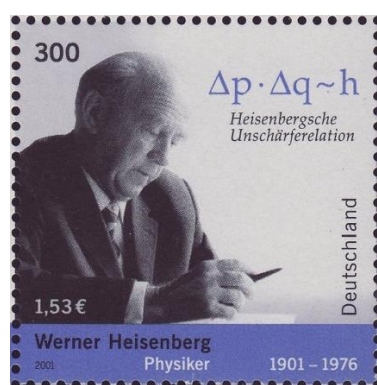


5.

Fenomena keradioaktifan ini agak baru secara konsep pun dalam dunia fizik yang waktu itu didasari ketertentuan, seperti yang dikawal oleh persamaan-persamaan dinamik Newton, kerana fenomena ini bersifat berkebarangkalian. Tanpa fenomena keradioaktifan ini, semua fenomena fizik yang lain ketika itu dianggap telah difahami. Dalam pada fizik “hampir sempurna”, seperti kata presiden Royal Society, Lord Kelvin, pada akhir abad ke19 itu, fenomena keradioaktifan ini adalah di antara pencetus fizik moden yang ditunjangi mekanik kuantum.

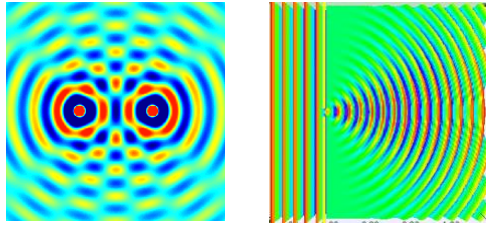
Kuantum

Mekanik kuantumlah yang tersorok dalam keradioaktifan. Mekanik kuantum melihat dunia sebagai berkebarangkalian. Keadaan-keadaan fizik diperihalkan oleh fungsi-fungsi gelombang yang mengandungi kebarangkalian ini, yang boleh bersuperposisi dan berinterferens. Sesuatu ukuran itu memberikan nilai yang berkaitan dengan satu daripada fungsi gelombang yang dibenarkan, menurut kebarangkalian yang ditentukan oleh amplitud fungsi gelombang tersebut. Ini membawa kepada ‘kejatuhan fungsi gelombang’ pada ketika ukuran, dan kepada prinsip ketakpastian Heisenberg yang terkenal, yang menghadkan kebolehan pengukuran kuantiti-kuantiti dan berkesapadanan.



Setem Jerman menunjukkan Heisenberg dan prinsip ketakpastiannya. Prinsip ini menyatakan bahawa kedua-dua nilai kedudukan dan momentum sesuatu zarah tak dapat diketahui dengan ketepatan sembarangan pada waktu yang sama. Ketepatan dalam kedudukan bermakna kekaburan dalam momentum, dan sebaliknya. Prinsip sama juga wujud untuk nilai-nilai masa dan tenaga.

Sebelum itu, gelombang telahpun digunakan untuk memerihalkan cahaya. Cahaya berfenomena gelombang – superposisi, interferens, dan belauan dialami. Seperti gelombang air di laut, superposisi membenarkan gelombang yang berlanggar meneruskan rambatan masing-masing tanpa terkesan satu oleh yang lain. Gelombang juga boleh membelau di keliling objek hadapan. Dan, apabila gelombang bersuperposisi, pola interferens tertentu terbentuk.



Fenomena interferens (kiri) dan belauan (kanan) dalam rambatan gelombang.

Telatah zarah agak berbeza dengan telatah gelombang. Zarah bergerak pada trajektori tertentu, yang hanya berubah bila daya dikenakan, dan zarah melantun bila berlanggar. Namun zarah-zarah secara kolektif boleh menimbulkan gelombang, seperti pergerakan penonton bolasepak secara kolektif untuk menghasilkan 'gelombang Meksiko'.



Zarah bertelatah lebih seperti bola billiard.



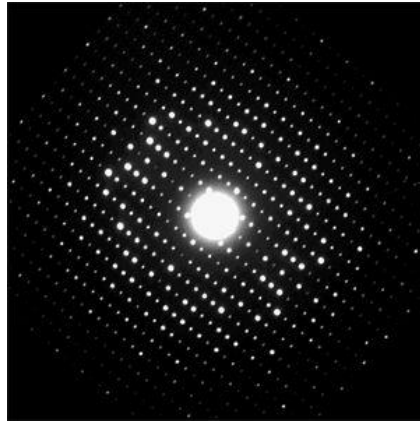
Gelombang Meksiko.

Mekanik kuantum berasaskan prinsip kedualan zarah-gelombang. Menurut teori kuantum, cahaya bertindak bukan hanya sebagai gelombang, tetapi juga sebagai zarah (zarah cahaya dipanggil foton). Zarah seperti elektron pula, juga mempunyai telatah kegelombangan seperti interferens dan belauan. Sifat kezarah foton mula dilihat apabila sinaran jasad hitam diterangkan oleh Max Planck pada 1900. Sesuatu objek yang menyinar secara terma, seperti suatu objek panas, menghasilkan sinaran yang disebut sinaran jasad hitam. Spektrum jasad hitam dapat diterangkan jika cahaya dilihat sebagai terdiri dari foton, dan tidak jika dilihat sebagai bersifat kegelombangan. Sifat kezarah cahaya juga dapat menerangkan fenomena fotoelektrik, di mana foton-foton menghentam atom untuk mengeluarkan elektron yang kemudiannya mengalir sebagai arus elektrik.



Max Planck. 1858-1947.

