

1.

Menemu Higgs

Tidak, saya tidak mengenali Peter Higgs. (Dia pun tidak mengenali saya.) Dia dikenali kerana zarah Higgs. "The God Particle" ('Zarah Tuhan'), tulis Leon Lederman. Sebenarnya, zarah itu yang dinamakan sempena namanya. Zarah yang terhasil dalam mekanisme Higgs-Kibble. Tom Kibble saya kenal.



Englert dan Higgs sekitar 2012. Gambar CERN.



Abdus Salam dan Tom Kibble

Tom Kibble professor fizik teori di Imperial College London dan pernah menjadi Ketua Jabatan Fiziknya semasa saya belajar di sana. 1979 hingga 1982 untuk BSc dan 1982 hingga 1985 untuk PhD. Tom Kibble mengajar kaedah matematik kepada mahasiswai fizik. Higgs di Universiti Edinburgh, dan Kibble juga saya percaya, belajar di sana. Edinburgh kota lama di Scotland, di utara Britain, yang agak indah. Anak sulung saya pernah mengambil Sarjana dalam Perancangan Bandar di sana, tapi di Universiti Heriott-Watt, yang kuat dalam bidang-bidang seperti itu di dunia. Beliau juga bertemu bakal suaminya di sana.



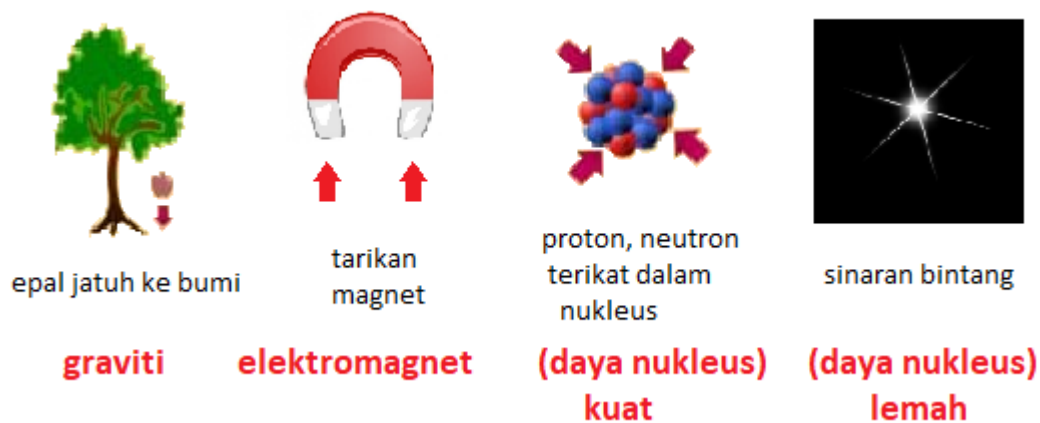
Beberapa pemandangan kota Edinburgh

Abdus Salam juga di Imperial waktu saya belajar itu, tetapi beliau juga Pengarah Pusat Fizik Teori Antarabangsa (ICTP – kini Abdus Salam ICTP) di Trieste, Itali, jadi jarang-jarang dilihat. Beliau telah memenangi Hadiah Nobel Fizik pada tahun 1979 untuk teori yang menyatukan daya keelektromagnetan dengan daya nukleus lemah, bersama Sheldon Glashow dan Steven Weinberg. Kedua-duanya waktu itu dari Universiti Harvard, Amerika Syarikat. Steven Weinberg pernah bekerja bersama Abdus Salam di Imperial pada tahun-tahun 1960an. Mereka di antara kumpulan kecil di dunia waktu itu yang berusaha menerangkan daya-daya tabii sebagai timbunan masing-masing daripada sejenis simetri digelar simetri tolok. Teori Salam-Weinberg menyatukan daya keelektromagnetan dengan daya nukleus lemah dalam suatu simetri lebih besar dalam kerangka teori medan kuantum. Pecahan kepada kedua daya berasingan berlaku melalui mekanisme Higgs-Kibble.



Bangunan Galileo, suatu rumah tetamu ICTP, di birai Laut Adratik. Saya pernah beberapa kali ke sini.

