

MODUL II

FISIKA MODERN

EFEK FOTOLISTRIK

Tujuan Instruksional Umum:

- Mahasiswa dapat menjelaskan tentang Efek Fotolistrik

Tujuan Instruksional Khusus :

- Dapat menjelaskan tentang energi fotoelektron
- Dapat menjelaskan tentang energi kuantum

Buku Rujukkan :

1. Giancoli Physics
2. Kane & Sterheim Physics 3rd Edition
3. Sears & Zemanky University
4. Johanes Surya Olimpiade Fisika

2.1 Efek fotolistrik

Energi elektron yang dibebaskan cahaya bergantung pada frekuensi cahaya itu.

Dalam eksperimennya, Hertz memperhatikan bahwa pada celah transmiter bila cahaya ultraungu diarahkan pada salah satu bola logamnya. Ia tidak melanjutkan percobaan tersebut, tetapi ahli fisika lainnya meneruskan eksperimen tersebut tetapi ahli fisika lainnya meneruskan eksperimen tersebut. Mereka menemukan bahwa penyebabnya adalah elektron yang terpancar bila frekuensi cahaya cukup tinggi. Gejala ini dikenal dengan sebagai efek fotolistrik. Ini merupakan salah satu ironi sejarah bahwa kerja yang sama untuk menampilkan cahaya itu sendiri dari gelombang elektromagnetik, juga dijelaskan bahwa petunjuk sebelumnya bukanlah merupakan cerita keseluruhan.

Gambar 2.1 memberi ilustrasi jenis alat yang dipakai dalam eksperimen serupa itu. Tabung yang divakumkan berisi dua elektrode yang dihubungkan dengan rangkaian eksternal seperti terlihat pada gambar, dengan keping logam yang permukaannya mengalami radiasi yang dipakai sebagai anode. Sebagian dari fotoelektron yang muncul dari permukaan mengalami radiasi mempunyai energi yang cukup untuk mencapai katode walaupun muatan negatif, dan elektron serupa itu membentuk arus yang dapat diukur oleh ammeter dalam rangkaian itu. Ketika potensial perintang V ditambah, lebih sedikit elektron mencapai katode dan arusnya menurun. Akhirnya, ketika V sama dengan atau melebihi suatu harga V_0 yang besarnya dalam orde beberapa volt, tidak ada elektron yang mencapai katode dan arusnya terhenti.

Gambar 2.1 Pengamatan eksperimental efek fotolistrik

Terdapatnya efek fotolistrik tidak mengherankan, kita ingat bahwa gelombang cahaya membawa energi, dan sebagian energi diserap oleh logam dapat terkonsentrasi pada elektron tertentu dan muncul kembali sebagai energi kinetik. Jika kita memeriksa data yang ada lebih teliti, kita akan mendapatkan bahwa efek fotolistrik tidak dapat ditafsirkan sedemikian sederhana. Salah satu sifat yang khususnya menimbulkan pertanyaan pengamat ialah distribusi energi elektron yang dipancarkan (yang disebut fotoelektron), ternyata tak bergantung dari intensitas cahaya. Berkas cahaya yang kuat menghasilkan fotoelektron lebih banyak daripada berkas yang lemah yang berfrekuensi sama, tetapi energi elektron rata-rata sama saja Gambar .2.2 . Dan juga dalam batas ketelitian eksperimen (sekitar 10^{-9} s), tak terdapat kelambatan waktu antara datangnya cahaya pada permukaan logam dan terpencarnya elektron. Pengamatan serupa itu tidak dapat dimengerti dengan memakai teori elektromagnetik cahaya.

Gambar 2.2 Arus fotoelektron sebanding dengan intensitas cahaya untuk semua tegangan perintang .
Pemadaman voltase f_0 adalah sama untuk semua intensitas cahaya dari frekuensi yang diberikan f

Gambar 2.3 Tegangan penghenti V_0 bergantung dari frekuensi f dari cahaya. Bila tegangan perintang $V=0$, arus fotolistrik sama untuk cahaya yang berintensitas sama tak bergantung dari frekuensinya.

Gambar 2.4. Energi Kinetik fotolistrik maksimum K_{maks} terhadap frekuensi cahaya datang untuk tiga permukaan logam.

Mari kita tinjau cahaya yang jatuh pada permukaan zat natrium dalam peralatan seperti pada Gambar 2.1 Arus fotolistrik terdeteksi jika energi elektromagnetik 10^{-6} W/m^2 , terserap oleh permukaan. Sekitar 10^{19} atom terdapat pada lapisan natrium setebal 1 atom yang luasnya $1 m^2$, sehingga jika kita anggap cahaya datang diserap pada lapisan teratas dari atom-atom natrium, masing-masing atom akan menerima energi rata-rata dengan laju 10^{-25} W. Pada laju ini $1,6 \times 10^6$ s sekitar 2 minggu diperlukan oleh sebuah atom untuk mengumpulkan sekitar 1 eV energi yang biasa dimiliki fotoelektron, dan jika kita memasukkan beberapa elektrovolt yang diperlukan untuk menarik elektron ke luar permukaan natrium, waktu yang diperlukan menjadi sekitar 2 bulan. Dalam waktu maksimum yang diperbolehkan 10^{-9} s, teori elektromagnetik menyatakan bahwa atom natrium rata-rata hanya mengumpulkan 10^{-15} eV untuk diberikan pada satu elektronnya.

