

BAB

7

Fizik Kuantum

Bagaimanakah idea teori kuantum tercetus?

Apakah maksud kuantum tenaga dan foton?

Apakah sifat kedualan gelombang-zarah?

Apakah ciri-ciri kesan fotoelektrik?

Anda akan mempelajari:

7.1 Teori Kuantum Cahaya

7.2 Kesan Fotoelektrik

7.3 Teori Fotoelektrik Einstein



Portal Informasi

Ilmu pengetahuan tentang sifat dan tingkah laku jirim mengenai atom dan subatom membolehkan komputer kuantum dicipta. Komputer kuantum merupakan superkomputer yang mampu melakukan pemrosesan maklumat yang banyak dalam masa yang amat singkat. Antara kegunaannya ialah tindak balas kimia yang sangat kompleks dapat disimulasikan dengan pantas untuk membina model mekanisme tindak balas tersebut. Teknologi ini juga digunakan dalam bidang astronomi dan pasaran saham. Hal ini kerana mekanisme fenomena semula jadi yang dikaji dalam bidang astronomi adalah kompleks, manakala perubahan pasaran saham berlaku dengan pantas. Oleh itu, pembinaan model terperinci melalui superkomputer membolehkan kita memahami fenomena kompleks dan membuat keputusan yang wajar.



<http://bit.ly/37R8TTL>

Kepentingan Bab Ini

Kefahaman fizik kuantum membantu para penyelidik mencipta sistem komputer yang canggih dengan memori yang besar dan kelajuan pemrosesan yang amat pantas. Perkembangan penciptaan ini dapat melahirkan pakar komputer dan pakar fizik yang kompeten serta dinamik demi menyahut cabaran era kuantum yang semakin mencabar.

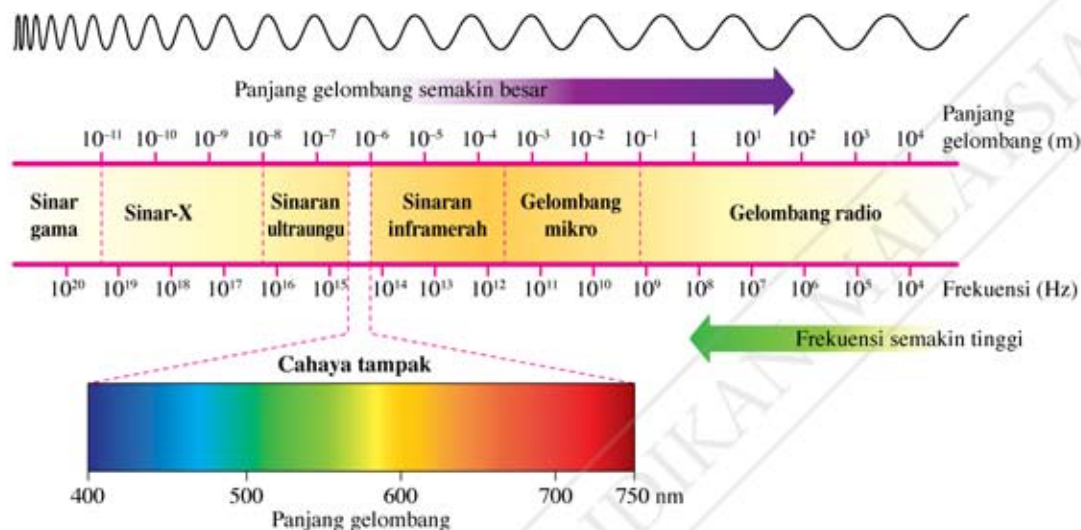
Lensa Futuristik

Proses penyulitan (*encryption*) adalah mustahak untuk menjamin keselamatan dan kerahsiaan maklumat sesebuah organisasi, institusi kewangan atau kerajaan. Pengetahuan dalam fizik kuantum membolehkan perkembangan sistem algoritma penyulitan dan tandatangan digital baharu yang lebih selamat.



<http://bit.ly/2Nfy0b7>

Semasa di Tingkatan 4, anda telah mempelajari bahawa spektrum elektromagnet adalah spektrum selanjut. Spektrum ini terdiri daripada tujuh jenis gelombang yang mempunyai frekuensi dan panjang gelombang yang berbeza seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.1.



Rajah 7.1 Spektrum elektromagnet

Semua objek dapat memancarkan sinaran elektromagnet. Frekuensi sinaran elektromagnet yang terpancar bergantung pada suhu objek itu. Objek yang sejuk memancarkan gelombang dengan frekuensi yang rendah, contohnya gelombang radio atau gelombang mikro. Manakala objek yang panas memancarkan gelombang dengan frekuensi yang lebih tinggi, contohnya cahaya tampak dan sinaran ultraungu. Adakah manusia juga memancarkan sinaran elektromagnet?

Jasad hitam merupakan suatu jasad unggul yang berupaya menyerap semua sinaran elektromagnet yang jatuh padanya. Jasad hitam juga dapat memancarkan sinaran termal bergantung pada suhunya. Sinaran yang dipancar berbentuk spektrum selanjut dan tidak dipengaruhi oleh sifat permukaan jasad hitam. Oleh itu, sebarang objek yang memancarkan sinaran elektromagnet mengikut suhunya dikenali sebagai pemancar jasad hitam (*black body radiator*).

Galeri MAKLUMAT

Sinaran termal merupakan sinaran elektromagnet yang merangkumi sinaran boleh tampak dan sinaran yang tidak boleh dilihat oleh mata manusia seperti sinaran inframerah.

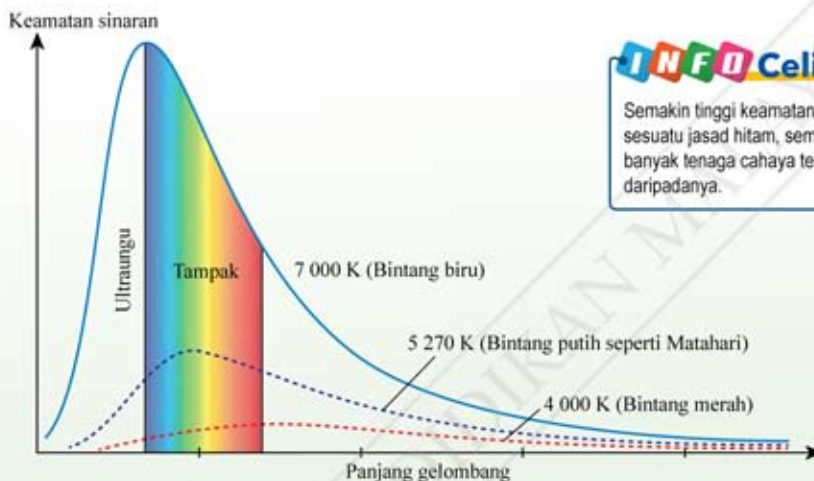
Galeri MAKLUMAT

Sinaran cahaya yang memasuki rongga telinga akan mengalami proses pantulan berulang-ulang pada dinding dalam rongga telinga. Setiap kali pantulan berlaku, sinaran akan diserap oleh dinding dalam rongga telinga sehingga semua sinaran diserap. Oleh itu, rongga telinga seolah-olah bertindak sebagai jasad hitam.

Rongga telinga



Apabila suhu suatu objek meningkat, objek tersebut bertindak sebagai pemancar jasad hitam dengan memancarkan sinaran thermal pada semua panjang gelombang. Rajah 7.2 merupakan graf keamatan sinaran melawan panjang gelombang bagi tiga jenis jasad hitam mengikut suhu yang berbeza. Lazimnya, setiap lengkungan graf untuk spektrum jasad hitam adalah lebih sempit pada bahagian sebelah kiri, iaitu kawasan yang mempunyai panjang gelombang pendek dan frekuensi tinggi. Pada suhu yang semakin meningkat, panjang gelombang yang mencapai keamatan sinaran maksimum juga semakin pendek.



Rajah 7.2 Graf keamatan sinaran melawan panjang gelombang



(a) Imej termografik sebuah kereta



(b) Elemen pemanas ketuhar



(c) Sinaran thermal dalam mentol lampu pada suhu yang berbeza



IMBAS SAYA

Video tentang
termometer
inframerah

<https://bit.ly/32BIKdl>

Gambar foto 7.1 Contoh-contoh jasad hitam dalam kehidupan harian

Pencetusan Idea Teori Fizik Kuantum

Cahaya merupakan gelombang elektromagnet yang terhasil daripada getaran cas elektrik. Dalam suatu objek yang panas, elektron bergetar pantas pada sebarang arah secara rawak dan menghasilkan cahaya. Semakin panas objek tersebut, getaran elektron-elektron menjadi lebih bertenaga dan lebih banyak cahaya akan terpancar. Elektron-elektron dalam objek panas akan bergetar dengan suatu julat frekuensi yang selanjut. Menurut teori klasik, elektron yang bergetar pada frekuensi yang sama harus mempunyai kandungan tenaga yang sama. Frekuensi getaran elektron juga tidak mempunyai had. Oleh itu, tenaga cahaya yang terhasil daripada getaran elektron boleh mencapai nilai tinggi yang tidak terbatas.

Walau bagaimanapun, keputusan eksperimen yang melibatkan sinaran jasad hitam telah menunjukkan percanggahan dengan teori fizik klasik. Berdasarkan graf keamatan sinaran melawan panjang gelombang bagi sinaran jasad hitam, keamatan cahaya adalah tidak selanjut dengan pertambahan frekuensi gelombang seperti yang diramalkan oleh teori klasik. Percanggahan konsep tenaga cahaya ini telah mencetuskan teori fizik kuantum.

Teori Klasik



Isaac Newton
(1643 – 1727)

Sifat zarah cahaya

- Menghuraikan cahaya sebagai satu aliran zarah atau *corpuscles* pada tahun 1704.
- Tidak berjaya menerangkan fenomena pembiasan cahaya kerana membuat kesilapan untuk perbandingan kelajuan cahaya dalam kaca dan udara.



Thomas Young
(1773 – 1829)

Eksperimen dwicelah cahaya

- Menjalankan eksperimen dwicelah cahaya pada tahun 1801 dan menunjukkan bahawa cahaya bersifat gelombang.
- Tidak dapat menerangkan kejadian spektrum sinaran jasad hitam.



