

SIFAT PARTIKEL DARI GELOMBANG

Di ajukan untuk memenuhi tugas kelompok mata kuliah Fisika Modern

Dosen Pengampu : Diah Mulhayatiah, M.Pd



Di susun oleh:

- Mochamad Haris A
- Mochamad Ramli Azhari
- Fahmi Ubaidillah
- Siti Munibah Zahra
- Siti Nurazizah
- Siti Nurhasanah
- Siti Robiatus Sadiyah

**PRODI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG
2014**

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT, shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW. Berkat limpahan dan rahmat-Nya penyusun mampu menyelesaikan tugas makalah ini guna memenuhi salah satu tugas mata kuliah Fisika Modern, dan lebih lanjut semoga makalah ini dapat memberi manfaat serta menambah pengetahuan.

Dalam penyusunan tugas atau materi ini, tidak sedikit hambatan yang penulis hadapi. Namun, penulis menyadari bahwa kelancaran dalam penyusunan materi ini tidak lain berkat bantuan, dorongan, dan bimbingan dosen mata kuliah Fisika Modern, sehingga kendala-kendala yang penulis hadapi teratasi.

Makalah ini disusun agar pembaca dapat mengetahui materi mengenai Sifat Partikel dari Gelombang, yang kami sajikan berdasarkan pengetahuan dari berbagai sumber informasi serta referensi. Makalah ini di susun oleh penyusun dengan berbagai rintangan, baik itu yang datang dari diri penyusun maupun yang datang dari luar. Namun, dengan penuh kesabaran dan terutama pertolongan dari Allah akhirnya makalah ini dapat terselesaikan.

Semoga makalah ini dapat memberikan wawasan yang lebih luas dan menjadi sumbangan pemikiran kepada pembaca khususnya para mahasiswa fisika. Penulis menyadari bahwa makalah ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Untuk itu, kepada dosen pembimbing penulis meminta masukannya demi perbaikan pembuatan makalah di masa yang akan datang dan mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca.

Bandung, 12 Februari 2014

Penyusun

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	2
DAFTAR ISI	3
BAB I PENDAHULUAN	4
A. Latar Belakang.....	4
B. Tujuan.....	5
BAB II PEMBAHASAN.....	6
A. Efek Fotolistrik.....	6
B. Teori Kuantum Cahaya.....	10
C. Dualitas Partikel-Gelombang	13
D. Sinar-X	17
E. Difraksi Sinar-X	
F. Efek Compton.....	
G. Produksi Pasangan.....	
H. Foton dan Gravitasi.....	
BAB III PENUTUP	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada fisika klasik kita memandang electron, proton dan neutron sebagai partikel, sedangkan radiasi elektromagnetik, cahaya sinar x dan sinar g dipandang sebagai gelombang. Sebenarnya sifat gelombang dan sifat partikel merupakan suatu sifat yang berkaitan satu sama lain yang hanya bergantung pada jenis eksperimen yang di amati, berarti pada suatu keadaan tertentu partikel dapat berkelakuan seperti gelombang, sedangkan dalam keadaan tertentu lainnya gelombang dapat berkelakuan sebagai partikel, jadi terdapat sifat dualisme dari partikel dan gelombang.

Pada abad ke-17 Newton mengenalkan korpuskular (Corpuskular theory) yang menganggap cahaya terdiri dari partikel-partikel yang yang dipancarkan oleh suatu sumber. Sebaliknya teori gelombang dari Huygen menyatakan bahwa cahaya terdiri dari gelombang-gelombang. Eksperimen yang menunjang untuk teory Huygen yaitu (a) Eksperimen Young yang menunjukkan gejala difraksi dan interferensi hanya dapat diterangkan dengan teory gelombang cahaya (b) Persamaan-persamaan dari Maxwell tentang medan elektromagnetik (c) Percobaan Herzt (1887) yang membuktikan bahwa energy elektromagnetik (yang meliputi cahaya) mengalir secara kontinu dan terdiri dari gelombang-gelombang.

Pada abad ke-20 terdapat beberapa eksperimen fisika yang tidak dapat diterangkan dengan teori gelombang tapi dapat dijelaskan dengan memakai teori korpuskular dari Newton diantaranya gejala fisika tersebut adalah: Spektrum radiasi dari benda hitam; efek fotolistrik; spectrum dari sinar x; Hamburan Compton. Untuk selanjutnya kita misalkan bahwa aliran dari energy radiasi elektromagnetik tidak lagi kontinu, tetapi dalam bentuk berkas-berkas energy yang diskrit disebut foton, karena dengan asumsi ini gejala-gejala di atas lebih mudah dijelaskan.

B. Tujuan

Makalah ini dibuat dengan tujuan agar para pembaca dapat lebih memahami materi-materi dalam mata kuliah Fisika Modern khususnya mengenai Sifat Partikel dari gelombang yang diantaranya membahas tentang efek fotolistrik, Teori Kuantum cahaya, Dualitas partikel-gelombang, Sinar-X, Difraksi sinar-X, Efek Compton, Produksi pasangan, Foton dan Gravitasi.

BAB II PEMBAHASAN

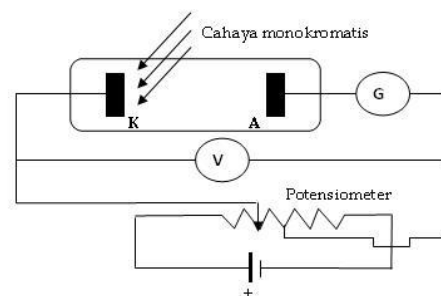
A. Efek Fotolistrik

a. Penjelasan

Efek fotolistrik adalah suatu gejala terlepasnya elektron karena frekuensi foton lebih dari frekuensi logam yang dikenai cahaya. Untuk melepaskan elektron diperlukan sejumlah tenaga. $eV = hf - \Phi$.

Dalam permulaan abad ke-20 serangkaian eksperimen menyatakan bahwa electron dipancarkan dari permukaan logam jika cahaya yang frekuensinya cukup tinggi jatuh pada permukaan itu (diperlukan cahaya ultraviolet untuk hampir semua logam kecuali logam alkali). Gejala ini dikenal sebagai efek fotolistrik. Gambar 2.1 memberi ilustrasi jenis alat yang dipakai dalam eksperimen serupa itu. Tabung yang divakumkan berisi dua electrode yang dihubungkan dengan rangkaian eksternal seperti terlihat skemanya dalam gambar, dengan keping logam yang permukaannya mengalami iradiasi dipakai sebagai anode. Sebagian dari elektrofoto yang muncul dari permukaan yang mengalami iradiasi mempunyai energy yang cukup untuk mencapai katode walaupun muatannya negative, dan electron serupa itu membentuk arus yang dapat di ukur oleh ammeter dalam rangkaian itu. Ketika potensial perintang V ditambah, lebih sedikit electron yang mencapai katode dan arusnya menurun. Akhirnya, ketika V sama dengan atau melebihi suatu harga ϕ_0 yang besarnya dalam orde beberapa volt, tidak ada electron yang mencapai katode dan arusnya terhenti.

Terdapatnya efek fotolistrik tidak mengherankan, kita ingat bahwa gelombang cahaya membawa energy, dan sebagian energy yang diserap oleh logam dapat terkonsentrasi pada electron tertentu dan muncul kembali sebagai energy kinetic.



Gambar 2. 1 Pengamatan Eksperimental efek fotolistrik

Jika kita memeriksa lebih teliti kita akan mendapatkan bahwa efek fotolistrik tidak dapat ditafsirkan sedemikian sederhana.

Peralatan untuk mengamati efek foto elektrik. Cahaya yang menyinari permukaan logam (katoda) menyebabkan electron terpelempar keluar. Ketika electron bergerak menuju anoda, pada rangkaian luar terjadi arus elektrik yang diukur dengan ammeter A.

