}{3600})}(\text{km/h})=108(\text{km/h})$

12. 下列有關量子論的發展，何者正確？

(A)19 世紀末期，人類仍然可以利用能量連續的理論來解釋原子內部微觀的事實　(B)牛頓是第一位提出量子概念的科學家　(C)直至目前為止，人類仍無法證實自然界裡有量子現象的存在　(D)光電效應是反駁光具有量子特性的最佳實驗　(E)普朗克勇於提出與舊有理論相反的解釋，以量子概念解釋熱輻射的實驗結果

解答　E

解析　(A)╳：只有利用能量不連續的理論，才可以解釋原子內部微觀的事實　(B)╳：普朗克是第一位提出量子概念的科學家　(C)╳：人類已證實很多物理量有量子現象　(D)╳：光電效應是證實光具有量子特性的實驗

13. 下列何者為普朗克常數的單位？

(A) 焦耳・秒　(B) 牛頓・秒　(C) 牛頓/秒(D)焦耳/秒　(E)焦耳/秒 ^{2}

解答　A

解析　由 $E=nhf$ 可知，h 的單位是焦耳・秒

14. 在光電效應中，若有電流產生，當入射光的強度加倍（頻率不變下），觀察到的電流也會加倍，以光量子理論而言應如何解釋？

(A) 光的強度大，較易產生較大能量的電子，故電流加倍　(B)光電管內的空氣分子帶電量增加　(C)光的強度大，光子的數量較多，釋出的電子數也較多　(D)光子的能量較大，波長較長，光的強度大，故光電板可以釋出更多的電子，進而使電流增加　(E) 光子的能量加倍，故電子動能加倍，使得電流加倍。

解析：C

頻率不變下，（超過底限頻率）入射光強度增大時，每秒入射的光子數目增加，可釋出更多的光電子。

15. 小米在作光電效應實驗時，發現當入射光波長大於 6000 埃時，金屬表面即停止放射光電子，則該金屬功函數約為幾電子伏特？（設 $h\approx6.63\times10^{-34}$ 焦耳・秒，$c=3\times10^8$ 公尺/秒，1 電子伏特 $=1.6\times10^{-19}$ 焦耳）

(A)1.1　(B)1.4　(C)1.6　(D)1.9　(E)2.1

解答　E

解析　$W = hf_c = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{(6.63\times10^{-34})\times(3\times10^{8})}{6000\times10^{-10}} \times \frac{1}{1.6\times10^{-19}} = 2.1\,(\text{eV})$

16. 下表所列為一些常見金屬材料之功函數：

金屬材料	銫	鈣	鎂	鈦	鈹
功函數(10^{-19}J)	3.4	4.4	5.9	6.9	7.97

現用波長為 400 奈米的單色光照射上述各金屬材料，能產生光電效應的材料最多有幾種？（普朗克常數 $h = 6.63\times10^{-34}$ 焦耳．秒，光速 $c = 3\times10^{8}$ 公尺/秒）

(A)1　(B)2　(C)3　(D)4　(E)5

解答　B

解析　由 $E = hf = h\times\frac{c}{\lambda} = (6.63\times10^{-34})\times(\frac{3\times10^{8}}{400\times10^{-9}}) = 4.97\times10^{-19}\,(\text{J}) \Rightarrow$ 銫、鈣可產生光電效應

17. 1905 年愛因斯坦提出光子論，每個光子的能量由 $E = hf$ 決定，其中 h 為普朗克常數、f 為電磁波的頻率。由此可知頻率愈大的電磁波，其光子能量愈大。今定義光強度為單位時間內通過單位面積的光子數，再乘以每個光子的能量。根據此定義，試比較相同光強度的紫外線、紫光、紅外線、紅光和 X 射線，哪一種電磁波在單位時間內通過單位面積的光子數目最多？