John Dalton
(1766 – 1844)

Model Atom Dalton

- Jirim terdiri daripada zarah asas yang tidak boleh dibahagi lagi yang dipanggil **atom**.
- Unsur yang sama mempunyai jenis atom yang sama.
- Tidak dapat menerangkan penghasilan spektrum cahaya oleh atom bahan.



J. J. Thomson
(1856 – 1940)

Penemuan elektron

- Menemui zarah subatom bercas negatif yang dipanggil **elektron** pada tahun 1897.
- Mereka bentuk eksperimen untuk mengkaji kelakuan elektron.
- Tidak dapat menerangkan penghasilan spektrum garis cahaya oleh atom bahan.

IMBAS SAYA

Isaac Newton



<https://bit.ly/2XXyQ1x>

IMBAS SAYA

Thomas Young



<https://bit.ly/31NvYoZ>

IMBAS SAYA

John Dalton



<https://bit.ly/33Tives>

IMBAS SAYA

J. J. Thomson



<https://bit.ly/3iAsIEh>

Rajah 7.3 Perkembangan teori kuantum dari teori klasik

Aktiviti 7.1

Tujuan: Mengumpul maklumat tentang perkembangan teori kuantum

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini dalam bentuk *Gallery Walk*.
2. Dapatkan maklumat daripada pelbagai bahan bacaan dan laman sesawang tentang penemuan ahli-ahli fizik yang berikut terhadap perkembangan teori kuantum.

Isaac Newton	John Dalton	Max Planck	Niels Bohr
Thomas Young	J. J. Thomson	Albert Einstein	Louis de Broglie

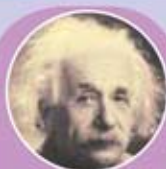
3. Bentangkan hasil dapatan anda dalam bentuk peta pemikiran.

Teori Kuantum



Max Planck
(1858 – 1947)

- Memperkenalkan idea **kuantum** (tenaga yang diskrit) pada tahun 1900.
- Gelombang elektromagnet yang dipancarkan oleh jasad hitam adalah dalam bentuk yang diskrit yang dikenali sebagai kuantum tenaga.
- Tenaga dalam setiap kuantum adalah berkadar terus dengan frekuensi gelombang.
- Keamatan sinaran adalah rendah bagi gelombang frekuensi tinggi.



Albert Einstein
(1879 – 1955)

- Memperkenalkan konsep **foton** pada tahun 1905.
- Tenaga foton adalah berkadar terus dengan frekuensi gelombang cahaya.
- **Teori foton Einstein** berjaya menjelaskan ciri-ciri kesan fotoelektrik yang tidak dapat diterangkan dengan teori klasik.



Niels Bohr
(1885 – 1962)

- Menerangkan penghasilan spektrum garis oleh atom hidrogen.
- Elektron dalam atom bergerak mengelilingi nukleus atom pada petala tertentu sahaja.
- Pemindahan elektron dari petala paras tenaga tinggi ke petala paras tenaga rendah memancarkan foton.



Louis de Broglie
(1892 – 1987)

- Memperkenalkan hipotesis bahawa zarah bersifat gelombang pada tahun 1924.
- Idea Einstein dan de Broglie membawa kepada idea **sifat kedualan gelombang-zarah** bagi cahaya dan semua zarah subatom.



IMBAS SAYA

Max Planck

<https://bit.ly/3kEFZau>



IMBAS SAYA

Albert Einstein

<https://bit.ly/3akNs9l>



IMBAS SAYA

Niels Bohr

<https://bit.ly/3fRwJm9>



IMBAS SAYA

Louis de Broglie

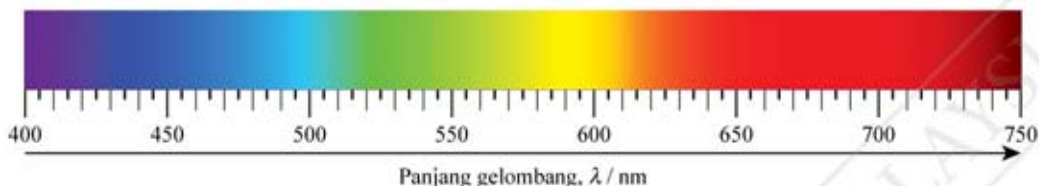
<https://bit.ly/3fM2LQs>

Kuantum Tenaga

Spektrum elektromagnet boleh terdiri daripada spektrum selanjat dan spektrum garis. Rajah 7.4 dan 7.5 masing-masing menunjukkan contoh spektrum selanjat dan spektrum garis.

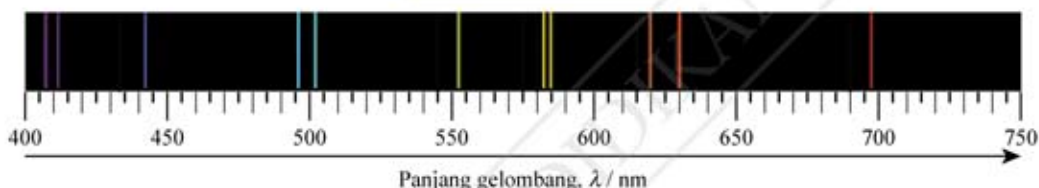


Spektrum selanjat



Rajah 7.4 Spektrum cahaya tampak

Spektrum garis



Rajah 7.5 Spektrum garis daripada lampu gas merkuri yang panas

Spektrum selanjat boleh dihasilkan melalui penyerakan cahaya putih oleh prisma kepada spektrum yang terdiri daripada tujuh warna cahaya tampak. Spektrum tersebut mempunyai julat panjang gelombang 400 nm hingga 750 nm. Spektrum cahaya tampak dikatakan bersifat selanjat kerana tiada jurang pemisahan di antara setiap jenis warna cahaya di spektrum tersebut.

Spektrum garis yang terhasil oleh sesuatu atom yang teruja merupakan koleksi garis-garis berwarna dengan panjang gelombang dan frekuensi yang unik. Setiap unsur menghasilkan siri spektrum garis yang tersendiri. Oleh itu, spektrum garis boleh digunakan sebagai penunjuk bagi mengenal pasti kewujudan sesuatu unsur. Jadual 7.1 menunjukkan nilai frekuensi dan kuantum tenaga bagi spektrum garis yang dihasilkan oleh lampu gas merkuri.

Jadual 7.1 Nilai frekuensi dan kuantum tenaga bagi spektrum garis daripada lampu gas merkuri

Warna spektrum garis	Frekuensi, $f / 10^{14}$ Hz	Kuantum tenaga, $E / 10^{-19}$ J
Ungu	7.41	4.91
Biru	6.88	4.56
Hijau	5.49	3.65
Kuning jingga	5.19	3.44



Aktiviti 1.2

KIAK / KMK

Tujuan: Membandingkan konsep tenaga selangar dan tenaga diskrit

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini secara berkumpulan.
2. Kumpulkan maklumat berkaitan konsep tenaga selangar dan tenaga diskrit dari aspek berikut:
 - (a) Spektrum cahaya tampak
 - (b) Spektrum garis dari lampu merkuri dan lampu-lampu yang lain
 - (c) Perbezaan antara tenaga selangar dengan tenaga diskrit
3. Anda boleh dapatkan maklumat tersebut di carian laman sesawang atau pelbagai sumber bacaan.
4. Bentangkan hasil dapatan anda menggunakan peta grafik.

Kuantum tenaga ialah paket tenaga yang diskrit dan bukan tenaga selangar. Paket-paket tenaga diskrit bergantung pada frekuensi gelombang. Menurut teori kuantum Max Planck dan Albert Einstein, tenaga cahaya wujud dalam bentuk paket tenaga yang dikenali sebagai foton. **Foton** ialah kuantum tenaga cahaya yang boleh dipindahkan. Tenaga foton adalah berkadar terus dengan frekuensi gelombang cahaya. Semakin tinggi frekuensi gelombang cahaya, semakin tinggi kuantum tenaga.

$$E \propto f$$

$$E = hf$$

iaitu E = tenaga foton
 h = pemalar Planck (6.63×10^{-34} J s)
 f = frekuensi gelombang cahaya

Galeri MAKLUMAT

Cahaya ialah sejenis gelombang elektromagnet dan juga memiliki sifat zarah. Jenis gelombang yang lain dalam spektrum elektromagnet juga boleh memiliki sifat zarah.

Contoh 1

Bandingkan tenaga foton cahaya 400 nm dan foton cahaya 750 nm.

Penyelesaian

Langkah 1:

Mengenal pasti masalah

Langkah 2:

Mengenal pasti maklumat yang diberikan

Langkah 3:

Mengenal pasti rumus yang boleh digunakan

Langkah 4:

Menyelesaikan masalah secara numerikal

- 1 Tenaga bagi satu foton 400 nm
 Tenaga bagi satu foton 750 nm

- 2 Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s
 Laju cahaya dalam vakum, $c = 3.00 \times 10^8$ m s⁻¹
 Panjang gelombang, $\lambda_1 = 400 \times 10^{-9}$ m
 Panjang gelombang, $\lambda_2 = 750 \times 10^{-9}$ m

3 $c = \lambda f$, maka $f = \frac{c}{\lambda}$
 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

4 $E_1 = 6.63 \times 10^{-34} \left(\frac{3.00 \times 10^8}{400 \times 10^{-9}} \right)$
 $= 4.97 \times 10^{-19}$ J
 $E_2 = 6.63 \times 10^{-34} \left(\frac{3.00 \times 10^8}{750 \times 10^{-9}} \right)$
 $= 2.65 \times 10^{-19}$ J

CUBA JAWAB



<http://bit.ly/2QxWZXS>

Semakin pendek panjang gelombang cahaya, semakin tinggi tenaga foton.

Sifat Kedualan Gelombang-Zarah

Sinaran elektromagnet seperti cahaya dikatakan bersifat gelombang kerana menunjukkan fenomena pembelauan dan interferens. Objek seperti guli dikatakan bersifat zarah kerana memiliki momentum dan tenaga kinetik serta boleh berlanggar antara satu sama lain.