Salah satu sifat yang khususnya menimbulkan pertanyaan pengamat ialah distribusi energy electron yang dipancarkan (yang disebut fotoelektron), ternyata tak bergantung dari intensitas cahaya. Berkas cahaya yang kuat menghasilkan foto electron lebih banyak dari pada berkas cahaya yang lemah yang berfrekuensi sama, tetapi energy electron 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 terpancarnya electron. Pengamatan serupa itu tidak dapat dimengerti dengan memakai teori elektromagnetik cahaya.

Marilah kita tinjau cahaya yang jatuh pada permukaan zat natrium dengan peralatan seperti pada gambar 2.1. arus fotolistrik terdeteksi jika energy elektromagnetik 10^{-6} w/m², terserap oleh permukaan. Ada 10^{19} atom pada selapis natrium setebal satu atom yang luasnya 1 m², sehingga jika kita anggap cahaya datang diserap pada lapisan teratas dari atom-atom natrium masing-masing atom menerima energy rata-rata dengan laju 10^{-25} W. pada laju ini $1,6 \times 10^6$ s – sekitar dua minggu diperlukan oleh sebuah atom untuk mengumpulkan sekitar 1 eV energy yang bisa dimiliki foto electron, dan jika kita memasukan beberapa electronVolt yang diperlukan untuk menarik electron keluar dari permukaan natrium, waktu yang diperlukan menjadi sekitar 2 bulan. Dalam waktu maksimum yang diperbolehkan 10^{-9} s, teori elektronik menyatakan bahwa atom natrium rata-rata hanya mengumpulkan 10^{-5} eV untuk diberikan pada satu elektronnya.

Sama anehnya bila dipandang dari teori gelombang ialah fakta bahwa energy 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 electron apapun yang dipancarkan. Di atas frekuensi ambang ini frekuensi mempunyai selang

energy dari 0 sampai satu harga maksimum tertentu, dan harga maksimum ini bertambah secara linear terhadap frekuensi. Frekuensi yang tinggi menghasilkan energy fotoelektron maksimum yang lebih tinggi pula. Jadi cahaya biru yang lemah menimbulkan electron dengan energy lebih tinggi daripada yang ditimbulkan oleh cahaya merah yang kuat, walaupun cahaya merah menghasilkan jumlah yang lebih besar.

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

$$2.1 K_{maks} = h(\nu - \nu_0) = h\nu - h\nu_0$$

Dengan ν_0 menyatakan frekuensi ambang, di bawah frekuensi tersebut tidak terdapat pancaran foto dan h menyatakan tetapan. Penting untuk diperlihatkan harga h ialah $6,626 \times 10^{-34} \text{ J.S}$ selalu sama, walaupun ν_0 berubah untuk logam berlainan yang disinari.

Dari berbagai percobaan seperti ini, kita pelajari fakta-fakta terinci efek fotoelektrik berikut:

1. Laju pemancar electron bergantung pada intensitas cahaya.
2. Laju pemancar electron tidak bergantung pada panjang gelombang cahaya di bawah suatu panjang gelombang tertentu; di atas nilai itu arus secara berangsur-angsur menurun hingga menjadi nol pada suatu panjang gelombang pancung (*cutoff wavelength*) λ_c . Panjang gelombang λ_c ini biasanya terdapat pada spektrum daerah biru dan ultraviolet.
3. Nilai λ_c tidak bergantung pada intensitas sumber cahaya, tetapi hanya bergantung pada jenis logam yang digunakan sebagai permukaan fotosensitif. Di bawah λ_c sebarang sumber cahaya, selemah apapun, akan menyebabkan terjadinya pemancaran fotoelektron; di atas λ_c , tidak satupun cahaya, sekuat apapun, dapat menyebabkan terjadinya pemancaran fotoelektron.
4. Energy kinetic maksimum electron yang dipancarkan tidak bergantung pada intensitas cahaya, tetapi hanyalah bergantung pada

panjang gelombangnya; energy kinetic ini didapati bertambah secara linear terhadap frekuensi sumber cahaya.

5. Apabila sumber cahaya dinyalakan, arus segera akan mengalir (dalam selang waktu 10^{-9} s).

b. Aplikasi Efek Fotolistrik dalam Kehidupan Sehari-hari

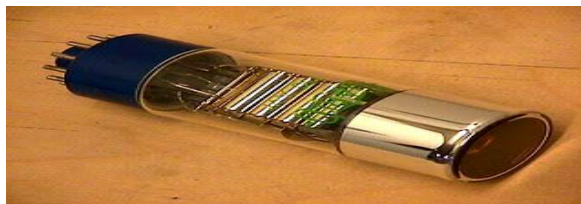
1. Dunia Hiburan

Salah satu penerapan efek fotolistrik dalam kehidupan adalah dalam dunia hiburan. Dengan bantuan peralatan elektronika saat itu, suara dubbing film direkam dalam bentuk sinyal optik di sepanjang pinggiran keping film. Pada saat film diputar, sinyal ini dibaca kembali melalui proses efek fotolistrik dan sinyal listriknya diperkuat dengan menggunakan amplifier tabung sehingga menghasilkan film bersuara.



2. Tabung foto-pengganda (*photomultiplier tube*)

Dengan menggunakan tabung ini, hampir semua spektrum radiasi elektromagnetik dapat diamati. Tabung ini memiliki efisiensi yang sangat tinggi, bahkan ia sanggup mendeteksi foton tunggal sekalipun. Dengan menggunakan tabung ini, kelompok peneliti Superkamiokande di Jepang berhasil menyelidiki massa neutrino yang akhirnya dianugrahi hadiah Nobel pada tahun 2002. Di samping itu, efek fotolistrik eksternal juga dapat dimanfaatkan untuk tujuan spektroskopi melalui peralatan yang bernama photoelectron spectroscopy (PES).



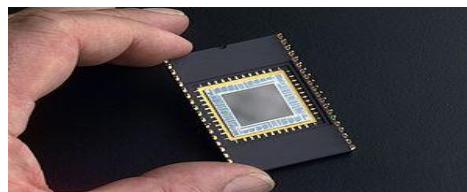
3. Foto-diode atau Foto-transistor

Foto-diode atau foto-transistor yang bermanfaat sebagai sensor cahaya berkecepatan tinggi. Bahkan, dalam komunikasi serat optik transmisi sebesar 40 Gigabite perdetik yang setara dengan pulsa cahaya sepanjang 10 pikodetik (10^{-11} detik) masih dapat dibaca oleh sebuah foto-diode. Foto-transistor yang sangat kita kenal manfaatnya dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotolistrik internal. Sebuah semikonduktor yang disinari dengan cahaya tampak akan memisahkan elektron dan hole. Kelebihan elektron di satu sisi yang disertai dengan kelebihan hole di sisi lain akan menimbulkan beda potensial yang jika dialirkan menuju beban akan menghasilkan arus listrik.



4. Produk-produk elektronik

Efek fotolistrik juga digunakan dalam produk-produk elektronik yang dilengkapi dengan kamera CCD (charge coupled device). Sebut saja kamera pada ponsel, kamera digital dengan resolusi hingga 12 megapiksel, atau pemindai kode-batang (barcode) yang dipakai diseluruh supermarket, kesemuanya memanfaatkan efek fotolistrik internal dalam mengubah citra yang dikehendaki menjadi data-data elektronik yang selanjutnya dapat diproses oleh komputer.



B. Teori Kuantum Cahaya

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

Teori elektromagnetik cahaya dapat menerangkan sangat baik banyak sekali gejala, sehingga teori itu tentu mengandung kebenaran.

Namun teori yang berdasar kokoh ini tidak cocok untuk menerangkan efek fotolistrik. Dalam tahun 1905 Einstein menemukan bahwa paradoks yang timbul dalam efek potolistrik dapat dimengerti hanay dengan memasukan pengertian radikal yang pernah diusulkan lima tahun sebelumnya oleh ahli fisika teoritis Jerman Max Planck.

Ketika itu Planck mencoba menerangkan radiasi karakteristik yang dipancarkan oleh benda mampat. Kita mengenal pijaran dari sr=epotong 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 kontinue tidak peduli berapa temperturnya. Pada temperatur kamar sebagian besar radiasinya terdapat pada bagian inframerah dari spektrum, sehingga tidak terlihat.