(A) 紅外線　(B) 紅光　(C) 紫光　(D) 紫外線　(E)X 射線

解答　A

解析　光譜的光子能量次序：

由 $E = hf \Rightarrow E \propto f$ $\begin{cases} f_{\text{紅外線}} < f_{\text{紅光}} < f_{\text{紫光}} < f_{\text{紫外線}} < f_{\text{X射線}} \\ E_{\text{紅外線}} < E_{\text{紅光}} < E_{\text{紫光}} < E_{\text{紫外線}} < E_{\text{X射線}} \end{cases}$，

依題意敘述：光強度為單位時間內通過單位面積的光子數，再乘以每個光子的能量，即

$P = \frac{NE}{t\cdot A} \Rightarrow NE =$ 定值 $\Rightarrow E\downarrow$，則 $N\uparrow$

$\Rightarrow N_{\text{紅外線}} > N_{\text{紅光}} > N_{\text{紫光}} > N_{\text{紫外線}} > N_{\text{X 射線}}$

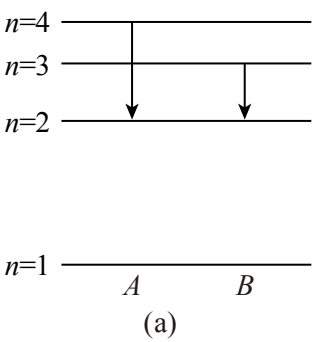
18. 電子經過雙狹縫後打中屏幕，並在螢光屏上形成干涉條紋。下列何者是產生亮、暗干涉條紋的主因？

(A)電子釋放電磁波，電磁波經狹縫後形成干涉　(B)電子只會朝幾個特定方位前進　(C)電子通過狹縫後，落在屏上某些特定位置的機會較小，某些特定位置的機會較大　(D)電子通過狹縫後，有些位置產生反射（暗紋），有些位置產生折射（亮紋）　(E)電子通過狹縫後，有些位置產生干涉（暗紋），有些位置產生繞射（亮紋）

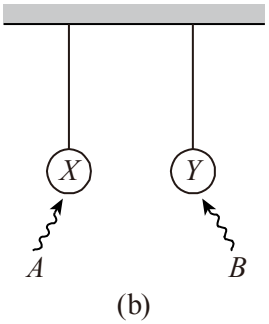
解答　C

解析　物質波為機率波，代表物質（例如電子）運動時，在空間中出現位置的機率分佈。屏上的亮紋，表示電子通過狹縫後，落在屏上該位置的機會較其他位置高；屏上的暗紋，則反之

19. 1913 年，波耳提出氫原子模型，引入能階量子化的觀念。今假定氫原子能階如圖(a)所示，若已知氫原子由 $n = 4$ 的能階躍遷到 $n = 2$ 的能階，所釋放的光譜為 A 光；由 $n = 3$ 的能階躍遷到 $n = 2$ 的能階，所釋放的光譜為 B 光。同時將產生的 A、B 兩光源分別照射如圖(b)所示的 X、Y 兩同材質金屬球，進行光電效應實驗，結果發現兩金屬球相互吸引靠近（但未接觸），則兩金屬球在照光後所帶靜電荷，下列何者正確？



(a)



(b)

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
X 球	正電	正電	負電	負電	不帶電
Y 球	不帶電	負電	正電	不帶電	正電

解答　A

解析　計算電子自高能階躍遷至低能階釋放的光譜能量，由 $\Delta E = E_i - E_f \Rightarrow \begin{cases} E_A = E_4 - E_2 \\ E_B = E_3 - E_2 \end{cases} \Rightarrow E_A > E_B$，則金屬球若產生光電效應，則電子被撞離金屬球，金屬球將帶正電；今兩金屬球相互吸引靠近，故不可能兩球同時帶正電；由 $E_A > E_B$ 得知，X 球產生光電效應，帶正電；Y 球無法產生光電效應，不帶電

20. 德布羅意認為單一的電子、質子、原子、分子與鋼珠等一些物質，除了粒子的特性外，也都兼具有波動的性質，稱為物質波。科學家從電子繞射實驗證明了物質波的存在，同時指出物質波所代表的意義為何？

