

9.

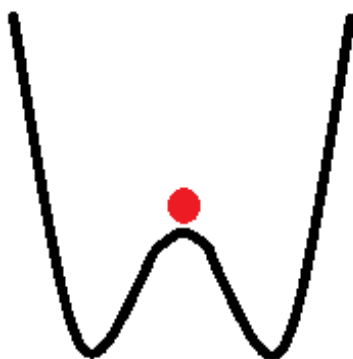
Higgs

Jadi kenapakah yang dihebohkan sangat tentang Higgs ini? Bagaimanakah ia menjadi penyempurna Model Piawai fizik zarah?

Dalam Model Piawai, jirim dibina daripada fermion – zarah-zarah berspin setengah integer, iaitu kuark, yang merasai daya nukleus kuat, daya nukleus lemah, dan keelektromagnetan, dan lepton, yang hanya merasai daya nukleus lemah dan keelektromagnetan. Bahkan sebahagian lepton, neutrino, yang tidak bercas, hanya merasai daya nukleus lemah. Daya pula dibawa oleh boson – zarah-zarah berspin integer, seperti gluon bagi daya nukleus kuat, boson-boson W dan Z bagi daya nukleus lemah, dan foton bagi keelektromagnetan.

Daya nukleus kuat dan daya nukleus lemah mempunyai julat terhad, sementara daya keelektromagnetan mempunyai julat tak terhingga. Julat terhad daya nukleus kuat dikaitkan dengan bilangan jenis casnya yang banyak. Julat terhad daya nukleus lemah boleh dikaitkan dengan boson pengantara daya yang berjisim, tetapi ini membawa masalah dalam teori medan kuantum. Perambat daya yang berjisim membawa kepada infiniti yang tak terkawal dalam pengiraan medan kuantum. Jadi dari segi ini, perambat daya nukleus lemah tidak boleh berjisim.

Higgs dan beberapa orang lagi telah meminjam ide daripada Fizik Jirim Terkondensasi untuk menyelesaikan masalah ini. Pada asalnya, boson pengantara daya lemah adalah bijisim. Keadaan ini bersimetri, tetapi metastabil. Kehendak teori medan kuantum dipatuhi. Kemudian pecahan simetri spontan berlaku dan boson-boson lemah memerolehi jisim. Medan yang menyebabkan pecahan simetri juga menjana zarah dalam proses ini. Medan ini ialah medan Higgs, dan zarah berkenaan ialah zarah Higgs.



Pecahan simetri berlaku apabila pilihan suatu keadaan minimum dibuat spontan.

Pecahan simetri dalam teori-teori dengan simetri yang Abelian, iaitu yang tak bergantung kepada aturan operasi-operasi simetri dikenakan, telah ditunjukkan menghasilkan boson. Boson ini tak berjisim dan dikenali sebagai boson Goldstone. Profesor Tom Kibble,

pensyarah saya di Imperial, telah memanjangkan analisis kepada pecahan simetri bukan Abelian, yang menghasilkan boson berjisim yang dikenali sebagai boson Higgs. Walaupun enam fizikus dikaitkan dengan penemuan teori ini, ia telah sekian lama dikenali sebagai mekanisme Higgs-Kibble.

Kepentingan mekanisme Higgs-Kibble ini ialah ia membolehkan penyatuan daya elektromagnet dengan daya lemah, dalam teori Weinberg-Salam. Pecahan spontan simetri yang selanjutnya, menurut satu teorem oleh Jeffrey Goldstone, harus menghasilkan boson-boson berspin sifar berjisim sifar, yang dikenali sebagai boson Nambu-Goldstone. (Yoichiro Nambu menemuinya dahulu dalam konteks teori superpengkonduksi, sementara Goldstone dalam konteks teori medan kuantum yang lebih luas.) Masalahnya ialah boson-boson ini harus dilihat, namun tidak dilihat. Weinberg, ketika sabatikalnya di Imperial pada tahun 1962, bersama Salam, telah membuktikan bahawa kewujudan boson ini tak boleh dielakkan dalam keadaan berkerelatifan (yakni dalam seluruh julat halaju). Model-model lain bagi pecahan simetri secara tersurat, selain pecahan simetri spontan, ada, tetapi didapati memberi hasil-hasil pengiraan yang tak terhingga (infiniti). Mekanisme Higgs-Kibble membulus kebuntuan ini.

Pada tahun 1964, Gerald Guralnik, yang merupakan pelajar Walter Gilbert, yang sendiri merupakan pelajar Salam, tiba di Imperial untuk pascakedoktoran. Beliau sebelum itu telah mula mengkaji masalah kebuntuan tadi, dan Kibble pun tertarik untuk menjalan penyelidikan pakatan bersamanya. Mereka dengan seorang lagi pelawat akademik dari Amerika Syarikat, Carl Richard Hagen, telah berkerjasama dan berjaya menemui penyelesaian kepada masalah itu. Namun mereka bukan penemu tunggal.