Sifat yang dapat diamati dari radiasi benda hitam ini – penamaan serupa itu akan dikemukakan alasannya dalam Bab 9, disitu pembahasan lengkap dan pemecahannya diberikan - tidak dapat diterangkan berdasarkan prinsip fisis yang dapat diterima pada wktu 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 bendayang meradiasikannya kalau ia menganggap bahwa radiasi yang dipancarkan terjadi secara tak kontinue (diskontinue),dipancarkan dalam catuan kecil, suatu anggapan yang sangat asing dalam teori elektromagnetik. Catuan ini disebut *kuanta*.

Planck mendapatkan bahwa kuantum yang berpautan dengan frekuensi tertentu ν dari cahaya, semuanya harus berenergi sama dan bahwa energi ini E berbanding lurus dengan ν . Jadi energi kuantum $E = h\nu$

Energi Kuantum = (Tetapan Planck)(Frekuensi)

Kuantitas h , pada waktu ini disebut *Tetapan Planck* berharga $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Ketika ia menganggap bahwa energi elektromagnetik yang diradiasikan oleh benda timbul terputus-putus, Planck tidak pernah menyaksikan bahwa penjalarannya melalui ruang merupakan gelombang elektromagnetik yang kontinue. Einstein mengusulkan bukan saja cahaya yang dipancarkan menurut suatu kuantum pada suatu saat, tetapi juga

menjalar menurut kuantum individual; anggapan yang lebih berlawanan dengan fisika klasik.

Menurut hipotesis ini efek fotolistrik dapat diterangkan dengan mudah.

Rumusan empiris persamaan $K_{maks} = h(\nu - \nu_0) = h\nu - h\nu_0$

Dapat ditulis menjadi $h\nu = K_{maks} + h\nu_0$

(2.3)

Menurut Einstein, tiga suku dalam persamaan diatas dapat ditafsirkan sebagai berikut:

$h\nu$ = isi energi dari masing-masing kuantum cahaya datang

K_{maks} = energi fotoelektron maksimum

$h\nu_0$ = energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan 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. Energi $h\nu_0$ merupakan karakteristik dari permukaan itu yang disebut *fungsi kerja*. Jadi persamaan (2.3) menyatakan bahwa

Energi kuantum = energi elektron maksimum + fungsi kerja permukaan.

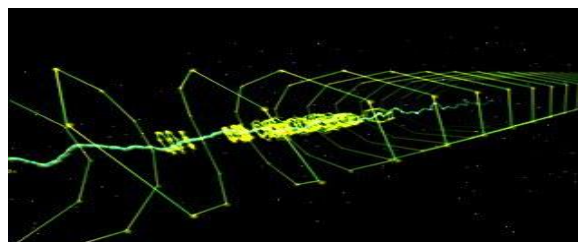
Lambang ϕ sering digunakan untuk fungsi kerja.

Ada beberapa alasan yang memungkinkan mengapa tidak semua fotoelektron mempunyai energi yang sama sekalipun frekuensi cahaya yang digunakan. Misalnya, tidak semua energi foton $h\nu$ bisa diberikan pada sebuah elektron, dan suatu elektron mungkin akan hilang dari energi awalnya dalam interaksi dengan elektron lainnya didalam logam sebelum ia lenyap dari permukaan.

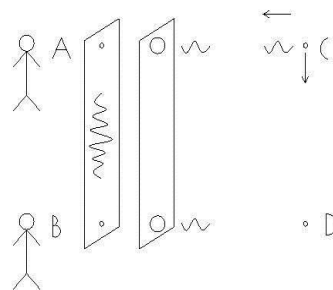
Kesahihan penafsiran Einstein mengenai fotolistrik diteguhkan dengan telaah mengenai emisi termionik. Telah lama diketahui bahwa adanya benda panas menambah konduktivitas listrik udara yang ada disekelilingnya, dan menjelang abad kesembilan belas penyebab gejala tersebut ditemukan yaitu emisi elektron dari benda panas itu. Emisi termionik memungkinkan bekerjanya piranti seperti tabung gambar televisi yang didalamnya terdapat filamen logam atau katoda berlapisan khusus yang 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 mendapatkan energi minimum tertentu supaya dapat lepas. Energi minimum ini dapat ditentukan untuk berbagai permukaan dan selalu berdekatan dengan fungsi kerja fotolistrik untuk permukaan yang sama. Dalam emisi fotolistrik, foton cahaya menyediakan energi yang diperlukan oleh elektron untuk lepas, sedang dalam emisi termionik kaloralah yang menyediakannya; Dalam kedua kasus itu proses fisis yang bersangkutan dengan timbulnya elektron dari permukaan logam adalah sama.

C. Dualitas Partikel-Gelombang



Dualisme gelombang-partikel mungkin merupakan konsep paling penting dari dunia kuantum, dan dengan perpanjangan, dasar filosofis pemikiran modern. Ini adalah karakteristik mendefinisikan entitas fisik dasar, seperti elektron, proton, neutron, atom, dan molekul, yang ada di satu pihak di keadaan-keadaan yang berkembang seperti gelombang ketika mereka tidak diamati, dan berkembang seperti partikel bila diamati. Kuncinya adalah pengamatan. Dalam gelombang-seperti keadaannya di entitas fisik biasanya diperpanjang di ruang angkasa, tapi kemudian tiba-tiba kontrak untuk kejadian lokal atau titik-partikel seperti ketika observasi dibuat.



Sebuah percobaan dilakukan di ruang hampa. Sebuah electron melaju dari titik C ke titik D. Sebuah foton dipancarkan oleh electron dari titik C. Dari kerangka acuan foton, foton melihat electron melaju dari titik

C ke titik D. Kelajuan foton tidak dipengaruhi oleh sumber. Dari kerangka acuan foton, foton bergerak lurus menuju A. Dari kerangka acuan electron,

electron melihat plat fotografis melaju dari titik B ke titik A. Dari kerangka acuan electron, foton yang dipancarkan tiba di titik B.

Dari kerangka acuan pengamat A dan B, pengamat A dan B tidak dapat membedakan apakah mereka yang diam dan electron yang bergerak ataukah electron yang diam dan mereka yang bergerak. Jika celah A di tutup, maka kita mendapatkan gambaran partikel di celah B. Jika celah B di tutup, kita mendapatkan gambaran partikel di celah A. Jika celah A dan B di buka, foton menyebar seperti gelombang. Jika banyak foton dipancarkan misalnya dari sebatang lilin, maka kita akan mendapatkan gambaran interferensi gelombang.

Pada tahun 1901, **Planck** (physics nobel prize) menunjukkan bahwa distribusi energi dari radiasi benda hitam hanya dapat dijelaskan dengan asumsi bahwa radiasi ini (yaitu dalam bentuk gelombang elektromagnetik) diemisikan dan diabsorpsi dalam bentuk paket (kuanta) energi diskrit:

FOTON

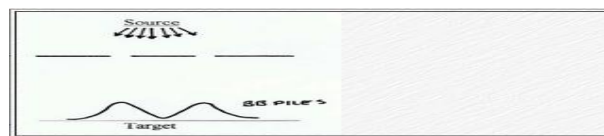
$$E = h\omega$$

Penekanan tiba-tiba adalah untuk menekankan bahwa tidak ada evolvement dari satu kejadian ke yang lain, tetapi manifestasi sesaat dari gelombang yang juga memiliki sifat partikel. Sebagai gelombang memperpanjang melalui ruang – mirip dengan gelombang elektromagnetik dan mekanik, tetapi dikenal sebagai gelombang kuantum - gelombang ini tidak bertabrakan atau berinteraksi satu sama lain sebagai partikel, tapi superimpose pada satu sama lain, menambahkan konstruktif atau destruktif, dan menciptakan pola interferensi. Pola-pola interferensi yang menghilangkan ketika jalan dikenal! Ini adalah fenomena yang dikenal sebagai Quantum Knowing .