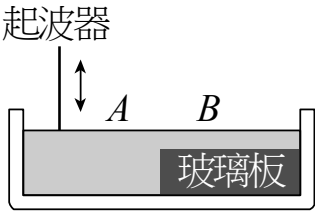
(A)就是一種微弱的聲波　(B)就是一束微弱的光波　(C)就是一道電磁波　(D) 有物質才得以傳播的波動　(E) 物質在空間的機率分布

解答　E

解析　科學家指出物質波代表著物質在空間的機率分布

二、多選題

21. 宜靜擬進行水波的各種性質觀察，在水波槽內放置了一塊透明玻璃板，形成 A、B 深淺兩區域，如圖所示。將起波器設置於 A 區域，振動水面，則下列敘述哪些正確？（應選 3 項）

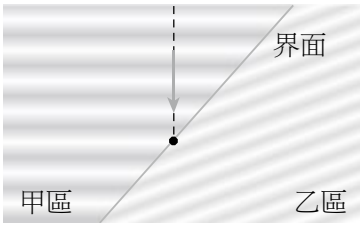


(A)水波在 B 區域的速率較 A 區域快　(B)水波傳到 B 區域的頻率不變　(C)水波在 B 區域的波長較小　(D)在 A、B 區域交界處會發生部分反射的現象　(E)返回 A 區的反射波波長變小、波速不變

解答　BCD

解析　(A)╳、(B)○、(C)○：依題圖：$\begin{cases} A \text{ 區域：深水區} \rightarrow v_A \text{大} \\ B \text{ 區域：淺水區} \rightarrow v_B \text{小} \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} v \propto \lambda \\ f \text{ 不變} \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} \lambda_A \text{大} \\ \lambda_B \text{小} \end{matrix}$　(D)○：水波傳達到不同介質的交界處，會發生「部分反射」、「折射」　(E)╳：反射波返回原介質，波速、波長、頻率皆不變

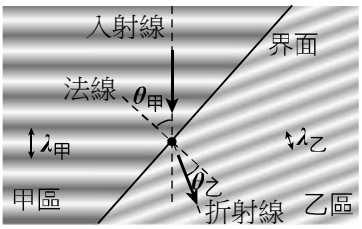
22. 已知水波的波速和水深有關，在深水中較快，在淺水中較慢，因此當水波在兩深淺不同的區域傳播時，會產生折射現象。某處有深淺不同的甲、乙兩區，水波在甲、乙兩區的波長、波速及頻率分別為 $\lambda_{甲}$ 與 $\lambda_{乙}$、$v_{甲}$ 與 $v_{乙}$、及 $f_{甲}$ 與 $f_{乙}$。水波自甲區正上方鉛直向下入射，經界面後折射進入乙區，如圖所示。下列敘述哪些正確？（應選 2 項）



(A)折射線的前進方向偏離法線　(B) $\lambda_{甲} > \lambda_{乙}$　(C) $f_{甲} > f_{乙}$　(D) $v_{甲} > v_{乙}$　(E)乙區為深水區

解答　BD

解析　入射線與入射波的波前垂直，折射線與折射波的波前垂直，法線與界面垂直，可畫出折射情形如圖所示。



(A)╳：折射線的前進方向偏向法線　(B)○：如圖所示，折射後波長變短，即 $\lambda_{甲} > \lambda_{乙}$　(C)╳：發生折射時，頻率並沒有改變　(D)○：$v = \lambda f \propto \lambda$，故 $v_{甲} > v_{乙}$　(E)╳：波速快者為深水區，故甲區為深水區

23. 國樂音階的五音與頻率的對應如表所示。

國樂音階	宮	商	角	徵	羽
頻率（Hz）	262	294	330	392	440

經測得「角」音在室溫空氣中傳播時的波長約為 103 公分。若五音的聲波都在相同狀況的空氣中傳播，則下列有關表中國樂五音的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