Kunci penyelesaian kebuntuan tadi ialah bahawa teorem Goldstone tak terpakai bagi teori-teori tolak, yakni teori medan kuantum yang mengandungi simetri tolak. Dalam teori-teori ini, boson-boson tolak yang asalnya tak berjisim, bergabung dengan boson Nambu-Goldstone untuk memberikan boson yang berjisim, iaitu boson Higgs. Dalam penyelesaian oleh Guralnik, Hagen dan Kibble, mereka dapati bahawa teorem Goldstone dielakkan kerana ketakwujudan operator kuantum bagi cas jumlah yang berkait dengan kedegeneratan vakum (keadaan-keadaan berlainan bagi vakum, tapi dengan tenaga yang sama, oleh itu kecapaian yang sama) akibat pecahan simetri spontan.

Tiga kertas pada tahun 1964 itu, oleh Higgs, oleh Guralnik, Hagen dan Kibble, dan oleh François Englert dan Robert Brout, tidak menarik perhatian ramai ketika itu. Juga model untuk daya lemah dan keelektromagnetan dengan simetri tolak $SU(2) \times U(1)$ telahpun dicadangkan oleh Sheldon Lee Glashow (yang merupakan kawan Weinberg semasa di Sekolah Tinggi Sains Bronx di kota New York dan kemudiannya di Universiti Cornell), semasa di Institut Niels Bohr di Copenhagen, dan oleh Salam dan John Clive Ward. Namun penggabungan mekanisme Higgs dan model $SU(2) \times U(1)$ hanya berlaku dalam tahun 1967. Secara berasingan, Weinberg menerbitkan kertas penyelidikan, sementara Salam memberi kuliah di Imperial, tentang model teori tolak elektrolemah $SU(2) \times U(1)$ dengan pecahan simetri spontan ala mekanisme Higgs-Kibble (Kibble sementara itu telah mengamkan lagi mekanisme Higgs dengan mengkajinya bagi teori tolak tak-Abelian seperti $SU(2)$, di mana kesan jujukan operasi simetri bergantung kepada aturannya). Model elektrolemah Salam-

Weinberg secara asasnya ialah model $SU(2) \times U(1)$ Glashow bersama suatu doublet medan Higgs, bersalingtindak dengan lepton. Doublet Higgs kompleks bermakna empat nilai nyata; tiga daripadanya memberi jisim kepada boson-boson pengantara daya lemah, W^+ , W^- dan Z^0 , dan satu lagi menjadi zarah fizikal Higgs. Ramalan kewujudan Z^0 mengimplikasikan ada kesannya pada tindakbalas tenaga rendah. Ini dilihat pada tahun 1973 di CERN dan Glashow, Salam dan Weinberg dianugerah Hadiah Nobel fizik pada tahun 1979, semasa saya memulakan pengajian ijazah pertama di Imperial. Pemenang Nobel fizik terhad kepada tiga dalam setahun, dan Ward tidak termasuk. Pada tahun 1983 zarah W dan Z ditemui di CERN, dan setelah tiga dekad dicari, zarah Higgs ditemui di CERN pada tahun 2012.

Apabila zarah boson Higgs ditemui di CERN pada tahun 2012, enam nama naik sebagai calon Nobelwan. Ingat yang pemenang Nobel untuk fizik dihadkan kepada tiga orang maksimum setahun. Higgs dan Englert yang berjaya, sementara penyelidik bersama Englert, Brout, telah meninggal dunia. Kibble tidak dinamakan. Walaubagaimanapun, Kibble telah diberi bintang oleh Ratu Elizabeth yang menjadikannya Sir Tom Kibble. Mungkin ada harapan lagi beliau dianugerahkan hadiah Nobel pada tahun-tahun seterusnya. Beliau juga ada menyumbang dalam mengira cacat-cacat topologi dalam evolusi semesta selepas Letupan Besar akibat pecahan simetri ini. Namun beliau telah meninggal dunia pada bulan Julai 2016.

Begitu juga Sir Jim Virdee, dari Imperial juga, yang terbabit dari awal membina pengesan CMS yang telah mengesan zarah Higgs bersama pengesan ATLAS. Beliau juga dianugerahkan kesatriaan bersama Sir Tom oleh Ratu Elizabeth. Jim Virdee adalah rakan lama dari kumpulan fizik nukleus tenaga tinggi di aras 5 Makmal Blackett semasa zaman PhD saya, walaupun sebenarnya saya hampir tidak pernah bertemuinya waktu itu kerana beliau kebanyakan masa di CERN. Cuma saya ingat beliau cepat naik pangkat menjadi professor, sesuatu yang tidak begitu mudah di England. Beliau sebenarnya Tejinder Singh, berasal dari India, membesar di Kenya, dan telah berhijrah bersama keluarga ke United Kingdom. (Kebetulan Sir Tom Kibble pun sebenarnya dilahirkan di Madras atau Chennai, India.) PhD beliau juga di Imperial dan saya dan dia punyai penyelia yang sama, iaitu Peter Dornan.