Gelombang-partikel dualisme pertama kali ditemui dalam Percobaan Difraksi Young. Thomas Young (1773-1829) ditemukan pada serangkaian percobaan dualitas gelombang-partikel cahaya. Dia juga salah satu pekerja pertama yang berhasil dalam membaca dan mengartikan tulisan hieroglif Mesir. [Apakah yang terakhir ini memiliki pengaruh pada mantan sangat

spekulatif, tetapi dalam alam semesta yang terhubung, semuanya adalah mungkin.]

Percobaan Young, yang dilakukan pada 1801, digunakan dua atau lebih celah di mana balok diarahkan. Jika sinar itu partikel makroskopik seperti BBS, maka ketika BBS melewati satu atau celah lain, intensitas total BBS akumulasi pada target adalah penjumlahan sederhana dari intensitas individu melalui masing-masing celah. Hal ini mengakibatkan dua atau lebih penjumlahan dari BBS melewati meskipun masing-masing dari dua atau lebih celah. Anggap saja sebagai tumpukan BBS seperti pada gambar berdekatan.

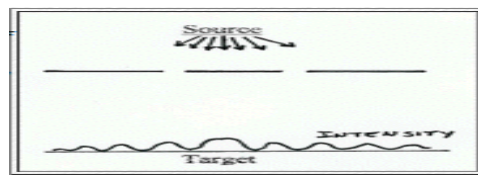


Efek fotolistrik dan efek Compton merupakan bukti bahwa ketika cahaya dan materi berinteraksi, mereka berperilaku seperti partikel. Di sisi lain, gelombang elektromagnetik cahaya dan lainnya menunjukkan gangguan dan efek difraksi yang konsisten hanya dengan interpretasi gelombang. Q: Yang mana model (partikel atau gelombang) yang benar? Tergantung pada fenomena yang diamati - beberapa eksperimen yang lebih baik atau semata-mata dijelaskan menggunakan model partikel sementara lainnya lebih baik atau semata-mata dijelaskan menggunakan model gelombang.

Cahaya memiliki sifat ganda. Ini pameran baik gelombang dan partikel karakteristik. Untuk memahami mengapa foton yang kompatibel dengan gelombang elektromagnetik mempertimbangkan 2,5 MHz gelombang radio. Energi $E \approx 10^{-8}$ eV – terlalu kecil untuk dideteksi. Membutuhkan banyak foton untuk menghasilkan sinyal terdeteksi yang hilang. Pada frekuensi yang lebih tinggi, energi partikel lebih tinggi dan dapat dengan mudah dideteksi. Untuk frekuensi sangat tinggi seperti frekuensi x-ray, x-ray foton mudah terdeteksi sebagai peristiwa tunggal tetapi efek gelombang adalah sulit untuk mengamati.

Yang benar-benar luar biasa adalah bahwa dengan cahaya, intensitas gelombang komposit bukanlah jumlah sederhana dari intensitas gelombang

komponennya, tetapi jumlah dari kuadrat amplitudo gelombang. [Lihat di bawah gambar.] Bila lampu gelombang-partikel tidak diamati saat mereka melanjutkan dari Source untuk Target – yaitu apabila tidak diketahui celah yang digunakan dalam lintasan – lampu pada target menciptakan pola yang hanya diketahui alat-alat produksi adalah melalui interferensi gelombang. Pola-pola difraksi tidak dapat dibentuk oleh seperti poin massa terisolasi sebagai BBS di atas, atau dengan satu pelacakan obyek di sepanjang lintasan klasik melalui celah tunggal.



Untuk membuat pola difraksi klasik objek akan harus entah bagaimana berpisah dan melakukan perjalanan melalui semua lubang yang tersedia, dan campur dengan dirinya sendiri dalam rangka menciptakan pola. Kuncinya adalah bahwa elektron tunggal dalam melewati sistem celah masih melahirkan sebuah pola interferensi. ”Seolah-olah sebuah elektron tunggal dapat mengganggu dengan dirinya sendiri, bertindak seperti sesuatu yang diperpanjang melalui seluruh aparat dan terbagi menjadi wavelet banyak.” “Jika tidak diamati, partikel bertindak seperti itu mengambil semua path yang mungkin terbuka untuk itu ”.

“Ketika sebuah elektron melewati perangkat ini entah bagaimana harus tahu, seakan-akan, berapa banyak celah yang terbuka dan berapa banyak yang ditutup. Sesuatu harus menyebar melalui seluruh aparat untuk mengeksplorasi status bagian dan mengumpulkan informasi yang menentukan pola intensitas yang diamati. Hal ini berbeda tampak pada kenyataan bahwa, ketika elektron pada bagian yang diawasi, selalu ditemukan hanya dalam salah satu celah “. Elektron dan peralatan eksperimen dengan demikian terhubung juga, membuat kasus untuk Fisika ikat lebih kuat!

Kesimpulan mendalam yang satu dapat menarik dari fenomena ini, adalah bahwa “Ketika sebuah elektron tampaknya akan lewat pada saat yang sama, melalui semua celah terbuka sebuah perangkat difraksi, itu menyerahkan hak untuk memiliki posisi tertentu dalam ruang. Bertindak

seperti itu di mana-mana, itu adalah tempat. Dari pertimbangan ini muncul anggapan bahwa posisi sebuah partikel dasar bukan merupakan atribut intrinsik -. Bukan properti yang dimilikinya, tapi diciptakan hanya dengan observasi ” Dengan kata lain, “realitas diciptakan oleh pengamatan.”

Secara filosofis, Socrates mengatakan bahwa, “Kehidupan yang tak teruji tidak layak dijalani.” Hal ini membuat lebih dari akal dalam bahwa ketika elektron teruji – tidak teramati, yaitu – mereka tidak cukup nyata, bukan bagian dari realitas. Aristoteles percaya bahwa materi tanpa bentuk tidak cukup nyata. Formulir membawa materi menjadi kenyataan. Ide ini menjelaskan mengapa dalam praktek kuno (misalnya Wicca), bagian penting dari ritual ini adalah untuk menggambar atau tata letak geometri sebagai sarana Membuat Realitas dengan cara sangat diinginkan.

D. Sinar-X

Sinar X adalah pancaran gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang radio, panas, cahaya sinar ultraviolet, tetapi mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek sehingga dapat menembus benda-benda. Sinar X ditemukan oleh sarjana fisika berkebangsaan Jerman yaitu *W. C. Rontgen* tahun 1895.

Efek fotolistrik merupakan bukti yang menyakinkan bahwa foton cahaya dapat mentransfer energi pada elektron. Apabila proses sebaliknya bisa terjadi? Dapatkah seluruh energi kinetik atau sebagian energi kinetik elektron yang bergerak diubah menjadi foton? Kenyataannya, efek fotolistrik balik bukan saja terjadi, tetapi telah ditemukan (walaupun belum dimengerti dengan baik) sebelum pekerjaan teoretis Planck dan Einstein.

Dalam tahun 1895 Wilhelm Roentgen mendapatkan bahwa radiasi yang kemampuan tembusnya besar sifatnya belum diketahui, ditimbulkan jika elektron cepat menumbuk materi. *Sinar x* ini didapatkan menjalar menurut garis lurus walaupun melalui medan listrik dan magnetik dapat menembus bahan, dengan mudah menyebabkan bahan fosforesen berkilau dan menyebabkan perubahan pelat fotografik. Bertambah cepat elektron semula, bertambah hebat kemampuan tembus sinar x, dan bertambah banyak jumlah elektron, bertambah besar pula intensitas berkas sinar x.

Belum lama setelah penemuan itu orang menduga bahwa sinar x merupakan gelombang elektromagnetik. Bukannkah teori elektromagnetik

meramalkan bahwa muatan listrik yang dipercepat akan meradiasi gelombang elektromagnetik, dan elektron yang bergerak cepat yang tiba-tiba dihentikan jelas mengalami suatu percepatan. Radiasi yang ditimbulkan dalam keadaan serupa itu diberi nama bahasa Jerman *Bremsstrahlung* (radiasi pengereman).