(A)「宮」音聲波的傳播速率最慢　(B)「商」音聲波不會發生干涉現象　(C)五音的聲波均會發生繞射現象　(D)在室溫空氣中傳播時，「徵」音的聲波波長較「角」音為長　(E)在室溫空氣中傳播時，「羽」音聲波的波長約為 77.3 公分

解答　CE

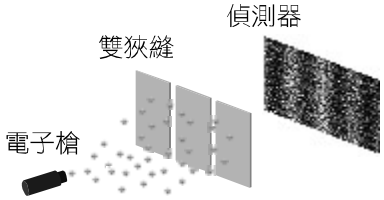
解析　(A)╳：在同狀況的空氣中傳播時，不同頻率的聲波其速率相同，皆為 $v = \lambda f = 103 \times 330 = 33990(\text{cm/s})$

(B)╳(C)○：干涉和繞射都是波動共有的特性

(D)╳：$v = \lambda f \Rightarrow \lambda = \dfrac{v}{f} \Rightarrow \lambda_{徵} = \dfrac{33990}{392} = 86.7\,(\text{cm}) > \lambda_{角}$

(E)○：$\lambda_{羽} = \dfrac{33990}{440} = 77.3\,(\text{cm})$

24. 如圖所示為物理學家進行電子雙狹縫干涉實驗的示意圖。將電子自電子槍發射，使電子通過雙狹縫，在狹縫後方的屏幕上裝設偵測器，當電子數累積到一定的數量後，屏幕上即可觀察到明確的干涉條紋。下列敘述哪些正確？（應選 3 項）



(A)電子在行進過程中所發射的電磁波造成干涉條紋　(B)亮紋代表電子在該處出現的機率較低　(C)此實驗可證明電子具有粒子性　(D)此實驗可證明電子具有波動性　(E)此實驗可證明電子具有二象性

解答　CDE

解析　(A)╳：是電子的物質波所造成　(B)╳：亮紋代表電子在該處出現的機率較高　(C)○：因為電子是一顆、一顆的抵達偵測器處，可證明電子具有粒子性　(D)○：干涉條紋證明電子具有波動性　(E)○：承(C)(D)可知電子具有粒子性和波動性，即證明了電子具有二象性

25. 下列有關光子的敘述，哪些正確？（應選 3 項）

(A)靜止時，質量與電子質量差不多　(B)光子能量和頻率成正比　(C)光束具有波動性　(D)同種單色光源發光，若光強度愈大，則表示每秒所發出的光子數目愈多　(E)光子有時帶正電，有時帶負電

【龍騰自命題】

解答　BCD

解析　(A)╳：光子無靜止質量　(B)○：光子能量為 $E=hf \Rightarrow E \propto f$　(C)○：光束具有波動性，稱光波　(D)○：光強度愈強，則表示每秒所發出的光子數目愈多　(E)╳：光子不帶電

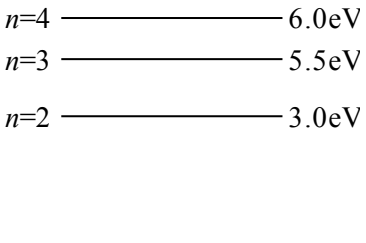
解析　(D)╳：水波槽的干涉實驗：可觀察水波的波動性　(E)╳：氫原子光譜：確認能階的存在

26. 試問下列選項中，可以證明原子具有能階的為哪些？（應選 2 項）

(A)電子躍遷時會放出能量　(B)α 粒子散射　(C)原子光譜為放射光譜　(D)原子的吸收光譜上僅有特定位置才有光　(E)光電效應。

解析：(C) (D)

27. 某原子能階如圖所示，處於 $n=4$ 的定態原子，可能會放出哪些能量的光子？（應選 3 項）



(A)0.5 電子伏特　(B)2 電子伏特　(C)2.5 電子伏特　(D)3 電子伏特　(E)5 電子伏特

解答　ACD

解析　$n=4\to1$，$\Delta E=6.0\text{eV}$；$n=4\to2$，$\Delta E=3.0\text{eV}$；$n=4\to3$，$\Delta E=0.5\text{eV}$；$n=3\to1$，$\Delta E=5.5\text{eV}$；$n=3\to2$，$\Delta E=2.5\text{eV}$；$n=2\to1$，$\Delta E=3.0\text{eV}$，共 5 種

