

bookletphx #46

?

Quest(ion)

Bag. 2: Alam

Booklet Seri 46

Quest(ion)

Bag. 2: Alam

Oleh: Phoenix

Dengan banyaknya pertanyaan yang telah ku jawab dalam kurun waktu 1 tahun, tentu kompilasi jawaban Quora akan berlanjut ke booklet lain. Sebagai yang menyenangkan fisika sedari masa sekolah, tentu saja pertanyaan fisis menjadi termasuk yang menarik untuk dijawab. Memang pertanyaan-pertanyaan di Quora menjadi terasa cukup konyol karena sesungguhnya jawabannya bisa dicari dengan mudah dengan Google. Yang terjadi memang pada akhirnya adalah yang ditawarkan adalah jawaban yang menarik bukan yang lengkap ataupun akurat. Pada titik ini, Quora mulai terlihat *downside*-nya. Beberapa waktu aku bertahan menjadi penjawab di Quora dengan niat sebagai alternatif proses menulis yang kala itu lagi macet. Pertanyaan di Quora menjadi usulan topik tersendiri yang juga menguji pemahamanku. Sebagaimana yang sejak dulu ku pegang, salah satu tujuan dari menulis adalah rekonstruksi pikiran, dan dengan itulah aku terus menerus secara rutin tiap hari mencari pertanyaan untuk dijawab.

Dan inilah booklet kedua dari semua jawabanku, khusus terkait alam fisik. Semoga bermanfaat!

(PHX)

Daftar Pertanyaan

Apa yang terjadi pada benda yang tersedot lubang hitam? 5

Apa akhir dari lubang hitam ? 7

Apa yang akan terjadi jika kamu menyentuh Matahari? 9

Bisakah kita menghentikan waktu? 10

Apakah anti materi (antimatter) itu? 12

Apa sajakah yang tidak bisa dibuktikan oleh sains? 14

Apa penjelasan sederhana tentang fisika kuantum? 16

Jika medan gravitasi menarik benda bermassa, medan listrik menarik/mendorong benda bermuatan, medan Higgs memberikan sesuatu massa, apakah yang diatur oleh medan magnet? 18

Untuk menemukan rumus $E=mc^2$, Albert Einstein menggunakan peralatan apa dalam eksperimennya? 20

Bagaimana caramu menjelaskan konsep partikel boson Higgs kepada orang awam tanpa menggunakan penjelasan matematika yang rumit? 22

Jika Matahari membakar energi, apakah ada sebagian energi tersebut menjadi suara selain menjadi panas dan cahaya? 25

Apakah tumbuhan di bumi dapat tumbuh juga di planet lain? 25

Jika kecepatan cahaya adalah batas kecepatan universal, apakah juga ada batas temperatur? 26

Bagaimana ayam tercipta, dimulai dari telur dahulu atau langsung jadi ayam? 28

Mengapa kita tidak bisa bergerak lebih cepat dari cahaya? 29

Komputer dan model komputasi seperti apa yang diperlukan untuk merancang Iblis Laplace? 31

Apa yang anda ketahui mengenai dimensi kedelapan? 33

Seandainya keberadaan semesta paralel (ternyata) tidak terbukti, lalu apa yang ada sebelum 'Big Bang'? 33

Apakah kamu setuju bahwa waktu itu sebenarnya adalah ilusi? 34

Seberapa rumitkah perjalanan waktu? 35

Apakah chaos theory memang menggambarkan hukum alam, atau merupakan pemodelan untuk sistem yang terlalu kompleks yang tidak bisa diselesaikan secara analitis? 35

Apakah waktu dapat berjalan mundur? 37

Apa itu Teori Kekacauan (Chaos Theory)? Bisakah kamu menjelaskannya kepada orang awam? 38

Apa yang mengisi 99,9% ruang kosong dalam atom? 41

Apakah teori ledakan besar (Big Bang Theory) dapat diselaraskan dengan doktrin penciptaan? 43

Jika ruang itu hampa, mengapa ruang tidak menyedot semua udara dari atmosfer Bumi? 43

Jika gravitasi itu ada, mengapa Bulan tidak jatuh ke Bumi? 44

Bila api butuh oksigen, dari mana matahari mendapatkannya bila tidak ada oksigen di luar angkasa? 44

Apa rahasia dari ilmu matematika? 44

Apakah Albert Einstein mempercayai adanya Tuhan di alam semesta ini? 45

Pada kecepatan apa alam semesta mengembang? Apakah lebih cepat atau lebih lambat daripada kecepatan cahaya? 45

Apa bukti alam semesta tidak kekal? 46

Berapa usia alam semesta ini? 47

Bagaimana cara menjelaskan lebih sederhana mengenai konsep dimensi ke-5? 47

Apa bintang terbesar yang terdeteksi hingga saat ini? 47

Apa kegunaan akselerator partikel? Mengapa benda ini begitu penting? 48

Kenapa gravitasi bisa menahan manusia di permukaan bumi? 48

Jika cahaya tidak memiliki massa, mengapa cahaya terpengaruh oleh gravitasi? 49

Apakah simpanse akan menjadi manusia jika berevolusi? 49

Ada berapakah sebenarnya dimensi di alam semesta ini? 50

Apa yang terjadi pada Bumi seandainya Matahari berhenti bersinar selama satu hari? 51

Mengapa tidak ada hewan lain yang berevolusi untuk bisa berdiri dengan dua kaki? 51

Apakah kamu percaya pada teori adanya dunia paralel? 52

Berapa lama lagi waktu yang tersisa hingga kepunahan manusia? 53

*Apa kesulitan paling mendasar dalam upaya memahami alam semesta sebagai suatu keseluruhan?
54*

Apa satuan panjang terkecil yang ada dan bagaimana contoh wujudnya? 54

'Big Bang' masih merupakan teori, jadi mengapa semua orang begitu yakin tentang usia alam semesta? 54

Apa yang terjadi pada benda yang tersedot lubang hitam?

29 Mei 2019

Ada banyak kemungkinan. Lubang hitam adalah salah satu entitas paling misterius di semesta ini.

Pertama, pahami bahwa lubang hitam terbentuk karena **materi yang memadat**, artinya materi yang proporsi antara massa dan volumenya tak wajar. Untuk menyederhanakan, kita cukup pandang objek yang berbentuk bola, sehingga kita tidak perlu melihat volume, tapi cukup jari-jarinya saja.

Jadi, **lubang hitam terbentuk ketika proporsi antara massa dan radiusnya melewati suatu titik tertentu**. Untuk suatu massa tertentu, titik batas jari-jarinya disebut sebagai jari-jari **Schwarzschild**, yang sebenarnya bisa anda hitung sendiri dengan mudah melalui formula

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

G adalah konstanta gravitasi, c adalah kecepatan cahaya. Google saja nilainya berapa, masukkan ke kalkulator, isi M dengan massa objek apapun yang kamu inginkan, dan kamu bisa hitung batas jari-jari objek itu sebelum ia jadi lubang hitam. Apapun? Ya, termasuk anda, saya, dan bumi ini, **semua bisa jadi lubang hitam**, jika dimampatkan sampai melewati jari-jari Schwarzschild-nya. Kenapa? Lewat dari jari-jari ini, gravitasi akan memampatkan massa sedemikian kuatnya sampai begitu kecil mencapai titik (yang disebut singularitas), suatu proses yang disebut *gravitational collapse*.

Kenapa ini penting? Karena pada dasarnya lubang hitam tidak lah *literally* lubang. Lubang hitam hanyalah segumpal massa seperti bintang atau matahari atau saya atau anda. Hukum gravitasi di sekitarnya pun berperilaku sama, sehingga sebagaimana bintang lainnya, anda bisa mengorbit lubang hitam tanpa perlu khawatir "tersedot". Jadi ingat, lubang hitam bukanlah *vacuum cleaner*.

Oke, tapi tentu jika kita melayang begitu saja di angkasa dekat dengan bintang, gravitasinya tetap akan menarik kita, demikian juga lubang hitam. Tapi sekali lagi ingat bahwa dalam hal ini, fenomenanya masih sama.

Lalu, apa yang membuat lubang hitam spesial? Kenapa ia disebut lubang? Kenapa selama ini citranya adalah bahwa lubang hitam "menyedot" segala sesuatu? Dan seperti apa yang anda tanyakan, apa yang terjadi kalau memang ada benda "tersedot" ke lubang hitam?



Inilah kenapa saya perlu perkenalkan jari-jari Schwarzschild di atas. Anomali dari lubang hitam, dimana fenomena yang terjadi akan berbeda dibandingkan benda bermassa lain, ada pada suatu titik batas yang dikenal sebagai cakrawala peristiwa (*event horizon*) yang sebenarnya hanyalah batas jari-jari Schwarzschild itu sendiri.

Kenapa disebut cakrawala peristiwa? Di sinilah lubang hitam mulai begitu menarik.

1. "Berhentinya" waktu

Ada suatu fenomena dalam relativitas umum yang disebut dengan dilatasi waktu gravitasional. Ini sedikit berbeda dibandingkan dilatasi waktu relativitas khusus yang dipelajari di SMA.

Secara sederhana, semakin dekat anda dengan suatu massa, semakin melambat waktu yang anda alami (tentu, relatif terhadap orang lain). Ya, orang yang hidup digunung *literally* lebih awet muda ketimbang orang yang hidup di pantai, karena bagi orang yang hidup di pantai, waktu yang dialami oleh orang gunung **lebih lama** ketimbang waktu yang ia alami.

Jika anda berada pada lubang hitam, tepatnya di dalam cakrawala peristiwa, gravitasi begitu besar sampai-sampai waktu yang anda alami benar-benar berhenti. Bagi seluruh semesta, waktu anda tidak bergerak. Kalaupun anda berlari-lari, melompat-lompat, berguling-guling, ataupun bersepeda di sana, maka seluruh semesta tidak ada yang tahu apa yang anda lakukan, karena bagi kami semua, anda di sana diam karena **waktu berhenti**. Ini lah asal usul mengapa ia disebut *event horizon*, karena lewat dari batas itu, tidak ada *event* yang bisa terjadi. Kejadian apapun di dalam *event horizon* lubang hitam, tidak pernah terjadi bagi seluruh semesta luar, karena bagi kami semua, di dalam itu waktu tidak bergerak.

Tapi lucunya, sebelum anda melewati cakrawala peristiwa, semesta masih bisa melihat anda bergerak. Justru tepat ketika anda mencapai cakrawala peristiwa, barulah anda seperti berhenti.

Maka, *seandainya* kita bisa melihat benda apapun yang mendekati ke lubang hitam, kita akan melihat mereka membeku tepat di jari-jari Schwarzschild. Semua benda itu mungkin saja entah sudah jadi apa di dalam sana, tapi kita melihat mereka melayang, diam, berhenti, tepat di jari-jari itu. Aneh?

Memang.

2. Spagetifikasi (Efek Mie)

Bisa bayangkan kan bahwa gravitasi menentukan percepatan? Jadi jika gravitasinya besar, maka percepatannya juga tentu besar bukan? Gravitasi ditentukan murni dari massa dan jarak terhadap massa, sehingga sebenarnya gravitasi bumi yang dialami kepala anda sedikit lebih kecil dibandingkan gravitasi yang dialami kaki anda. Hanya saja, perbedaannya kecil banget dan anda tidak akan rasakan.

Tapi, bagaimana jika di lubang hitam? Di dalam cakrawala peristiwa, gravitasinya begitu besar sampai-sampai seluruh massa meluruh jadi satu titik singularitas, sampai-sampai di dalam situ cahaya saja tidak bisa lolos. Beda dengan di luar cakrawala peristiwa, gravitasinya masih normal sebagaimana benda bermassa lain.

Bayangkan anda tertarik ke lubang hitam, kemudian kaki anda pertama kali melewati cakrawala peristiwa. Bum, kaki anda tertarik begitu keras sedangkan kepala anda masih tertarik dengan normal. *So*, imajinasikan kepala anda dipegang, lalu kaki anda ditarik oleh ratusan jet.

Maka *well, guess it*, anda jadi spageti. Jadi itulah, spagetifikasi. Itu yang terjadi khusus di lubang hitam.

3. Lenyap dari sejarah

Kenapa? Penjelasnya sedikit panjang yang ini. Singkatnya, sekali masuk cakrawala peristiwa, apapun tidak akan pernah bisa keluar lagi. Sedangkan, lubang hitam itu sendiri akan menguap kelak suatu saat. Sehingga, siapapun yang masuk benar-benar tidak ada lagi jejaknya di semesta ini.

Bingung? Wajar, karena memang, lubang hitam adalah benda yang misterius.

Apa akhir dari lubang hitam ?

29 Mei 2019

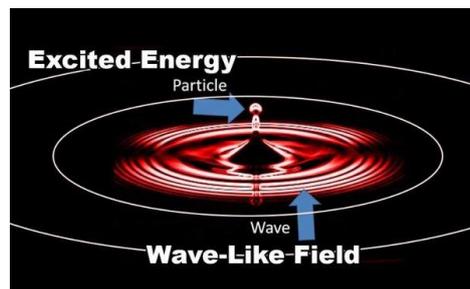
Menguap... dan lenyap.

Menguap? *Well*, tentu tidak dalam konteks pengertian aslinya sebagai perubahan wujud menjadi uap/gas. Menguap di sini memang terjemahan langsung dari *evaporate*, namun dalam konteks lubang hitam, maknanya berbeda.

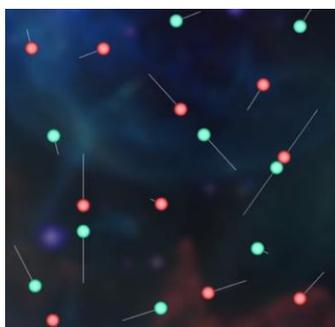
Meskipun dikatakan bahwa tidak ada gelombang EM yang bisa lolos dari lubang hitam, sehingga lubang hitam sukar dideteksi (dengan itu ia disebut "hitam"), lubang hitam ternyata memancarkan radiasi lain dengan cara yang berbeda. Radiasi ini disebut sebagai **radiasi Hawking** (*Hawking Radiation*), berhubung yang menemukannya memang Stephen Hawking. Radiasi inilah yang menyebabkan lubang hitam menguap.

Apa sebenarnya radiasi Hawking?

Pertama, perlu dibayangkan terlebih dahulu bahwa semesta ini tidak lah berada dalam kondisi konstan sepanjang waktu, bahkan di ruang hampa sekalipun. Pada setiap titik di semesta, selalu ada "getaran energi" yang disebut sebagai **medan kuantum**. Medan kuantum selalu berosilasi, alias memiliki nilai (tak nol), di setiap titik di semesta. Sukar membayangkan? Imajinasikan saja seperti di dalam atmosfer bumi, di setiap titik selalu ada udara yang bergerak kesana kemari. Hanya saja, di titik dimana osilasi medan kuantum ini cukup besar, ia terejawantahkan menjadi sebuah partikel.



Karena medan kuantum selalu berosilasi, fluktuasinya terkadang bisa membesar pada suatu titik, sehingga menghasilkan partikel dan anti-partikel secara cuma-cuma. Akan tetapi, partikel dan anti-partikel ini tidaklah stabil, mereka akan segera saling mengannihilasi atau berinteraksi dengan partikel lainnya. Jadi, bisa dibayangkan semesta ini sebenarnya penuh dengan partikel dan anti-partikel yang datang dan pergi begitu saja.



Semua fluktuasi ini baik-baik saja sebenarnya, karena *toh* mereka datang dan pergi, sehingga secara keseluruhan, seakan-akan semuanya stabil, ya seperti permukaan laut juga terlihat rata meskipun sebenarnya ombak selalu muncul dan hilang.

Tapi, sayangnya ini jadi masalah, ketika **terjadinya di dekat lubang hitam**.

Karena? Karena ketika sepasang partikel dan anti partikel muncul di dekat lubang hitam, pasangannya mungkin terjebak masuk ke lubang hitam, sedangkan pasangannya yang lain berhasil lolos. Partikel yang lolos inilah yang kemudian bisa diobservasi oleh kita sebagai radiasi Hawking.

Partikel yang lolos ini "kabur" **membawa energinya**, energi yang seharusnya merupakan milik lubang hitam. Sehingga, terjadinya radiasi Hawking membuat energi (dalam bentuk massa) dari lubang hitam perlahan-lahan menyusut hingga semakin lama semakin lenyap.

Tentu penjelasan di atas hanyalah penyederhanaan, karena skenario yang sesungguhnya terjadi jauh lebih rumit. Jelas, Hawking tidak akan disebut Einstein masa kini jika yang ia formulasikan tidak rumit. Namun, ilustrasi di atas cukup mewakili sepenuhnya sebagaimana kita sering memahami penjelasan gravitasi Einstein dengan ilustrasi bola di atas trampolin.

Penjelasan di atas seakan tanpa masalah, dan sebenarnya prediksi Hawking akan adanya radiasi ini sudah dibuktikan, hingga akhirnya setelah dipikir-pikir, mulai muncul paradoks dalam menguapnya lubang hitam, paradoks yang dikenal sebagai paradoks informasi lubang hitam (*black hole information paradox*).