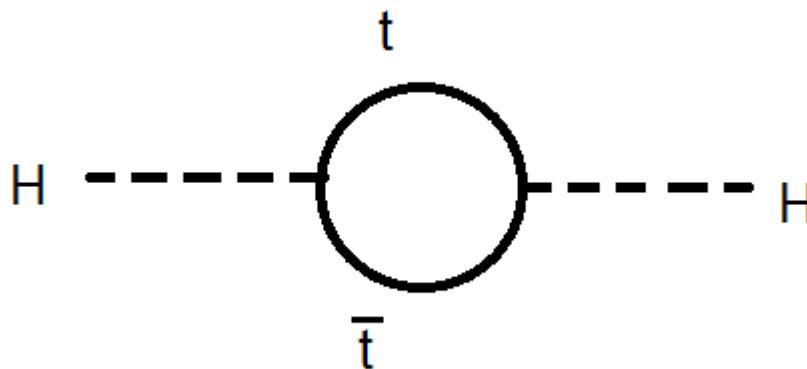
Sir Jim Virdee (berdiri di tengah) berbincang dengan ahli fizik di Pusat Fizik Zarah Kebangsaan (NCP) dalam lawatannya ke Kuala Lumpur, 2016.

Selepasnya

Penemuan zarah Higgs seakan meletakkan mahkota penyempurna kepada Model Piawai fizik zarah. Model Piawai begitu berjaya menerangkan fenomena fizik zarah selama ini. Walaupun ia telah mengambil masa hampir setengah abad untuk ditemui, penemuannya hanya mengukuhkan lagi Model Piawai. Tiada yang baharu. Itulah senario eksperimen.

Namun ada perkara yang kurang menyenangkan dari segi teori. Ada kegusaran yang disebut sebagai masalah hierarki. Ini bertitik-tolak daripada lemahnya daya graviti berbanding daya-daya keunsuran yang lain. Daya nukleus lemah, misalnya, ialah 100,000,000,000,000,000,000,000,000 lebih kuat daripada daya graviti. Ini diterjemah menjadi temuan bahawa jisim Higgs sangat ringan berbanding jisim Planck atau tenaga Planck, iaitu di mana kesan-kesan kuantum dari graviti termanifestasi.

Higgs dijangka lebih berat, kerana sumbangan dari kesan-kesan kuantum. Ia boleh membuahkan pasangan zarah-antizarah, seperti kuark atas dan antikuark antiatas, dan lain-lain, yang kemudiannya musnah memberi kebalikan Higgs asal. Proses seperti ini dijangka membuat Higgs lebih berat daripada yang didapati.



Gelung maya atas-antiatas menyumbang kepada jisim Higgs.

Suatu penyelesaian menarik kepada masalah hierarki ini ialah adanya supersimetri (SUSY). Supersimetri ialah simetri di antara fermion, iaitu zarah-zarah yang mempunyai nilai spin setengah integer, dengan boson, zarah-zarah berspin integer. Supersimetri bermakna, misalnya, setiap kuark, yang berspin setengah, mempunyai pasangan bosonnya yang berspin integer. Kuark atas misalnya, mempunyai pasangan sata, bawah sbawah, pesona spesona, aneh saneh, dan sebagainya. Dengan itu, sumbangan kuantum atas-antiatas kepada jisim Higgs dibatalkan oleh sumbangan kuantum sata-antisata, dan sebagainya. Ini menyebabkan Higgs menjadi ringan, seperti didapati.

Supersimetri juga dapat menjadi wahana untuk menerangkan graviti dari segi teori kuantum. Sebelum ini, daya-daya kuat, elektromagnetan, dan lemah diterangkan dengan

baik oleh teori medan kuantum, tetapi daya graviti mempunyai pemerihalan yang kukuh menerusi gambaran geometri dalam teori kerelatifan am Einstein. Namun dijangka pada tenaga tinggi, dekat tenga Planck, graviti akan menyerlahkan sifat-sifat kuantumnya. Jadi teori graviti kuantum perlu diadakan. Namun ini tidak mudah kerana sumbangan-sumbangan kuantum dalam graviti kuantum mungkin membawa kepada nilai-nilai infiniti, yang tidak dikehendaki.



SUSY bermakna zarah-zarah punyai pasangan – dengan beza spin 1/2.