Dalam tahun 1912 suatu metode dicari untuk mengukur panjang gelombang sinar x. Eksperimen difraksi dapat di pandang ideal, tetapi kita ingat dari optika fisis bahwa jarak antara dua garis yang berdekatan pada kisi difraksi harus berorde besar sama dengan panjang gelombang cahaya supaya didapat hasil yang memuaskan, dan kisi yang berjarak sangat kecil seperti yang diperlukan untuk sinar x tidak dapat dibuat. Namun, dalam tahun 1912, Max von Laue menyadari bahwa panjang gelombang yang diduga berlaku untuk sinar x berorde besar hampir sama dengan jarak antara atom-atom dalam kristal yaitu sekitar beberapa nanometer. Dengan alasan itu ia menyimpulkan bahwa kristal dapat dipakai untuk mendifraksi sinar x dengan kisi kristal berlaku sebagai kisi 3 dimensi. Tahun berikutnya eksperimen yang memadai untuk hal tersebut telah dilakukan, dan sifat gelombang sinar x secara sukses ditunjukkan. Dalam eksperimen itu panjang gelombang dari 0,013 hingga 0,048 nm hingga telah ditemukan 10^{-4} kali panjang gelombang cahaya tampak sehingga mempunyai kuantitas 10^4 kali lebih energitik.

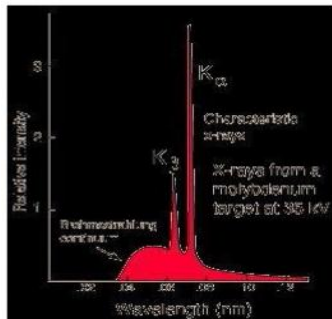
Radiasi elektromagnetik dalam selang panjang gelombang aproksimasi 0,01 hingga 10 nm pada waktu ini digolongkan sebagai sinar x. Batasan selang tersebut tidak tajam, pada batas panjang gelombang kecil bertumpang-tindih dengan sinar gamma dan batas panjang gelombang besar bertumpang-tindih dengan cahaya ultra ungu.

Sifat-sifat Sinar X :

- Mempunyai daya tembus yang tinggi Sinar X dapat menembus bahan dengan daya tembus yang sangat besar, dan digunakan dalam proses radiografi.
- Mempunyai panjang gelombang yang pendek Yaitu : $1/10.000$ panjang gelombang yang kelihatan

Electron dengan kecepatan tinggi (karena ada beda potensial 1000 Kvolt) yang mengenai target anoda, electron tiba-tiba akan mengalami pelemahan yg sangat drastis oleh target sehingga menimbulkan sinar-x, sinar-x yg terjadi dinamakan “sinar-x brehmsstrahlung” or “braking radiation”. Pada waktu muatan (electron) yang bergerak dengan kecepatan tinggi (mengalami percepatan), karena adanya beda potensial, muatan (electron) akan memancarkan radiasi elektromagnetik dan ketika energy electron cukup tinggi maka radiasi elektromagnetik tersebut dalam range sinar-x. Sinar-x jenis ini tidak dipergunakan untuk XRD (X-Ray Diffraction)

2. Sinar-x karakteristik



Electron dari katoda yang bergerak dengan percepatan yg cukup tinggi, dapat mengenai electron dari atom target (anoda) sehingga

menyebabkan electron tereksitasi dari atom, kemudian electron lain yang berada pada sub kulit yang lebih tinggi akan mengisi kekosongan yang ditinggalkan oleh electron tadi, dengan memancarkan sinar-x yang memiliki energy sebanding dengan level energy electron. Karena sinar-X karakteristik memiliki Panjang gelombang tertentu yang dapat difilter, maka jenis ini banyak diaplikasikan untuk XRD (X-RAY Diffraction) dalam menentukan struktur material.

$$\lambda_{min} = \frac{1,24 \times 10^{-6} V.m}{V}$$

Pengamatan yang kedua dapat dipahami melalui teori kuantum radiasi. Sebagian besar elektron yang jatuh pada target kehilangan energi kinetiknya sedikit demi sedikit melalui berbagai tumbukan, energinya berubah menjadi panas. (Alasan ini yang menyebabkan dipakainya target logam dalam tabung sinar-x yang mempunyai titik leleh yang tinggi seperti tungsten, dan dipakai cara yang efisien untuk mendinginkan target). Namun, sebagian kecil elektron kehilangan sebagian besar energinya atau

seluruh energinya dalam suatu tumbukan tunggal dengan atom target, energi inilah yang berubah menjadi sinar-x.

Jadi produksi sinar-x merupakan efek fotolistrik balik. Dibandingkan dengan energi foton yang ditransformasikan menjadi energi kinetik elektron, maka energi kinetik elektron ini ditransformasikan menjadi energi foton. Panjang gelombang pendek berarti frekuensi tinggi, sedangkan frekuensi tinggi berarti berenergi foton tinggi $h\nu$.

Karena fungsi kerja hanya beberapa elektronvolt, sedangkan potensial percepatan dalam tabung sinar-x biasanya puluhan atau ratusan ribu volt, kita dapat mengabaikan fungsi kerja dan menafsirkan batas panjang gelombang terkecil yang bersesuaian dengan hal dimana seluruh energi kinetik $K = eV$ dari elektron yang datang seluruhnya diberikan pada foton berenergi $h\nu_{\text{maks}}$. Jadi

$$Ve = h\nu_{\text{maks}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{min}}}$$

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{Ve} = \frac{1,24 \times 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{m}}{V}$$

Persamaan tersebut disebut rumus Duane-Hunt.

Cara Kerja Sinar-X

Pada aplikasinya, penciptaan sinar-x tak lagi mengandalkan mekanisme tabung crookes, melainkan dengan menggunakan pesawat sinar-x modern. Pesawat sinar-x modern pada dasarnya membangkitkan sinar-x dengan mem'bombardir' target logam dengan elektron berkecepatan tinggi. Elektron yang berkecepatan tinggi tentunya memiliki energi yang tinggi, dan karenanya mampu menembus elektron-elektron orbital luar pada materi target hingga menumbuk elektron orbital pada kulit k (terdekat dengan inti). Elektron yang tertumbuk akan terpental dari orbitnya, meninggalkan hole pada tempatnya semula. Hole yang ditinggalkannya itu akan diisi oleh elektron dari kulit luar dan proses itu melibatkan pelepasan foton (cahaya elektromagnetik) dari elektron pengisi tersebut. Foton yang keluar itulah yang kemudian disebut sinar-x, dan keseluruhan proses terbentuknya sinar-x melalui mekanisme tersebut disebut mekanisme sinar-x karakteristik. Adapun mekanisme lain yang mungkin terjadi adalah emisi foton yang dialami oleh elektron cepat yang dibelokkan oleh inti atom

target atas konsekuensi dari interaksi coulomb antara inti atom target dengan elektron cepat. Proses pembelokkan ini melibatkan perlambatan dan karenanya memerlukan emisi energi berupa foton. Mekanisme ini disebut bremsstrahlung (bahasa jerman dari ‘radiasi pengereman’)selanjutnya, pesawat sinar-x modern memanfaatkan kedua kemungkinan di atas untuk memungkinkan produksi sinar-x.



E. Difraksi Sinar-X

F. Efek Compton

Menurut teori kuantum cahaya, foton berlaku sebagai partikel, hanya foton tidak mempunyai massa diam. Gambar 2.13 menunjukkan bagaimana tumbukan serupa itu digambarkan, dengan poton sinar-x menumbuk elektron (yang mula-mula dalam keadaan diam terhadap sistem koordinat laboratorium) dan kemudian mengalami hamburan dari arahnya semula sedangkan elektronnya menerima impulse dan mulai bergerak.