Paradoks Informasi Lubang Hitam

Semua fenomena di semesta ini sebenarnya mengandung informasi. Misalnya, suatu bola yang di jatuhkan dari ketinggian tertentu akan membawa informasi seperti massa dan kecepatan. Informasi ini cukup untuk membuat kita bisa memprediksi masa depan dari bola itu. Informasi-informasi untuk setiap keadaan semesta ini tentu tidak boleh lenyap, karena jika iya, maka masa lalu semesta akan lenyap bersamanya.

Padahal, dalam fisika kuantum, **informasi dari suatu keadaan kuantum dijamin tidak akan bisa hilang** apapun yang terjadi, sehingga mengetahui suatu keadaan kuantum dari suatu partikel pada suatu sistem bisa membuat kita bisa mengetahui keadaan kuantum partikel tersebut di masa lalu atau pun masa depan.

Pusing? Coba bayangkan mendadak anda amnesia dan memori tentang anda dari semua manusia juga hilang. Seluruh identitas anda akan lenyap bersamanya, anda tidak punya masa lalu. Anda bahkan seakan-akan makhluk yang tiba-tiba ada dan hanya punya masa depan.

Itulah yang terjadi ketika ada informasi di semesta yang lenyap. *Nah*, para fisikawan kuantum telah membuktikan bahwa informasi kuantum di semesta itu kekal. Di sinilah muncul paradoks.

Kita tentu tahu bahwa apapun yang masuk melewati cakrawala peristiwa (*event horizon*) dari lubang hitam tidak akan pernah bisa keluar kan? Ketika suatu hal "tersedot" ke dalam lubang hitam, tentu **ia juga membawa informasinya**. Hal ini tentu tidak jadi masalah karena informasi itu hanya tersimpan saja di dalam lubang hitam. Masalah muncul justru dari radiasi Hawking.

Radiasi Hawking cenderung bersifat acak dan hanya bergantung dari massa lubang hitam. Padahal, radiasi ini membuat massa lubang hitam sendiri perlahan-lahan menyusut. Ketika itu terjadi, bagaimana dengan informasi yang tersimpan dalam lubang hitam? Ikut lenyap bersamanya. Dengan itu, apapun atau siapapun yang masuk ke lubang hitam, tidak akan pernah bisa dilacak.

Mereka *literally* **lenyap dari semesta ini**.

Maka bayangkan saja, lubang hitam bagaikan mesin yang menyedot segala sesuatu, namun ia sendiri menguap menjadi sesuatu yang tidak menyimpan informasi sedikitpun akan apa yang ia sedot!

Dengan demikian, informasi semesta selalu lenyap dan itu bertentangan dengan konservasi informasi kuantum. Pada suatu titik di masa depan, ketika semesta hanya berisi kumpulan lubang hitam dan lubang hitam itu sendiri pun menguap, maka seluruh masa lalu semesta itu lenyap, seakan kita tidak pernah ada dan semua yang terjadi tidak pernah terjadi.

Tentu ada beberapa solusi yang diajukan fisikawan untuk mengatasi paradoks ini, seperti bahwa sebenarnya di balik lubang hitam, ada portal (lubang cacing/*wormhole*) yang terhubung dengan semesta lain, atau, bahwa informasi yang terkandung dalam lubang hitam sebenarnya terenkripsi dalam radiasi Hawking. Namun semua ini masih spekulasi.

Apa yang akan terjadi jika kamu menyentuh Matahari?

26 Mei 2019

Pertanyaannya perlu diperjelas dulu. Apa arti kata **menyentuh**?

Kemudian saya akan tanya balik, bisakah anda menyentuh udara? *Well*, jika bersentuhan adalah sekadar terjadinya kontak langsung antara dua materi, *literally* di dalam atmosfer bumi, kita **selalu** menyentuh udara. Namun, *hey*, jika hanya sekadar itu, kita selalu menyentuh matahari, karena kita selalu terkena materi dari matahari setiap detiknya.

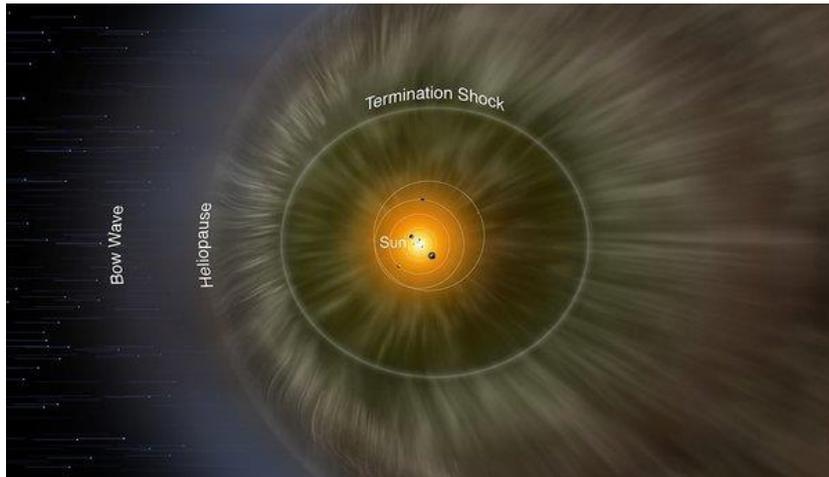
Jika ingin sedikit serius dalam hal fisiknya, bahkan, **tidak ada benda yang benar-benar saling bersentuhan**, karena sebenarnya yang terjadi ketika kita memegang suatu besi misalnya, elektron di kulit kita dan elektron di besi saling menolak sehingga menciptakan celah sangat kecil antara kita dan besi. Penolakan itu mengimpuls saraf di kulit kita sehingga kita merasa *seperti* menyentuh besi.

Itu pun, besi **punya permukaan yang jelas**, yakni atom-atom besi terluar yang elektronnya berinteraksi langsung dengan elektro dari atom lain. Sekarang, saya tanya, apakah **matahari punya permukaan**?

Sebelumnya saya jelaskan bahwa kita selalu menyentuh udara, tapi itu udara sebagai partikel tunggal, bukan sebagai satu kesatuan, maka pertanyaan yang tepat adalah bisakah anda menyentuh atmosfer? Jika bisa, di sebelah mana? Di dalam atmosfernya, di permukaannya, atau yang penting dimanapun partikel atmosfer itu "mengenai" kita?

Faktanya, matahari seperti atmosfer, ia merupakan objek yang terdiri dari gas. Maka untuk benar-benar menjawab **Apa yang akan terjadi jika kamu menyentuh Matahari?**, jawabannya harus terbagi menjadi 3, yakni

1. Jika yang dimaksud menyentuh adalah terkena partikel matahari, maka kita setiap detik sudah menyentuh matahari. Bahkan, sampai anda berada hingga 50 AU (*astronomical unit*) dari matahari pun, anda masih bisa terkena lontaran partikel angin matahari, Batas ini disebut sebagai *heliopause*.



2. Jika yang dimaksud menyentuh adalah berada di permukaan. Berhubung makna permukaan dari objek gas sukar didefinisikan, saya ambil bahwa permukaan yang dimaksud adalah titik terluar fotosfer, karena radius matahari didefinisikan sebagai jarak dari inti ke fotosfer. Untuk hal ini, anda bayangkan saja berada pada suhu 5500 derajat celcius, maka anda bisa menjawab sendiri.
3. Jika yang dimaksud menyentuh matahari adalah terkena materi dalam matahari (bukan hasil lontaran), maka ini berarti masuk lebih dalam dari fotosfer, yang berarti anda harus merasakan suhu lebih dari 5500 derajat celcius. Ya, silakan saja bayangkan sendiri. Elemen dengan suhu leleh tertinggi saja, karbon (dalam bentuk berlian) sudah meleleh pada 3500 derajat celcius.

Bisakah kita menghentikan waktu?

21 Mei 2019

Waktu yang mana? Waktunya siapa?

Apabila yang dimaksud adalah waktu universal, maka pada dasarnya ia tidak pernah ada. Waktu sendiri merupakan entitas yang cukup sukar didefinisikan, maka jawaban atas ini bisa terbagi bergantung perspektifnya.

Waktu psikologis

Bayangkan anda mengetahui besok anda akan dihukum mati melalui proses penyiksaan yang sangat menyakitkan, maka kemungkinan besar sepanjang hari ini jantung anda akan berdegup lebih kencang dari biasanya, tekanan darah meningkat, pikiran mengacau, dan waktu terasa seakan **terhenti**.

Atau, mungkin saja anda akan menjadi pembicara untuk pertama kali sebuah seminar internasional dan akan ada ribuan audiens yang akan memperhatikan anda. Kemungkinan besar pada awal mulai sesi anda, anda akan keringat dingin, tangan sedikit bergetar, dan anda terpaksa melihat seluruh mata tertuju ke arah anda, maka saat itu mendadak waktu terasa seakan **terhenti**.

Waktu secara psikologis ditentukan dari bagaimana otak kita mempersepsikan lamanya waktu yang berlalu. Proses penentuan waktu oleh otak adalah proses yang kompleks dan melibatkan banyak faktor fisiologis. Impuls eksternal, seperti keadaan psikologis, sebagaimana saya contohkan di atas, akan bisa membuat persepsi waktu kita berubah dari normal. Selain itu, impuls lain berupa obat seperti stimulan atau depresan, bisa mengubah persepsi orang berubah terhadap waktu.

Waktu Relativistik

Nama ini sedikit ambigu, karena waktu psikologis pun bersifat relatif. Akan tetapi, yang saya maksud relativistik di sini adalah bagaimana waktu terasa berbeda berdasarkan pengamat yang berbeda, sebagaimana dijelaskan oleh Einstein.

Ada dua cara waktu melambat. Yang pertama, bergeraklah mendekati kecepatan cahaya. Yang kedua, berdirilah di dekat suatu benda bermassa.

Yang pertama didasarkan pada **relativitas khusus**. Waktu yang dialami suatu objek yang bergerak relatif terhadap kita akan kita pandang **lebih lama** ketimbang waktu yang kita alami. Misal ada monyet memakai kalung jam dan terbang dengan cukup cepat melintasi bumi, maka kita yang tengah duduk-duduk menikmati sore akan melihat jam yang monyet itu kalung berdetik lebih lambat ketimbang detik arloji yang tengah anda pakai. Jika monyet itu terbang sampai pada kecepatan cahaya, maka jam yang ia kalungi benar-benar tidak berdetik sedikitpun bagi anda. Monyet itu telah **menghentikan waktu**.

Yang kedua didasarkan pada **relativitas umum**. Semakin dekat anda dengan suatu massa, semakin melambat waktu yang anda rasakan. Ya, orang yang hidup digunung *literally* lebih awet muda ketimbang orang yang hidup di pantai, karena bagi orang yang hidup di pantai, waktu yang dialami oleh orang gunung **lebih lama** ketimbang waktu yang ia alami. Jadi, jika ingin menghentikan waktu dengan cara ini, pergilah ke *event horizon* suatu lubang hitam. Maka bagi seluruh semesta, waktu anda tidak bergerak. Kalaupun anda berdansa, melompat-lompat, berlarian, ataupun main bola di sana, maka seluruh semesta tidak ada yang tahu apa yang anda lakukan, karena bagi kami semua, anda di sana diam karena **waktu berhenti**. Ini lah asal usul mengapa ia disebut *event horizon*, karena lewat dari batas itu, tidak ada *event* yang bisa terjadi. Kejadian apapun di dalam *event horizon* lubang hitam, tidak pernah terjadi bagi seluruh semesta luar, karena bagi kami semua, di dalam itu waktu tidak bergerak.

Waktu Termodinamis

Kedua waktu di atas tentu sifatnya relatif. Namun, paling tidak ada suatu standar waktu yang "dianggap" universal oleh fisikawan, yakni **arah bertambahnya entropi**. Hukum termodinamika kedua mengatakan bahwa entropi (ketidakteraturan sistem) semesta **selalu** bertambah, apapun yang terjadi. Semesta tidak mau tahu, tidak ada pengecualian, entropi harus bertambah. Bahkan Einstein sampai mengatakan

it is the only physical theory of universal content which i am convinced will never be overthrown
dan juga Eddington menambahkan dengan lebih tegas

If your theory is found to be against second law of thermodynamics, I can give you no hope there is nothing for it but to collapse in deepest humiliation

Begitu sakralnya hukum termodinamika kedua, sampai-sampai arah pertambahan entropi dijadikan sebagai arus waktu yang mutlak. Artinya, waktu merupakan proses bertambahnya entropi. Dengan ini, waktu hanya bisa berhenti, ketika entropi semesta mencapai titik maksimum, atau semesta dalam keadaan *totally disordered*. Akankah ini terjadi? Mungkin, justru ini menjadi salah satu skenario akhir semesta yang diyakini banyak fisikawan. Kelak seluruh bintang akan mati, seluruh lubang hitam *evaporated* (ini tidak bisa diartikan "menguap"), dan semesta hanyalah berupa ruang dingin yang sepi, kosong, hanya berisi partikel-partikel yang bergerak acak. Inilah kondisi entropi maksimum semesta, dan di sinilah **waktu kehilangan makna**, karena tidak ada proses apapun terjadi. *Well*, jadi mau menghentikan waktu? Tunggu saja sampai waktu itu berhenti sendiri.

Apakah anti materi (antimatter) itu?

2 Mei 2019

Bukankah indah dunia ini dalam simetri? Siang dan malam saling menggantikan, listrik dan magnet saling mempengaruhi, baik dan buruk saling melengkapi. Ya, atas-bawah, tarik-tolak, pria-wanita, positif-negatif. Seakan memang kesimetrian adalah prinsip yang begitu fundamental.

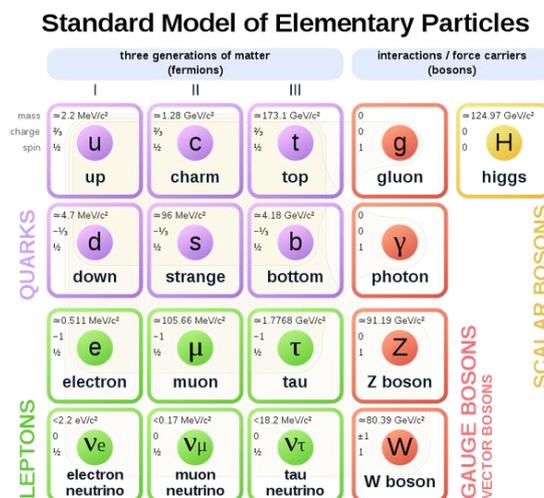
Tapi, apakah memang demikian?

Paling tidak ternyata materi pun menyentuinya. **Setiap materi di semesta punya pasangan yang berlawanan**, dan fisikawan menyebutnya sebagai anti-materi.

Pasangan Materi

Apa yang dimaksud sebagai materi di sini? Ya semuanya, saya, kamu, gadget yang kamu pegang, udara yang kamu hirup, bumi yang kamu pijak. Semua ini, jika dipecah-pecah, akan selalu menghasilkan kumpulan partikel yang sama, disebut sebagai **fermion**.

Apa lagi itu fermion? Bukannya yang ada cuma elektron, proton, dan neutron? Kalau begitu, kenalkan, model standar partikel elementer



Seluruh alam semesta diatur oleh 17 partikel di atas. Ada dua tipe partikel, yakni **fermion** (12 macam), yang merupakan penyusun materi, dan **boson** (5 macam), yang memberi gaya. Proton dan neutron sebenarnya terdiri dari 3 partikel quark, sehingga kurang lebih, mayoritas materi yang kita lihat disusun oleh quark dan elektron.

Perhatikan bahwa setiap partikel memiliki 3 properti intrinsik dasar yang menjadi dasar klasifikasi mereka, yakni **massa, muatan, dan spin**. Mungkin yang kita jarang dengar adalah spin, namun anggap saja itu representasi momentum angular dari partikelnya, meskipun mereka belum tentu benar-benar “berputar”. Kita simpan saja penjelasan akan spin lain waktu.

Setiap fermion memiliki pasangan partikel dengan muatan berlawanan. Inilah yang dinamakan **anti-materi**. Anti-materi memiliki massa dan spin persis sama dengan pasangannya, hanya berbeda muatan. Misal, elektron memiliki muatan -1, maka anti-elektron (dikenal sebagai positron) memiliki muatan +1. Quark atas memiliki muatan +2/3, maka anti-quark atas memiliki muatan -2/3.

Kenapa hanya fermion yang punya anti-materi? Karena perhatikan semua boson (kecuali W boson) tidak bermuatan. W Boson sendiri selalu memungkinkan bermuatan positif atau negatif. Tapi, bukankah neutrino juga tidak bermuatan? Khusus untuk neutrino, yang membedakannya dengan anti-materinya adalah bilangan lepton dan *chirality*. Apa pula kedua hal itu? Kita simpan penjelasannya lain waktu.