Sama anehnya bila dipandang dari teori gelombang ialah fakta bahwa energi fotoelektron bergantung pada frekuensi cahaya yang dipakai (gambar 2.3). Pada frekuensi di bawah frekuensi kritis yang merupakan karakteristik dari masing-

masing logam, tidak terdapat elektron apapun yang dipancarkan. Di atas frekuensi ambang ini fotoelektron mempunyai selang energi dari 0 sampai satu harga maksimum tertentu, dan harga maksimum ini bertambah secara linier terhadap frekuensi. Frekuensi yang lebih tinggi menghasilkan energi fotoelektron maksimum yang tinggi pula. Jadi cahaya biru yang lemah menimbulkan elektron dengan energi lebih tinggi dari yang ditimbulkan oleh cahaya merah yang kuat, walaupun cahaya merah menghasilkan jumlah yang lebih besar.

Gambar 2.4 merupakan plot energi fotoelektron maksimum K_{maks} terhadap frekuensi f dari cahaya yang datang untuk beberapa eksperimen. Jelaslah bahwa hubungan antara K_{maks} dan frekuensi f mengandung tetapan perbandingan yang dapat dinyatakan dalam bentuk.

$$K_{maks} = h(f - f_0) = hf - hf_0$$

Disini f_0 menyatakan frekuensi ambang, di bawah frekuensi tersebut tidak terdapat pancaran foto dan h menyatakan tetapan. Penting untuk diperhatikan harga h adalah $6,626 \times 10^{-34}$ J.s selalu sama, walaupun f_0 berubah untuk logam yang berlainan disinari.

2.2. TEORI KUNTUM CAHAYA

Cahaya dengan frekuensi tertentu terdiri dari foton yang energinya berbanding lurus dengan frekuensi itu.

Teori elektromagnetik cahaya dapat menerangkan dengan baik banyak sekali gejala, sehingga teori tertentu itu mengandung kebenaran. Namun, teori yang berdasarkan kokoh ini tidak cocok untuk menerangkan efek fotolistrik. Dalam tahun 1905 Einstein menemukan bahwa paradok yang timbul dalam efek fotolistrik dapat dimengerti

hanya dengan memasukkan pengertian radikal yang pernah diusulkan lima tahun sebelumnya oleh ahli fisika teoritis Jerman Max Planck.

Ketika itu Planck menerangkan radiasi karakteristik yang dipancarkan oleh benda mampat. Kita mengenal pijaran dari sepotong logam yang menimbulkan cahaya tampak, tetapi panjang gelombang lain yang tak terlihat mata juga terdapat. Sebuah benda tidak perlu sangat panas untuk bisa memancarkan gelombang elektromagnetik semua benda memancarkan energi seperti itu secara kontinu tidak peduli berapa temperaturnya. Pada temperatur kamar sebagai besar radiasinya terdapat inframerah dari spektrum, sehingga tidak terlihat.

(Radiasi yang dipancarkan setiap benda yang mana frekuensi dominan tergantung pada temperaturnya).

Sifat yang dapat diamati dari radiasi benda hitam ini penamaan serupa itu akan dikemukakan alasannya dalam bab selanjutnya, disitu pembahasan lengkap persoalan dan pemecahan diberikan tidak dapat diterangkan berdasarkan prinsip fisis yang dapat diterima pada waktu itu. Planck dapat menurunkan rumus yang dapat menerangkan radiasi spektrum ini (yaitu kecerahan relatif dari berbagai panjang gelombang yang terdapat) sebagai fungsi dari temperatur dari benda yang meradiasikannya kalau ia menganggap bahwa radiasi yang dipancarkan secara takkontinu (diskontinu), dipancarkan dalam catuan kecil, suatu anggapan yang sangat asing dalam teori elektromagnetik.

(Radiasi benda hitam dipancarkan dalam catuan yang disebut kuantum).

Planck mendapatkan bahwa kuantum yang berpautan dengan frekuensi tertentu f dari cahaya, semuanya harus berenergi sama dan bahwa energi ini E berbanding lurus dengan f . Jadi

Energi kuantum $E = hf$

$$\text{Energi kuantum} = (\text{Tetapan Planck})(\text{Frekuensi})$$

Kuantitas h , pada waktu itu disebut *tetapan Planck*, berharga

Tetapan Planck $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

(Foton adalah kuantum cahaya).