Cara supersimetri membawa graviti ke pangkuan teori medan kuantum agak anggun. Supersimetri boleh berlaku secara sejagat di mana transformasi supersimetri berlaku pada kadar sama di semua tempat. Yang lebih menarik ialah kejadian supersimetri tempatan, di mana transformasi supersimetri berlaku pada kadar berlainan di lain tempat; hanya keselajaran mengekang nilai-nilai berjiranan. Bila supersimetri tempatan dikenakan, graviti menerusi kerelatifan am Einstein muncul secara automatik. Ini dikenali sebagai supergraviti.

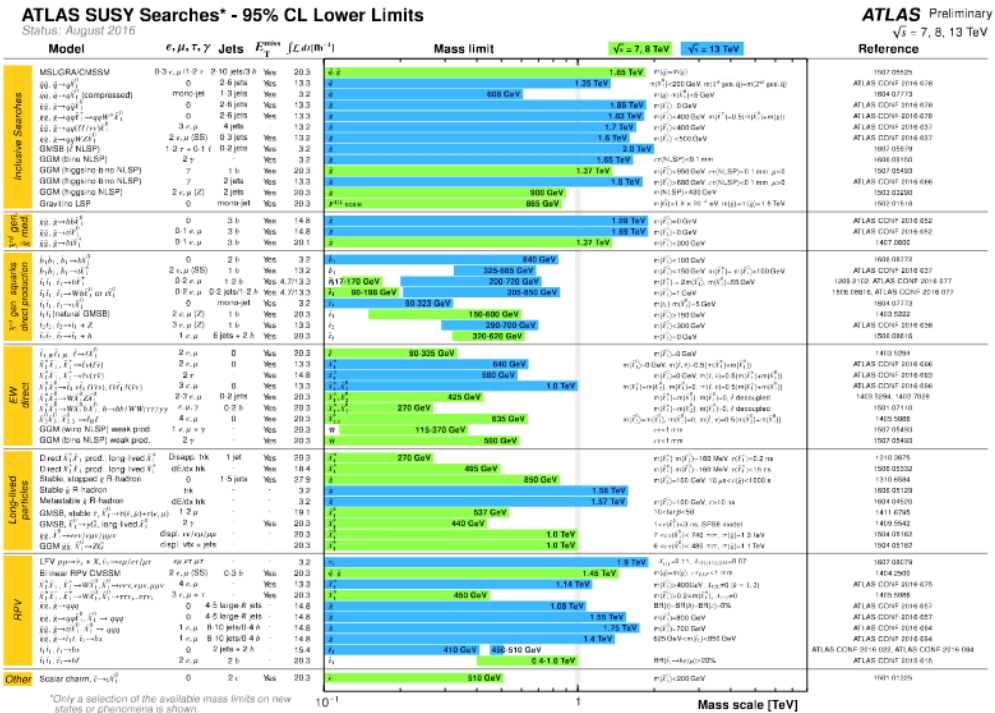


Sergio Ferrara, di antara arkitek awal supergraviti.

Isyarat termudah supersimetri ialah kewujudan pasangan-pasangan supersimetri kepada zarah-zarah piawai. Jika supersimetri tepat, jisim pasangan ini sama dengan jisim zarah asal. Oleh kerana tiada pasangan supersimetri ditemui pada jisim yang sama, maka pecahan supersimetri seharusnya besar, dan pasangan-pasangan ini mempunyai jisim yang berbeza. Tiada calon zarah supersimetri ditemui sehingga Larian 2 pelanggaran proton-proton di LHC

pada 2016, pada tenaga 13 TeV. Ini telah meluaskan lagi rantau jisim yang disisihkan bagi calon zarah supersimetri, dan mengurangkan lagi harapan untuk supersimetri.

Tanda-tanda awal daripada Larian 2 agak mengecewakan pendokong supersimetri. Tiada calon superzarah ditemui.



Had-had ke atas zarah supersimetri daripada ATLAS setelah Larian 2 LHC.

LHC telah sebenarnya menguatkan lagi model piawai fizik zarah. Penemuan Higgs dalam tahun 2012 melengkapkan model piawai ini. Walau sehingga masuk 2020 model piawai sihat di LHC, banyak persoalan masih timbul. Yang paling ketara ialah masalah hierarki. Kenapakah skala tenaga daya elektrolemah begitu kecil berbanding skala tenaga graviti kuantum? Wujudkan rajah-rajah Feynman “yang mengimbang” supaya usikan tenaga-tenaga besar membatalkan satu sama lain?

Struktur model piawai itu sendiri mengundang penelitian. Adakah simetri SU(3)xSU(2)xU(1) itu sembarangan, atau diperlukan sebegitu? Adakah nilai-nilai gandingan juga sembarangan, atau ada hubungan asa di antara nya. Kenapakah graviti begitu berbeza daripada daya-daya lain?