Bagian setelah ini adalah penjelasan tambahan mengenai anti-materi. Jika merasa cukup dengan penjelasan di atas, maka tidak perlu membaca jawaban ini sampai selesai.

Annihilasi

Ketika partikel elementernya punya anti-materi, maka **semua yang dibangun oleh partikel-partikel itu juga punya anti-materi**. Misalkan, proton terdiri dari 2 quark atas dan 1 quark bawah, sehingga muatannya +1, maka terdapat anti-proton yang terdiri dari 2 anti-quark atas dan 1 anti-quark bawah, sehingga muatannya -1. Anti-proton, anti-neutron, dan positron bisa membentuk anti-hidrogen. Anti-oksigen dan 2 anti-hidrogen bisa membentuk anti-air (*dum bang tess*, saya tidak berniat bercanda *by the way*). Sehingga, bisa ada anti-saya, anti-kamu, anti-bumi, anti-matahari, atau bahkan seluruh semesta yang dibentuk dari anti-materi.

Tapi, kenapa tidak pernah ada? Kenapa tidak pernah ditemukan anti-air atau anti-glukosa? Faktanya, memang tidak pernah ditemukan anti-materi dalam bentuk bebas di semesta ini!

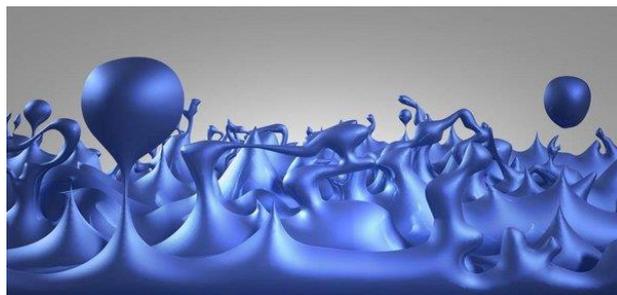
Ibarat cinta sejati, materi dan anti-materinya ternyata tidak bisa dipisahkan lama-lama. **Setiap kali materi bertemu anti-materi, mereka akan melebur dan memancarkan energi**. Proses ini dinamakan **annihilasi**. Kita bisa lihat bahwa saat ini materi ada dimana-mana, sehingga jikalau ada anti-materi yang terbentuk di semesta, maka ia akan langsung segera melebur diri bersama materi apapun yang ia temui.

Akan tetapi, darimana anti-materi ini sendiri bisa terbentuk? Untuk bisa memahaminya kita perlu sedikit menyinggung teori medan kuantum. Jangan takut. Istilahnya serem, tapi selama imajinasi kita aktif, teori fisika apapun bisa terpahami dengan cukup baik.

Sedikit tentang Medan Kuantum

Setiap 17 tipe partikel di atas, sebenarnya memiliki representasi berupa medan. Tidak usah berpikir ribet, anggap saja medan itu seperti udara di atmosfer, yang pada setiap titik bisa diukur berapa banyak partikel udara di sana. *Nah*, setiap tipe partikel elementer memiliki suatu ukuran di setiap titik di semesta, kita sebut ini sebagai **medan kuantum**. Misalkan, seluruh semesta ini terisi oleh medan elektron, yang berisi seberapa “elektron” titik itu di semesta.

Nilai medan kuantum pada tiap titik biasanya diibaratkan seperti osilasi (getaran). Di hampir semua tempat di semesta, nilai getaran medan kuantum ini rata-rata cukup kecil (seperti riak-riak kecil di permukaan air). Di tempat dimana nilai getaran ini cukup besar, partikel hadir. Getaran dalam medan kuantum ini bisa dianggap sebagai fluktuasi energi, sehingga adanya partikel merupakan manifestasi dari getaran energi yang cukup besar dalam medan kuantum.



Akan tetapi, seharusnya pada setiap getaran dalam medan kuantum, terbentuk 2 partikel, yakni materi dan anti-materinya. Sehingga, pada dasarnya, ketika ada fluktuasi energi yang cukup besar pada suatu titik di semesta, materi dan anti-materi bisa tiba-tiba terbentuk dari energi itu. Ini seperti kebalikan dari proses annihilasi. Ketika materi dan anti-materi bertemu, mereka melebur dan menghasilkan energi, dan ketika ada energi cukup besar, materi dan anti-materi bisa terbentuk.

Dengan demikian, setiap materi, seharusnya punya pasangan anti-materi. Tapi kemana pasangannya? Kenapa semua materi di semesta ini *jomblo*?

Misteri Baryogenesis

Salah satu dari masalah fisika yang belum diselesaikan adalah misteri baryogenesis. Apa itu? Seperti yang dijelaskan sebelumnya, jumlah materi dan jumlah anti-materi yang terbentuk ketika *Big Bang* seharusnya sama. Pada sekitar 10⁻¹¹–11 detik setelah *big bang*, seluruh materi dan anti-materi ini saling melebur dan menghasilkan radiasi energi besar-besaran. Akan tetapi *somehow*, ada yang merusak simetri sehingga **dalam peledakan massal ini, seluruh anti-materi habis dan menyisakan hanya materi saja**, yang kemudian membentuk semesta ini sekarang.

Proses terjadinya ketidakseimbangan ini dinamakan sebagai baryogenesis. Kenapa? Baryon sebenarnya sebutan untuk proton dan neutron, karena mereka berdua pembentuk utama materi di semesta. Jadi, baryogenesis adalah proses pembentukan baryon, namun dalam proses ini, tidak ada anti-baryon yang terbentuk. Misteri ini masih belum terselesaikan sampai sekarang.

Tapi **bersyukurlah**, karena jika memang semesta berada dalam simetri sehingga jumlah materi dan anti-materi memang sama, maka semesta yang terbentuk hanyalah lautan radiasi dengan fluktuasi energi yang tinggi. Materi dan anti-materi terbentuk dan melebur kembali dimana-mana. Tidak akan ada galaksi, bintang, apalagi kehidupan.

Apa sajakah yang tidak bisa dibuktikan oleh sains?

30 April 2019

Banyak, saking banyaknya, untuk bisa mengetahui **sesuatu yang tidak bisa** dijelaskan oleh sains, kita cukup **memahami apa yang bisa** dijelaskan oleh sains.

Epistemologi sains itu sebenarnya sangat sederhana. Suatu hal bisa dikatakan benar oleh sains jika dan hanya jika **ia bisa diamati**, baik secara langsung ataupun tidak langsung, dengan prinsip universal dan objektif. Sudah, itu saja. Di luar itu, maka sains tidak bisa berkata apa-apa selain sebuah spekulasi dan prediksi.

Relativitas Einstein pada awalnya hanya dianggap tebakan abstrak matematis belaka. Hanya ketika ada eksperimen atau pengamatan yang berhasil membuktikannya, barulah relativitas menjadi sebuah teori yang diyakini. Teori string, yang diyakini sebagai kandidat teori segala sesuatu (*theory of everything*), meskipun penurunan matematisnya begitu logis dan indah, karena belum ada eksperimen yang bisa membuktikan kebenarannya, maka ia hanya sebatas spekulasi matematika belaka.

Dengan demikian, sesuatu yang tidak bisa dijelaskan oleh sains, adalah segala sesuatu yang **tidak bisa diamati** dengan instrumen apapun yang dimiliki manusia.

Kita harus hati-hati dengan hal ini, karena instrumen atau metodenya **belum ada** saat ini, **bukan berarti ia tidak akan pernah bisa dibuat** kelak. Sains terus berkembang, dan dengan itu instrumen pengamatannya pun semakin lama semakin halus dan cerdas. Tidak ada yang pernah menyangka dulu

bahwa hal seperti *black hole* saja ternyata bisa “difoto”. Tidak ada yang pernah menyangka dulu bahwa proton ternyata masih terdiri dari partikel yang lebih kecil. Tidak ada yang pernah menyangka dulu bahwa umur semesta bisa dihitung.

Jangan mudah menyimpulkan untuk hal-hal yang masih misteri saat ini, seperti kondisi semesta tepat saat Big Bang atau apa sebenarnya *dark energy*, karena tidak tertutup kemungkinan bahwa kelak sains bisa cukup canggih untuk bisa menjelaskannya.

Lantas bagaimana? Apakah itu artinya semuanya selalu mungkin dijelaskan oleh sains? Tidak juga. Syukurnya, memang ada hal-hal yang mau bagaimanapun, manusia akan selalu punya batasan dalam mengamatinya.

Seperti apa? Untuk itu, cukup dipahami **apa saja batasan-batasan pengamatan manusia**. Paling tidak ada dua hal:

1. **Manusia hanya bisa berinteraksi dengan hal-hal yang bersifat material.**
Dengan itu, hal-hal yang bersifat immaterial, seperti jiwa, pikiran, Tuhan, atau hal-hal abstrak non-fisis lainnya, tidak akan pernah bisa dijangkau. Biasanya kemudian, manusia hanya bisa berusaha mengamati efek-efek materialnya, seperti misalnya neurosains berusaha memahami pikiran manusia hanya dengan menganalisis otaknya. Apakah hal-hal immaterial ini benar-benar ada? Sains selalu menolak untuk berbicara terkait ini secara formal.
2. **Logika manusia selalu terbatas oleh kata-kata.** Secara formal, ini telah dibuktikan oleh Kurt Godel. Teorema Godel mengakibatkan dalam suatu logika selalu mungkin ada pernyataan yang *undecidable*, atau tidak dapat ditentukan benar-salahnya. Bukan karena kita tidak cukup cerdas untuk melakukan itu, tapi karena suatu sistem logika tidak akan pernah bisa lengkap dan konsisten sekaligus. Secara informal, anda bisa baca jawaban saya terkait paradoks ke-Maha-an

Semua yang berada di luar batasan itu tidak akan bisa dijelaskan oleh sains secanggih apapun

Siapa yang menemukan teori kuantum?

29 April 2019

Teori kuantum adalah teori yang unik, karena **ia tak punya penemu tunggal**.

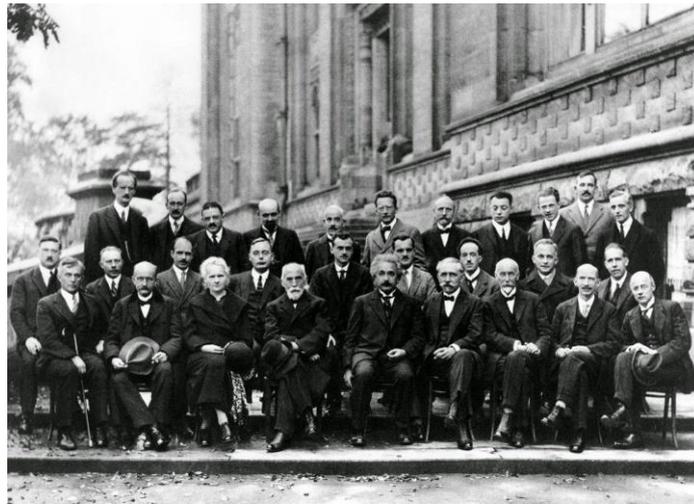
Betapa rumitnya teori kuantum, sampai ia “dikeroyok” oleh banyak orang sekaligus, termasuk juga Einstein. Teori kuantum bagaikan *puzzle* yang setiap bagiannya ditemukan oleh orang yang berbeda sebelum menjadi sebuah gambar yang utuh. Tidak ada yang lebih berjasa dibandingkan yang lain dalam hal ini, sehingga anda tidak akan pernah dengar “penemu teori kuantum”.

Jikalau pun **Max Planck** terkadang disebut sebagai bapak fisika kuantum, maka itu karena ia yang menginisiasi “pengroyokan” itu. Lucunya, apa yang diajukan Planck dalam menginisiasi itu (mengasumsikan energi radiasi dipancarkan tidak secara kontinu, namun dalam paket-paket) berawal dari tebakan putus asa untuk memperbaiki model pancaran radiasi benda hitam^[1].

Asumsi Planck sayangnya secara total mengubah paradigma fisika klasik, membuat para fisikawan *shock* dan tersita perhatiannya pada dunia baru yang misterius itu. Hingga akhirnya, sejak saat itu hingga paling tidak 30 tahun berikutnya, satu per satu teori dikemukakan oleh orang yang berbeda, dari **Werner Heisenberg** untuk prinsip ketidakpastiannya, **Wolfgang Pauli** untuk prinsip

eksklusinya, **Louis de Broglie** untuk sifat gelombang dari partikel, **Albert Einstein** untuk sifat partikel dari gelombang, **David Hilbert** dan **John Von Neumann** untuk konstruksi basis matematisnya, **Enrico Fermi** untuk formulasi statistiknya pada kumpulan partikel, **Niels Bohr** untuk model orbital elektronnya, **Max Born** untuk mekanika matriksnya, **Erwin Schrodinger** untuk persamaan mekanika gelombangnya, **Paul Dirac** untuk jembatan antara persamaan gelombang dengan relativitas khusus, dan masih banyak fisikawan dan matematikawan lain yang satu per satu melengkapi *puzzle* mekanika kuantum sampai menjadi sebuah teori yang utuh.

Semua teori yang terbangun tersusun sedemikian rupa sehingga sangatlah sukar mengatakan siapa yang paling berperan. Hanya satu foto legendaris berikut yang bisa merepresentasikan “penemu teori kuantum”:



Hampir semua nama yang saya sebutkan di atas ada semua di foto itu, yang diambil pada konferensi Solvay kelima pada bulan Oktober 1927. Dari 29 peserta, 17 diantaranya merupakan pemenang hadiah Nobel. Foto ini begitu fenomenal sehingga sering jadi ikon tersendiri dalam sejarah fisika.

Apa penjelasan sederhana tentang fisika kuantum?

29 Apr 2019

Singkatnya, teori fisika kuantum adalah hukum-hukum fisika yang mengurus hal-hal kecil. Ya, kecil, sekecil elektron, karena ternyata, hukum fisika yang berlaku di dunia mikroskopik, benar-benar berbeda dengan hukum fisika biasa yang telah dirumuskan Newton dan kawan-kawannya.

Mengapa dinamakan kuantum dan sejauh apa bedanya? Ini perlu jawaban yang lebih panjang.

Pada akhir abad ke-19, teori fisika **hampir lengkap**. Mekanika Newton dengan anggun bisa menjelaskan semua gerak materi, baik yang makro maupun mikro (termasuk termodinamika) dan teori Maxwell bisa menjelaskan secara detail semua fenomena elektromagnetik. Fisikawan puas dan bangga, seakan semesta bisa dipahami sepenuhnya.

Sayangnya, semua berubah, ketika **bencana ultraviolet** menyerang. Apa pula itu? Semacam fenomena alam luar biasa kah?

Tidak, bencana ultraviolet (*ultraviolet cathastrophe*) adalah anomali yang terlihat dalam model radiasi Rayleigh-Jeans. Sederhananya, setiap benda, apapun, yang bersuhu (dengan kata lain memiliki

energi), selalu memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik (EM), yang jangkauan panjang gelombangnya bergantung pada energi yang dimiliki. Benda apapun? Termasuk kita? Ya, manusia, juga semua makhluk hidup, juga memancarkan gelombang EM. Dengan suhu yang kita miliki, gelombang EM yang dipancarkan berada pada kisaran inframerah. Sering melihat sensor inframerah bukan?

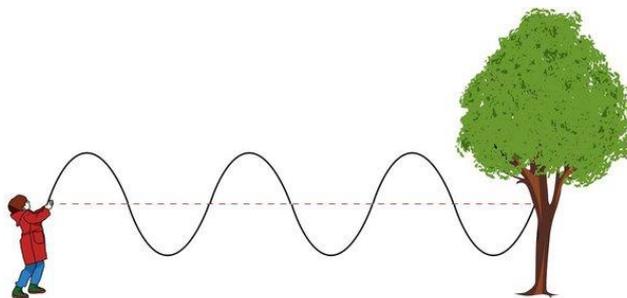


Sayangnya, dalam teori radiasi klasik, yakni hukum Rayleigh-Jeans, energi radiasi yang dipancarkan berbanding terbalik dengan panjang gelombang **pangkat 4**. Sehingga, gelombang EM dengan panjang gelombang kecil, seperti gelombang UV, dipancarkan dengan energi yang tak wajar! Kegagalan teori klasik untuk memodelkan radiasi inilah menjadi guncangan awal para fisikawan. Mereka mulai sadar, bahwa **hukum fisika yang mereka miliki masih punya cacat**.

Teori kuantum lahir ketika kemudian Max Planck, dengan *desperate* mencoba membuat asumsi tanpa dasar, bahwa **setiap panjang gelombang tidak memancarkan energi secara kontinu, namun dalam paket-paket**, yang disebut sebagai kuantum (jamaknya kuantum). Ibarat air pada keran yang tidak mengalir secara terus menerus, namun tetes demi tetes. Syukurnya, ternyata *act of desperate* ini justru menyelesaikan bencana ultraviolet dan menghasilkan distribusi radiasi yang cocok dengan eksperimen! Seluruh fisikawan terkejut, dan sebuah bentuk fisika baru pun lahir.