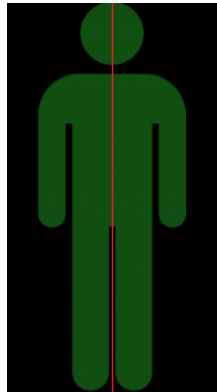
Dalam dogma piawai, ada empat jenis daya dalam alam tabii. Daya graviti, di antara dua objek berjisim, seperti epal ditarik jatuh ke bumi, dan planet berputar mengelilingi matahari tanpa terlepas. Daya elektromagnet: daya elektrik daripadanya menarik dua objek yang bercas elektrik bertentangan, dan menolak dua objek yang punyai cas sama, dan daya magnet daripadanya yang menarik di antara dua pola magnet berlainan, dan menolak dua pola yang sama. Arus elektrik boleh menghasilkan (elektro)magnet dan magnet bergerak boleh menginduksi arus elektrik. Daya elektromagnet yang tunggal merangkumi semua fenomena ini. Daya nukleus kuat ialah daya yang mengikat proton dan neutron ke dalam nukleus atom. Daya keempat ialah daya nukleus lemah, yang bertanggungjawab terhadap reputan radioaktif beta. Dalam sejarah, ada cubaan memasukkan tambahan daya kelima, tetapi semua ini tidak dapat bertahan ditengah penelitian rapi.



Empat daya keunsuran dalam alam tabii

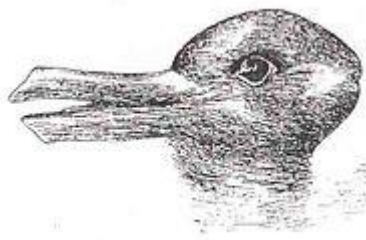
Jadi, kami mengenali Higgs sebagai pengasas mekanisme pecahan simetri. Simetri ialah kesamaan sesuatu apabila dilihat dari sudut atau aspek berlainan. Misalnya simetri pantulan cermin yang menyamakan kanan kepada kiri, dan simetri putaran yang menyamakan bentuk gasing dilihat dari mana-mana sudut mendatar. Konsep simetri itu sendiri sesuatu yang agak

novel dan anggun yang ditekankan di dalam pengajian fizik di zaman kami, apa lagi konsep yang simetrialah yang menentukan salingtindak zarah-zarah keunsuran.



Simetri pantulan: imej yang sama bila kiri dan kanan ditukarganti.

Daripada pengajian fizik di sekolah yang agak kering (spring, bandul, dll), kami bertemu fizik yang agak lain dan segar di peringkat tinggi di universiti. Seakan di sekolah, fizik pra1900 di ajar, dan penemuan-penemuan pasca1900 yang mengujakan, hanya diajar di universiti. Daripada sesuatu yang mekanikan, yang berdogma, pra1900, kami temui pandangan alam yang berasaskan simetri, dan konsep baru, khususnya konsep kuantum yang menggugat kepercayaan sediaada kami terhadap alam nyata, pasca1900. Kami beranjak paradigma.

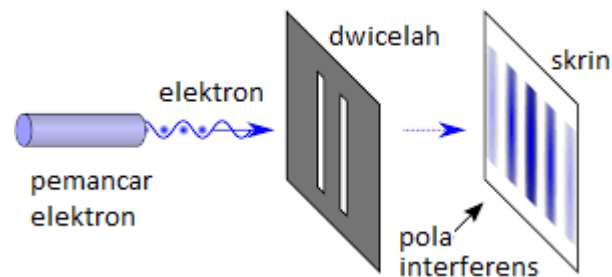


Bila pandangan beranjak, burung menjadi anab.

Rupa-rupanya hukum-hukum fizik yang ditelan di sekolah adalah sebenarnya pada asasnya kehendak simetri. Dan simetri merupakan sesuatu yang asas, yang tidak dipersoali. Misalnya simetri translasi ruang – iaitu bahawa fizik tak berubah apabila kedudukan ruang dianjak, ataupun asalan kordinat ruang diubah dengan nilai malar – membawa kepada hukum keabadian momentum. Begitulah keistotropan ruang-masa, iaitu fizik tidak bergantung kepada arah sudut yang dipilih, memestikan keabadian momentum sudutan. Kalau di sekolah kita hafal hukum-hukum fizik secara suapan, kini kita menghayati kehendak simetri ke atas struktur fizik alam. Asas hukum alam rupa-rupanya begitu tabii dan unsur.

Teori medan kuantum berlandaskan dua tonggak utama fizik moden pasca1900. 'Moden' disini sudah berumur lebih satu abad, namun ia menandakan titik detik fizik melompat dari paradigma 'klasik' lama. Pertama, kerelatifan: tiada kedudukan ruang dan masa yang mutlak, yang mutlaknya halaju cahaya. Kedua, kekuantuman: pada skala zarah keunsuran, mekanik kuantum mengambil alih. Dalam mekanik kuantum, objek-objek seperti atom dan elektron

bersifat seperti zarah dan juga seperti gelombang pada waktu yang sama. Ini membawa kepada telatah-telatah yang tidak biasa seperti pembiasan zarah seperti elektron dan sebaliknya juga sifat kezarahan gelombang cahaya, yang diterangkan sebagai zarah foton. Ada ketakbolehan menentukan setepat-tepatnya dua parameter saling melengkapi, seperti kedudukan dan momentum, dan juga masa dan tenaga, yang disuratkan sebagai Prinsip Ketakpastian Heisenberg. Dalam teori medan kuantum, medan daya digantikan dengan medan kuantum, dan daya adalah akibat salingtukar zarah pengantara. Cara tindakbalas berlaku dititahkan oleh simetri salingtindak berkenaan.