Aktiviti 7.3

KIAK / KMK

Tujuan: Memerhatikan sifat gelombang bagi zarah dan bagaimana panjang gelombang de Broglie berubah dengan jisim dan halaju zarah

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini secara berpasangan.
2. Imbas kod QR untuk melihat simulasi tentang sifat gelombang bagi zarah. Berdasarkan simulasi tersebut, bincangkan perkara berikut:
 - (a) sifat gelombang bagi zarah
 - (b) hubungan antara panjang gelombang de Broglie dengan jisim dan halaju zarah
3. Bentangkan hasil dapatan anda.



IMBAS SAYA

Simulasi panjang gelombang

<http://bit.ly/39xNYqu>

Pada tahun 1924, Louis de Broglie (dibaca sebagai 'de Broy') (1892 – 1987) seorang ahli fizik kuantum telah mengemukakan hipotesis yang menyatakan bahawa semua zarah boleh menunjukkan ciri-ciri gelombang. Namun secara eksperimen, zarah yang mempunyai jisim besar adalah sukar untuk menunjukkan ciri-ciri gelombangnya. Louis de Broglie meramalkan ciri-ciri gelombang boleh ditunjukkan oleh zarah ringan, contohnya elektron. Beliau menyatakan hubungan antara momentum suatu zarah, p dengan panjang gelombang, λ adalah seperti yang berikut.

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

iaitu λ = panjang gelombang

h = pemalar Planck

p = momentum zarah

Nilai pemalar Planck ialah $6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Semakin besar momentum zarah, semakin pendek panjang gelombang. Oleh sebab nilai momentum zarah boleh ditentukan dengan $p = mv$, maka rumus yang berikut juga boleh diperolehi.

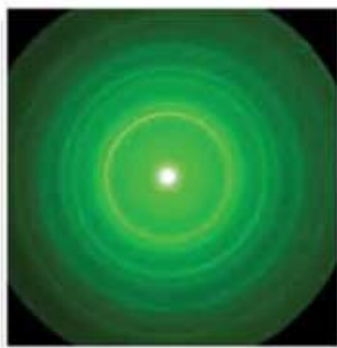
$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

iaitu m = jisim zarah

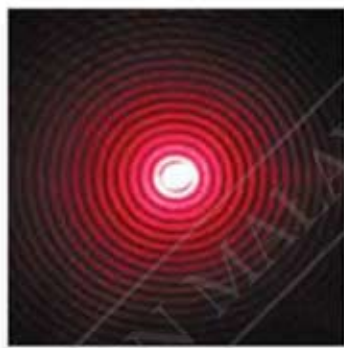
v = halaju zarah

Disebabkan nilai h adalah sangat kecil, zarah yang berjisim besar akan mempunyai panjang gelombang de Broglie yang terlalu pendek untuk dikesan. Oleh itu, ciri gelombang tidak dapat diperhatikan.

Pada tahun 1927, kewujudan sifat gelombang bagi elektron telah disahkan melalui eksperimen pembelauan elektron. Gambar foto 7.2 menunjukkan corak pembelauan elektron melalui lapisan grafit nipis. Corak ini menyerupai corak pembelauan cahaya melalui bukaan membulat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar foto 7.3. Hal ini secara langsung telah membuktikan hipotesis de Broglie.

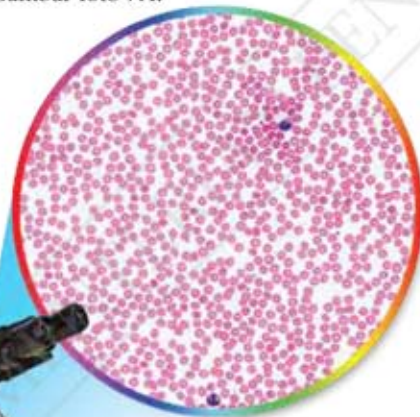


Gambar foto 7.2 Corak pembelauan elektron melalui lapisan grafit nipis



Gambar foto 7.3 Corak pembelauan cahaya laser merah melalui bukaan membulat

Panjang gelombang de Broglie suatu alur elektron ialah kira-kira 1 000 – 10 000 kali lebih pendek berbanding dengan panjang gelombang cahaya. Sifat ini amat penting untuk menghasilkan pembesaran yang lebih tinggi dalam operasi mikroskop elektron. Perbandingan antara imej yang dihasilkan oleh mikroskop cahaya dengan mikroskop elektron ditunjukkan dalam Gambar foto 7.4.



(a) Imej sel darah merah di bawah mikroskop cahaya



(b) Imej sel darah merah di bawah mikroskop elektron

Gambar foto 7.4 Perbandingan antara imej yang dihasilkan oleh mikroskop cahaya dengan mikroskop elektron

Elektron dikatakan bersifat kedualan gelombang-zarah kerana menunjukkan sifat zarah dan sifat gelombang. Cahaya juga mempunyai kedua-dua sifat gelombang dan zarah. Oleh itu, cahaya dan elektron masing-masing dikatakan bersifat **kedualan gelombang-zarah**. Sifat kedualan ini juga dimiliki oleh semua jenis sinaran dalam spektrum gelombang elektromagnet dan juga zarah subatom seperti proton dan neutron.

Tenaga cahaya, E dipindah dalam bentuk paket tenaga yang dikenali sebagai foton.

$$E = hf$$

iaitu h = pemalar Planck

f = frekuensi gelombang cahaya

Untuk gelombang elektromagnet, hubungan kelajuan gelombang, c dengan panjang gelombang, λ ialah $c = f\lambda$, maka $f = \frac{c}{\lambda}$, dan

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Menyelesaikan Masalah bagi Tenaga dan Kuasa Foton

Tenaga untuk satu foton, $E = hf$

Andaikan sebanyak n foton dipancarkan dalam sesaat, maka kuasa foton, P , iaitu jumlah tenaga yang dipindahkan dalam masa sesaat ialah

$$P = nhf = \frac{nhc}{\lambda}$$

iaitu n = bilangan foton yang dipancarkan sesaat

Contoh 1

Sebuah lampu 50 W memancarkan cahaya merah dengan panjang gelombang, $\lambda = 7.0 \times 10^{-7}$ m. Berapakah bilangan foton yang dipancarkan per saat?

CUBA JAWAB



<http://bit.ly/39xzMOw>

Penyelesaian

Langkah 1:

Mengenal pasti masalah

Langkah 2:

Mengenal pasti maklumat yang diberikan

Langkah 3:

Mengenal pasti rumus yang boleh digunakan

Langkah 4:

Menyelesaikan masalah secara numerikal

1 Bilangan foton yang dipancarkan per saat, n

2 Panjang gelombang, $\lambda = 7.0 \times 10^{-7}$ m
 Kuasa, $P = 50$ W
 Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s
 Laju cahaya dalam vakum, $c = 3.00 \times 10^8$ m s⁻¹

3 $P = \frac{nhc}{\lambda}$

Maka, $n = \frac{P\lambda}{hc}$

4 $n = \frac{50 \times 7.0 \times 10^{-7}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^8}$
 $= 1.76 \times 10^{20}$ s⁻¹

Contoh 2

Sebatang pen laser merah mengeluarkan cahaya dengan panjang gelombang 670 nm. Jika bilangan foton yang terpancar ialah 3.37×10^{18} sesaat, berapakah kuasa output pen laser tersebut?

Penyelesaian

Panjang gelombang, $\lambda = 670 \text{ nm}$

$$= 6.7 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Bilangan foton yang dipancarkan sesaat, $n = 3.37 \times 10^{18} \text{ s}^{-1}$

Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Laju cahaya dalam vakum, $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

$$\begin{aligned} \text{Kuasa output pen laser, } P &= \frac{nhc}{\lambda} \\ &= \frac{(3.37 \times 10^{18})(6.63 \times 10^{-34})(3.00 \times 10^8)}{6.7 \times 10^{-7}} \\ &= 1.00 \text{ W} \end{aligned}$$

Contoh 3

Andaikan 10% daripada kuasa output mentol 100 W digunakan untuk memancarkan 2.92×10^{19} foton per saat, berapakah panjang gelombang purata cahaya tersebut dalam nm?

Penyelesaian

Kuasa output foton yang dipancarkan, $P = 10\% \times 100 \text{ W}$

$$= 10 \text{ W}$$

Bilangan foton yang dipancarkan sesaat, $n = 2.92 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$

Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

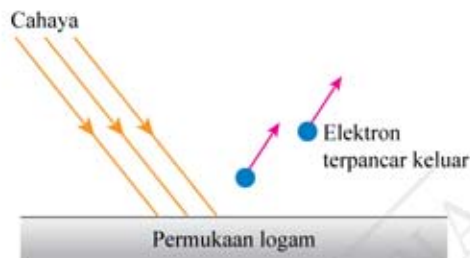
Laju cahaya dalam vakum, $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

$$\begin{aligned} \text{Panjang gelombang purata cahaya, } \lambda &= \frac{nhc}{P} \\ &= \frac{(2.92 \times 10^{19})(6.63 \times 10^{-34})(3.00 \times 10^8)}{10} \\ &= 5.81 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 581 \text{ nm} \end{aligned}$$

Praktis Formatif 7.1

- Berapakah frekuensi dan tenaga bagi satu foton dengan panjang gelombang 10 nm?
- Berapakah bilangan foton yang dipancarkan sesaat oleh lampu cahaya hijau yang berkuasa 50 W? [Frekuensi cahaya hijau, $f = 5.49 \times 10^{14} \text{ Hz}$]
- Diberi jisim elektron ialah $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$:
 - berapakah panjang gelombang de Broglie bagi satu alur elektron yang mempunyai tenaga kinetik 50 eV? 
[1 eV = $1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$]
 - namakan satu fenomena yang menunjukkan sifat gelombang bagi elektron.

Apabila suatu permukaan logam disinari oleh alur cahaya yang mempunyai frekuensi tertentu, elektron daripada logam itu dapat dipancar keluar. Fenomena ini dikenali sebagai **kesan fotoelektrik**.



Rajah 7.6 Kesan fotoelektrik

KIAK / KMK

Aktiviti 7.4

Tujuan: Mengkaji kesan fotoelektrik

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini secara berpasangan.
2. Imbas kod QR untuk melihat simulasi dan video tentang kesan fotoelektrik.
3. Berdasarkan simulasi, terangkan kesan fotoelektrik.
4. Bentangkan hasil dapatan anda.



IMBAS SAYA

Simulasi kesan fotoelektrik

<http://bit.ly/2SGY8PM>

Ciri-ciri kesan fotoelektrik boleh dikaji dengan susunan litar yang menggunakan sel foto seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.7.