Asumsi Planck mungkin terkesan sederhana, namun ia mengimplikasikan begitu banyak hal yang di luar *common sense*. Fakta bahwa energi dipancarkan dalam paket-paket diskrit kemudian menjadi dasar bahwa gelombang EM itu sendiri adalah partikel, bukan sekadar gelombang kontinu (dibuktikan Einstein melalui eksperimen fotolistrik).

Tidak terkesan mengejutkan bahwa cahaya adalah partikel? Coba bayangkan betapa bedanya gelombang sama partikel. Jika anda coba goyangkan tali seperti gambar di bawah dan kemudian saya tanya, *dimana* gelombang itu? Jawabannya ya **sepanjang tali itu**.



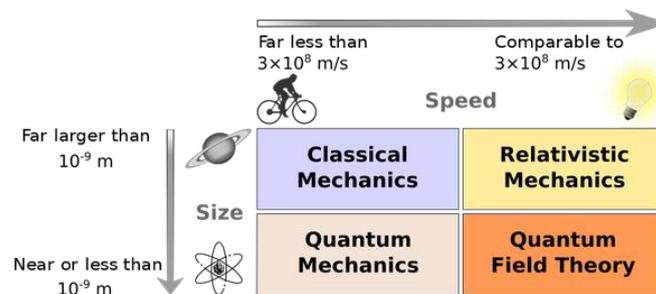
Tapi kalau saya punya bola, kemudian saya tanya *dimana* bola itu, maka saya bisa dengan mudah memberikan **suatu titik spesifik** mengenai lokasi bola itu.

Gelombang dan partikel adalah dua tipe objek yang benar-benar berbeda. Mereka ibarat siang dan malam, api dan air, panas dan dingin. Bagaimana mungkin kemudian, cahaya yang dengan banyak eksperimen telah dibuktikan sebagai sebuah gelombang, bisa tiba-tiba menjadi partikel?

Lebih mengejutkan lagi, ternyata ditemukan kemudian bahwa **semua partikel** punya sifat gelombang!

Well, itulah fisika kuantum, dan itu seakan membuka portal ke semesta baru yang asing bagi fisikawan, meninggalkan mereka banyak PR untuk dikerjakan. Apakah keanehan dunia kuantum hanya seperti yang dijelaskan di atas? Tentu tidak, namun menjelaskan semuanya sama seperti menulis buku, sehingga jika ingin tahu lebih lanjut, saya sarankan buat pertanyaan-pertanyaan baru di Quora.

Teori kuantum, bersama teori relativitas, membuka lembaran baru fisika, yang kemudian dinamakan sebagai **fisika modern**. Tapi, apakah itu berarti semua teori fisika klasik (Newton, Maxwell, dll) adalah salah dan harus disingkirkan? Syukurnya tidak. Semua teori klasik tetap berlaku dan benar, namun hanya untuk pada skala yang sesuai. **Ketika skala ukurannya semakin kecil ke ranah partikel, maka teori kuantum mulai mengambil alih, dan ketika skala kecepatannya semakin besar hingga mendekati kecepatan cahaya, maka teori relativitas mengambil alih.**



Jika medan gravitasi menarik benda bermassa, medan listrik menarik/mendorong benda bermuatan, medan Higgs memberikan sesuatu massa, apakah yang diatur oleh medan magnet?

28 Apr 2019

Semua “medan” yang anda sebutkan di pertanyaan merujuk pada makna yang berbeda-beda, maka jelas logikanya tidak akan bisa dipakai untuk menanyakan medan magnet.

Kenapa? Oke, satu-satu.

Medan Gravitasi

Medan gravitasi merepresentasikan kelengkungan pada ruang-waktu. Memang, kelengkungan ini kemudian menentukan kemana suatu objek “bergerak” dalam ruang-waktu. Cara paling umum untuk menggambarkan kelengkungan ini adalah seperti gambar berikut.

Akan tetapi, gambar-gambar seperti ini hanyalah ilustrasi. Perlu diingat bahwa **ruang-waktu 4 dimensi lah yang dilengkungkan**, bukan sekadar suatu permukaan dua dimensi. Seberapa besar ruang-waktu pada suatu area itu dilengkungkan, menentukan medan gravitasi pada area tersebut.

Medan Higgs

Untuk menjelaskan medan Higgs, saya sarankan baca dulu penjelasan saya mengenai medan kuantum.

Baik, mungkin sedikit merangkum dan menambahkan, medan kuantum sebenarnya secara sederhana adalah ukuran seberapa mungkin suatu partikel itu terbentuk dalam suatu ruang. *Duh* bagaimana pula itu? Bayangkan saja udara di atmosfer ini, dimana-mana selalu kita bisa temui udara, sedangkan udara itu sendiri di setiap titik selalu dinamis dan bergerak. Ketika pergerakan udara itu cukup keras dan terkonsentrasi, bola udara *Aang* akan terbentuk. Ya, bola udara *Aang*,



Atau, mungkin kalau mau sedikit lebih riil, ya tornado. Intinya, ketika pergerakan udara terkonsentrasi dan cukup kencang, maka seakan suatu entitas tersendiri terbentuk.

Begitulah juga medan kuantum. Di setiap titik di semesta selalu ada medan ini, dimana ia selalu berosilasi. Ketika osilasinya cukup keras dan terkonsentrasi, *voila*, partikel terbentuk.

Lalu apa yang saya maksud tadi dengan “ukuran seberapa mungkin suatu partikel itu terbentuk dalam suatu ruang”? Suatu partikel hanya bisa terbentuk kalau medan kuantumnya lagi berosilasi cukup keras. Di setiap titik, medan kuantum selalu berosilasi, jadi selalu ada kemungkinan partikel terbentuk di situ.

Ya, partikel. Dan semua partikel, saya ulangi, **semua partikel**, berasal dari suatu medan kuantum (disebut juga hasil **eksitasi dari medan kuantum**). Lebih tepatnya, setiap partikel punya medan kuantum sendiri. Dari 17 kelas partikel pada model standar partikel elementer, masing-masing punya medan kuantum sendiri. Elektron punya medan kuantum sendiri, Gluon punya medan kuantum sendiri, Quark punya medan kuantum sendiri. Higgs Boson punya medan kuantum sendiri. Medan kuantumnya Higgs Boson, dinamakan medan Higgs.

Medan Higgs pada dasarnya seperti medan kuantum lainnya, yakni ukuran ke-Higgs-Boson-an pada suatu ruang di semesta. Hanya saja, dia memang punya karakteristik tersendiri ketika berinteraksi dengan partikel seperti elektron, dimana medan ini menembakkan sesuatu yang membuat partikel seperti elektron gagal mencapai kecepatan penuh kalau bergerak, dan itulah yang membuat ia seakan menjadi pemberi massa.

Medan Listrik dan Medan Magnet

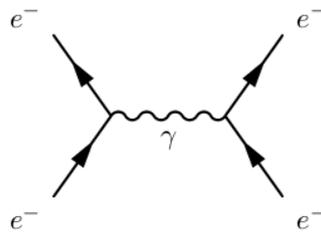
Mengapa saya menjelaskan medan Higgs dulu baru medan listrik? Karena konsep medan kuantumnya penting, kelak untuk mengaitkannya dengan medan magnet.

Medan listrik sendiri sebenarnya memang medan yang menentukan “kadar muatan” suatu ruang, sehingga akan memicu muatan lain untuk bergerak. Sedangkan medan magnet sebenarnya medan yang menentukan bagaimana arah suatu dipol magnet. Contohnya ya jarum kompas selalu mengarah ke utara karena medan magnet bumi mengarahkannya agar sesuai dengan medannya. Sederhana bukan?

Iya *sih*, tapi sayangnya itu dalam pandangan fisika klasik. Dalam mekanika kuantum, medan listrik tidak bisa dipisahkan dari medan magnet, dalam suatu medan kuantum. *Guess what is it*. Ya, medan elektromagnetik.

Jadi, medan elektromagnetik itu medan kuantum? *Loh*, kalau medan itu tereksitasi, jadi ada partikel elektromagnetik *dong*? Yap, dan partikel elektromagnetik itu dikenal dengan nama lain: **foton**.

Lantas, bagaimana medan elektromagnetik ini bisa menggerakkan muatan dan dipol magnet? Penjelasan teknisnya agak panjang, jadi saya coba sederhanakan. Antar medan kuantum pada dasarnya saling berinteraksi, sehingga osilasi pada suatu medan kuantum bisa memengaruhi osilasi pada medan kuantum yang lain. Bagaimana mereka berinteraksi bergantung pada karakteristik medannya. Ketika suatu partikel bermuatan (elektron misalnya) bergerak, ia memicu gelombang elektromagnetik di sekitarnya untuk beresilasi. Ketika elektron ini bertemu sesama elektron, maka osilasi medan elektromagnetik di sekitarnya cukup keras untuk seketika menciptakan foton. Terbentuknya foton ini memicu perubahan momentum dari kedua elektron sehingga mereka pun menjauh. Gambaran sederhananya bisa dilihat melalui diagram Feynmann berikut, dengan γ merepresentasikan foton.



Well, perlu ditegaskan bahwa mekanisme di atas merupakan super simplifikasi dari kejadian sesungguhnya yang jauh lebih kompleks, demi keperluan imajinasi dan pemahaman awal. Kurang lebih mekanismenya dalam hal dipol magnet serupa. Intinya adalah interaksi antar medan kuantum lah yang memicu partikel-partikel elementer bergerak.

Untuk menemukan rumus $E=mc^2$, Albert Einstein menggunakan peralatan apa dalam eksperimennya?

28 Apr 2019

Otak, kertas, dan pena

Relativitas khusus (termasuk $E = mc^2$) merupakan hasil interpretasi dan eksplorasi lebih lanjut Albert Einstein terhadap transformasi Lorentz, yang sudah dirumuskan oleh **Hendrik Antoon Lorentz** 10 tahun Einstein mempublikasikan Relativitas Khusus.

Semua yang dilakukan Einstein untuk merumuskan $E = mc^2$ *purely* matematis. Anda bisa baca sendiri makalah yang ia publikasikan terkait itu, Tentu saja di makalah itu formula $E = mc^2$ tidak tertulis demikian. Einstein menuliskannya dengan mengatakan bahwa

if a body releases the energy L in the form of radiation, its mass decreases by $\frac{L}{v^2}$

Memang, untuk bisa sampai pada penurunan matematis dari $E = mc^2$, beberapa eksperimen telah dilakukan Einstein, namun semuanya tidak secara langsung berujung pada penemuan $E = mc^2$. Misal, di jurnal yang sama dimana ia mempublikasikan makalah tentang $E = mc^2$, ia juga

mempublikasikan mengenai eksperimen yang ia lakukan yang membuatnya menyimpulkan beberapa hal mengenai kecepatan cahaya yang tetap meskipun diamati oleh kerangka yang bergerak. Selain itu, beberapa eksperimen yang dilakukan fisikawan lain (seperti pembuktian bahwa Eter itu tidak ada oleh Michelson dan Morley) juga memberi inspirasi Einstein untuk menetapkan postulat Relativitas Khususnya yang berujung pada $E = mc^2$.

Albert Einstein justru dicap sebagai jenius karena ini, yakni banyak perumusan yang ia lakukan murni datang dari kepalanya, yakni imajinasi dan sedikit *utek-utek* matematika.

Apa teori fisika yang tidak bisa dibuktikan secara matematika?

18 April 2019

Banyak. Bahkan, hampir semua.

Matematika dan fisika seakan bersaudara, padahal, mereka bahkan berasal dari spesies yang berbeda.

Yang mendefinisikan suatu ilmu adalah landasan yang dipakai ilmu itu untuk menyematkan status benar-salah pada suatu pernyataan, atau dengan kata lain, dasar kebenarannya. Hal ini disebut **epistemologi** dari suatu ilmu.

Ilmu-ilmu yang serumpun, memiliki epistemologi yang sama, seperti ilmu-ilmu sains, alias fisika, kimia, astronomi, dan semacamnya. Sayangnya, matematika itu bukan sains. Matematika punya epistemologi yang berbeda jauh dari sains.

Fisika, sebagai sains, mendasarkan kebenarannya pada pengamatan empiris, yang terumuskan secara formal dalam metode ilmiah. Ya, dalam fisika, jika suatu pernyataan tidak bisa teramati secara universal, baik langsung atau tidak langsung, maka kita tidak pernah bisa klaim bahwa pernyataan itu benar. Misal, apakah unicorn itu ada? Karena ia tidak pernah bisa diamati melalui metode ilmiah yang valid, terutama prinsip objektivitasnya, maka unicorn tidak pernah bisa dibilang ada.

Matematika, di sisi lain, mendasarkan kebenarannya pada *pure logic*. Suatu kebenaran matematis tidak pernah perlu bisa diamati secara empirik. Selama suatu pernyataan dideduksi dengan logika yang valid, maka ia sudah bisa dikatakan benar.

Secara sederhana, kita katakan sains itu induktif, dan matematika itu deduktif.

Dengan perbedaan yang begitu mendasar itu, **bagaimana mungkin ada teori fisika yang bisa dibuktikan secara matematis?** Seanggun-anggunnya suatu teori fisika diturunkan secara matematis, **selama ia tidak bisa dibuktikan melalui pengamatan empiris, teori itu tidak pernah bisa dibilang benar!**

Coba pikirkan kawan, bagaimana membuktikan bahwa hukum Newton kedua ($F = ma$) itu benar secara matematis? Bagaimana membuktikan bahwa perubahan medan magnet bisa menghasilkan arus listrik dan sebaliknya, secara matematis? Bagaimana membuktikan bahwa entropi semesta selalu bertambah, secara matematis? Tidak ada caranya. Semua teori fisika, itu dikatakan benar, karena kecocokannya dengan realita. Titik.

Matematika memang digunakan dalam beberapa penurunan teori fisika, tapi itu bukanlah bukti. Matematika hanya digunakan untuk mendetailkan, memformulasikan, dan mengembangkan teori itu untuk menciptakan prediksi-prediksi lainnya, **yang tetap harus dibuktikan melalui pengamatan.**

Jadi, jawaban dari pertanyaan anda, **tidak ada teori fisika yang bisa dibuktikan melalui matematika.**

Bagaimana caramu menjelaskan konsep partikel boson Higgs kepada orang awam tanpa menggunakan penjelasan matematika yang rumit?

16 Apr 2019

(Catatan: saya asumsikan orang awam yang dimaksud di sini minimal lulus SMA, karena pemahaman seminimal mungkin terkait Higgs Boson butuh sedikit gambaran relativitas dan mekanika klasik. Lagipula, orang yang tidak lulus SMA juga tidak akan peduli sama partikel elementer)

Mari mulai dengan perenungan singkat.

Dari mana datangnya massa?

Hey. Pertanyaan macam apa ini? Bukannya massa adalah properti intrinsik dari setiap materi? Bukankah massa itu sesederhana “banyaknya sesuatu” dalam materi?

Eits, kata siapa? Massa dianggap begitu natural sehingga ia tidak perlu lagi dipertanyakan asal usulnya. Paling tidak di masa klasik, fisika menganggap massa hanyalah ‘kemampuan’ dari setiap materi untuk mempertahankan kondisinya. Ya, sebutlah ia ‘**ukuran kemalasan**’. Semakin malas dirimu, semakin sulit kamu untuk ‘bergerak’ bukan? Begitu pula materi, semakin besar massanya, ia semakin sulit untuk digerakkan. Ingat *so-called* hukum Newton kedua $F=ma$ bukan? Tentu yg dimaksud “digerakkan” di sini adalah berubahnya kecepatan dari si materi, entah itu melambat, mempercepat, atau belok.

Pemahaman ini cukup masuk akal, hingga datang 2 badai menerjang dan memporakporandakan fisika klasik. Yang pertama adalah **relativitas**, yang kedua adalah **mekanika kuantum**. Apa yang dua teori ini lakukan?

Massa sebagai Energi

Yang pertama, relativitas Einstein pada dasarnya mengubah total persepsi kita tentang massa, dan bahkan ruang-waktu itu sendiri. Mengingat betapa rumitnya hal itu, kita hanya angkat secuil dari teori ini, yakni **ekivalensi energi-massa**. Tahu lah ya, persamaan terkenal itu, $E=mc^2$. Untuk mendapatkan *sense* sesungguhnya dari teori ini, kita perlu lihat seperti bagaimana Einstein pertama kali menuliskannya dalam makalah orisinalnya: $m=E/c^2$.