Interferens gelombang elektron. Ada ketakpastian trajektori sebenar zarah elektron (celah mana?).

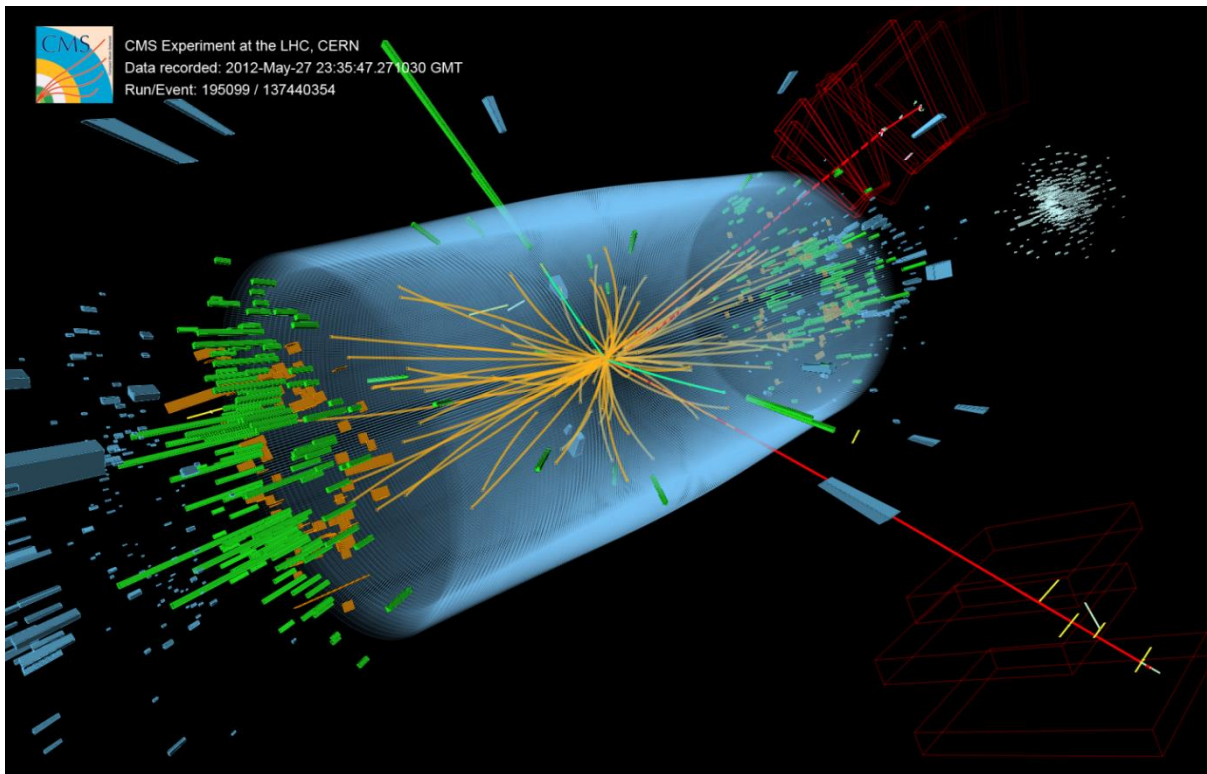
Pada latar demikianlah munculnya Higgs, Kibble, Salam dan lain-lain yang juga membawa paradigma baharu dalam fizik zarah. Sebelumnya, kebanyakan ahli fizik zarah melihat tindakbalas antara zarah dari segi apa yang disebut matriks- S , yang kononnya mengandungi semua pengetahuan perlanggaran zarah-zarah. Tahun-tahun 1970an dan 1980an merupakan tahun-tahun kedewasaannya teori medan kuantum, yang mula meminggirkan teori matriks- S , dan mula tertegapnya apa yang dikatakan Model Piawai bagi fizik zarah. Salam dan lain-lain telah berjaya menggabungkan daya elektromagnet dan daya lemah secara teori menerusi penyatuan simetri daya-daya ini, sebagai sebahagian daripada Model Piawai ini. Daya-daya ini mengasing pada tenaga rendah tertentu menerusi pecahan simetri ini. Higgs, Kibble dan lain-lain telah menyarankan bagaimana ini boleh berlaku, secara teori. Pecahan simetri ini memberikan suatu zarah, yang dinamakan zarah Higgs.