Dalam tumbukan ini foton dapat dipandang sebagai partikel yang kehilangan sejumlah energi yang besarnya sama dengan energi kinetik K yang diterima oleh elektron, walaupun sebenarnya kita mengamati dua foton yang berbeda. Jika foton semula mempunyai frekuensi ν , maka foton hambur mempunyai frekuensi yang lebih rendah ν' , sehingga

Kehilangan energi foton = Energi yang diterima elektron

$$h\nu - h\nu' = K$$

Momentum partikel tak bermassa berkaitan dengan energi menurut rumus

$$E = pc$$

Karena energi foton ialah $h\nu$, momentumnya ialah

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hv}{c}$$

Momentum, tidak seperti energi, merupakan kuantitas vektor yang mempunyai arah dan besar, dan dalam tumbukan momentum harus kekal dalam masing-masing sumbu dari kedua sumbu yang saling tegak-lurus. Bila lebih dari dua benda yang bertumbukan, tentu saja momentum harus kekal pada masing-masing sumbu dari ketiga sumbu yang saling tegak-lurus. Arah yang dipilih disini ialah arah foton semula dan satu lagi tegak lurus pada bidang yang mengandung elektron dan foton hambur. Momentum foton semula ialah $\frac{hv}{c}$, momentum hambur ialah $\frac{hv'}{c}$, dan momentum elektron mula sektor akhir ialah, berurutan, 0 dan p . Dalam arah foton semula

Momentum mula = momentum akhir

$$\frac{hv}{c} + 0 = \frac{hv'}{c} \cos \phi + p \cos \theta$$

Dan tegak-lurus pada arah ini

Momentum mula = momentum akhir

$$0 = \frac{hv'}{c} \sin \phi - p \sin \theta$$

Sudut ϕ menyatakan sudut antara arah mula dan arah foton hambur, dan θ ialah sudut antara arah foton mula dan arah elektron yang tertumbuk. Dari persamaan-persamaan didapat rumus yang menghubungkan beda panjang gelombang antara foton mula dan foton hambur dengan sudut ϕ antara arah masing-masing, kedua besaran itu merupakan kuantitas yang dapat diukur.

$$pc \cos \theta = hv - hv' \cos \phi$$

$$pc \sin \theta = hv' \sin \phi$$

Dengan mengkuadratkan masing-masing persamaan ini dan menambakkannya, sudut θ dapat dieleminasi, tinggal

$$h^2 \lambda^2 = (h\lambda)^2 - 2(h\lambda)(h\lambda') \cos \varphi + (h\lambda')^2$$

Kemudian kita samakan kedua rumus untuk energi total partikel

$$\begin{aligned} E &= E_0 + E_0 \lambda^2 \\ E &= \sqrt{E_0^2 \lambda^4 + E^2 \lambda^2} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} (E_0 + E_0 \lambda^2)^2 &= E_0^2 \lambda^4 + E^2 \lambda^2 \\ E^2 \lambda^2 &= E_0^2 + 2E_0 \lambda^2 E \end{aligned}$$

Karena

$$E = E_0 - h\lambda'$$

Kita dapatkan

$$E^2 \lambda^2 = (h\lambda)^2 - 2(h\lambda)(h\lambda') + (h\lambda')^2 + 2E_0 \lambda^2 (h\lambda + h\lambda')$$

Substitusikan harga untuk $E^2 \lambda^2$ pada persamaan sebelumnya, sehingga mendapatkan

$$2E_0 \lambda^2 (h\lambda + h\lambda') = 2(h\lambda)(h\lambda') (1 - \cos \theta)$$

Hubungan ini akan lebih sederhana jika dinyatakan dalam panjang gelombang sebagai pengganti frekuensi. Bagi persamaan diatas dengan $2\lambda^2 \lambda^2$

$$\frac{E_0 \lambda}{h} \left(\frac{\lambda}{\lambda} - \frac{\lambda'}{\lambda} \right) = \frac{\lambda}{\lambda} \frac{\lambda'}{\lambda} (1 - \cos \theta)$$

Dan karena $\frac{E_0}{h} = \frac{1}{\lambda}$ dan $\frac{E_0'}{h} = \frac{1}{\lambda'}$

$$\frac{E_0 \lambda}{h} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) = \frac{1 - \cos \theta}{\lambda \lambda'}$$

Persamaan Efek Compton

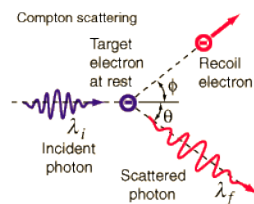
$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{E_0 \lambda} (1 - \cos \theta)$$

Persamaan ini diturunkan oleh Arthur H. Compton pada awal tahun 1920, dan gejala yang diperkirakannya yang pertama kali diamatinya, dikenal sebagai efek Compton. Gejala ini menunjukkan bukti kuat yang mendukung teori kuantum radiasi.

Persamaan ini memberikan perubahan panjang gelombang yang diharapkan terjadi untuk foton yang terhambur dengan sudut θ oleh partikel yang bermassa diam m_0 . Dan perbedaan ini tidak bergantung dari panjang gelombang foton datang λ . Kuantitas $\frac{h}{m_0c}$ disebut panjang gelombang Compton dari partikel penghambur.

Karena panjang gelombang Compton untuk elektron ialah $0,02426 \text{ \AA}$., dan dapat lebih kecil lagi untuk partikel yang lain karena massanya lebih besar, maka perubahan panjang gelombang maksimum dalam efek Compton ialah $0,04852 \text{ \AA}$.. Perubahan sebesar itu atau lebih kecil lagi hanya bisa teramati untuk sinar-x karena pergeseran panjang gelombang cahaya tampak kurang dari 0,01 persen dari panjang gelombang mula sedangkan untuk sinar-x dengan $\lambda = 1 \text{ \AA}$, besaran itu menjadi beberapa persen.

Efek Compton dan Penerapannya dalam Kehidupan Sehari-Hari



Efek Compton merupakan gejala hamburan dari penembakan suatu materi dengan sinar-X. Efek ini ditemukan oleh Arthur Holly Compton pada tahun 1923. Jika sejumlah elektron yang dipancarkan ditembak dengan sinar-X, maka sinar-X ini akan terhambur. Hamburan sinar-X ini memiliki frekuensi yang lebih kecil daripada frekuensi semula.

Penerapan Efek Compton dalam Kehidupan Sehari-Hari



Nuklir Compton Telescope (NCT) adalah eksperimen *balloon-borne* untuk mendeteksi sinar gamma dari sumber astrofisika seperti supernova, pulsar, AGN, dan lain-lain. Teleskop ini diluncurkan dengan balon ketinggian tinggi ke ketinggian mengambang sekitar 40km.

Teleskop Compton menggunakan sebuah array-12-3D kadar tinggi Germanium Detektor spektral resolusi untuk mendeteksi sinar gamma. Pada bagian bawahnya setengah detektor dikelilingi oleh Bismuth germanate sintilator untuk melindungi dari sinar gamma atmosfer. Teleskop memiliki medan pandang (FOV) dari 25% dari langit.

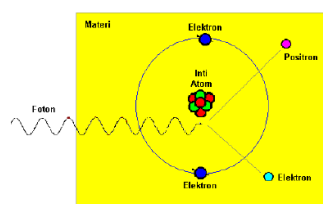
Dua prototipe detektor berhasil diuji dan diterbangkan pada tanggal 1 Juni 2005 dari *Scientific Balloon Flight Facility, Fort Sumner, New Mexico*.

Pada tanggal 19 Mei 2009, instrumen penuh berhasil diluncurkan dari *Fort Sumner* di New Mexico dan mampu mengamati kepiting pulsar. Sayangnya itu gagal untuk memulai pada bulan April 2010 di *Alice Springs, Australia*, ketika balon pecah menambatkan untuk derek di angin tinggi.

G. Produksi Pasangan

Produksi pasangan adalah penciptaan pasangan partikel dan anti partikelnya, seperti pasangan elektron positron, proton, anti proton dan neutron anti neutron. Untuk menciptakan anti proton Chamberlain dan Emilio segre menumbukkan dua proton dalam kecepatan tinggi, begitu juga ketika Bruce Cork menemukan anti neutron. Elektron dan positron tercipta saat sebuah foton Photon yang melewati inti atom yang pasif dan energinya dikonversikan kedalam materi. Kehadiran inti atom diperlukan sehingga hukum kekekalan momentum dapat terpenuhi. Elektronnya tercipta sendiri, bukan milik atom. Lalu, munculah positron dan elektron dari ketiadaan.