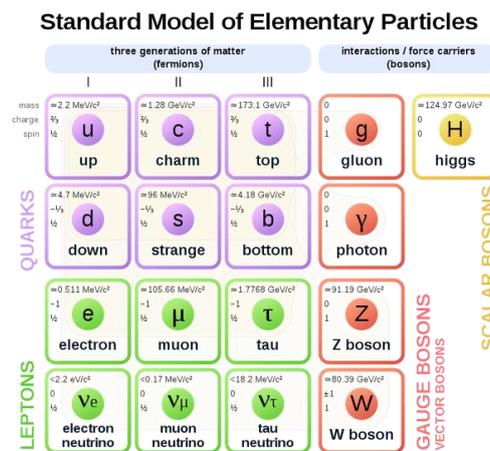
Kenapa bentuk ini penting? Karena sebenarnya yang ditekankan Einstein adalah, **segala bentuk energi memiliki kontribusi terhadap besarnya massa**. Contoh paling jelasnya adalah, massa dari setiap inti atom (selain hidrogen) selalu lebih kecil dari jumlah massa setiap komponennya (proton dan neutron). Karena sebagian massa ini termanifestasikan dalam energi potensial dari gaya nuklir kuat yang mengikat proton dan neutron. Berhubung energi potensial ini negatif, maka ya, massanya seakan-akan “berkurang”.

Contoh lain, adalah massa kita ketika berlari (dengan demikian kita punya energi kinetik dan energi panas dari tubuh), maka massa kita akan lebih besar ketimbang ketika kita hanya diam. Energi kinetik dan energi panas yang kita miliki **termanifestasikan menjadi massa ekstra**. Kenapa kita tidak merasakannya? Karena c begitu besar, sehingga E/c^2 hanya terasa begitu kecil ketika energinya kecil.

Dengan prinsip ekivalensi massa-energi, maka pada dasarnya, 90 persen lebih dari massa yang kita ukur, adalah **massa dari energi**. Dalam model partikel elementer, proton dan neutron sebenarnya terdiri dari partikel yang lebih kecil lagi, disebut **quarks**. Anehnya, total massa quarks hanya mengisi 1% dari massa proton. *So guess what*, sebagian besar massa proton berasal dari energi potensial yang mengikat quark-quark ini.

Massa Intrinsik

Ya, sebelumnya kita lihat bahwa massa sebagian besar berasal dari energi. Tapi, kenapa hanya sebagian besar? Kenapa tidak **semua massa sebenarnya adalah energi**? Untuk menjawabnya, mari kita sedikit masuk ke fisika partikel. Singkat cerita dalam perjalanan fisikawan mencari partikel-partikel penyusun semesta, disusunlah apa yang dikenal sebagai **standard model of elementary particles**, yang kurang lebih seperti berikut



Penjelasan singkat, partikel dibagi menjadi dua, yakni fermion (pembawa materi) dan boson (pembawa gaya, paling tidak sampai Higgs Boson ditemukan). Di antara semua itu, hanya gluon dan photon yang tidak bermassa. Karena tidak bermassa, maka mereka berdua tidak punya “kemalasan” untuk bergerak, sehingga keduanya bergerak sampai kecepatan maksimum semesta, alias kecepatan cahaya. Sisanya bermassa. Paling tidak, karena model ini paling elementer yang disusun oleh fisikawan, maka kita anggap ia tidak terdiri oleh subbagian yang lain, maka tentu kita berharap **massa mereka purely adalah massa, bukan energi**. Fisikawan pun menyebut massa setiap partikel elementer sebagai massa intrinsik.

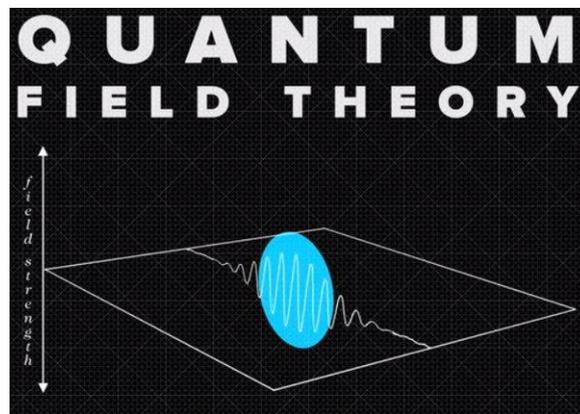
Tapi, pertanyaan lain muncul, dari mana asalnya massa intrinsik ini?

Sedikit Tentang Medan Kuantum

Ini adalah teori paling keren yang pernah ditemukan, paling tidak menurut saya. Detailnya agak rumit, tapi saya usahakan jelaskan *se-brief* mungkin. Bayangkan, sebenarnya semesta ini tidak sepenuhnya kosong (vakum), tapi isinya udara aja, ya seperti di dalam atmosfer bumi. Udara ini selalu dinamis, berosilasi dan bergerak, seperti halnya partikel udara selalu bergerak, ketika beberapa gerakannya terlalu kencang, maka kita merasakannya sebagai angin berhembus. Terbayang?

Secara riil, udara itu adalah medan kuantum. Medan ini selalu berosilasi di setiap ruang di semesta. Pada beberapa tempat medan kuantum ini berosilasi cukup keras sehingga menghasilkan gaya pada apapun yang merasakannya. Nah, setiap golongan partikel elementer pada dasarnya punya medan kuantum. Jadi, ada medan quarks, ada medan elektron, dan lain sebagainya. Khusus untuk photon, kita mengenal medan kuantumnya dengan nama medan elektromagnetik.

Lebih ekstrim lagi, bayangkan sebenarnya **di semesta ini tidak ada apa-apa selain medan-medan ini**. Loh, terus materi itu apa? Setiap medan ketika osilasinya cukup besar, barulah suatu partikel bisa hadir! Dikatakan medan itu tereksitasi menjadi partikel. Ha? Bayangkan saja itu seperti udara yang termampatkan sehingga menjadi bola udaranya Aang, Udara itu adalah medan kuantum, dan bolanya Aang adalah partikel yang tereksitasi dari udara-udara sekitarnya. Kebayang?



Jadi, saya, anda, bumi, dan semua materi hanyalah medan kuantum quark dan elektron yang tereksitasi! Kita sebut Secara umum **partikel = medan kuantum**. Partikel-partikel materi bisa bergerak, karena terpengaruh oleh medan kuantum lainnya, terutama medan Boson (atau partikel Boson). Misal, elektron bisa bergerak dengan adanya magnet, karena ia berinteraksi dengan medan elektromagnetik, alias medan photon.

Mekanisme Higgs

Oke, jadi apa yang membuat beberapa eksitasi medan kuantum ini punya massa?

Spoiler Alert! Ternyata massa intrinsik sekalipun, merupakan manifestasi dari energi. Ehh? Energi apa? *Guess it, energi dari medan kuantum Higgs.*

Teori Medan Kuantum (*Quantum Field Theory/ QFT*) sebenarnya tidak membutuhkan partikel itu bermassa, sehingga seharusnya elektron itu bisa mencapai kecepatan cahaya. Tapi, kenapa tidak demikian? Muncullah dugaan, bahwa apa yang menyebabkan elektron, atau partikel bermassa lainnya, gagal mencapai kecepatan cahaya adalah adanya “sesuatu yang lain” yang menyebabkan kecepatannya terhambat.

Singkat cerita, Peter Higgs memperkirakan bahwa ada suatu medan kuantum, yang belum bisa diverifikasi keberadaannya, yang memborbardir terus menerus partikel-partikel ‘bermassa’ dengan apa yang disebut sebagai *weak hypercharge* (mahluk apa ini sesungguhnya, abaikan saja, hanya menurut saya fisikawan selalu keren dalam membuat istilah). Bayangkan saja seperti gesekan udara.

Benda bisa melambat ketika jatuh bebas, adalah karena partikel-partikel udara terus menerus memborbardir benda tersebut. Itulah yang dirasakan partikel bermassa, sehingga ia pun ‘terhambat’, dan **hambatan inilah apa yang kita pahami sebagai massa**.

Darimana kita tahu medan Higgs ini beneran ada? Satu-satunya cara medan kuantum bisa dideteksi adalah dari eksitasinya. Jadi, kalau memang medan Higgs ini ada, haruslah ada partikel Higgs yang bisa dideteksi. *And that's it*. Tahun 2012, partikel Higgs ini ditemukan, *so proved the theory*.

Menariknya, perhatikan bahwa bahkan massa intrinsik sekalipun merupakan manifestasi dari energi potensial partikel dalam medan Higgs! Einstein tidak main-main: **every mass is energy**, dan menggabungkannya sama kuantum, **every matter is a field**.

Cerita panjang di atas, sebenarnya adalah simplifikasi dari teori yang sesungguhnya, yang tentu, lebih mengagumkan dan juga lebih memusingkan. Paling tidak yang bisa kita lihat adalah betapa fundamentalnya partikel Higgs ini, bagaimana ia menjawab asal usul parameter paling dasar yang dimiliki setiap materi: massa.

Semoga bermanfaat!

Jika Matahari membakar energi, apakah ada sebagian energi tersebut menjadi suara selain menjadi panas dan cahaya?

27 Mar 2019

Apa *sih* sebenarnya “suara”?

Suara merupakan getaran yang merambat **melalui suatu medium** (bisa padat, cair, atau gas). Ketika suara merambat, partikel-partikel medium akan ‘mampat’ (tekanannya meningkat) pada suatu bagian yang akan memampatkan partikel di sebelahnya yang searah dengan arah suara, sehingga, **suara tidak mungkin bisa merambat tanpa medium**.

Karena ia sebenarnya merupakan “pemampatan partikel” yang merambat, maka sebenarnya getaran sekecil apapun bisa menimbulkan suara, Hanya saja, memang, karena keterbatasan telinga kita dalam menangkap getaran yang diterima, yakni hanya pada frekuensi 20–20000 Hertz, maka tidak semua suara ini terdengar.

Bagaimana dengan kobaran energi dari matahari? Tentu energi yang terpancarkan dari matahari begitu besar, karena sebenarnya matahari bisa dianggap sebagai “bom nuklir” raksasa, sehingga partikel-partikel dari matahari pun bisa ‘terlempar’ dari matahari sendiri (sering dikenal sebagai *solar wind*).

Sayangnya, antara matahari dengan bumi, **tidak ada medium yang bisa menghantarkan getaran dari matahari ke bumi**, sehingga sekeras apapun “bunyi” kobaran energi matahari, tidak akan ada suara yang terbentuk.

Apakah tumbuhan di bumi dapat tumbuh juga di planet lain?

24 Mar 2019

Kalau yang ditanya benar-benar *literally* **tumbuhan di bumi**, maka tidak, kecuali planet lain itu memiliki atmosfer dan permukaan yang mirip dengan bumi.

Kalau yang ditanya hanyalah **tumbuhan**, maka mungkin saja. Pada awalnya, bumi sebenarnya tidak memiliki atmosfer dan kondisi permukaan yang sama sekali tidak cocok untuk tumbuhan hijau apapun tumbuh. Bumi yang baru lahir hanyalah bagaikan bola yang membara. Permukaannya penuh dengan kawah-kawah aktif dan lautan sup “primordial”, sedangkan atmosfernya hanya berisi metana (CH_4), amonia (NH_3), karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Tidak ada oksigen terpisah, baik dalam bentuk O_2 ataupun O_3 . Hal ini juga berarti lapisan ozon belum lah terbentuk, sehingga sinar matahari yang mencapai permukaan bumi jauh lebih banyak ketimbang saat ini.

Yang memungkinkan atmosfer bumi untuk menjadi seperti saat ini adalah evolusi bakteri fototrofik (organisme yang berkembang melalui energi cahaya), yang terjadi pada pertengahan era Arkean atau sekitar 3,5 milyar tahun lalu. Bakteri fototrofik awal mulai menghasilkan oksigen melalui pengolahan CO_2 yang melimpah dan dengan itu kadar O_2 di atmosfer pun meningkat. O_2 merupakan senyawa yang cukup reaktif, sehingga adanya oksigen memungkinkan banyak hal, seperti

- berkurangnya ion-ion bebas (hasil reaksi fotokimia pada metana atau amonia) yang segera bereaksi dengan oksigen,
- terbentuknya lapisan ozon yang mengurangi radiasi matahari ke permukaan bumi,
- Terlepasnya fosfor dan besi dari bebatuan akibat bereaksi dengan oksigen, dimana dua unsur ini akan menjadi komponen penting dalam perkembangan makhluk hidup, dan
- memungkinkannya proses evolusi makhluk hidup menjadi spesies-spesies kompleks.

Selain oksigen, nitrogen sendiri (yang saat ini menjadi senyawa terbanyak di atmosfer) punya banyak pengaruh pada evolusi makhluk hidup, terutama pada makhluk hidup yang membutuhkan ia dalam bentuk terikat, seperti amonia atau hidrogen nitrat.

Singkatnya, kondisi atmosfer bumi menentukan diferensiasi spesies (termasuk tumbuhan) yang terbentuk hingga sekarang. Ketika kemudian kondisi di planet lain cukup berbeda jauh dari bumi, selama kondisi astronomisnya (seperti jarak ke matahari) cukup memungkinkan untuk makhluk hidup bisa berkembang, maka tumbuhan juga mungkin bisa berevolusi dan hidup di sana. Namun, pertanyaan apakah spesies-spesies tumbuhan yang terbentuk akan persis sama, itu hal lain. Bisa jadi, dengan komposisi atmosfer yang berbeda, proses evolusi menciptakan diferensiasi spesies yang berbeda jauh seperti spesies di bumi.

Jika kecepatan cahaya adalah batas kecepatan universal, apakah juga ada batas temperatur?

22 Mar 2019

Menentukan batas atas atau batas bawah dari suatu besaran memerlukan pemahaman utuh terhadap besaran tersebut.

Misal, kecepatan merupakan laju perubahan posisi suatu benda **relatif terhadap pengamat**. Relativitas dari pengamatan ini kemudian membutuhkan suatu pegangan absolut sebagai acuan. Einstein kemudian mengatakan bahwa pegangan absolutnya adalah kecepatan cahaya, yang dikatakan **selalu tetap**. Penurunan matematis dari postulat itulah yang kemudian membuat kita sekarang memahami bahwa kecepatan cahaya adalah batas atas kecepatan benda materi di semesta. Sekarang, bagaimana dengan temperatur?

Temperatur bisa dipahami sebagai besaran yang **merepresentasikan energi internal dari suatu material**. Kenapa material? Karena pada dasarnya ruang yang benar-benar vakum tidak punya temperatur. Secara mikroskopik, **energi internal material ini ditentukan oleh energi kinetik dari setiap molekulnya**. Artinya, semakin panas suatu material, semakin tinggi pergerakan dari setiap molekulnya. Benda yang padat, akan cenderung bertemperatur rendah karena pergerakan molekulnya terbatas, semakin panas ia, maka setiap molekulnya akan semakin “berontak” untuk bergerak, hingga kemudian ia berubah fase menjadi cair, kemudian gas, kemudian plasma.

Dengan konsep seperti itu, maka kita bisa melihat bahwa tentu temperatur paling rendah adalah temperatur dari material ketika setiap molekulnya tidak berenergi kinetik sedikit pun atau **mutlak diam**. Ini lah yang dikenal sebagai **absolute zero** atau **0 Kelvin**. Bagaimana dengan temperatur paling tinggi? Karena tidak ada alasan bagi molekul untuk tidak dapat menambah energi kinetiknya sendiri, maka tidak ada alasan juga bagi material apapun untuk tidak terus menambah temperatur. Jika kemudian ada pembatas lain yang membuat energi kinetik itu harus berhenti bertambah, maka mungkin kita bisa punya jawaban untuk batas atas temperatur. Namun, untuk saat ini, **belum diketahui**.

Setidaknya, paling tidak ada dua acuan temperatur tertinggi yang bisa dicapai oleh semesta. Keduanya terjadi pada masa awal Big Bang.

Yang pertama adalah temperatur minimal untuk **Grand Unification Energy** (GUE). Apa pula itu GUE? Ia adalah energi yang dibutuhkan untuk menggabungkan 3 gaya: elektromagnetik, nuklir kuat, dan nuklir lemah, dalam 1 gaya tunggal. Besar GUE diperkirakan bernilai 1025 eV yang kira-kira terkait dengan suhu 1027 K. Semesta sebagai keseluruhan mencapai GUE diperkirakan terjadi pada era awal Big Bang yang dikenal sebagai *Grand Unification Epoch*, yakni sekitar 10^{-43} detik setelah Big Bang.

Yang kedua adalah **temperatur Planck**. Apa lagi ini? Semesta ini memiliki 5 konstanta universal, yakni kecepatan cahaya c , konstanta gravitasi G , konstanta Planck tereduksi \hbar , konstanta Coulomb k_e , dan konstanta Boltzmann k_B . Masing-masing konstanta memiliki satuan (atau dimensi) yang terdiri dari satuan-satuan dasar (ada 7). Sebagai contoh, konstanta gravitasi memiliki satuan $\frac{m^3}{s^2 kg}$.