Puncak kejayaan Model Piawai ini ialah penemuan, setelah sekian lama dicari, zarah Higgs, di Pelanggar Hadron Besar (*Large Hadron Collider* atau LHC) di CERN, di pinggir Geneva, Swiss, pada musimpanas 2012. Higgs, François Englert dan Robert Brout dianugerahkan Hadiah Nobel pada tahun berikutnya. Peraturan penganugerahan Hadiah Nobel fizik ialah tidak lebih daripada tiga penerima. Tom Kibble terlepas. Namun selepas itu beliau dikesatrikan oleh Ratu Elizabeth II Britain.

Higgs, yang beratnya $125 \text{ GeV}/c^2$ (lebih-kurang $2 \frac{1}{4}$ kg dibahagi 10^{25} . Nombor 10^{25} itu ialah 1 diikuti 25 sifar: sejuta trilion trilion), berbanding proton pada $1 \text{ GeV}/c^2$, memerlukan pelanggar sebesar LHC untuk ditemui. LHC dengan lilitan 27 km, melanggarkan proton pada tenaga sehingga 14 TeV (14,000 GeV), yang seterusnya menghasilkan pelbagai zarah. Zarah Higgs ditemui sebagai salah satu daripada jenis zarah-zarah terhasil.



Pelanggar Hadron Besar (LHC), di CERN, Geneva, di bawah tanah Perancis dan Swiss, berlatarbelakangkan Tasik Geneva dan Pegunungan Alps. Landasan lapangan terbang antarabangsa Geneva kelihatan melintang berhampiran titik perlanggaran LHCb. Gambar CERN.



Calon zarah Higgs dihasilkan dalam perlanggaran proton-proton pada tenaga tinggi di CERN. Ia mereput kepada dua boson Z, satu daripadanya menjadi pasangan muon (garis merah), dan yang satu lagi menjadi pasangan elektron (garis hijau). Gambar CERN.

Penemuan Higgs merupakan permata pelengkap mahkota pencapaian Model Piawai dalam kajian fizik zarah keunsuran. Penungguan separuh abad diperlukan untuk ketibaan pelanggar yang punyai cukup tenaga untuk menghasilkannya. Pelanggar berkenaan ialah *Large Hadron Collider* LHC yang dibina di bawah tanah merangkumi bahagian-bahagian Suis dan Perancis, di Geneva, dengan kerjasama masyarakat sains antarabangsa.

Pada awal kajian fizik zarah, zarah-zarah baru yang dikaji didapati daripada perlanggaran sinar kosmos dengan zarah-zarah di bumi. Zarah baru buatan dapat dihasilkan bermulanya mesin siklotron mula-mula dibina oleh Ernest Lawrence di Berkeley, Amerika Syarikat, pada tahun 1932. Sinkrotron 27 incinya (1/100,000 saiz LHC) memecut zarah kepada tenaga hanya 4.8 MeV (1/3,000,000 tenaga LHC). Kosnya juga mungkin berpuluh juta kali lebih murah.



Suatu peralatan awal mengkaji zarah keusuran, sebagai bandingan. Ia bersaiz lebih-kurang sejengkal.

Buku ini ditulis meraikan penemuan zarah Higgs ini. Apakah keertiannya Higgs ini, dan kenapa ribuan manusia sanggup berpakat dan membelanjakan bilionan ringgit untuk memperoleh secubit statistik bagi membuktikan Higgs ini? Ia juga menceritakan kisah pembabitan saya dan pasukan Malaysia dalam usaha sejagat ini.



Sorakan di Bangunan 40 di CERN setelah pakatan CMS dan ATLAS mengumumkan secara rasmi penemuan zarah Higgs. Gambar CERN. Di antara mereka di CERN pada saat itu ialah pelajar saya, Sdra Afiq Aizuddin Anuar, yang kemudiannya meneruskan PhDnya di Hamburg, Jerman.

Semasa penemuan Higgs diisytiharkan, saya dan kami di Malaysia belum lagi menyertai kumpulan eksperimen di CERN secara rasmi. (Walaupun bagaimanapun, saudara Afik Aizuddin, seorang pelajar kami, ada berada di Auditorium CERN semasa dan di mana ia dibuat, di antara pusuan manusia.) Jadi melepaskan hadiah Nobel walaupun jika ia dianugerahkan kepada lebih daripada 3 orang untuk fizik dalam sesuatu tahun. Apapun, baju T pun okaylah!



"We found a new particle" (Kami temui satu zarah baharu). Baju T jualan pakatan eksperimen CMS di CERN, di antara dua pakatan yang berjaya mengesan Higgs.