Peristiwa ini menunjukkan kesetaraan antara massa dengan energi sebagaimana diperkenalkan pertama kali oleh Einstein. Bila sebuah foton yang mengenai materi berhasil “masuk” sampai ke daerah medan inti (nuclear field) dan mempunyai energi lebih besar, maka foton tersebut akan diserap habis dan akan dipancarkan pasangan elektron – positron. Positron adalah anti partikel dari elektron, yang mempunyai karakteristik sama dengan elektron tetapi bermuatan positif.



Sinar gamma adalah foton-foton (kuanta atau paket energi) yang memiliki energy pasangan tinggi. Seperti halnya sebuah atom, inti atom itu sendiri dapat berada dalam keadaan tereksitasi. Ketika inti ini melompat ke keadaan yang lebih rendah atau keadaan dasarnya, inti ini memancarkan sebuah foton. Karena sinar γ tidak memiliki nomor massa dan nomor atom nol, maka pemancaran sinar γ tidak menyebabkan perubahan nomor massa dan nomor atom pada inti induk. Dengan kata lain, inti anak sama dengan inti induk, atau tidak terjadi inti baru pada pemancaran sinar γ . Dalam beberapa kasus, inti dapat tinggal dalam keadaan tereksitasi selama beberapa saat sebelum inti ini memancarkan sinar γ . Inti ini disebut dalam keadaan metastabil, dan inti ini disebut suatu isomer.

Telah diterangkan bahwa pada efek foto listrik, foton bila ditembakkan kepada logam, maka dapat menyerahkan seluruh energinya atau sama sekali tidak. Kalau menyerahkan seluruh energinya, berarti untuk mengeluarkan elektron dari dalam logam dan untuk tenaga elektron meninggalkan logam.

Juga telah diterangkan pada Compton, foton yang mempunyai frekuensi tinggi ditembakkan langsung pada elektron terluar maka energinya untuk menghamburkan foton baru. Pada produksi pasangan, bila sebuah foton dengan frekuensi tinggi mendekati inti atom berat maka foton tersebut lenyap dan menjelma menjadi sebuah elektron dan sebuah positron (elektron positif). Jadi ada perubahan energi elektromagnetik menjadi energi diam.

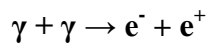
$$h\nu = -e_0 + +e_0$$

Jumlah muatan elektron (-e) dan positron (+e) adalah nol. Energi kinetik elektron maupun positron masing-masing adalah :

$$E = m_0c^2 = 0,51 \text{ MeV}$$

Produksi pasangan ditunjukkan untuk membuat pasangan partikel dan anti-partikelnya, terutama pasangan elektron dan positron. Untuk menciptakan antiproton, O. Chamberlain dan Emilio Segre menumbukkan dua proton dalam kecepatan tinggi, begitu juga ketika Bruce Cork menemukan antineutron. Hal yang berbeda terjadi pada produksi pasangan elektron dan positron. Elektron dan positron tercipta saat sebuah foton yang melewati inti atom yang pasif dan energinya dikonversikan ke dalam

materi. Kehadiran inti atom diperlukan sehingga hukum kekekalan momentum dapat terpenuhi. Elektronnya tercipta sendiri, bukan milik atom. Lalu, muncullah positron dan elektron dari ketiadaan. Reaksinya dituliskan :



Energi photon yang hilang dalam proses ini dirubah menjadi energi relativistik positron E_+ dan elektron E_- dengan persamaan:

$$h\nu = E_+ + E_- \\ = 2m_0c^2 + [E_+ + E_-]$$

Karena K^+ dan K^- selalu positif maka untuk melakukan produksi pasangan, photon harus memiliki energi sekurang-kurangnya $2m_0c^2=1,02$ MeV atau $1,64 \times 10^{-13}$ J. agar dapat mendekati inti berat sehingga terjadi produksi pasangan berupa elektron dan positron. Foton tersebut termasuk dalam sinar gamma inti atom. secara perlambang :

Foton electron + positron

Proses diatas hanya dapat terjadi jika terdapat sebuah atom di sekitar electron yang memasok momentum pental yang diperlukan, proses kebalikannya ,

Electron + positron foton

Elektron bila bertemu dengan positron maka keduanya musnah (anihilasi) dan menjelma menjadi foton sinar gamma. Pada proses produksi pasangan maupun kebalikannya ini tetap berlaku hukum kekekalan energi dan hukum kekekalan momentum. Kembali pada produksi pasangan tersebut di atas, karena foton berubah menjadi elektron dan positron, maka dengan sendirinya foton yang ditembakkan harus mempunyai energi lebih tinggi dari 1,02 MeV. Setelah terjadi produk pasangan ini, maka mengalami penurunan intensitas. Perubahan ini tergantung dari sifat dan tebal bahan dengan analisis sebagai berikut :

$$x \frac{dI}{dx} = -k I$$

$$dI = -k I dx$$

$$I = I_0 e^{-kx}$$

I_0 = intensitas awal foton

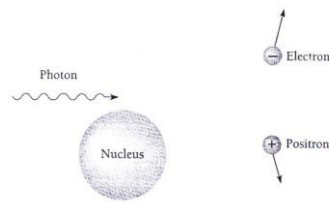
I = intensitas setelah menembus bahan tebal x

x = tebal bahan

k = tetapan absorpsi bahan terhadap foton tertentu

Berarti selama perjalanan dalam media, energinya turun secara eksponensial. Apabila tebal media x dipilih sedemikian rupa sehingga intensitasnya tinggal separo yaitu $\frac{1}{2}$, maka tebal ini disebut tebal lapisan separo harga (Half Value Layer = H.V.L). Teori ini banyak digunakan dalam perhitungan pelindung radiasi.

Sebuah foton yang energinya lebih dari 1.02 MeV. Pada saat bergerak dekat dengan sebuah inti, secara spontan akan menghilang dan energinya akan muncul kembali sebagai suatu positron dan elektron seperti yang digambarkan berikut:



Proses pembentukan pasangan, dimana foton berubah menjadi energi positron dan electron.

H. Foton dan Gravitasi

Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya foton dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X. Foton berbeda dengan partikel elementer lain karena ia tidak bermassa dan dalam ruang vakum foton selalu bergerak dengan kecepatan cahaya c . Foton memiliki sifat baik gelombang maupun partikel (“dualisme gelombang-partikel”).

Gravitasi mempengaruhi cahaya walaupun foton tak mempunyai massa diam

Foton dapat berperilaku sangat serupa dengan partikel biasa dalam situasi tertentu. Apakah foton terpengaruh oleh gravitasi seperti partikel yang bermassa diam terpengaruh? Untuk menjawab pertanyaan ini kita harus mengingat teori relativitas umum.

Teori Relativitas Umum

Teori relativitas khusus berasal dari usaha untuk menyatakan hukum fisika sedemikian sehingga hukum itu berlaku dalam semua kerangka acuan yang bergeser dengan kecepatan tetap satu terhadap lainnya. Sebenarnya pernyataan bahwa hukum fisika dapat dinyatakan dengan cara demikian

merupakan postulat pertama dari relativitas khusus. Teori relativitas umum yang di ajukan oleh Einstein dalam tahun 1915, meninjau efek gerak dipercepat pada benda yang kita amati, dan telah menghasilkan pandangan yang dalam mengenai gejala gravitasi dan sifat alam semesta.

Prinsip Kesetaraan

Prinsip kesetaraan merupakan prinsip sentral dalam teori umum: **seorang pengamat dalam laboratorium tertutup tidak dapat membedakan antara efek yang ditimbulkan oleh medan gravitasi dan efek yang ditimbulkan oleh percepatan dari laboratoriumnya.** Prinsip ini diturunkan dari pengamatan eksperimental yang menyatakan bahwa massa inersia(kelembaman) suatu benda sama dengan massa gravitasinya. Perbedaan antara kedua jenis massa terletak pada kenyataan bahwa massa kelembaman suatu benda menentukan respon terhadap gaya yang diterapkan; sedangkan massa gravitasi suatu benda menentukan gaya yang dialami benda yang ditimbulkan oleh tarikan gravitasi benda lain.