Dengan 5 konstanta itu, melalui apa yang dikenal sebagai **analisis dimensional** (melakukan perhitungan dengan menyesuaikan satuan-satuannya), kita bisa menurunkan nilai-nilai dasar dari setiap satuan dasar. Sebagai contoh, kita bisa menurunkan nilai dasar dari satuan panjang dengan menghitung

$$\sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616229 \times 10^{-35} \text{ m}$$

Panjang yang didapat dari analisis dimensional 5 konstanta universal ini dikenal sebagai Panjang Planck. Nah, dengan konsep yang sama, nilai dasar temperatur juga bisa dihitung dengan

$$\sqrt{\frac{\hbar c^5}{Gk^2}} = 1.416808 \times 10^{32} K$$

Akan tetapi, berbeda dengan temperatur untuk GUE, temperatur Planck pada dasarnya tidak (belum) punya makna fisis, karena ia murni diturunkan hanya melalui penyesuaian satuan-satuan dari 5 konstanta universal. Sehingga, sebenarnya **temperature Planck belum tentu memang pernah dicapai semesta**.

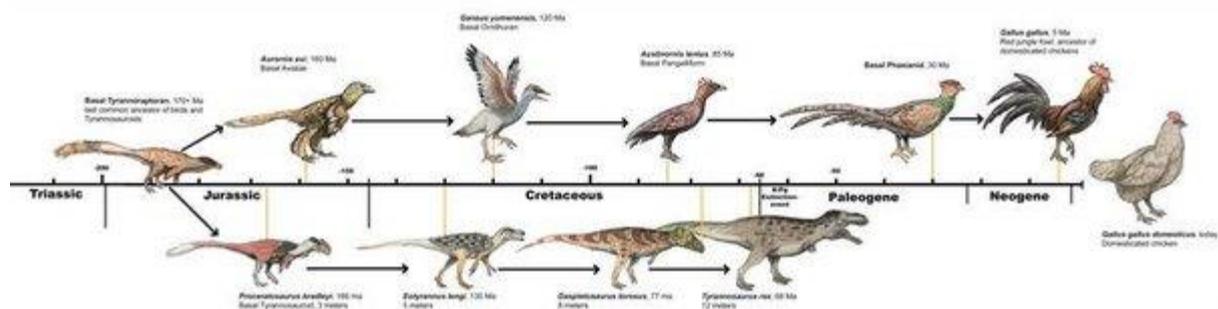
Sekali lagi, perlu ditekankan bahwa **belum ada hukum fisika yang mengharuskan temperatur itu memiliki batas atas**, sehingga temperatur belum punya alasan untuk berhenti pada suatu titik. Maka, selalu ada kemungkinan kelak akan ditemukan kondisi semesta dengan temperatur yang lebih tinggi lagi.

Bagaimana ayam tercipta, dimulai dari telur dahulu atau langsung jadi ayam?

22 Mar 2019

Jika yang ditanyan *literally* duluan mana telur dan ayam, maka sudah terjawab, paling tidak oleh biologi.

Jawabannya? **Tidak keduanya**. Jelas bahwa ayam menghasilkan telur dan telur menghasilkan ayam. Ini adalah proses reproduksi yang siklik, sebagaimana malam menjadi siang dan siang menjadi malam. Akan tetapi, sejak kapan proses siklik ini berawal? Ayam beranak-pinak dengan bertelur bisa ditarik mundur jauh hingga ke leluhurnya yang masih merupakan burung (*aves*) secara general, sebelum burung-burung ini kemudian terdiferensiasi menjadi berbagai spesies, termasuk *gallus* atau ayam. Gambar berikut memperlihatkan rantai evolusi ayam dari leluhurnya yang juga leluhur dinosaurus.



Ketika ayam murni terdiferensiasi dari leluhurnya dan menjadi spesies sendiri pun, tidak ada suatu titik yang jelas dimana ia telah menjadi ayam. Proses evolusi adalah proses yang sangat halus, gradual, dan perlahan.

Rantai evolusi ini bisa ditarik mundur terus hingga ke spesies pertama di bumi yang menghasilkan telur untuk bereproduksi, yang bisa ditarik mundur terus hingga protozoa pertama di bumi.

Jadi siapa yang duluan telur atau ayam? Tidak keduanya.

Tapi, saya tidak percaya evolusi...

Ya sudah, coba berdasarkan agama masing-masing, bagi yang tidak percaya evolusi, dicari tahu Tuhan menciptakan telur atau ayam dulu, itu jawabannya.

Akan tetapi, permasalahan telur-ayam ini bukan sekadar permasalahan *literally* antara telur dan ayam, tapi secara general merupakan permasalahan penting dalam logika yang dikenal sebagai *infinite regress*.

Infinite Regress adalah suatu rantai pernyataan yang tidak berujung, karena memang tidak ada yang memutusnya. Misalkan, karena segala sesuatu haruslah diciptakan dari hal lain, maka hal lain itu juga tentu juga diciptakan dari hal lainnya lagi. Rantai ini bisa terus terjadi sampai tak hingga. *Infinite regress* sering dianggap suatu anomali yang tidak bisa diterima dalam logika. Banyak yang kemudian menggunakan *infinite regress* untuk berargumen bahwa alam semesta ini pastilah punya pencipta. Meskipun begitu, bukan berarti *infinite regress* adalah hal yang salah. Status kebenarannya bahkan tidak bisa dibuktikan alias *undecidable*. Ia hanya sering ditolak karena sukar masuk akal manusia, meskipun tidak masuk akal bukan berarti ia tidak benar.

Masalah telur-ayam merupakan salah satu bentuk *infinite regress* yang berupa *causality dilemma*, dimana dua kejadian sulit ditentukan mana yang sebab mana yang akibat. Contoh lain dari *causality dilemma* adalah ekonomi-pendidikan. Mana yang menyebabkan yang mana, pendidikan yang baik mengakibatkan ekonomi yang baik atau ekonomi yang baik mengakibatkan pendidikan yang baik? Jika keduanya adalah sebab sekaligus akibat, maka **yang pertama kali memulai yang mana?**

Banyak *causality dilemma* bisa dijawab dengan bantuan temuan-temuan sains seperti masalah ayam-telur di atas, namun untuk hal-hal yang bersifat metafisis, seringkali yang muncul hanyalah asumsi-asumsi.

Mengapa kita tidak bisa bergerak lebih cepat dari cahaya?

19 Mar 2019

Jawaban singkatnya: **Karena alam memang demikian.**

Ya, bertanya kenapa kita tidak bisa bergerak lebih cepat dari cahaya sama seperti bertanya mengapa gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak atau bertanya mengapa elektron bermassa 9.1×10^{-31} kg. Alam memang demikian adanya.

Akan tetapi, jangan kecewa dulu. Sains memang tidak pernah bisa mengungkap “mengapa” dalam konteks alasan, namun paling tidak sains bisa menjelaskan “mengapa” dalam konteks korelasinya dengan fenomena alam.

Jawaban panjangnya:

Dalam fisika klasik, ketika kita memandang gerak suatu sistem (meriam yang ditembakkan misalnya, atau kereta yang melaju), maka gerak itu akan sangat **bergantung pada kerangka pengamatan**. Misal, sebuah mobil yang bergerak menuju kita sedang kita sendiri tengah bergerak menuju mobil tersebut, maka mobil itu akan terlibat lebih cepat berdasarkan kerangka pengamatan kita.

Namun, jika demikian, berarti gerak segala sesuatu selalu relatif terhadap pengamat. Ini mustahil, karena seharusnya paling tidak ada satu acuan absolut yang universal. Awalnya, para fisikawan menyangka ada suatu zat yang disebut Eter yang menjadi acuan universal ini. Namun, singkat cerita, Eter terbukti tidak ada, dan datanglah Albert Einstein pada 1905 mengajukan hal lain.

Einstein hanya mengatakan 2 hal. Yang pertama, dari manapun kita mengamati, hukum fisika yang berlaku tetap sama. Ini bukan hal baru, dan sangat masuk akal. Namun, ini tetap mengimplikasikan bahwa segala gerak adalah relatif terhadap pengamat. Lantas apa acuan absolutnya?

Ketimbang menganggap bahwa acuan absolutnya adalah sebuah kerangka pengamatan universal, Einstein membuat terobosan dengan mengatakan hal yang benar-benar berbeda: yang jadi acuan absolut adalah kecepatan cahaya. Apa artinya? Dari manapun ia diamati, kecepatan cahaya nilainya akan selalu sama, yakni $c = 3 \times 10^8$ km/s.

Dengan penurunan matematis (demi kesederhanaan dan kejelasan, tidak akan saya detailkan di sini), didapatkan 3 dampak signifikan dari 2 postulat Einstein itu, dan ketiga-tiganya, terkait dengan suatu parameter yang dikenal sebagai **faktor Lorentz**:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Apa spesialnya faktor tersebut? Perhatikan bahwa jika kecepatan suatu benda v semakin mendekati kecepatan cahaya c , maka γ menuju tak hingga, atau matematisnya

$$\lim_{v \rightarrow c^-} \gamma = \infty$$

Perhatikan juga bahwa, ketika $v > c$, alias suatu benda **bergerak melebihi kecepatan cahaya**, maka γ tidak terdefinisi. Kenapa? Karena dalam kasus ini, kita bermain dengan bilangan riil, sedangkan akar kuadrat dari bilangan negatif tidak punya solusi di bilangan riil. Padahal, ketika $v > c$, maka nilai dari $1 - \frac{v^2}{c^2} < 0$, maka ia menjadi tak terdefinisi.

Sekarang kita lihat 3 dampak dari postulat Einstein (tanda aksen menunjukkan pengamatan oleh kerangka bergerak):

1. **Dilatasi Waktu:** $\Delta t' = \gamma \Delta t$
2. **Kontraksi Panjang:** $\Delta x' = \frac{\Delta x}{\gamma}$
3. **Massa Relativistik:** $m' = \gamma m$

Apa artinya itu semua?

Ketika seseorang bergerak mendekati kecepatan cahaya, durasi waktu yang dialaminya akan semakin lama, panjangnya (dimensi yang sejajar dengan arah gerak) akan semakin pendek, dan massa-nya semakin besar. Pada titik $v = c$, durasi waktu yang dialami menjadi tak terhingga alias **waktu seperti berhenti**, ketebalan kita sama dengan 0 alias **kita tidak lagi berdimensi**, dan **massanya juga tak terhingga!**

Pada titik ini, kita sudah tidak bisa lagi menambah kecepatan. Bahkan, suatu benda bermassa sudah mustahil untuk mencapai titik ini, apalagi melebihinya.

Tapi, jika tidak ada yang bisa bergerak menyamai kecepatan cahaya (apalagi melebihinya), **kenapa ada pengecualian untuk cahaya?**

Penurunan relativitas khusus Einstein pada hukum konservasi energi menghasilkan apa yang dikenal dengan relasi energi-momentum relativistik, yang secara matematis dinyatakan dengan

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$$

dengan E adalah energi, p momentum relatif, m_0 massa diam, dan c kecepatan cahaya.

Momentum secara klasik merupakan besaran hasil massa dikali kecepatan, atau $p = m \times v$. Karena p di sini adalah momentum relatif, maka ia terpengaruh oleh kecepatan pengamat, sehingga

$$p = \gamma mv$$

Perhatikan bahwa

1. Jika kerangka pengamatan diam (tidak bergerak), maka $v = 0$ sehingga $p = 0$, menyisakan $E = mc^2$. Ya, persamaan terkenal itu.
2. Jika kerangka pengamatan bergerak, maka dengan sedikit otak-atik matematis, didapatkan $E = \gamma mc^2$. Artinya, jika suatu benda semakin tinggi kecepatannya, maka total energinya semakin besar. Semakin suatu benda mendekati kecepatan cahaya, energi yang dibutuhkan untuk terus mengakselerasinya semakin besar pula. Pada titik $v = c$, total energinya sudah tak terhingga, benda itu tidak bisa menambah kecepatan lagi. (*Satu lagi alasan mengapa benda tidak bisa mencapai kecepatan cahaya*).

Kita selama ini hanya memandang **benda bermassa**. Sayangnya, jika yang diamati adalah cahaya alias foton, maka ia tidak bermassa, alias $m = 0$. Relasi energi-momentum di atas pun hanya menjadi $E = pc$.

Tapi, kalau foton tidak bermassa, momentumnya di dapat darimana? Datanglah sedikit mekanika kuantum dan kita ketahui bahwa foton, yang selama ini hanya dikenal sebagai gelombang, ternyata juga bisa bersifat sebagai partikel (dikenal juga dengan **dualisme partikel-gelombang**). Dengan ini, momentum foton bisa dihitung tanpa membutuhkan massa. Foton pun punya energi dengan nilai yang terhingga dan dapat dihitung. Ia tidak punya masalah seperti yang dialami oleh benda bermassa. **Selamat foton!**

Sedikit mengenai dualisme partikel-gelombang:

Gelombang tidak punya momentum, sedangkan partikel punya. Berhubung mekanika kuantum bilang foton itu bisa dipandang sebagai partikel, maka haruslah ia punya momentum, yang didapat dengan persamaan terkenal dalam dualisme partikel-gelombang:

$$p\lambda = h$$

dimana p adalah momentum, λ adalah panjang gelombang, dan h adalah konstanta Planck (6.63×10^{-34} J.s). Apa spesialnya persamaan itu?

Momentum adalah ciri khas partikel, karena gelombang tidak bermomentum. Panjang gelombang adalah ciri khas gelombang, karena partikel tidak memilikinya, Persamaan itu hanya mengatakan, setiap partikel juga punya panjang gelombang, dan setiap gelombang punya momentum! Jadi anda, saya, apapun yang anda pegang, sebenarnya juga adalah gelombang! Hanya saja, pada skala makroskopis, ini tidak terasa, mengingat konstanta Planck yang begitu kecil nilainya.

Komputer dan model komputasi seperti apa yang diperlukan untuk merancang Iblis Laplace?

17 Mar 2019

Tidak ada.

Iblis Laplace hanyalah **utopia kaum determinis pada era fisika klasik**. Semenjak Newton merumuskan hukum mekanikanya, segala gerak di alam secara praktis bisa dianalisis dinamikanya. Mulai dari terlemparnya bola dari tangan, hingga gerak bulan mengelilingi bumi, semua bisa dianalisis dengan mekanika Newton. Begitu ampuhnya teori Newton, mulai muncul anggapan bahwa ketika kita bisa mengetahui kondisi awal suatu sistem, kita akan selalu bisa memprediksi semua kondisi (*state*) yang terjadi pada sistem tersebut di masa depan. Pandangan ini dikenal sebagai determinisme, bahwa alam ini bagaikan mesin yang bersifat mekanistik (hukumnya aja dinamakan mekanika), artinya selama cara kerja mesin ini bisa diketahui sepenuhnya, maka kinerja mesin tersebut sepanjang waktu akan selalu bisa ditentukan (*determined*).

Iblis Laplace hanyalah formulasi dramatis dari determinisme. Karena dengan pandangan deterministik, tentu kita bisa saja membayangkan jika ada suatu sosok yang mengetahui segala hukum di semesta, maka ia juga bisa mengetahui secara pasti nasib semesta ini.

Memang, teori-teori fisika klasik begitu menjanjikan dalam menganalisa fenomena alam sehingga meyakini determinisme adalah hal yang wajar. Sayangnya, fisika klasik baru melihat sebagian kecil dari semesta, karena yang diamati oleh fisika klasik hanyalah gerak-gerak skala medium, alias skala keseharian hidup manusia. Barulah ketika awal abad ke-20, para saintis terbuka matanya dan mulai meragukan determinisme. Kenapa? Karena pada saat itu, dua teori secara simultan ditemukan dan menampar keras teori-teori klasik. Ya, dua teori itu adalah relativitas dan mekanika kuantum.

Hantaman paling keras terhadap determinisme dilakukan oleh **mekanika kuantum**. Kenapa? Mekanika kuantum melihat bahwa prinsip gerak (mekanika) yang terjadi pada ranah kuantum (skala kecil, disebut kuantum karena beberapa variabel yang awalnya dianggap kontinu, seperti energi, ternyata pada skala ini bersifat diskrit atau berupa paket-paket kuantum) cenderung probabilistik. Segala kondisi dari suatu sistem kuantum tidak pernah bisa ditentukan dalam kepastian yang utuh. Membayangkan mekanika kuantum memang agak sukar, namun kita bisa lihat contoh dalam bagaimana sekarang saintis melihat model atom. Elektron yang berada di sekitar inti atom, berdasarkan mekanika kuantum, tidak pernah bisa ditentukan posisinya secara tepat, sehingga model atom modern hanya berupa inti atom dan “awan probabilitas” yang direpresentasikan melalui fungsi gelombang. Intinya, mekanika kuantum memperlihatkan bagaimana semesta ini bersifat probabilistik di ranah mikro.

Itu baru hantaman dari fisika sendiri. Sebelum itu, pada akhir abad ke-19, hantaman lain sudah meretakkan keangkuhan determinis dari bidang matematika, dimana **sistem Chaos** pertama kali ditemukan. Salah satu sifat dari sistem *chaos* adalah bahwa suatu sistem yang hukum-hukumnya deterministik, ternyata bisa memiliki perilaku yang probabilistik. *Loh* kok bisa? Terkait ini, anda bisa membaca jawaban saya yang lain:

- Jawaban Aditya Firman Ihsan untuk Apa itu Teori Kekacauan (Chaos Theory)? Bisakah kamu menjelaskannya kepada orang awam?
- Jawaban Aditya Firman Ihsan untuk Apakah chaos theory memang menggambarkan hukum alam, atau merupakan pemodelan untuk sistem yang terlalu kompleks yang tidak bisa diselesaikan secara analitis?