IMBAS SAYA

Video demonstrasi kesan fotoelektrik

<http://bit.ly/35gQe23>

1

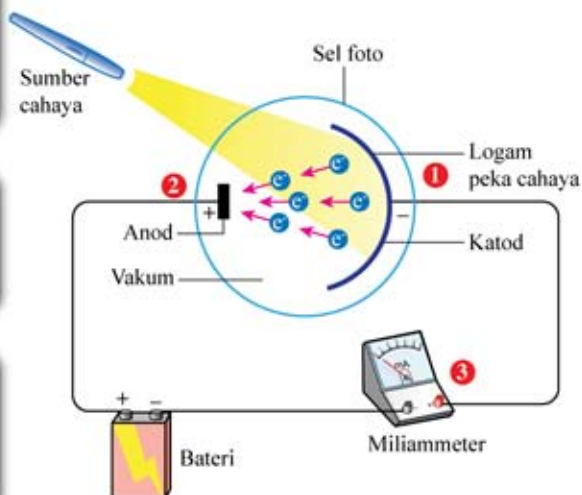
Apabila permukaan logam yang peka cahaya (katod) disinari dengan alur cahaya tertentu, elektron akan dipancarkan dari permukaan logam. Elektron ini dinamakan **fotoelektron**.

2

Fotoelektron yang terpancar itu akan ditarik ke anod yang berkeupayaan positif.

3

Pergerakan fotoelektron dari katod ke anod akan menghasilkan arus di dalam litar. Miliammeter akan menunjukkan nilai arus.



Rajah 7.7 Susunan radas yang menunjukkan kesan fotoelektrik

Rumus-rumus seperti $E = hf$ dan $\lambda = \frac{h}{p}$, melibatkan pemalar Planck, h . Bagaimanakah nilai pemalar ini dapat ditentukan di dalam makmal?

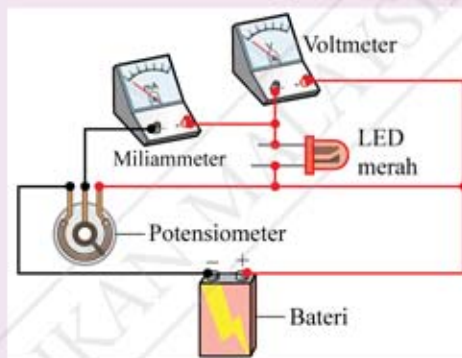
Aktiviti 7.5

Tujuan: Menentukan nilai pemalar Planck menggunakan kit pemalar Planck

Radas: Kit pemalar Planck (bateri 9 V, potensiometer 1 k Ω , LED pelbagai warna, miliammeter dan voltmeter)

Arahan:

1. Dengan menggunakan LED warna merah, sambungkan kit pemalar Planck seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.8.
2. Imbas kod QR dan cetak Jadual 7.2.
3. Laraskan tombol pada potensiometer untuk mendapatkan nilai voltan, $V = 0.2$ V. Catatkan bacaan miliammeter dalam Jadual 7.2.
4. Ulangi langkah 2 bagi nilai $V = 0.4$ V, 0.6 V, ... 3.0 V.
5. Lukiskan graf arus melawan voltan. Berdasarkan nilai pintasan graf pada paksi voltan, tentukan voltan pengaktifan, V_a bagi LED merah.
6. Ulangi langkah 3 hingga 5 menggunakan LED warna oren, hijau dan biru.



Rajah 7.8

Keputusan:

Jadual 7.2

Warna LED _____	
Voltan, V / V	Arus, I / mA
0.20	
0.40	
0.60	



IMBAS SAYA

Lembaran kerja
(Jadual 7.2)

<https://bit.ly/3my31qW>



IMBAS SAYA

Video menentukan
nilai Pemalar
Planck

<http://bit.ly/2Zlryym>

Analisis data:

1. Berdasarkan nilai voltan pengaktifan yang telah diperoleh daripada graf arus, I melawan voltan, V bagi setiap warna LED, lengkapkan Jadual 7.3.

Jadual 7.3

Warna LED	Panjang gelombang, λ / nm	Voltan pengaktifan, V_a / V	$\frac{1}{\lambda} / \text{m}^{-1}$
Merah	623		
Oren	586		
Hijau	567		
Biru	467		

2. Berdasarkan Jadual 7.3, plotkan graf V_a melawan $\frac{1}{\lambda}$.
3. Berdasarkan graf yang diplot, tentukan nilai kecerunan graf, m dan hitungkan pemalar Planck, h . Diberi:

$$h = \frac{me}{c}, \text{ iaitu } e = \text{cas satu elektron } (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})$$

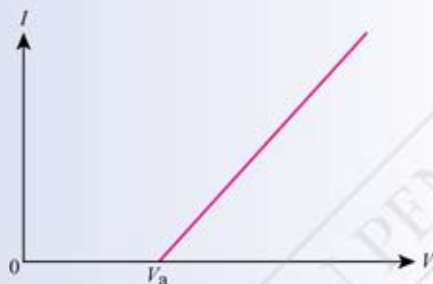
$$c = \text{laju cahaya dalam vakum } (3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})$$



Perbincangan:

Apakah hubungan antara voltan pengaktifan dengan panjang gelombang cahaya LED?

Voltan pengaktifan, V_a boleh diperoleh melalui pintasan- V daripada graf I melawan V seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.9. Voltan pengaktifan, V_a mempunyai hubungan linear dengan $\frac{1}{\lambda}$ seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.10. Kecerunan graf V_a melawan $\frac{1}{\lambda}$, m bersamaan dengan nilai $\frac{hc}{e}$. Oleh itu, nilai pemalar Planck boleh ditentukan sebagai $\frac{me}{c}$.



Rajah 7.9 Graf I melawan V



Rajah 7.10 Graf V_a melawan $\frac{1}{\lambda}$

Ciri-ciri Kesan Fotoelektrik



Aktiviti 7.6

KIAK / KMK

Tujuan: Mengumpul maklumat tentang empat ciri kesan fotoelektrik

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini dalam bentuk *Gallery Walk*.
2. Dapatkan maklumat daripada pelbagai bahan bacaan dan laman sesawang tentang empat ciri kesan fotoelektrik yang berikut:
 - (a) kesan frekuensi ke atas kesan fotoelektrik
 - (b) kewujudan frekuensi ambang
 - (c) tenaga kinetik elektron tidak bergantung pada keamatan cahaya
 - (d) fotoelektron dipancar secara serta-merta apabila disinari dengan cahaya
3. Bentangkan hasil dapatan anda.

Kesan fotoelektrik berlaku apabila cahaya menyinari permukaan suatu logam. Elektron dalam logam menyerap tenaga dari cahaya dan terlepas dari permukaan logam. Menurut teori klasik, gelombang cahaya merupakan spektrum yang mempunyai tenaga selanjut. Kesan fotoelektrik seharusnya boleh berlaku pada sebarang frekuensi gelombang cahaya. Cahaya yang terang mempunyai kandungan tenaga yang tinggi dan boleh mengeluarkan elektron dengan cepat. Cahaya yang malap pula mempunyai kandungan tenaga cahaya yang rendah, maka elektron memerlukan masa yang lebih panjang untuk menyerap tenaga yang cukup bagi membolehkannya terlepas dan keluar dari permukaan logam.

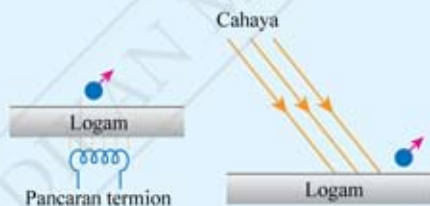
Namun, hasil eksperimen yang mengkaji kesan fotoelektrik menunjukkan bahawa pemancaran fotoelektron hanya berlaku pada frekuensi gelombang cahaya yang melebihi suatu nilai tertentu tanpa dipengaruhi oleh keamatan cahaya. Fotoelektron juga dipancarkan serta-merta pada frekuensi cahaya tersebut sungguhpun keamatan cahaya rendah.

1 Semakin tinggi frekuensi foton cahaya, semakin tinggi tenaga kinetik fotoelektron yang dipancarkan daripada permukaan logam.

2 Frekuensi minimum yang dapat mengeluarkan elektron dikenali sebagai frekuensi ambang, f_0 bagi sesuatu logam.

3 Tenaga kinetik fotoelektron tidak bergantung pada keamatan cahaya. Keamatan cahaya yang bertambah tidak menghasilkan fotoelektron yang lebih bertenaga kinetik.

4 Fotoelektron dipancar secara serta-merta apabila permukaan logam disinari dengan cahaya.



- Pengeluaran elektron dari permukaan logam melalui pancaran termion mengambil masa yang lama

- Pengeluaran elektron dari permukaan logam melalui kesan fotoelektrik berlaku secara serta-merta

Rajah 7.11 Ciri-ciri kesan fotoelektrik

Frekuensi ambang, f_0 ialah frekuensi minimum yang boleh menghasilkan kesan fotoelektrik pada satu jenis logam.

Praktis Formatif 7.2

1. Apakah yang dimaksudkan dengan kesan fotoelektrik?
2. Adakah cahaya terang akan memancarkan lebih banyak fotoelektron daripada permukaan logam berbanding dengan cahaya malap yang berfrekuensi sama?
3. Nyatakan empat ciri kesan fotoelektrik yang diperolehi secara eksperimen.
4. Mengapakah fotoelektron dipancar secara serta-merta dari permukaan logam apabila disinari dengan cahaya yang berfrekuensi tertentu?
5. Mengapakah keamatan cahaya yang bertambah tidak meningkatkan tenaga kinetik fotoelektron?

Pada tahun 1905, Albert Einstein telah mengemukakan teori fotoelektrik yang berjaya menerangkan kesemua ciri kesan fotoelektrik bagi eksperimen yang berkaitan. Beliau mendapat anugerah Hadiah Nobel pada tahun 1921 atas kejayaan ini. Teori ini dinamakan **Teori Fotoelektrik Einstein**.