Jika gelombang cahaya punyai sifat zarah, tidakkah zarah juga punyai sifat gelombang? Louis de Broglie, seorang bangsawan yang menjalankan pengajian kedoktoran dalam bidang fizik, telah menyarankan sebegitu dalam tesisnya pada tahun 1924. Dikatakan penyeliannya tidak tahu menilai idea ini maka telah disorotkan kepada Albert Einstein, dan Einstein telah menyokong meluluskannya. Clinton Davisson dan Lester Germer telah mengesahkan hipotesis de Broglie dengan menunjukkan alur elektron perlahan dibelau oleh hablur nikel seperti mana sinar X terbelau. Eksperimen mereka di Bell Laboratories di Amerika Syarikat sebenarnya bukan asalnya untuk mencari belauan elektron, tetapi hanyalah untuk mengkaji permukaan nikel. anak Thompson nobel



Pola elektron daripada suatu bim yang menghentam skrin pendafluor, setelah melalui belauan dan interferens.

Jadi jirim bersifat zarah-gelombang dalam teori kuantum. Pada skala kecil seperti saiz atom terutamanya, jirim boleh bertindak seperti zarah yang tepat dan melantun, atau seperti gelombang yang bersuperposisi dan membelau.

Teori kuantum memerihalkan keadaan sesuatu itu dengan 'fungsi gelombang'. Kuantiti ciri-ciri yang berkait dengan keadaan itu diberikan daripada ukuran ke atas fungsi gelombang tersebut. Suatu nilai yang dikaitkan dengan fungsi gelombang itu, yang disebut 'nilai eigen', menjadi hasil ukuran berkenaan. Fungsi gelombang berkenaan disebut sebagai fungsi eigen bagi ukuran tersebut. Jika fungsi gelombang keadaan itu merupakan hasil tambah fungsi-fungsi gelombang eigen, maka hasil ukuran itu memberikan satu daripada nilai-nilai eigen berkenaan, dengan kebarangkalian bergantung kepada sumbangan fungsi eigen berkenaan dalam hasil tambah itu. Selagi ukuran tak dibuat, selagi itu kita tak ketahui nilai eigen yang manakah yang merupakan nilai parameter berkenaan. Setelah ukuran dibuat dan suatu nilai eigen didapati, ukuran yang sama kemudiannya juga memberi nilai yang sama, selagi fungsi gelombang sistem berkenaan tidak mengalami kacauan dari ukuran-ukuran yang tak cocok dengan ukuran pertama tadi, atau dikatakan parameter-parameter ukuran berkenaan 'tak komut'. Jika sistem telah dikacau, maka timbul semula ketakpastian nilai eigen manakah yang bakal dicerap apabila ukuran dibuat. Ukuran 'menjatuhkan' fungsi gelombang.

$$\hat{H} \psi = E \psi$$

Dalam mekanik kuantum, suatu operator (bertopi) bertindak ke atas suatu fungsi gelombang (ψ di sini), yang mewakili keadaan sistem, memberikan nilai eigen (E di sini) sebagai nilai ukuran oleh operator berkenaan.

Dua objek dikatakan tersangkut jika ianya diperihalkan oleh satu fungsi gelombang terkongsi (dalam kes misalnya, ia terhasil dari reputan dari satu objek ibu). Sebelum ukuran, nilai parameter berkenaan bagi kedua-dua objek tersangkut itu tidak diketahui. Bila ukuran dibuat ke atas satu daripada objek ini, nilai bagi 'ukuran' objek kedua terus diketahui walau belum ia diukur, dan walau ia berada pada jarak yang sangat besar daripada objek pertama tadi, jika fungsi gelombang tersangkut (misalnya menerusi suatu hukum keabadian). Ketersangkutan ini agak bertentangan intuisi, kerana dengannya seolah-olah dua objek berjauhan boleh berkomunikasi tanpa bahantara.

Fenomena kuantum memang agak lawan intuisi. Zarah-gelombang yang melalui dua celah memberikan pola interferens. Ini berlaku walaupun pada keamatan rendah, bilamana boleh dikatakan bahawa hanya satu zarah melalui mana-mana celah dalam serang masa tertentu, yakni ia tidak melihat zarah lain yang dengannya ia boleh berinterferens. Begitu juga ciri-ciri lainnya seperti kejatuhan fungsi gelombang akibat ukuran, prinsip ketakpastian bagi pencerap-pencerap yang tak komut, dan ketersangkutan.

Kerelatifan

MC: "Einstein was wrong"

Medan kuantum

Daya dan rantau pengaruhnya diperihalkan oleh medan. Jika sesuatu yang bercas terhadap daya ini melalui medan tersebut, ia merasai pengaruh daya itu.

Kalau gelombang boleh dilihat sebagai zarah juga dalam mekanik kuantum, maka medan, yang seakan gelombang yang terencat, boleh dilihat sebagai zarah maya. Jadi apa yang berlaku ialah, zarah-zarah maya myncul dan hilang dalam rantau suatu medan, dan pelanggaran zarah tuju dengan zarah-zarah maya (zarah maya diserap zarah tuju) inilah yang menyebabkan perubahan momentum zarah tuju itu, seperti tindakan oleh daya. Dalam teori medan kuantum, kesan daya itu terhasil akibat tukarganti zarah maya.



Perubahan trajektori akibat tukarganti objek.

Pada aksi pengeluaran zarah pengantara, dan pada aksi penerimaan zarah pengantara, momentum dan tenaga tak dapat diabadikan kecuali jika zarah pengantara itu mempunyai nilai jisim yang khayal, ataupun dalam kata lain, ia merupakan zarah maya. Dari sudut pandangan lain, suatu zarah tukarganti dengan tenaga tertentu dipinjam untuk suatu masa tertentu, selagi beza tenaga darab beza masa ini dibenarkan oleh prinsip ketakpastian Heisenberg.