Jika dipikir lebih sederhana lagi, temuan-temuan sains akhir-akhir ini justru semakin memperlihatkan betapa masih banyak ruang hitam pengetahuan yang masih belum diketahui. Sehingga, kondisi “mengetahui semua hukum yang ada di alam” adalah kondisi yang begitu ekstrim dan masih sangat jauh untuk bisa dicapai. Hal itu belum ditambah dengan pertanyaan bagaimana menciptakan komputer atau instrumen apapun itu, yang bisa menyimpan seluruh keadaan awal semesta dan kemudian menghitung seluruh kemungkinan geraknya.

Lupakanlah Iblis Laplace. Determinisme sains adalah hal yang sudah basi.

Apa yang anda ketahui mengenai dimensi kedelapan?

14 Mar 2019

“Mengetahui” adalah standar yang sangat tinggi untuk konsep dimensi. Karena sebagai makhluk 3 dimensi, persepsi kita akan sangat terbatas.

Akan tetapi, sejak teori string mulai muncul ke permukaan, kebutuhan akan dimensi yang lebih tinggi demi konsistensi matematis membuat usaha-usaha untuk “membayangkan” dimensi-dimensi tinggi ini mulai bermunculan. Dari sini juga, spekulasi akan adanya *multiverse* mulai muncul.

Oke, kembali ke pertanyaan. Bagaimana kiranya “bentuk” dari dimensi ke-8? Salah satu usaha memvisualkan dimensi-dimensi tinggi adalah dengan mereplika konsep dimensi 3 yang kita pahami. Bisa dengan mudah membayangkan sebuah ruang 3 dimensi bukan? Nah, sekarang bayangkan seluruh ruang 3 dimensi itu dipandang sebagai suatu titik. Bayangkan kemudian ini sebagai titik waktu, yang ternyata berada dalam 3 dimensi yang berbeda, yakni dimensi 4–6, dengan konsep yang serupa seperti dimensi 1–3, namun bedanya titik dalam dimensi 4–6 adalah seluruh ruang dimensi 3. Kemudian, bayangkan saja seluruh waktu 3 dimensi itu dipandang sebagai suatu titik, dan bayangkan titik ini sebagai sebuah semesta (beserta seluruh kemungkinan *timeline*-nya). Dengan cara yang sama seperti sebelumnya, kita bisa membayangkan dimensi 7–9 sebagai *multiverse*.

Lengkapannya, anda bisa baca pada jawaban saya yang lain.

Seandainya keberadaan semesta paralel (ternyata) tidak terbukti, lalu apa yang ada sebelum 'Big Bang'?

14 Mar 2019

Konsep Big Bang sebenarnya masih jauh dari jelas.

Yang diketahui fisikawan sekarang adalah bahwa semesta berekspansi terus menerus sehingga haruslah pada awalnya ia bermula dari suatu ruang yang kecil dan sangat padat. Akan tetapi, seberapa kecil? Fisikawan mengatakan bahwa ekspansi ini terjadi sejak “awal” sehingga haruslah ruang yang kecil itu pun merupakan hasil ekspansi. Jika ditarik mundur terus, maka semesta pastilah bermula dari suatu titik singular. Titik awal mula waktu ini lah yang disebut sebagai “Big Bang”, meskipun *it's not literally a Bang*.

Akan tetapi, hukum-hukum fisika akan bermasalah pada kondisi-kondisi yang begitu ekstrim dimana segala sesuatu secara geometri berupa/mendekati singularitas. Titik paling awal yang bisa diketahui oleh fisikawan saat ini adalah Era Planck, yakni bermula pada 10^{-43} detik setelah Big Bang. Pada era ini, gaya-gaya dasar mulai berlaku namun dalam bentuk yang masih menyatu. Oleh karena itu, era ini juga disebut sebagai *Grand Unification Epoch*. Baru pada 10^{-36} detik setelah terjadinya “Big Bang”, fluktuasi kuantum mengakibatkan semesta ini berekspansi.

Tidak perlu bertanya apa yang terjadi sebelum Big Bang, yang terjadi sebelum 10^{-43} detik pertama semesta aja fisikawan belum bisa menjawab dengan baik.

Lalu, bagaimana dengan teori semesta paralel? Apa hubungannya ia dengan Big Bang?

Teori semesta paralel muncul sebagai akibat dari adanya teori String. Target ultima fisikawan saat ini adalah mencari interaksi (gaya) dasar yang menyatukan 4 gaya fundamental di semesta (gravitasi, elektromagnetik, nuklir kuat, nuklir lemah). Istilah kerennya, para fisikawan tengah mencari *Theory of Everything*. Kenapa? Karena 4 gaya yang diketahui saat ini seakan masih memiliki kriterianya masing-masing. Sudah ada usulan model untuk penggabungan elektromagnetik, nuklir kuat, dan nuklir lemah, yakni apa yang dikenal dengan Teori Gabungan Besar (*Grand Unified Theory*). Akan tetapi, 1 gaya lagi, gravitasi, masih sukar ditemukan jembatannya. Itulah mengapa relativitas dan mekanika kuantum sekarang seakan masih 2 dunia yang belum bisa berjabat tangan. Salah satu teori yang diajukan dan cukup diterima sebagai kandidat *Theory of Everything* adalah teori string.

Akan tetapi, teori string masih berupa penurunan matematis, belum ada eksperimen apapun yang bisa membuktikan kebenarannya. Sebagai sebuah penurunan matematis, teori string membutuhkan dimensi yang lebih tinggi agar bisa konsisten, Teori string sendiri pun sudah banyak perkembangannya, dan masing-masing membutuhkan jumlah ekstra dimensi yang berbeda-beda. Pada teori string bosonik, semesta harus berdimensi 26, pada teori superstring, ia harus berdimensi 10, dan pada teori-M, ia butuh 11 dimensi.

Karena kita hanya mengetahui 4 dimensi ruang-waktu, maka muncullah spekulasi terkait seperti apa kiranya pengejawantahan dimensi 5 ke atas. Seperti apa? Penjelasan lebih detail bisa dibaca di jawaban saya yang lain. Salah satu spekulasi itu adalah bahwa dimensi yang lebih tinggi ini harusnya mengakomodasi adanya semesta lain di luar sana dalam bentuk **multiverse**. Inilah asal mula konsep semesta paralel muncul. Tentu ia tidak akan bertentangan dengan semua temuan kosmologis yang sudah ada seperti Big Bang, namun *multiverse* sendiri masih berupa spekulasi.

Kita masih jauh dari benar-benar memahami lahirnya semesta.

Apakah kamu setuju bahwa waktu itu sebenarnya adalah ilusi?

10 Mar 2019

Sebenarnya bergantung waktu yang dimaksud.

Kalau waktu yang dimaksud adalah salah satu dimensi yang membentuk semesta fisik ini, maka jawabannya adalah **tidak**.

Akan tetapi, kalau waktu yang dimaksud adalah durasi, maka jawabannya adalah **iya**, meskipun alasannya akan sangat bergantung pada konteks.

Secara fisis, waktu bersifat “ilusif” disebabkan oleh teori relativitas dimana jalannya waktu sangat bergantung pada kecepatan pengamat, relatif terhadap apa yang diamati. Ketika saya bergerak dengan laju 0.80.8 kali kecepatan cahaya relatif terhadap anda, maka waktu yang saya alami akan bergerak 5353 kali lebih lama ketimbang waktu anda.

Secara psikologis, waktu juga bersifat “ilusif” karena persepsi kita terhadap lamanya waktu yang berlalu sangat ditentukan oleh otak kita. Dalam hal ini, obat-obat tertentu, seperti stimulan akan membuat waktu terasa lebih cepat dari yang seharusnya, sedangkan obat seperti depresan akan memberikan efek yang berlawanan. Kondisi emosional seseorang juga sangat mempengaruhi bagaimana otak kita mengukur lamanya waktu yang berlalu.

Seberapa rumitkah perjalanan waktu?

5 Mar 2019

Berbicara masalah rumit, para fisikawan bahkan belum punya gambaran yang baik tentang **waktu itu sendiri apa**, apalagi tentang perjalanan melintasi waktu.

Satu-satunya yang masih membuka kemungkinan hanyalah perjalananan waktu ke masa depan. Relativitas khusus sudah menunjukkan bagaimana waktu bisa terdilasi ketika kita bergerak dengan kecepatan cukup tinggi sehingga kita **bisa ke masa depan** tanpa harus menjadi tua. Apakah kemudian kita bisa balik ke masa lalu, itu hal lain.

Apakah waktu dapat bergerak mundur masih hanya spekulasi dan dugaan, sehingga perjalanan waktu ke masa lampau, cenderung mengarah pada kemustahilan, sebagaimana saya jelaskan **di jawaban saya yang lain**.

Apakah chaos theory memang menggambarkan hukum alam, atau merupakan pemodelan untuk sistem yang terlalu kompleks yang tidak bisa diselesaikan secara analitis?

4 Mar 2019

Saya sarankan terlebih dahulu baca sedikit penjelasan saya tentang Chaos Theory di sini.

Pada tulisan itu, saya langsung mengambil contoh dari asal mula sistem Chaos itu sendiri ditemukan, yakni sistem Lorenz. Perilaku sistem Lorenz sangatlah unik dan mengejutkan, tapi tahukah seperti apa sistemnya?

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= x(\rho - z) - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z\end{aligned}$$

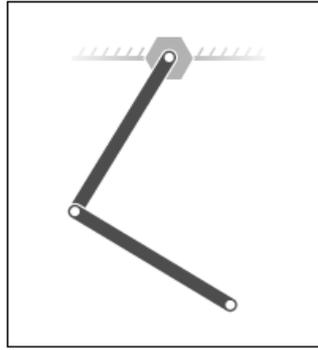
Sederhana bukan? Sistem Lorenz **hanyalah sistem persamaan diferensial 3-variabel!** Tidak ada yang kompleks di situ.

Permasalahan dalam sistem Chaos bukanlah masalah ia kompleks atau tidak, apakah ia bisa diselesaikan secara analitis atau tidak, namun pada bagaimana **sistemnya berperilaku secara kualitatif dan sensitif terhadap gangguan**.

Sistem chaos mengubah paradigma matematikawan yang seringkali hanya melihat hal-hal yang kuantitatif dan mendetail, namun melupakan struktur yang bersifat kualitatif.

Coba kita lihat contoh lain dari sistem Chaos yang lebih terbayang: **Bandul ganda**.

Apa itu bandul ganda? Anda bisa membayangkan bandul bukan? Yang bisa berayun secara harmonis dengan suatu titik tumpu. Nah, bayangkan bandul ini berupa tongkat, dan di ujung tongkat ini diikatkan tongkat yang lain yang bisa bergerak bebas dengan gaya gesek yang bisa diabaikan. Sukar membayangkan? Kurang lebih ilustrasinya seperti berikut:



Sistem ini secara matematis bisa dituliskan sebagai berikut: (jika merasa rumit, abaikan saja, saya cuma mau perlihatkan bahwa sistem ini **relatif sederhana**):

$$u_1' = \frac{6}{ml^2} \frac{6v_1 - 3 \cos(u_1 - u_2) v_2}{16 - 9 \cos^2(u_1 - u_2)}$$

$$u_2' = \frac{6}{ml^2} \frac{8v_1 - 3 \cos(u_1 - u_2) v_2}{16 - 9 \cos^2(u_1 - u_2)}$$

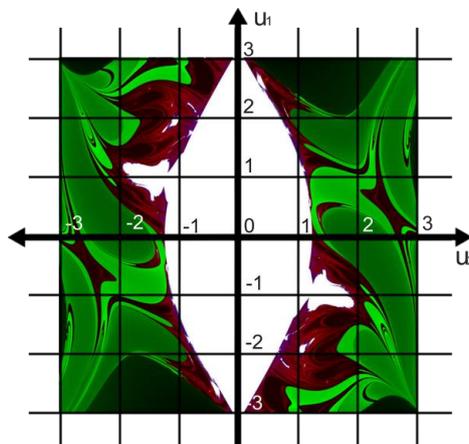
$$v_1' = -\frac{1}{2} ml^2 \left(u_1' u_2' \sin(u_1 - u_2) + \frac{3g}{l} \sin(u_1) \right)$$

$$v_2' = \frac{1}{2} ml^2 \left(u_1' u_2' \sin(u_1 - u_2) - \frac{g}{l} \sin(u_2) \right)$$

Sistem ini hanya melibatkan 4 variabel, yakni orientasi dan momentum sudut dari tiap tongkat. Hukum yang dipakai pun hanya mekanika Newton. Sistem ini, sayangnya, ternyata juga bersifat *chaotic*. Jika bandul ganda ini disimulasikan, pergerakannya kurang lebih seperti berikut



Ada pola di situ? **Tidak**. Tapi mari kita ganti kacamata kita untuk melihat lebih kualitatif. Jika kita kelompokkan nilai-nilai awal berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk pendulumnya benar-benar berputar penuh, maka kita peroleh gambar berikut.



Keterangan:

- Koordinat di atas (u_1, u_2) merepresentasikan keadaan (*state*) awal dari sistem dimana u_1 merupakan sudut awal dari tongkat pertama, dan u_2 untuk tongkat kedua.
- Daerah-daerahnya diwarnai berdasarkan waktu yang dibutuhkan sistem untuk pertama kali berputar, dimana: hijau (<10 sw), merah (10–100 sw), ungu (100–1000 sw), biru (1000–10000 sw) dan putih (>10000 sw), dengan sw adalah satuan waktu, yang dalam konteks ini, $sw = \sqrt{\frac{l}{g}}$.

Ada pola kualitatif yang terlihat bukan? Selain itu, gambar di atas menunjukkan betapa bandul ganda sangat sensitif terhadap nilai awal yang diberikan.

Sistem chaos bukan masalah sistemnya kompleks atau bukan, ia *purely* merupakan sistem yang unik secara alami. Matematikawan dalam ilmu sistem dinamik dan bifurkasi sampai sekarang masih meneliti kriteria-kriteria apa yang kiranya membuat suatu sistem bisa bersifat *chaotic*.

Apakah waktu dapat berjalan mundur?

3 Mar 2019

Konsep waktu memang konsep yang sukar untuk dipahami dengan baik. Bahkan sebelum kita bisa bertanya apakah waktu dapat berjalan mundur, kita butuh bertanya, **sebenarnya waktu itu sendiri apa?**

Waktu sejauh ini secara *common sense* dianggap sebagai suatu aliran kejadian di semesta ini.

Waktu dengan demikian seperti ruang, yakni suatu dimensi dimana setiap kejadian punya koordinat dalam dimensi itu. Bedanya, karena dianggap sebagai “aliran”, dimensi waktu selalu punya “arah”.

Ketika misalkan ada dua kejadian, terjadi dalam **2 tempat** yang berbeda, maka kita akan selalu tetap bisa mengakses 2 koordinat kejadian tersebut. Namun, ketika ada dua kejadian, terjadi dalam **2 waktu** yang berbeda, maka kejadian B tidak akan mungkin bisa mengakses kejadian A atau sebaliknya, atau bahkan kita tidak bisa mengakses 2 kejadian itu lagi karena ia sudah berada **di belakang aliran**.

Tapi,

apakah memang kejadian yang berada pada waktu **di belakang waktu** kita saat ini tidak akan pernah bisa diakses?

Sayangnya, yang unik dari dimensi waktu adalah, ia mencakup seluruh 3 dimensi ruang pada tiap titiknya. Maksudnya apa? Coba imajinasikan sedikit. detik ini dan detik berikutnya adalah **2 semesta 3 dimensi** yang berbeda. Pada setiap bingkai waktu, semesta ikut berubah bersamanya, sehingga **setiap bingkai waktu hanya akan terkait pada satu keadaan semesta yang unik**. Ketika saya menyebut, “oh itu kejadian 45 menit yang lalu”, maka yang saya rujuk bukan hanya kejadian spesifik itu saja, namun seluruh keadaan semesta yang terjadi bersamaan dengan kejadian itu 45 menit yang lalu. Ketika waktu mengalir, maka semesta pun terbawa bersamanya.

Kita adalah makhluk dimensi 3, sehingga kita pun **terikat oleh setiap bingkai waktu**. Kalaupun waktu berjalan mundur, itu berarti juga seluruh semesta yang bersama olehnya, tanpa terkecuali setiap kesadaran dan memori. Kalaupun waktu mundur, **kita tidak akan pernah bisa**

merasakannya! Asumsi yang sering muncul pada banyak kisah *sci-fi* adalah bahwa waktu yang telah lampau bisa diakses dengan pengecualian beberapa subjek (yakni beberapa orang). Artinya, seluruh semesta di sekitarnya bergerak mundur bersama waktu, namun **dirinya sendiri terpisah**. Padahal, diri kita terikat bersama seluruh semesta 3 dimensi yang bergerak bersama waktu itu. Ini hal yang mustahil terjadi dan membuat saya pribadi tidak pernah percaya mesin waktu.