Einstein mengaplikasikan idea kuantum tenaga yang dikemukakan oleh Max Planck. Beliau mencadangkan bahawa tenaga dibawa oleh zarah cahaya, iaitu foton. Tenaga setiap foton adalah berkadar terus dengan frekuensi cahaya, f dan dapat ditentukan melalui persamaan yang berikut.

$$E = hf, \text{ iaitu } h = \text{pemalar Planck } (6.63 \times 10^{-34} \text{ J s})$$

Setiap kuantum cahaya ialah paket tenaga yang diskrit. Terdapat paket-paket tenaga dalam suatu alur cahaya yang menyinari permukaan logam. Apabila satu foton tiba di permukaan logam, tenaga foton tersebut akan diserap sepenuhnya oleh elektron dalam logam tersebut. Tenaga ini digunakan untuk membebaskan elektron daripada logam dan selebihnya menjadi tenaga kinetik fotoelektron. Lazimnya, elektron pada permukaan logam akan memperoleh tenaga kinetik maksimum berbanding dengan elektron yang berada di bahagian dalam logam.

Bagi elektron yang terletak pada permukaan logam,

$$\text{tenaga foton} = \begin{array}{|l} \text{tenaga minimum yang} \\ \text{diperlukan untuk} \\ \text{membebaskan fotoelektron} \end{array} + \begin{array}{|l} \text{tenaga kinetik} \\ \text{maksimum} \\ \text{fotoelektron} \end{array}$$

$$E = W + K_{\text{maks}}$$

$$hf = W + \frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2$$

$$\frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2 = hf - W$$

Persamaan Fotoelektrik Einstein untuk kesan fotoelektrik adalah selaras dengan Prinsip Keabadian Tenaga.

Pada frekuensi ambang, f_0 , fotoelektron dikeluarkan tanpa memiliki sebarang tenaga kinetik, $\frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2 = 0$

$$\text{Maka, } 0 = hf_0 - W$$

$$W = hf_0$$

$$\text{Gantikan } W = hf_0 \text{ dalam } \frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2 = hf - W$$

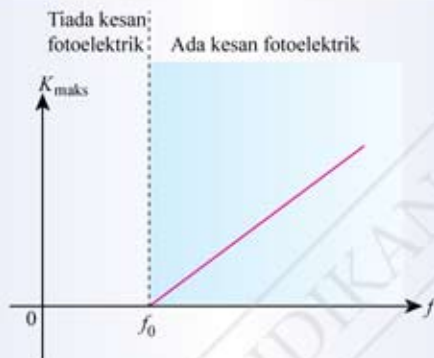
$$\frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2 = hf - hf_0$$

$$\frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2 = h(f - f_0)$$

Fungsi Kerja dan Frekuensi Ambang bagi Kesan Fotoelektrik

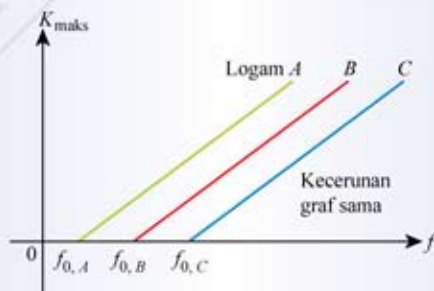
Tenaga minimum yang diperlukan untuk fotoelektron terlepas dari permukaan logam dikenali sebagai **fungsi kerja**. Frekuensi minimum foton cahaya yang menghasilkan kesan fotoelektrik dinamakan **frekuensi ambang**.

Hubungan antara tenaga kinetik maksimum fotoelektron, K_{maks} dengan frekuensi cahaya, f ditunjukkan dengan graf dalam Rajah 7.12. Graf tersebut merupakan garis lurus dengan kecerunan positif dan tidak melalui titik asalan. Nilai frekuensi ambang, f_0 ialah nilai pada pintasan paksi frekuensi.



Rajah 7.12 Graf K_{maks} melawan f

Hubungan antara fungsi kerja dan frekuensi ambang bagi suatu logam boleh ditentukan melalui hubungan $W = hf_0$. Fotoelektron akan memperoleh tenaga kinetik apabila frekuensi cahaya melebihi frekuensi ambang. Semakin tinggi frekuensi ambang sesuatu logam, semakin tinggi nilai fungsi kerja. Hal ini bermaksud tenaga minimum yang diperlukan untuk kesan fotoelektrik berlaku adalah tinggi. Logam yang berbeza mempunyai nilai frekuensi ambang yang berbeza seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.13.



Rajah 7.13 Graf K_{maks} melawan f bagi jenis logam yang berbeza



Tujuan: Memerhati frekuensi ambang bagi logam yang berbeza

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini secara berpasangan.
2. Imbas kod QR untuk memerhati simulasi komputer menggunakan cahaya ungu, biru, hijau, kuning, jingga dan merah bagi mendapatkan idea bahawa logam yang berbeza mempunyai frekuensi ambang yang berbeza.
3. Kumpulkan maklumat tentang jenis logam dan frekuensi ambang bagi setiap warna cahaya yang diperhatikan.
4. Bentangkan hasil dapatan anda.



Tujuan: Menentukan fungsi kerja logam berdasarkan rumus

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini secara berpasangan.
2. Teliti persamaan yang berikut:

Berdasarkan persamaan Einstein, $K_{\text{maks}} = hf - W$

Jika $K_{\text{maks}} = 0$ dan $f = f_0$

$$hf_0 - W = 0$$

$$\text{maka, } W = hf_0$$

3. Tentukan fungsi kerja untuk setiap jenis logam dan lengkapkan Jadual 7.4.

Jadual 7.4

Jenis logam	Frekuensi ambang, $f_0 / 10^{14} \text{ Hz}$	Fungsi kerja, $W = hf_0 / J$
Ta	1.03	
Ti	1.05	
Mo	1.11	
Au	1.23	
Pd	1.24	
Ir	1.27	
Pt	1.36	

Menyelesaikan Masalah Menggunakan Persamaan Einstein untuk Kesan Fotoelektrik

Contoh 1

Cahaya biru yang berfrekuensi 6.67×10^{14} Hz disinarkan ke atas permukaan logam cesium yang bersih. Berapakah tenaga kinetik maksimum fotoelektron yang terpancar keluar?

[Fungsi kerja cesium = 3.43×10^{-19} J, pemalar Planck = 6.63×10^{-34} J s]

CUBA JAWAB



<http://bit.ly/2QmZEVl>

Penyelesaian

Langkah 1:

Mengenal pasti masalah

Langkah 2:

Mengenal pasti maklumat yang diberikan

Langkah 3:

Mengenal pasti rumus yang boleh digunakan

Langkah 4:

Menyelesaikan masalah secara numerikal

1 Tenaga kinetik maksimum fotoelektron, K_{maks}

2 Frekuensi, $f = 6.67 \times 10^{14}$ Hz
Fungsi kerja, $W = 3.43 \times 10^{-19}$ J
Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s

3 $hf = W + K_{\text{maks}}$

4 $(6.63 \times 10^{-34})(6.67 \times 10^{14}) = 3.43 \times 10^{-19} + K_{\text{maks}}$
 $K_{\text{maks}} = 4.42 \times 10^{-19} - 3.43 \times 10^{-19}$
 $= 9.92 \times 10^{-20}$ J

Contoh 2

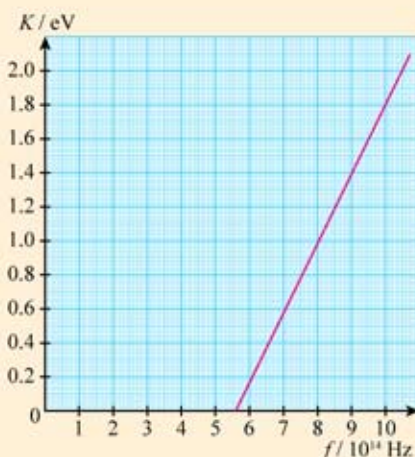
Rajah 7.14 menunjukkan graf perubahan tenaga kinetik bagi fotoelektron yang dibebaskan daripada logam litium untuk frekuensi cahaya yang berlainan. Tentukan frekuensi ambang daripada graf dan hitungkan nilai fungsi kerja bagi logam litium. [Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s]

Penyelesaian

Frekuensi ambang, $f_0 = 5.6 \times 10^{14}$ Hz

Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s

Fungsi kerja, $W = hf_0$
 $= (6.63 \times 10^{-34})(5.6 \times 10^{14})$
 $= 3.71 \times 10^{-19}$ J



Rajah 7.14

Contoh 3

Berapakah halaju maksimum fotoelektron yang terpancar keluar apabila cahaya monokromatik ($\lambda = 550 \text{ nm}$) disinarkan ke atas logam yang mempunyai fungsi kerja 2.00 eV ?

[Diberi $hc = 1.243 \times 10^3 \text{ eV nm}$, $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$, jisim elektron, $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$]

Penyelesaian

Panjang gelombang, $\lambda = 550 \text{ nm}$

Nilai $hc = 1.243 \times 10^3 \text{ eV nm}$

$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Jisim elektron, $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{1.243 \times 10^3 \text{ eV nm}}{550 \text{ nm}}$$

$$= 2.26 \text{ eV}$$

$$\text{Maka } \frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2 = 2.26 - 2.00$$

$$= 0.26 \text{ eV}$$

$$\frac{1}{2}mv_{\text{maks}}^2 = 0.26 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 4.16 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$v_{\text{maks}} = \sqrt{\frac{2 \times 4.16 \times 10^{-20}}{9.11 \times 10^{-31}}}$$

$$= 3.02 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$$

Contoh 4

Apabila sebuah sel foto disinari dengan cahaya merah ($\lambda_1 = 750 \text{ nm}$) dan kemudian disinari dengan cahaya biru ($\lambda_2 = 460 \text{ nm}$), didapati tenaga kinetik maksimum fotoelektron yang terpancar oleh cahaya biru ialah 2 kali ganda daripada cahaya merah.

(a) Berapakah fungsi kerja bahan fotoelektrik dalam sel foto tersebut?

(b) Berapakah panjang gelombang ambang bagi bahan fotoelektrik tersebut?