Dari cerapan eksperimen, juga ada tandatanya. Cerapan astrofizik menunjukkan bahawa kadar putaran galaksi-galaksi berlingkar, yang diukur menerusi pergerakan bintang-bintang di dalamnya, tidak setuju dengan amaun jirim dalam galaksi berkenaan kalau dianggarkan daripada bilangan dan luminositi bintang di dalamnya. Diperlukan jirim tambahan. Seolah ada jirim tambahan yang tak berluminesiti dalam galaksi. “Jirim gelap.” Apakah jirim gelap

ini? Bolehkah ia terhasil di LHC? Pelbagai model penghasilan jirim gelap di LHC telah disyorkan, dan carian telah dibuat. Sehingga tenaga tertinggi, tiada bukti ditemui untuk penghasilan jirim gelap di LHC. Ini mengandaikan bahawa reputan-reputan zarah berkaitan berlaku dengan cepat, ketika masih dalam ruang pengesanan; jika tidak, ia tak dapat dikesan pun.

Daya lemah, walau padan pada tempatnya dalam model piawai, mempunyai ciri-ciri yang belum diperjelaskan. Daya lemah bertindak pada zarah-zarah tangan kiri. Pariti, P, dicanggahi. Kumpulan Puan Wu menunjukkan bahawa reputan beta Kobalt-60 menghasilkan elektron lebih kepada arah yang bertentangan dengan arah spin atom kobalt. CP juga didapati dicanggahi. Ada campuran perisa. Campuran perisa memerlukan generasi atau keluarga berbilang. Timbul pula persoalan kenapa berbilang generasi ini? Tidak jelas fungsinya. Zarah-zarah generasi terkemudian, dengan jisimnya yang tinggi, mereput kepada zarah-zarah serupa generasi teringan. Alam sekeliling didirikan terutamanya oleh zarah-zarah generasi pertama.

Dalam sektor kuark, fungsi eigen daya lemah tak bertindih tepat dengan fungsi eigen tenaga. Ini bermakna keadaan eigen lemah, yang dilabel oleh perisa-perisa kuark, kalau dalam sektor kuark, tidak terabadi. Yakni kuark boleh berubah perisa, seperti dilihat. Yang menjadi persoalan ialah kenapakah ia sebegitu. Mungkin juga timbul persoalan pada asalnya, adakah sebab harusnya fungsi eigen sesuatu daya itu bertindih tepat dengan fungsi eigen tenaga? Kalau begitu, mungkinkah fungsi eigen daya kuat juga berselisih dengan fungsi eigen tenaga?

Ketaktindihan ini membawa kepada campuran perisa. Fungsi eigen tenaga bukan fungsi eigen perisa, bermakna keadaan-keadaan stabil bukan keadaan stabil perisa. Maka zarah berperisa sesuatu boleh berubah menjadi berperisa lain. Perisa bercampur, atau mengayun. Dalam sektor kuark, memang perisa bercampur. Kuark c misalnya, boleh mereput sebahagian masa kepada kuark d, dan sebahagian masa yang lain kepada kuark s.

Kemudian wujud pula canggah CP dalam sektor lemah. Pengkonjugatan cas, C, ataupun perubahan zarah kepada antizarah dan sebaliknya, boleh beri kesan negatif atau positif kepada fungsi keadaan. P pula mewakili pariti, iaitu pantulan terhadap asalan, merubah kordinat (x,y,z) kepada $(-x,-y,-z)$. Teori medan mengatakan bahawa CPT, di mana T ialah songsangan masa, terabadi, sebagai teorem. Kefahaman terhadap CPT penting untuk mengkaji telatah medan jrim dan daya.

Satu peranan CPT ialah dalam model ciptaan alam. Menurut Teori Letupan Besar, alam ini tercetus pada suatu waktu tertentu dengan keadaan yang panas, rawak, padat, namun bersimetri. Ia kemudian berkembang sambil menyejuk dan struktur terbentuk. Kosmologi harus dapat menerangkan kewujudan semesta yang kita duduki sekarang. Di antara ciri semesta ini, kita dapati ada lebih banyak zarah daripada antizarah. Kalau pada Letupan Besar semesta bermula dan menghasilkan dengan keadaan bersimetri iaitu amaun zarah sama dengan amaun antizarah, maka kita jangkakan zarah dan antizarah musnahabis dalam

evolusi semesta dan akhirnya tiada jisim atau antijisim yang baki. Dari segi keabadian cas dan lain-lain sifat kuantum pun, bilangan zarah sesuatu jenis zarah mesti diimbangi oleh bilangan antizarahnya.