Ketika ia harus menganggap bahwa energi elektromagnetik yang diradiasikan oleh benda timbul secara terputus-putus, Planck tidak pernah menyangsikan bahwa penjarannya melalui ruang merupakan gelombang elektromagnetik yang kontinu. Einstein mengusulkan bukan saja cahaya dipancarkan menurut suatu kuantum pada suatu saat, tetapi juga menjalar menurut kuantum individual; anggapan yang lebih berlawanan dengan fisika klasik.

(Foton dan efek fotolistrik).

Menurut hipotesis ini efek fotolistrik dapat diterangkan dengan mudah. Rumusan empiris persamaan dapat ditulis ;

$$hf = K_{maks} + hf_0$$

menurut Einstein tiga suku dalam persamaan dapat ditafsirkan sebagai berikut

hf = energi dari masing-masing kuantum cahaya datang

K_{maks} = energi fotoelektron maksimum

hf_0 = energi minimum yang diperlukan untuk sebuah elektron dari permukaan logam yang disinari.

Harus ada energi minimum yang diperlukan oleh elektron untuk melepaskan diri dari permukaan logam, jika tidak demikian, tentu elektron akan terlepas walaupun tidak ada cahaya yang datang (gambar 2.5). Energi hf_0 merupakan karakteristik dari permukaan itu yang disebut fungsi kerja. jadi persamaan diatas menyatakan bahwa

Energi kuantum = energi elektron maksimum + fungsi kerja permukaan

Lambang ϕ sering digunakan untuk fungsi kerja .

Ada beberapa alasan yang memungkinkan mengapa tidak semua fotoelektron mempunyai energi yang sama sekalipun frekuensi cahaya yang digunakan. Misalnya, tidak semua energi foton hf bisa diberikan pada sebuah elektron. Dan suatu elektron mungkin akan hilang dari energi awalnya dalam intraksinya dengan elektron lainnya di dalam logam sebelum ia lenyap dari permukaan.

Gambar 2.5 Jika energi $h\nu_0$ (fungsi kerja permukaan) diperlukan untuk membebaskan elektron dari permukaan logam, maka energi kinetik elektron yang maksimum menjadi $hf - h\nu_0$ bila cahaya dengan frekuensi f jatuh pada permukaan.

Beberapa contoh fungsi kerja fotolistrik terlihat dalam tabel 2.1 Untuk melepaskan elektron dari permukaan logam biasanya memerlukan separuh dari energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari atom bebas dari logam yang bersangkutan . sebagai contoh, energi ionisasi cesium ialah 3,9 eV dibandingkan dengan fungsi kerjanya $7,5 \times 10^{14}$ Hz yang bersesuaian dengan energi kuantum 1,7 hingga 3,3 eV, jelaslah dari tabel 2.1 bahwa efek fotolistrik ialah suatu gejala yang terjadi dalam daerah cahaya tampak dan ultraungu.

Seperti telah kita lihat, foton cahaya berfrekuensi f berenergi hf . Untuk bisa menyatakan hf dalam elektronvolt(eV) kita ingat kembali bahwa

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Tabel 2.1 Fungsi Kerja Fotolistrik

Logam	Lambang	Fungsi kerja
Cesium	Cs	1,9
Kalium	K	2,2
Natrium	Na	2,3
Lithium	Li	2,5
Kalsium	Ca	3,2
Tembaga	Cu	4,5
Perak	Ag	4,7
Platina	Pt	5,6

Jadi rumus

$$E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{11,6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \times f$$

$$= 4,14 \times 10^{-15} \text{ feV.s}$$

Energi foton

Memperbolehkan kita untuk mencari energi foton berfrekuensi f langsung dalam elektrovolt. Jika diberikan panjang gelombang λ sebagai ganti f , maka karena

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Kita dapatkan.
$$E = \frac{(4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$$

$$= \frac{1,24 \times 10^{-6} \text{ eV.m}}{\lambda}$$

kesahihan penafsiran Einstein mengenai fotolistrik diteguhkan dengan telah mengenai emisi termionik. Telah lama diketahui bahwa adanya benda panas menambah konduktivitas listrik yang ada disekelilingnya, dan menjelang abad kesembilan belas penyebab gejala tersebut ditemukan yaitu emisi elektron dari benda panas itu. Emisi

termionik memungkinkan bekerjanya piranti seperti tabung gambar televisi yang di dalamnya terdapat filamen logam atau katoda berlapisan khusus yang ada pada temperatur tinggi menyajikan arus elektron yang rapat.

Jelaslah bahwa elektron yang dipancarkan memperoleh energi dari agitasi termal partikel pada logam, dan dapat diharapkan bahwa elektron harus mendapat energi minimum tertentu supaya dapat lepas. Energi minimum ini dapat ditentukan untuk berbagai permukaan dan selalu berdeakatan dengan fungsi kerja fotolistrik untuk permukaan yang sama. Dalam emisi fotolistrik, foton cahaya menyediakan energi yang diperlukan elektron untuk lepas, sedang dalam emisi termionik kalorlah yang menyediakannya: dalam kedua kasus itu proses fisis yang bersangkutan dengan timbulnya elektron dari permukaan logam adalah sama.