Penyelesaian

Panjang gelombang cahaya merah, $\lambda_1 = 750 \times 10^{-9} \text{ m}$

Panjang gelombang cahaya biru, $\lambda_2 = 460 \times 10^{-9} \text{ m}$

Tenaga kinetik maksimum fotoelektron cahaya merah, K_1

Tenaga kinetik maksimum fotoelektron cahaya biru, $2K_1$

Fungsi kerja = W

Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Laju cahaya dalam vakum, $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

$$(a) \quad hf = W + K$$

$$\frac{hc}{\lambda} = W + K$$

$$6.63 \times 10^{-34} \times \left(\frac{3.00 \times 10^8}{750 \times 10^{-9}} \right) = W + K_1$$

$$2.65 \times 10^{-19} = W + K_1 \text{ ----- (1)}$$

$$6.63 \times 10^{-34} \times \left(\frac{3.00 \times 10^8}{460 \times 10^{-9}} \right) = W + K_2$$

$$4.32 \times 10^{-19} = W + 2K_1 \text{ ----- (2)}$$

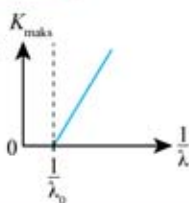
$$(1) \times 2 - (2):$$

$$2.65 \times 10^{-19} \times 2 - 4.32 \times 10^{-19} = (2W - W) + (2K_1 - 2K_1)$$

$$W = 9.80 \times 10^{-20} \text{ J}$$

Galeri MAKLUMAT

Panjang gelombang maksimum cahaya yang diperlukan oleh logam untuk memancarkan elektron dikenali sebagai panjang gelombang ambang, λ_0 bagi logam tersebut.



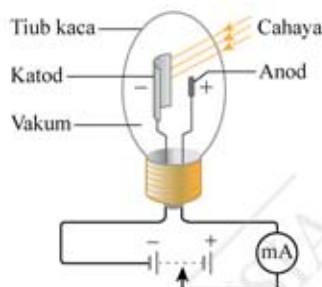
$$(b) \quad \frac{hc}{\lambda_0} = W,$$

$$\lambda_0 = 6.63 \times 10^{-34} \times \left(\frac{3.00 \times 10^8}{9.80 \times 10^{-20}} \right)$$

$$= 2.03 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Penghasilan Arus Fotoelektrik dalam Sebuah Litar Sel Foto

Rajah 7.15 menunjukkan sebuah litar sel foto yang terdiri daripada sebuah tiub kaca yang divakum. Katod yang disaluti dengan logam peka cahaya, berbentuk semisilinder dan disambungkan kepada keupayaan negatif. Anod ialah satu rod logam yang dipasang sejajar dengan paksi semisilinder katod dan disambungkan kepada keupayaan positif. Apabila sel foto disinari oleh cahaya, penghasilan arus fotoelektrik akan terhasil dalam litar. Jadual 7.5 merupakan dua contoh sel foto.



Rajah 7.15 Litar sel foto

Jadual 7.5 Penghasilan arus fotoelektrik bagi sel foto yang diselaputi bahan cesium dan litium

Cesium	Litium
Fungsi kerja cesium, $W = 2.14 \text{ eV}$	Fungsi kerja litium, $W = 2.50 \text{ eV}$
Frekuensi ambang, $f_0 = 5.16 \times 10^{14} \text{ Hz}$	Frekuensi ambang, $f_0 = 6.03 \times 10^{14} \text{ Hz}$
Panjang gelombang maksimum untuk penghasilan arus fotoelektrik, $\lambda = 579 \text{ nm}$	Panjang gelombang maksimum untuk penghasilan arus fotoelektrik, $\lambda = 496 \text{ nm}$

Secara keseluruhannya, semakin tinggi fungsi kerja logam, semakin pendek panjang gelombang maksimum yang diperlukan untuk penghasilan arus fotoelektrik. Apabila keamatan cahaya bertambah, arus fotoelektrik dalam litar sel foto turut bertambah.



Aktiviti 7.9

KIAK / KMK

Tujuan: Memerhati bagaimana arus fotoelektrik dihasilkan di dalam sel foto yang diselaputi bahan cesium melalui animasi komputer

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini secara berpasangan.
2. Imbas kod QR untuk melihat simulasi berkaitan penghasilan arus fotoelektrik dalam sel foto yang diselaputi bahan cesium.
3. Berdasarkan simulasi tersebut, terangkan cara arus fotoelektrik terhasil dalam sel foto yang diselaputi bahan cesium.
4. Bentangkan hasil dapatan anda.



IMBAS SAYA

Video animasi
penghasilan arus
fotoelektrik

<http://bit.ly/2MR2BeR>

Aplikasi Kesan Fotoelektrik

Rajah 7.16 menunjukkan contoh aplikasi kesan fotoelektrik.



Lampu LED di sepanjang jalan raya yang beroperasi dengan sel suria adalah jimat tenaga dan mesra alam. Pada waktu siang, kesan fotoelektrik sel suria membolehkan tenaga elektrik disimpan dalam bateri. Pada waktu malam, lampu LED akan menyala apabila dibekalkan kuasa daripada bateri tersebut.



Noor Complex Solar Power Plant yang terletak di Gurun Sahara merupakan sebuah stesen jana kuasa menggunakan susunan sel suria terbesar di dunia. Stesen ini dijangka siap dibina pada tahun 2020 dan mampu menghasilkan kapasiti 580 MW untuk kegunaan 1 juta penduduk.

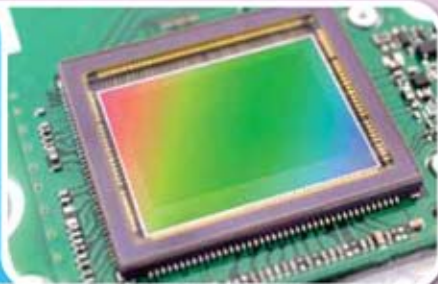


Pengesan cahaya pada pintu automatik menggunakan alur cahaya inframerah dan sel foto sebagai suis. Apabila lintasan cahaya diganggu, pengaliran arus fotoelektrik dalam litar sel foto akan terputus dan pintu akan kekal dalam keadaan terbuka.

Aplikasi Kesan Fotoelektrik

Rajah 7.16 Contoh aplikasi kesan fotoelektrik

Pengesan imej merupakan komponen utama dalam kamera resolusi tinggi. Komponen ini digunakan untuk menukarkan cahaya kepada isyarat elektrik yang boleh diproses menjadi imej digital.



Hampir semua aktiviti dalam Stesen Angkasa Antarabangsa ISS (*International Space Station*) bergantung pada sumber tenaga elektrik yang terhasil daripada panel suria. ISS mempunyai 16 sayap panel suria dan setiap panel mempunyai 33 ribu sel suria yang bersaiz $35 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Panel ini mampu menjanakan $84 - 120 \text{ kW}$ tenaga elektrik.



Aktiviti

7.10

KIAK / KMK

Tujuan: Mengumpul maklumat tentang aplikasi kesan fotoelektrik

Arahan:

1. Jalankan aktiviti ini dalam bentuk *Round Table*.
2. Anda boleh mendapatkan maklumat daripada bahan bacaan atau laman sesawang tentang aplikasi lain kesan fotoelektrik.
3. Bentangkan hasil dapatan anda dalam bentuk peta pemikiran yang sesuai.

Praktis Formatif **7.3**

1. (a) Tulis Persamaan Fotoelektrik Einstein.
(b) Nyatakan maksud:
 - (i) fungsi kerja
 - (ii) frekuensi ambang
 - (iii) hubungan antara fungsi kerja dengan frekuensi ambang
2. (a) Lakarkan satu graf untuk menunjukkan hubungan antara tenaga kinetik maksimum fotoelektron dengan frekuensi cahaya bagi satu logam.
(b) Apakah yang diwakili oleh kecerunan graf dan pintasan graf bagi graf lakaran di 2(a)?
3. Apabila sejenis logam yang mempunyai fungsi kerja $4.32 \times 10^{-19} \text{ J}$ disinari dengan cahaya ungu ($\lambda = 4 \times 10^{-7} \text{ m}$), berapakah tenaga kinetik maksimum fotoelektron yang terpancar? [Pemalar Planck, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$, laju cahaya dalam vakum, $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$]



Fizik Kuantum

Teori Kuantum Cahaya

Penjelasan spektrum jasad hitam

Max Planck

Paket tenaga diskrit, $E = hf$

gelombang bersifat zarah

Hipotesis de Broglie, $\lambda = \frac{h}{p}$

zarah bersifat gelombang

Mikroskop elektron

Kesan Fotoelektrik

- Semakin tinggi frekuensi foton cahaya, semakin tinggi tenaga kinetik fotoelektron yang dipancarkan
- Frekuensi minimum yang dapat mengeluarkan elektron ialah frekuensi ambang, f_0
- Tenaga kinetik fotoelektron tidak bergantung pada keamatan cahaya
- Pemancaran fotoelektron secara serta-merta

• Tenaga foton, $E = \frac{hc}{\lambda}$

• Kuasa, $P = nhf$

Teori Fotoelektrik Einstein

dijelaskan oleh

- Persamaan Fotoelektrik Einstein, $hf = W + \frac{1}{2}mv^2_{\text{maks}}$
- Fungsi kerja, $W = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$

Penghasilan arus fotoelektrik

aplikasi

- Sel suria
- Pengesan cahaya pintu automatik
- Pengesan imej
- Panel suria ISS



IMBAS SAYA

Muat turun dan
cetak Refleksi<http://bit.ly/37sbX8T>

- Perkara baharu yang saya pelajari dalam bab Fizik Kuantum ialah _____.
- Perkara paling menarik yang saya pelajari dalam bab ini ialah _____.
- Perkara yang saya masih kurang fahami ialah _____.
- Prestasi saya dalam bab ini.
 Kurang baik 😞

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 😊 Sangat baik
- Saya perlu _____ untuk meningkatkan prestasi saya dalam bab ini.