Antara syarat untuk terhasilnya lebih zarah (baryon, yang menghasilkan atom) daripada antizarah ialah canggahan nombor baryon B, dan canggahan C dan CP. Proses berkenaan juga harus berlaku diluar keadaan keseimbangan terma. Keperluan canggahan nombor baryon adalah jelas, kerana keadaan penguasaan jirim memerlukan B yang positif, sementara keadaan simetri pada awal Letupan Besar mempunyai B sifar. C perlu dicanggahi supaya canggahan B tidak diimbangbalik oleh keabadian C di antara zarah dan antizarah. Begitulah juga CP. Jika CP terabadi, bilangan sama baryon tangan kiri terhasil bersama antibaryon tangan kanan, dan begitu juga bilangan sama baryon tangan kanan dengan antibaryon tangan kiri. CP perlu dicanggahi. Namun CPT diabadikan menurut teorem. Jadi proses sintesis baryon harus berlaku pada keadaan ketidakseimbangan terma. Inilah syarat-syarat Sakharov untuk genesis baryon. (Andrei Sakharov ialah seorang ahli kosmologi Russia.)

Daya lemah didapati mencanggahi P. Eksperimen Profesor Wu, seorang wanita Cina di Amerika, bersama kumpulannya, menunjukkan bahawa elektron dari reputan beta dari kobalt Co, dikeluarkan pada arah yang bergantung kepada arah spin atom kobalt. Canggahan CP ditunjukkan pada tahun 1964 dalam sistem K^0 . Oleh kerana mempunyai ciri kuantum yang sama, K^0 bercampur dengan antizarahnya \bar{K}^0 , memberikan K^0_S , yang punyai masahayat yang pendek, dan K^0_L , dengan masahayat panjang sebelem mereput. K^0_S mereput kepada 2 pion, sistem yang mempunyai CP positif, sementara K^0_L biasanya mereput kepada 3 pion, sistem dengan CP negatif. James Cronin dan Val Fitch, dua warga Amerika, pada tahun 1964, telah mendapati ada K^0_L yang mereput kepada hanya 2 π , yang mencanggahi pariti. Untuk itu mereka dianugerah Hadiah Nobel untuk Fizik dalam tahun 1980. Kini canggahan CP juga dilihat dalam sistem meson B^0 .

Model untuk menerangkan canggahan CP, yang memerlukan sekurang-kurangnya 6 jenis kuark, telah dicadangkan oleh Makoto Kobayashi dan Toshihide Maskawa dalam tahun 1972, apabila hanya 3 jenis kuark diketahui. Campuran perisa kuark dengan faktor fasa, menerangkan canggahan CP. Kertas mereka, dalam jurnal fizik Jepun, secara tunggal memenangkan mereka Hadiah Nobel pada tahun 2008. Malah, Maskawa sehingga sekarang tidak boleh berbahasa Inggeris. Kobayashi dan Maskawa kedua-duanya belajar fizik di Nagoya di bawah seliaan seorang lagi ahli fizik teori Jepun terkenal, Soichi Sakata, yang meninggal dalam tahun 1970. Maskawa pernah melawat Universiti Malaya dalam tahun 2017.

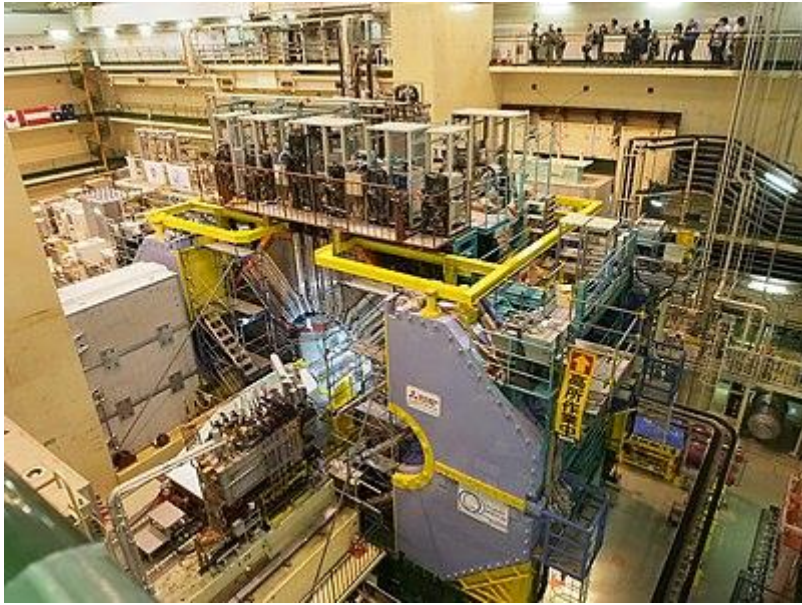


Maskawa di Jabatan Fizik UM, Julai 2017.