Cahaya dipengaruhi gravitasi

Cahaya harus mengalami efek gravitasi. Yang pertama mulai dari pengamatan bahwa walaupun foton tidak mempunyai massa diam, tetapi foton ketika bertumbukan berperilaku seakan-akan mempunyai massa kelembaman sebesar

$$m = \frac{p}{v} = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{Massa foton}$$

Karena $p = h\nu/c$ dan $v = c$ untuk foton. Karena massa gravitasi tidak bisa dibedakan dari massa kelembaman, maka cahaya pun harus dipengaruhi gravitasi.

Kita dapat memilih untuk mengamati seberkas cahaya yang melintasi sebuah laboratorium yang dipercepat. Jejak cahaya yang melengkung terhadap laboratorium haruslah sama seperti cahaya yang mengalami medan gravitasi yang besar percepatan mendannya setara dengan percepatan laboratorium itu.

Matahari membelokkan cahaya bintang

Jika cahaya dipengaruhi gravitasi, maka cahaya yang melewati dekat benda yang massif seperti matahari harus mengalami pembelokkan. Ramalan deviasi untuk cahaya yang menyinggung matahari ialah $0,0005^\circ$, dan

deviasi sebesar itu betul-betul telah diamati untuk cahaya bintang ketika terjadi gerhana matahari ,ketika bulatan matahari ditutupi oleh bulan. Prosedurnya ialah dengan membandingkan kedudukan bintang-bintang yang muncuk di langit dekat matahari pada saat terjadi gerhana dengan kedudukannya pada saat lain ketika cahayanya tidak melewati dekat matahari.

Cahaya bertambah energinya bila jatuh dalam medan gravitasional Sifat gravitasi cahaya dalam juga ditunjukkan dalam laboratorium.bila kita menjatukan sebuah batu bermassa m dari ketinggian H dekat permukaan bumi, tarikan gravitasi bumi akan mempercepat batu itu ketika jatuh dan batu itu mendapatkan energy mgH ketika sampai di tanah. Energy kinetic akhir batu $\frac{1}{2}mv^2$ sama dengan mgH , sehingga kelajuan akhirnya adalah $\sqrt{2gH}$. Semua foton menjalar dengan kelajuan cahaya sehingga tidak mungkin bergerak lebih cepat lagi. Namun , foton yang jatuh melalui jarak H dapat memanifestasikan pertambahan energy mgH dalam bentuk yang lain, yaitu dengan pertambahan frekuensi dari v ke v' . karena perubahan frekuensi ini sangat kecil menurut eksperimen dalam skala laboratorium, kita dapat menhabaikan “ massa foton $\frac{h\nu}{c^2}$ sehingga

Energi foton akhir = energi foton awal + pertambahan energi

$$h\nu' = h\nu + mgH$$

$$h\nu' = h\nu + \left(\frac{h}{c^2}\right)gh$$

Energi foton setelah jatuh melalui tinggi H

$$h\nu' = h\nu \left(1 + \frac{gH}{c^2}\right)$$

BAB III

PENUTUP

Dalam makalah ini dibahas materi tentang Sifat Partikel dari Gelombang yang meliputi:

1. Efek fotolistrik

Adalah suatu gejala terlepasnya elektron karena frekuensi foton lebih dari frekuensi logam yang dikenai cahaya. Untuk melepaskan elektron diperlukan sejumlah tenaga. $eV = hf - \Phi$.

2. Teori Kuantum Cahaya

Teori elektromagnetik cahaya dapat menerangkan sangat baik banyak sekali gejala, sehingga teori itu tentu mengandung kebenaran. Namun teori yang berdasar kokoh ini tidak cocok untuk menerangkan efek fotolistrik.

3. Dualitas partikel-Gelombang

Dualisme gelombang-partikel merupakan konsep paling penting dari dunia kuantum, dan dengan perpanjangan, dasar filosofis pemikiran modern. Ini adalah karakteristik mendefinisikan entitas fisik dasar, seperti elektron, proton, neutron, atom, dan molekul, yang ada di satu pihak di keadaan-keadaan yang berkembang seperti gelombang ketika mereka tidak diamati, dan berkembang seperti partikel bila diamati.

4. Sinar-X

Sinar X :adalah pancaran gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang radio, panas, cahaya sinar ultraviolet, tetapi mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek sehingga dapat menembus benda-benda. Sinar X ditemukan oleh sarjana fisika berkebangsaan Jerman yaitu *W. C. Rontgen* **tahun 1895**.

5. Difraksi Sinar-X

6. Efek Compton

Menurut teori kuantum cahaya, foton berlaku sebagai partikel, hanya foton tidak mempunyai massa diam. Gambar 2.13 menunjukkan bagaimana tumbukan serupa itu digambarkan, dengan poton sinar-x

menumbuk elektron (yang mula-mula dalam keadaan diam terhadap sistem koordinat laboratorium) dan kemudian mengalami hamburan dari arahnya semula sedangkan elektronnya menerima impulse dan mulai bergerak.

7. Produksi Pasangan

Produksi pasangan adalah penciptaan pasangan partikel dan anti partikelnya, seperti pasangan elektron positron, proton, anti proton dan neutron anti neutron. Untuk menciptakan anti proton Chamberlain dan Emilio segre menumbukkan dua proton dalam kecepatan tinggi, begitu juga ketika Bruce Cork menemukan anti neutron.

8. Foton dan Gravitasi

Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya foton dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X. Foton berbeda dengan partikel elementer lain karena ia tidak bermassa dan dalam ruang vakum foton selalu bergerak dengan kecepatan cahaya c . Foton memiliki sifat baik gelombang maupun partikel (“dualisme gelombang-partikel”).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2010. *Sinar-X(online)*. Tersedia: <http://www.scribd.com/doc/178640397/BUKU-AJAR-FISIKA-II-FISMOD-doc>. Di akses senin 10 februari 2014 pukul 09.15.
- Beiser , Arthur. 1982.*KONSEP FISIKA MODERN*.Jakarta: Erlangga
- s
- Dewi, Sri. 2007. *Prinsip-prinsip Radiologi*. Pdf file. www.unhas.ac.id. Di akses Rabu 12 februari 2014 pukul 21.14.
- Gusniarti,Dian.2013.*SifatPartikelGelombang(online)*.Tersedia:
<http://diangusniarti.blogspot.com/2013/03/sifat-partikel-gelombang.html>. Rabu 12 februari 2014 pukul 21.14
- Hamida, Syifa. 2010. *Foton(online)*. Tersedia:
<http://hamidassyifa.wordpress.com/2010/12/22/foton-dan-quark/>. Di akses Rabu 12 februari 2014 pukul 09.30.
- Hidayanto, Eko. 2009. *Efek Fotolistrik (online)*. Tersedia:
<http://staff.undip.ac.id/fisika/ekohidayanto/files/2009/11/panduan-eksperimen-fisika-1.pdf>.
Di akses selasa 4 februari 2014 pukul 08.14.
- Krane, Kenneth.1992.*Fisika Modern*.Jakarta:UI-Press
- Mulyanti,Budi. 2011. *Efek Fotolistrik (online)*. Tersedia:
http://file.upi.edu/Direktori/FPTK/JUR._PEND._TEKNIK_ELEKTRO/196301091994022-BUDI_MULYANTI/Pertemuan_ke-14.pdf. Di akses selasa 4 februari 2014 pukul 08.15.
- Ramliyana. 2013. *Aplikasi Efek Fotolistrik dalam Kehidupan sehari-hari(online)*.
Tersedia: http://web.unair.ac.id/admin/file/f_21961_FL_blog_maze2013.pdf
<http://ramliyana-fisika.blogspot.com/2013/05/efek-fotolistrik-dan-penerapannya-dalam.html>. Di akses selasa 4 februari 2014 pukul 08.20.
- Rawaliyah.2011.*ProduksiPasangan(online)*.Tersedia:<http://rawaliyahgmail.blogspot.com/2011/05/produksi-pasangan.html>. Di akses Rabu 12 februari 2014 pukul 20.00.