<http://bit.ly/2tCxETj>

Praktis Sumatif

Nilai-nilai yang boleh digunakan dalam penyelesaian:

Pemalar Plank, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Laju cahaya dalam vakum, $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Jisim elektron, $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$1.00 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$

- Nyatakan maksud bagi istilah yang berikut:
 - jasad hitam
 - kuantum tenaga
- Tenaga minimum yang diperlukan untuk fotoelektron terlepas dari permukaan logam natrium ialah 2.28 eV .
 - Adakah natrium menunjukkan kesan fotoelektrik untuk cahaya merah yang mempunyai panjang gelombang 680 nm ?
 - Berapakah panjang gelombang ambang bagi natrium? 🧠

3. Panjang gelombang spektrum garis kuning bagi natrium ialah 590 nm. Berapakah tenaga kinetik yang dimiliki oleh satu elektron yang mempunyai panjang gelombang de Broglie yang sama dengan garis kuning bagi spektrum natrium? 🍎
4. Satu alur cahaya laser dengan panjang gelombang 555 nm dan mempunyai kuasa 5.00 mW ditujukan pada satu objek tanpa pantulan. Hitungkan: 🍎
 - (a) momentum satu foton dalam alur cahaya laser itu
 - (b) bilangan foton per saat yang dikenakan oleh alur cahaya laser pada objek itu
5. Panjang gelombang de Broglie bagi satu elektron ialah 1.00 nm.
 - (a) Nyatakan hipotesis Louis de Broglie tentang sifat gelombang bagi elektron.
 - (b) Hitungkan momentum elektron itu. 🍎
 - (c) Hitungkan halaju elektron itu. 🍎
 - (d) Hitungkan tenaga kinetik elektron itu. 🍎
6. (a) Mengapakah satu rongga besar yang mempunyai satu lubang kecil boleh bertindak sebagai jasad hitam?
- (b) Suhu suatu jasad hitam ialah 4 500 K dan jasad hitam itu kelihatan kuning jingga. Perihalkan perubahan warna jasad hitam semasa jasad itu dipanaskan hingga suhu 9 000 K. 🍎
7. Gambar foto 1 menunjukkan sebuah satelit komunikasi di angkasa lepas. Satu percubaan komunikasi kuantum dilakukan dengan denyutan laser berkuasa 60 mW dan mempunyai panjang gelombang 800 nm.



Gambar foto 1

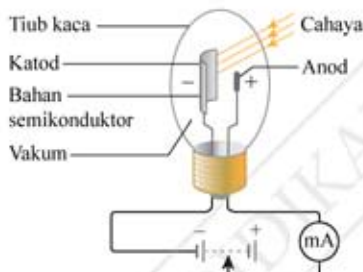
- (a) Berapakah momentum satu foton daripada denyutan laser itu? 🍎
- (b) Berapakah tenaga yang dibawa oleh satu foton? 🍎
- (c) Berapakah bilangan foton sesaat? 🍎
- (d) Berapakah jumlah momentum yang dipindahkan oleh denyutan laser itu sesaat? 🍎

8. Lengkapkan Jadual 1 dengan maklumat tentang panjang gelombang dan tenaga foton bagi beberapa komponen dalam spektrum elektromagnet.

Jadual 1

Panjang gelombang	Tenaga foton	Kawasan dalam spektrum elektromagnet
500 nm		
	50 eV	
	5.0×10^{-21} J	

9. Rajah 1 menunjukkan satu bahan semikonduktor dalam pembinaan sel foto yang boleh diaktifkan dengan panjang gelombang cahaya yang maksimum 1 110 nm.

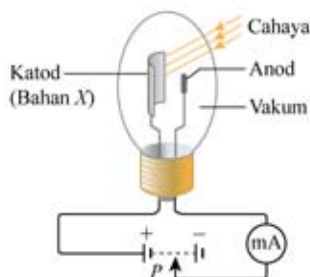


Rajah 1

- (a) Berapakah frekuensi ambang dan fungsi kerja bahan semikonduktor tersebut?
- (b) Mengapakah bahan semikonduktor tersebut kelihatan gelap dalam keadaan suhu bilik?
10. Muthu menjalankan satu eksperimen tentang sebutir pasir yang jatuh melalui satu lubang kecil. Diberi nilai jisim sebutir pasir ialah 5×10^{-10} kg, diameter pasir ialah 0.07 mm, halaju pasir yang jatuh melalui lubang ialah 0.4 m s^{-1} dan saiz lubang ialah 1 mm.
- (a) Anggarkan panjang gelombang de Broglie bagi pasir tersebut.
- (b) Adakah pasir yang jatuh akan menghasilkan corak pembelauan apabila melalui lubang kecil itu? Jelaskan jawapan anda.
11. Apabila sebuah fotodiod disinari dengan cahaya merah ($\lambda = 700 \text{ nm}$) dan cahaya biru ($\lambda = 400 \text{ nm}$), tenaga kinetik maksimum fotoelektron yang terpancar oleh cahaya biru ialah 2 kali ganda daripada cahaya merah.
- (a) Berapakah fungsi kerja bahan dalam fotodiod?
- (b) Berapakah panjang gelombang ambang bagi bahan fotodiod tersebut?
- (c) Berapakah panjang gelombang de Broglie fotoelektron yang terkeluar oleh cahaya UV ($\lambda = 131 \text{ nm}$) dari fotodiod tersebut?

Cabaran Abad ke-21

12. Amin menjalankan satu eksperimen untuk menentukan fungsi kerja dan panjang gelombang ambang bagi suatu bahan X. Susunan radas ditunjukkan dalam Rajah 2.



Rajah 2

Apabila katod yang diselaputi dengan bahan X disinari oleh alur cahaya yang mempunyai panjang gelombang, λ , fotoelektron akan dipancarkan dan bergerak menuju ke anod untuk memberi satu bacaan miliammeter. Beza keupayaan di anod dilaras menjadi negatif untuk menahan ketibaan fotoelektron yang juga bercas negatif. Jika pembahagi keupayaan, P dilaraskan sehingga beza keupayaan penahan, V_s mengakibatkan bacaan mikroammeter sifar, maka V_s merupakan satu sukatan kepada tenaga kinetik maksimum, K_{maks} fotoelektron terpancar, yang mana $K_{\text{maks}} = eV_s$. Jadual 2 menunjukkan hasil eksperimen bagi nilai λ dan V_s yang sepadan.

Jadual 2

λ / nm	V_s / V
135	7.53
172	5.59
227	3.98
278	2.92
333	2.06
400	1.43

- Daripada Persamaan Fotelektrik Einstein, terbitkan satu persamaan yang menghubungkan λ dan V_s .
- Plotkan satu graf yang sesuai untuk menentukan pemalar Planck, fungsi kerja dan panjang gelombang ambang bagi bahan X. 🧠
- Hitungkan panjang gelombang cahaya bagi penghasilan fotoelektron 10.0 eV menggunakan fungsi kerja yang ditentukan di(b). 🧠
- Berapakah panjang gelombang de Broglie bagi fotoelektron 10.0 eV tersebut? 🧠
- Mengapakah bahan X merupakan komponen kritikal dalam projek reka cipta peralatan penglihatan malam? 🧠



HANYA JAWAPAN TERPILIH DISEDIAKAN DI SINI

Bab 1 Daya dan Gerakan II

Praktis Sumatif

1. Pekerja Y perlu mengenakan daya yang membuat sudut 88.58° dengan arah daya daripada pekerja X.
2. (a) $F = 188 \text{ N}$ pada sudut 33° dengan arah daya yang dikenakan oleh P.
(b) – Kelebihan: Pokok akan tumbang pada arah daya paduan. Sudut yang besar dapat memastikan bahawa terdapat ruang yang besar di antara individu P dengan individu Q. Pokok akan tumbang ke atas tanah tanpa membahayakan individu P dan individu Q.
– Kelemahan: Sudut yang besar antara arah daya-daya menghasilkan daya paduan dengan magnitud yang lebih kecil.
(c) Arah daya paduan membuat sudut yang lebih kecil dengan arah daya oleh individu P. Pokok akan jatuh lebih dekat kepada individu P. Oleh itu, individu P perlu lebih berhati-hati.
3. $5\,493.6 \text{ N m}^{-1}$
4. Daya paduan bagi dua daya mempunyai magnitud yang paling besar apabila daya-daya itu bertindak ke atas satu objek pada arah yang sama. Jika daya 17 N dan daya 13 N bertindak pada arah yang sama, daya paduan $= 17 + 13 = 30 \text{ N}$
Daya paduan bagi dua daya mempunyai magnitud yang paling kecil apabila daya-daya itu bertindak pada arah yang bertentangan. Jika daya 17 N dan daya 13 N bertindak pada arah yang bertentangan, daya paduan $= 17 + (-13) = 4 \text{ N}$
Oleh itu, daya paduan bagi 17 N dan 13 N mempunyai magnitud antara 4 N dengan 30 N .
5. Peringkat I: Daya paduan $= 0 \text{ N}$
Peringkat II: Daya paduan $= 450 \text{ N}$, ke arah timur
Peringkat III: Daya paduan $= 0 \text{ N}$

6. (a) Komponen ufuk $= 9.83 \text{ N}$
Komponen tegak $= 6.88 \text{ N}$
(b) Komponen ufuk menggerakkan pisau ke hadapan.
Komponen tegak menekan pisau pada arah ke bawah.
7. $T = 4.0 \text{ N}$
 $S = 6.93 \text{ N}$

Bab 2 Tekanan

Praktis Sumatif

2. (a) A dan B berada pada aras yang sama di dalam cecair yang pegun.
(b) 972 kg m^{-3}
4. (a) Tekanan di titik X = tekanan atmosfera
Tekanan di titik Y = 0
(b) Oleh sebab titik X dan titik Z berada pada aras yang sama,
Tekanan di titik X = tekanan di titik Z
Tekanan di titik X = tekanan atmosfera, dan
Tekanan di titik Z = tekanan disebabkan oleh turus merkuri + 0
Tekanan atmosfera = tekanan disebabkan oleh turus merkuri
Maka, ketinggian turus merkuri, h merupakan pengukur tekanan atmosfera.
(c) $100\,862 \text{ Pa}$
6. (a) 800 N cm^{-2}
(b) Prinsip Pascal
(c) Luas keratan rentas silinder hamba $= \frac{\pi \times 2.5^2}{4} = 4.91 \text{ cm}^2$
Daya membrek $= 3\,928 \text{ N}$
7. Jisim bongkah kayu $= 2.98 \text{ kg}$
Berat bongkah kayu $= 29.23 \text{ N}$
Daya apungan $= 31.78 \text{ N}$
Daya apungan $>$ Berat bongkah
Terdapat daya paduan ke atas
Bongkah bergerak ke atas dengan suatu pecutan

Bab 3 Elektrik

Praktis Sumatif

1. – Lampu filamen memerlukan rintangan yang tinggi untuk menghasilkan cahaya.
– Filamen bergelung menyebabkan panjang dawai bertambah.
– Rintangan berkadar secara terus dengan panjang dawai.
– Semakin panjang dawai filamen, semakin tinggi rintangan.
– Semakin tinggi rintangan, semakin bertambah kecerahan lampu.
2. (a) (i) 4.5Ω
(ii) 1.33 A
(iii) 3.99 V
(b) Mentol X menyala lebih cerah berbanding dengan mentol Y dan mentol Z. Mentol Y menyala dengan kecerahan yang sama dengan mentol Z.
(c) (i) 6Ω
(ii) 1.0 A
(iii) 3 V
(d) Mentol X menyala dengan kecerahan yang sama dengan mentol Y. Mentol Z tidak menyala.
3. (a) Daya gerak elektrik (d.g.e.) ialah tenaga yang dibekalkan atau kerja yang dilakukan oleh satu sumber tenaga elektrik untuk menggerakkan satu coulomb cas dalam satu litar lengkap.