Kemenangan Nobel Kobayashi-Maskawa ini disokong oleh dan bersinergi dengan kajian anggahan CP di eksperimen Belle di pelanggar e^+e^- KEK di Tsukuba, Jepun. Eksperimen ini menghasilkan jutaan hadron B dan kemudian mengkaji reputannya. Kini versi baru eksperimen ini, Belle II, telah dibina, dengan pelanggar SuperKEKB yang telah dipertingkatkan keamatannya. Belle II ini bercadang menghasilkan satu trillion meson bawah yang bakal dikaji, termasuk untuk anggahan CP. Dari UM, kami telah menyertai pakatan Belle II ini dari awalnya, kerana pada waktu itu kami tidak merasakan dapat memperolehi pembiayaan untuk menyertai LHC di CERN. Di antara sumbangan pasukan UM ialah membantu membina Kebuk Hanyutan Pusat. Belle II telah mula mengambil data sejak 2019.



Gambaran udara KEK. Kelihatan bentuk pemecut linear dan gegelang pelanggar. Di latar, Gunung Tsukuba.



Pengesan Belle II sedang dibina. Bandingkan dengan saiz manusia di balkoni.



Seorang pelajar UM memasang dawai dalam kebuk hanyutan Belle II.

Daripada meson B yang terhasil menerusi musnahabis elektron-positron di KEK itu, beberapa aspek fizik dapat dikaji. Canggahan CP boleh dikaji, dan juga fizik lain seperti spektroskopi (keadaan-keadaan meson dan baryon yang mungkin), reputan jarang (mencari kesan-kesan zarah baru dsb), rantau gelap (jirim-jirim gelap) boleh dikaji. Walaupun tenaga yang dicapai jauh lebih rendah daripada tenaga di LHC, eksperimen ini mempunyai kelebihan keamatannya (bilangan peristiwa dihasilkan) dan kebersihan peristiwa-peristiwa hasilan (musnahabis elektron-positron yang tepat berbanding perlanggaran gumpalan-gumpalan parton). Belle II mula mengambil data pada tahun 2019.

Sektor neutrino juga didapati mempunyai campuran perisa. Jadi neutrino harus punyai jisim. Namun kenapa jisimnya terlalu kecil. Juga, walaupun perbezaan jisim dapat diperolehi melalui kadar ayunan perisa, tidak dapat dipastikan perisa yang mana yang lebih berat. Kemudian mungkinkah neutrino itu jenisnya Majorana, dan bukan 2-komponen. Model 2-komponen ialah di mana neutrino mempunyai keheliksian tangan kiri (arah spin dan

halajunya bertentangan) dan antizarahnya tangan kanan. Model Majorana ialah di mana keadaan tangan kiri dan tangan kanan bercampur, dan neutrino merupakan antizarahnya sendiri. Persoalan ini menjadi lebih penting apabila neutrino didapati berjisim.

Neutrino didapati berjisim apabila ia didapati mengayun. Masalah dengan neutrino ini bermula dengan ukuran jenis neutrino yang tiba dari matahari. Di matahari, proses lakuran nukleus ringan berlaku, dan pembakaran inilah yang menghasilkan tenaga yang dipancar. Proses-proses ini juga menghasilkan neutrino, yang boleh dikesan oleh teleskop neutrino di bumi. Dalam matahari, proses utama yang menghasilkan tenaga ialah pelakuran proton-proton menjadi deutron (nukleus isotop hidrogen dengan 1 neutron sebagai tambahan kepada proton yang ada), yang juga menghasilkan elektron dan neutrino jenis elektron. Namun tenaga yang tersedia untuk neutrino ini agak rendah. Proses lain seperti perubahan nukleus Berillium-7 ke Lithium-7 dan perubahan Boron-8 ke Berillium-8 memberi juga neutrino elektron, dan dengan tenaga lebih tinggi, tetapi kadarnya lebih perlahan. Eksperimen Homestake di Amerika Syarikat menggunakan 100,000 gelen klorida di bawah tanah, di sebuah lombong lama, untuk mengesan neutrino elektron dari matahari, pada awal 1970an. Neutrino elektron bersalingtindak dengan satu neutron dalam nukleus klorida memberikan proton, mengubah nukleus itu menjadi argon, dan elektron (yang diserap di mana-mana), dalam tindakbalas 'reputan' beta. Argon merupakan gas adi, dan bila tindakbalas ini berlaku, argon boleh dikesan sebagai gelembung-gelembung gas dalam cecair klorida. Banyak klorida diperlukan kerana kadar tindakbalas neutrino sangat lemah. Pengesanan dilakukan di bawah tanah supaya dilindungi daripada sinar kosmos yang boleh membawa latarbelakang yang besar. Ukuran mendapati hanya separuh daripada neutrino elektron yang dijangkakan, tiba. Bermulalah "masalah neutrino matahari". Adakah model matahari silap? Suhunya lebih rendah daripada yang dijangkakan, misalnya. Namun ini tidak dibenarkan oleh helioseismologi, iaitu kajian gempa matahari, di mana ukuran halaju bunyi di matahari setuju sehingga 0.1 % dengan model matahari. Kemungkinan pilihan ialah neutrino elektron telah hilang (misalnya bertukar perisa) dalam perjalanan. Penaraju eksperimen ini, Raymond Davis Jr dari Amerika Syarikat, telah berkongsi Hadiah Nobel Fizik tahun 2002, kerana membuka tingkap astronomi neutrino.