28. 下列氫原子的能階躍遷中，哪些會產生吸收譜線？（應選 3 項）

(A)$n=5$ 至 $n=4$　(B)$n=1$ 至 $n=3$　(C)$n=3$ 至 $n=4$　(D)$n=6$ 至 $n=5$　(E)$n=2$ 至 $n=4$

【Super 講義題】

解答　BCE

解析　由低能階躍遷至高能階時，會產生吸收譜線，故選(B)(C)(E)

三、科學閱讀素養試題

1924 年，德布羅意在他的博士論文中提出此一觀點，認為像電子、原子、分子等之類的粒子，甚至是所有形式的物質，除了粒子性之外，都伴有一定的波動性，這種伴隨著物質粒子的波，稱為物質波或德布羅意波。

德布羅意推導出物質波的頻率 f、波長 λ 與其對應粒子的能量 E、動量 p（$=mv=$ 質量 × 速度）間之關係為：

$$\begin{cases}(1)\text{物質波的頻率：}f=\dfrac{E}{h}。\\(2)\text{物質波的波長：}\lambda=\dfrac{h}{p}=\dfrac{h}{mv}。\end{cases}$$

在左列兩式中，等號右邊代表的是物質的粒子性，等號左邊代表的是物質的波動性，兩者之間的橋樑則是普朗克常數 h。

上兩式稱為德布羅意–愛因斯坦關係式。

它們形式的一致，則暗示了波與粒子二象性的普遍性。

此式乍看之下好像和愛因斯坦的光子能量 $E=hf$ 類似，其實不然。兩個公式的數學形式雖然相同，但兩式的出發點及物理內涵是完全不同的。愛因斯坦由光波動的角度出發，說明光也具有粒子性，而德布羅意則從相反的角度出發，一般被視為粒子的物質，也會有波動的性質。

那麼日常生活中可以感受到物質波嗎？舉例來說，一臺質量為 1000 公斤的汽車，以 30 公尺/秒（$=108$ 公里/時）前進時，其物質波的波長為 $\lambda=\dfrac{h}{mv}=\dfrac{6.63\times10^{-34}}{1000\times30}=2.21\times10^{-38}$（公尺），波長如此的短，故其波動性極不顯著。因此在日常生活尺度中，德布羅意的物質波極不顯著，我們根本感受不到。

既然感受不到，那麼這個虛無飄渺的物質波到底是什麼呢？1926 年，奧地利物理學家薛丁格提出了用波函數來描述粒子的運動，並建立了薛丁格方程式，但他無法解釋這個方程式的物理意

義。之後，量子力學一代大師，德國物理學家玻恩，提出物質波是機率波的見解。此一見解，目前廣為物理學家所接受。

根據上面短文，試回答下列問題：

29. 物質也具有波動性，而此波動為機率波。此深奧的理論，是許多物理學家接力奮鬥的結果。下列關於物理學家及其貢獻，哪些正確？（應選 2 項）

(A)物質波由玻恩所提出　(B)愛因斯坦提出物質波的波長 $\lambda = \frac{h}{mv}$　(C)薛丁格建立了薛丁格方程式　(D)德布羅意提出物質波是機率波的見解　(E)玻恩提出物質波是機率波的見解

30. 下列各粒子或物體以相同速率運動時，何者的物質波波長最長？　(A)氦原子　(B)中子　(C)電子　(D)質子　(E)棒球

解答　(1)CE　(2)C

解析　(1) (A)(B)╳：由德布羅意所提出　(D)╳(E)○：玻恩提出物質波是機率波的見解

(2)由 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 可知，質量愈小者，其物質波波長愈長，電子最輕，其物質波波長最長