Bab 4 Keelektromagnetan

Praktis Sumatif

2. Jari telunjuk: Arah medan magnet
Jari tengah: Arah arus
Ibu jari: Arah daya



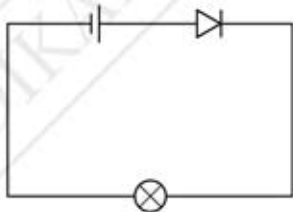
3. (a) Arus aruhan ialah arus yang dihasilkan dalam suatu konduktor apabila terdapat gerakan relatif antara konduktor itu dengan sebuah magnet yang menyebabkan konduktor itu memotong garis-garis medan magnet.
(b) X: kutub utara
Y: kutub selatan

- (c) Rajah (a): Arah gerakan magnet ke kiri
Rajah (b): Arah gerakan magnet ke kanan
- (d) Tambah bilangan lilitan solenoid
Tambah laju gerakan magnet

4. $I_s = 7.2 \text{ A}$
Kehilangan tenaga daripada transformer itu boleh diabaikan, iaitu transformer itu unggul.
7. (a) 2.5 A
(b) Transformer itu unggul
8. 60.00%
– Gunakan teras besi lembut berlaminasi
– Lilitkan gegelung sekunder di atas gegelung primer

Bab 5 Elektronik

Praktis Sumatif

1. (a) 
(b) Arus tidak dapat mengalir kerana diod dalam keadaan pincang songsang.

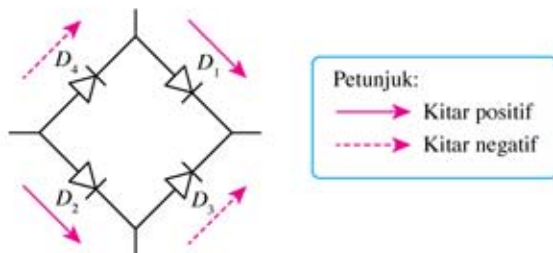
2. (a)



- (b)



3. (a)



- (c) Rektifikasi gelombang separuh akan berlaku.

4. (b) Dalam keadaan cerah, rintangan LDR adalah rendah. Oleh itu, voltan merentasi LDR berkurang tetapi voltan merentasi R meningkat. I_B adalah rendah dan transistor dimatikan. I_C akan menjadi rendah dan LED tidak akan menyala.
- (c) Gantikan LED dengan penggera, perintang R dengan termistor dan LDR dengan perintang.

Bab 6 Fizik Nuklear

Praktis Sumatif

1. (a) Reputan radioaktif ialah proses rawak dan spontan di mana nukleus yang tidak stabil akan mereput dengan memancarkan sinaran radioaktif untuk menjadi nukleus yang lebih stabil.
- (b) Separuh hayat, $T_{1/2}$ ialah masa yang diambil untuk separuh daripada bilangan asal nukleus radioaktif bagi suatu sampel radioaktif mereput.
- (c) Tenaga nuklear ialah tenaga yang terhasil daripada tindak balas dalam nukleus atom.
2. (a) X ialah nukleus helium atau zarah α , Y ialah sinar γ
- (b) Tiga zarah α dan dua zarah β dibebaskan
3. (a) 11.2 s
- (b) $n = 5$
maka selepas $5T_{1/2}$, hanya 3.125% sampel yang tertinggal.
4. (a) Sampel A lebih tua. Nisbah uranium-238 terhadap plumbum-206 adalah lebih kecil.
- (b) Jika semasa pembentukan batu-batuan, hanya uranium-238 terperangkap, maka batu-batuan yang tertua di Bumi berusia kira-kira 4.28 bilion tahun. Separuh hayat uranium-238 ialah 4.5 bilion tahun. Oleh itu, proses reputan uranium-238 dalam sampel batu-batuan belum cukup satu separuh hayat. Ini menyebabkan, kurang daripada setengah nukleus dalam sampel batu-batuan mereput menjadi plumbum-206. Dengan ini, komposisi nukleus plumbum tidak mungkin lebih banyak berbanding dengan nukleus uranium dalam sampel batu-batuan purba.
6. (a) Pelakuran nukleus
 $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + \text{tenaga}$
- (b) $2.82 \times 10^{-12} \text{ J}$
8. (a) Tindak balas berantai pembedilan neutron ke atas nukleus uranium-235 menghasilkan jumlah tenaga nuklear yang besar dalam reaktor.

- (b) Tenaga haba mendidihkan air sejuk. Stim pada tekanan tinggi mampu memutarakan turbin dengan kelajuan yang amat tinggi.
- (c) Putaran turbin dapat menghidupkan dinamo untuk menghasilkan tenaga elektrik melalui proses aruhan elektromagnet.

Bab 7 Fizik Kuantum

Praktis Sumatif

1. (a) Jasad hitam merupakan suatu jasad ungul yang berupaya menyerap semua sinaran elektromagnet yang jatuh padanya.
- (b) Kuantum tenaga ialah paket tenaga yang diskrit dan bukan tenaga yang selanjut.
2. (a) Fungsi kerja bagi logam natrium
 $= 3.65 \times 10^{-19} \text{ J}$
Tenaga foton cahaya merah
 $= 2.93 \times 10^{-19} \text{ J}$
Kesan fotoelektrik tidak berlaku kerana tenaga cahaya merah lebih kecil daripada fungsi kerja bagi logam natrium.
- (b) 545 nm
3. $6.93 \times 10^{-25} \text{ J}$
4. (a) $1.19 \times 10^{-27} \text{ kg m s}^{-1}$
- (b) $1.40 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$
5. (a) Louis de Broglie membuat hipotesis bahawa zarah seperti elektron boleh bersifat gelombang.
Panjang gelombang de Broglie, $\lambda_e = \frac{h}{p}$
 p ialah momentum elektron
- (d) $2.41 \times 10^{-19} \text{ J}$
6. (a) Sinaran yang memasuki rongga yang luas mengalami pantulan berulang-ulang pada dinding dalam rongga. Pada setiap tempat pantulan, sebahagian sinaran diserap oleh dinding dalam rongga. Pantulan berulang-ulang terjadi secara berterusan sehingga kesemua sinaran itu diserap dan tiada pantulan yang keluar daripada rongga. Maka, rongga itu bertindak sebagai jasad hitam.
7. (a) $8.29 \times 10^{-28} \text{ kg m s}^{-1}$
- (b) $2.49 \times 10^{-19} \text{ J}$
- (c) $2.41 \times 10^{17} \text{ s}^{-1}$

Glosari

Aruhan elektromagnet

Penghasilan d.g.e. aruhan merentasi suatu konduktor apabila terdapat gerakan relatif antara konduktor itu dengan suatu medan magnet atau apabila konduktor itu berada di dalam medan magnet yang berubah

Daya apungan

Daya yang bertindak ke atas apabila terdapat perbezaan tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah suatu objek yang terendam di dalam suatu cecair

Daya gerak elektrik (d.g.e.)

Tenaga yang dibekalkan atau kerja yang dilakukan oleh satu sumber elektrik untuk menggerakkan satu coulomb cas dalam satu litar lengkap

Daya paduan

Daya tunggal yang mewakili jumlah secara vektor dua atau lebih daya yang bertindak ke atas sesuatu objek

Diod semikonduktor

Komponen elektronik yang membenarkan arus elektrik mengalir dalam satu arah tertentu sahaja

Frekuensi ambang

Frekuensi minimum foton cahaya yang menghasilkan kesan fotoelektrik

Fungsi kerja

Tenaga minimum yang diperlukan untuk fotoelektron terlepas dari permukaan logam

Jasad hitam

Suatu jasad unggul yang berupaya menyerap semua sinaran elektromagnet yang jatuh padanya

Kekenyalan

Sifat bahan yang membolehkan suatu objek kembali kepada bentuk dan saiz asalnya selepas daya yang bertindak ke atasnya dialihkan

Keseimbangan daya

Apabila daya-daya yang bertindak ke atas suatu objek menghasilkan daya paduan sifar

Leraian daya

Proses meleraikan satu daya tunggal kepada komponen-komponen daya

Medan elektrik

Kawasan sekitar suatu zarah bercas di mana sebarang cas elektrik yang berada dalam kawasan tersebut akan mengalami daya elektrik

Medan lastik

Medan magnet paduan yang dihasilkan oleh interaksi antara medan magnet daripada konduktor pembawa arus dengan medan magnet daripada magnet kekal

Pancaran termion

Pemancaran elektron bebas daripada permukaan logam yang dipanaskan

Pelakuran nukleus

Tindak balas nuklear apabila nukleus yang kecil dan ringan bercantum untuk membentuk satu nukleus yang berat dengan membebaskan tenaga yang banyak

Pembelahan nukleus

Tindak balas nuklear apabila satu nukleus yang berat membelah menjadi dua atau lebih nukleus yang lebih ringan dengan membebaskan tenaga yang banyak

Separuh hayat

Masa yang diambil untuk separuh daripada bilangan asal nukleus radioaktif bagi suatu sampel radioaktif mereput

Tekanan atmosfera

Tekanan yang disebabkan oleh berat lapisan udara yang bertindak ke atas permukaan bumi

Tenaga nuklear

Tenaga atom yang dibebaskan semasa tindak balas nuklear seperti reputan radioaktif, pembelahan nukleus dan pelakuran nukleus

Transformer unggul

Transformer yang tidak mengalami kehilangan tenaga, iaitu kecekapannya, η ialah 100%