Masalah neutrino matahari diberatkan lagi oleh cerapan-cerapan di eksperimen lain. Eksperimen GALLEX, yang menggunakan larutan gallium sebagai pengesan, dengan itu membolehkan pengesanan neutrino elektron yang bertenaga lebih rendah hasil tindakbalas pelakuran utama dalam matahari, hanya melihat dua pertiga neutrino yang dijangka, pada 1994. Balaicerap Neutrino Sudbury di Kanada pula, menggunakan 1000 tan air berat dikelilingi 9600 tiub fotopenganda, dapat juga mengesan apa-apa jenis neutrino, menunjukkan pada 2005 bahawa bilangan neutrino muon dan neutrino tauon juga bukan seperti jangkakan, tetapi bilangan neutrino keseluruhan tidak berubah. Neutrino pelbagai jenis bertenaga tinggi memisahkan proton dan neutron dalam nukleus air berat menerusi serakan kenyal, dan neutron ini bergabung deuterium dalam air berat menghasilkan tritium (isotop hidrogen lagi berat) teruja, yang mereput memberikan foton bertenaga 6 MeV yang dikesan. Eksperimen bawah tanah Super-Kamiokande di Jepun pula telah mengukur fluks neutrino muon yang menuju ke atas berbanding yang menuju ke bawah, menggunakan

50,000 tan air tulen dikelilingi 11200 tiub fotopenganda, yang mengesan cahaya Cerenkov dari elektron bertenaga tinggi setelah diserak kenyal oleh neutrino tersebut. Ia dapati hampir separuh neutrino muon telah hilang setelah melalui jasad bumi. Arthur McDonald daripada Balaicerap Neutrino Sudbury dan Takaaki Kajita daripada Super-Kamiokande menerima Hadiah Nobel Fizik 2015, kerana menunjukkan neutrino boleh berubah jenis atau 'perisa'. Yang bermakna, akibat 'ayunan' perisa ini, neutrino berlainan perisa perlu mempunyai jisim yang berlainan. Jika tidak, fasa kuantumnya sama, dan perisa berlainan tidak bercampur. Ini bermakna, neutrino yang selama ini dianggap tidak berjisim, sebenarnya punyai jisim bukan sifar. Bagaimanakah neutrino memperoleh jisim, dan kenapakah jisimnya terlalu kecil?

Adakah di sektor lepton bercas juga terjadi campuran? Jika ini berlaku, maka patut didapati anggapan perisa lepton bercas. Satu eksperimen mencari kejadian ini, dengan keamatan tinggi, telah dipelopori Yoshitaka Kuno dari Osaka, Jepun. Profesor Kuno bersama beberapa rakan fizik dari Universiti Osaka telah berkunjung ke Universiti Malaya dalam mencari pakatan, dan apabila beliau menulis cadangan eksperimen antarabangsa COMET untuk mencari penukaran muon ke elektron dengan anggapan perisa ini, nama kami telah dimasukkan sebagai ahli pakatan cadangan tersebut. Fasa pertama eksperiment COMET mengambil data bermula 2020. Kami berusaha menggunakan kepintaran mesin untuk melakukan analisis data, khasnya dalam pencaman pola. Kepakaran elektronik juga dikembangkan dengan usaha mengimplentasikan algoritma-algoritma berkenaan ke atas cip-cip tatasusunan get teraturcarakan (FPGA).

Complexity and emergence

Value based science
Utilitarian?

determinisme atau penentuan biologian
free will
adakah hukum fizik memudahkan kehidupan?
Darwin?
Prinsip antropik
Emergence of mind

Beauty

Rohani

estetik adalah fisik bintang beribu ribu ribu
dan bumi dan langit dan alam rumit ini
menurut hukum yang satu

estetik adalah setitik air jernih
dari langit yang hujan ke tanah meresap
ke akar seponon ros membawa
zat semangat memekarkan
kembang merah

estetik adalah sedetik kehidupan
seorang insan yang menghirup cahaya
ros dan alamnya lalu mencurahkan
ke atas kanvas mati

estetik adalah lirik
puisi perayaan
yang mencuit memori-memori statik

estetik adalah indahnya
berjumpa keindahan
dan mencuri percikan wajah Arkiteknya

estetik adalah rohani