Dengan demikian, apapun usaha yang dilakukan dalam rangka mengakses waktu yang telah berlalu, akan selalu menghasilkan paradoks, seperti bagaimana bila seseorang pergi ke masa lalu dan membunuh kakeknya?

Akan tetapi, kemustahilan ini terjadi hanya jika konsep waktu hanya 1 dimensi alias aliran 1 arah. Dengan berkembangnya teori string dan kemungkinan adanya dimensi yang lebih tinggi, maka paradoks-paradoks perjalanan lintas-waktu akan terdamaikan dengan adanya banyak *timeline* yang bercabang pada dimensi ke-5. Jadi, sebagai sebuah aliran, **waktu tidak akan pernah bisa mundur**, namun kita bisa mengakses *timeline* yang berbeda yang terikat dengan semesta yang berbeda, sehingga kita (subjek) **tidak perlu memisahkan diri dari aliran waktu dan semesta** yang kita tinggali.

Apa itu Teori Kekacauan (Chaos Theory)? Bisakah kamu menjelaskannya kepada orang awam?

2 Mar 2019

Sebelum menjelaskan, saya harus ucapkan, **welcome to the jungle, prepare to be shocked!**

Teori kekacauan sebenarnya teori yang sangat matematis. Agar orang awam bisa memahaminya dengan jelas tanpa miskonsepsi, anda hanya butuh **imajinasi**.

Pertama-tama, kita harus pahami asal mula muncul kata *chaos*.

Jika anda melempar sebuah bola dengan arah tertentu, sedikit informasi mengenai kekuatan lemparan anda (direpresentasikan dengan kecepatan awal bola) dan spesifikasi bola (seperti massa) serta beberapa parameter eksternal (seperti gravitasi), akan memungkinkan anda bisa memprediksi secara cukup akurat trayektori dari bola tersebut. Ya, *yang anda butuhkan hanya aturan-aturan yang berlaku pada bola tersebut*.

Well, itu lah fisika klasik.

Impian terbesar dari sains pada masa klasiknya adalah pemahaman yang utuh terhadap semesta sehingga fenomena apapun bisa diprediksi dinamikanya. Pada faktanya, fisika klasik, direpresentasikan dengan mekanika Newton, memang sangat sukses melakukan itu. Begitu suksesnya mekanika Newton, hingga muncul paradigma **deterministik**, dimana segala sesuatu di semesta ini selalu bisa ditentukan secara pasti selama semua informasi yang terkait bisa diketahui. Sederhananya, jika kita ketahui seluruh informasi pada suatu keadaan dari semesta, maka kita akan selalu bisa prediksi setelah keadaan itu semesta akan jadi seperti apa. *Well*, bukankah sebuah pandangan yang *make sense*? Semesta ini tentu harusnya begitu teratur kan? Bahkan, ketika kita melempar dadu sekalipun, kalau semua informasi mulai dari arah lemparan, massa dadu, gesekan udara, dan lain-lain kita ketahui, angka yang muncul pada mata dadu akan bisa diprediksi dengan akurat. **Everything can be determined.**

Akan tetapi, sayangnya, **semua berubah ketika negara api menyerang, eh, Edward Lorenz menyerang.**

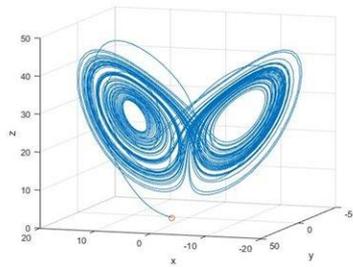
Siapa Edward Lorenz? Ia hanya seorang pengamat cuaca, meteorolog lah kerennya. Tapi **spoiler**, dia disebut sebagai *father of chaos* (*keren ya namanya*). Dalam pengamatannya terhadap atmosfer, Lorenz menemukan suatu sistem, yang aneh. Akan saya coba jelaskan se-*brief* mungkin.

Pertama, perlu dipahami bahwa perilaku suatu sistem itu bergantung **nilai awal**. Misal dalam kasus lemparan bola di atas, nilai awalnya adalah kecepatan awal, sudut lemparan, dan posisi awal bola. Diketahui 3 hal ini, bola itu bergerak kemana akan bisa diketahui.

Kita mulai perjalanan kita memahami Lorenz,

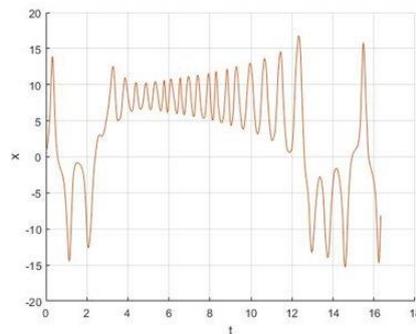
1. Sistem yang tidak beraturan

Sistem yang diamati Lorenz melibatkan 3 variabel, jadi ya bayangkan saja pergerakan sistemnya bisa digambarkan dalam ruang 3 dimensi. Singkat cerita, untuk suatu nilai awal, Lorenz berhasil mendapatkan gambar berikut: (bulatan kecil di bawah adalah nilai awalnya)

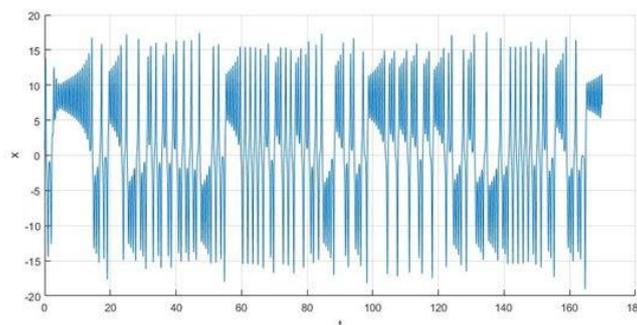


Gambar yang indah bukan? Melihat gambar itu, kira-kira kebayang gak bahwa pergerakan sistem tentunya pasti hanya mutar-mutar di dua “lingkaran” itu dalam **suatu pola tertentu** kan?

Ya, itu juga yang dipikirkan Lorenz. Tapi,... kita lihat pergerakan salah satu variabelnya



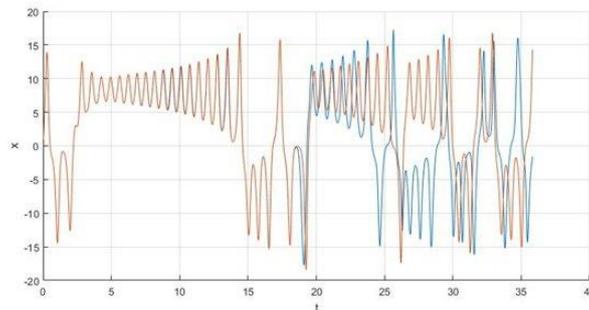
Lorenz pun terkejut. **Mana Polanya?** “Ah, paling belum kelihatan aja, coba dijalankan untuk waktu yang lebih lama deh” kata Lorenz. Dan, berikut yang ia dapatkan



Lihat pola apapun di situ? **TIDAK ADA**. Pergerakannya begitu **acak dan tidak beraturan**. Luntur sudah harapan deterministik. Bagaimana mungkin mau prediksi pergerakannya, kalau tidak ada pola yang bisa dibaca?

2. Sistem yang sensitif terhadap perubahan kecil

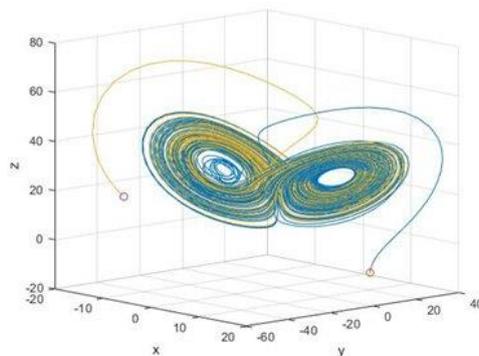
Sekarang coba bayangin, pada kasus bola sebelumnya, kalau posisi lemparnya digeser dikit (1 milimeter doang), dengan kecepatan lemparan dan sudut yang masih sama, kira-kira pergerakan bolanya akan berbeda jauh tidak? Tentu tidak bukan? Yah, sayang sekali itu tidak terjadi pada Lorenz. Belum cukup keterkejutan Lorenz dengan hasil di atas, ia iseng-iseng mencoba hal lain: **ia hitung dua pergerakan sistem dengan beda nilai awal cuma 0.0001**. *Look what he found:*



Awalnya sih gerakanya hampir sama. Eh, di tengah-tengah tiba-tiba mereka cerai, tanpa sebab, tanpa hujan, tanpa angin, tanpa berantem dulu.

3. Sistem yang mempertahankan bentuk kualitatif

Lihat betapa *aneh*-nya sistem Lorenz bukan? Hebatnya, dengan semua keanehan itu, ketika dua pergerakan sistem dengan nilai awal yang jauh berbeda diamati, kita dapatkan gambar berikut



Dua pergerakan ini mungkin secara kuantitatif “cerai” (seperti kasus sebelumnya), tapi bila dilihat secara kualitatif, **mereka selalu mempertahankan bentuk “kupu-kupu”**, apapun nilai awalnya!

Setelah mengamati semua hal di atas, Lorenz pun menuliskan

“One meteorologist remarked that if the theory were correct, one flap of a sea gull's wings would be enough to alter the course of the weather forever. The controversy has not yet been settled, but the most recent evidence seems to favor the sea gulls”

yang kemudian secara tidak sengaja, makalah yang ia paparkan untuk menjelaskan hal ini diubah judulnya menjadi *Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?* yang akhirnya menjadi asal-usul istilah **butterfly's effect**, yang menjadi ciri khas **teori chaos**.

Jadi apa itu teori chaos? Ya, teori yang menjelaskan sistem **chaos**. Apa itu sistem chaos? Sistem yang perilakunya seperti sistem Lorenz di atas, yakni:

1. **sistemnya deterministik tapi perilakunya probabilistik;**
2. **Sensitif terhadap gangguan kecil;**
3. **mempertahankan sifat kualitatif.**

Apa contoh sistem chaos di alam? Ya yang diamati oleh Lorenz: **atmosfer!** Banyak juga sistem-sistem lainnya, yang, saking kompleksnya dan melibatkan begitu banyak variabel, ia punya perilaku seperti sistem Lorenz. Dengan itu jugalah mengapa Lorenz disematkan gelar *father of chaos*.

Apa yang mengisi 99,9% ruang kosong dalam atom?

2 Mar 2019

Menambahkan jawaban dari Zevie Ramie, mekanika kuantum memang sedikit berada di luar jangkauan bayangan manusia. Posisi suatu materi (terutama partikel subatomik) pada dasarnya tidak pernah bisa ditentukan secara pasti. Yang bisa ditentukan hanyalah persebaran probabilitas keberadaan materi tersebut dalam ruang.

Akan tetapi, **ini tidak lantas mengatakan keseluruhan ruang itu terisi oleh materi tersebut**, hanya saja, untuk menentukan kepastian lokasi eksak dari materi tersebut, pengukuran apapun akan mengganggu sistem dan menimbulkan ketidakpastian. Sebagai contoh, elektron dalam tingkatan orbital terendah (orbital s) memiliki fungsi probabilitas yang merentang dari inti atom itu sendiri sampai pada suatu jarak tertentu dari inti atom. Dalam rentang ini, elektron sebagai materi tentu sebenarnya hanya mengisi ruang yang sesuai dengan ukuran elektron itu, hanya saja, pengukuran apapun yang dilakukan untuk mendapatkan posisi elektron itu akan mengubah sistem kuantum itu sendiri. Itu yang sebenarnya dimaksud sebagai **kabut probabilistik**.

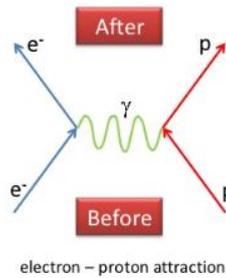
Lantas, ketika sebenarnya lokasi elektron itu ada pada suatu titik, terlepas dari kegagalan kita dalam mengukur itu, apa yang sebenarnya mengisi ruang selain titik yang diisi elektron tersebut?

1. Kumpulan partikel elementer yang datang dan pergi, muncul dan lenyap. Inti atom dan elektron pada dasarnya saling berinteraksi (paling tidak dengan gaya elektromagnetik). Dalam model standar partikel elementer, partikel terbagi menjadi 2 kelas besar, yakni **fermion** (penyusun materi) dan **boson** (pembawa gaya). Dalam mekanika kuantum, dua materi (fermion) yang saling berinteraksi (dengan suatu gaya) pada dasarnya saling bertukar boson. Dalam konteks ini, inti atom (proton dan neutron) saling bertukar foton dan Higgs-boson terus menerus. Bahkan, antar proton dan neutron sendiri, mereka saling bertukar boson yang membawa gaya nuklir kuat, yakni Z-Boson. Jadi, pada dasarnya, **ruang dalam atom dipenuhi dengan boson yang bolak-balik melintas**. Selain itu, ada juga kemungkinan partikel-partikel elementer lain yang begitu kecil dan “licin” seperti **neutrino** yang melintas di ruang subatomik itu.
2. Entitas yang masih karakternya masih misteri, yakni **materi gelap** (*dark matter*). Materi gelap sudah dipastikan eksistensinya, namun apakah ia memang mengisi seluruh ruang, termasuk ruang subatomik, belum bisa dipastikan. Ini tidak mustahil, namun juga belum bisa dibuktikan.
3. *Space-time continuum* (STC). Kalaupun ruang dalam atom “belum cukup penuh” diisi dengan partikel elementer ataupun materi gelap, maka yang tersisa hanyalah ruang-waktu itu sendiri. Mengenai apa itu STC sendiri, *well*, ini sendiri masih misteri bagi para fisikawan.

Yang bisa diketahui hanyalah bagaimana perilaku STC ini bisa mempengaruhi gravitasi antar materi, sebagaimana dijelaskan dalam Relativitas

Tambahan:

Terkait yang munculnya boson yang bertanggung-jawab terhadap interaksi antara fermion, dalam fisika terdapat ilustrasi yang dikenal sebagai **Feynman Diagram**. Khusus untuk interaksi elektromagnetik antara proton dan elektron, bisa diagramnya kurang lebih sebagai berikut:



Apakah teori ledakan besar (Big Bang Theory) dapat diselaraskan dengan doktrin penciptaan?

15 Feb 2019

Belum dapat diketahui.

Kalaupun bisa, seringkali usaha-usaha seperti ini hanya berujung pada pengaitan yang dipaksakan sehingga akhirnya kelak perlu dilakukan re-interpretasi lagi ketika ada temuan baru yang melengkapi fenomena Big Bang.

Satu argumen yang sering digunakan para apologis adalah bahwa Big Bang sering dianggap merupakan titik dimana ketiadaan bisa berubah menjadi “ada”. Karena adanya segala sesuatu ini pasca Big Bang itu mustahil muncul begitu saja dari ketiadaan, maka pastilah ada Pencipta yang menginisiasi Big Bang itu. Hanya saja, argumen seperti ini perlu diwaspadai, karena

1. Teori Big Bang tidak mengatakan bahwa semesta muncul begitu saja dari singularitas, namun hanya mengatakan bahwa teori fisika yang kita pahami sekarang tidak bisa menjelaskan apa yang terjadi sebelum Big Bang, sehingga sering dikatakan bahwa Big Bang adalah awal dari waktu, karena definisi waktu yang sering dipakai adalah waktu termodinamik (yang bergerak berdasarkan entropi semesta)
2. Tidak ada jaminan bahwa Big Bang bukan sebuah peristiwa tunggal. Dengan pengembangan teori string yang secara matematis membutuhkan dimensi ruang yang tinggi, maka berkembang konsep multiverse dimana Big Bang-Big Bang lainnya juga terjadi dan membentuk semesta lain dengan hukum fisika yang berbeda-beda.
3. Semesta tidaklah muncul dari ketiadaan. Ada suatu keadaan yang disebut sebagai fluktuasi kuantum yang mendahului terjadinya Big Bang.
4. Makna “eksistensi” perlu ditinjau lebih hati-hati. Karena *sense* kita akan keberadaan sesuatu terbatas pada ruang 3 dimensi.

Terkait hal ini, sebagai seorang agamawan, saya menyarankan hindari pengaitan berlebihan temuan sains dengan konsep dalam agama. Sains sekarang sudah sangat berkembang begitu cepat. Jika sebagai penganut agama kita hanya terus-menerus melakukan re-interpretasi terhadap konsep agama agar sekadar bisa cocok dengan temuan sains, maka itu justru menunjukkan inkonsistensi konsep agama.

Jika ruang itu hampa, mengapa ruang tidak menyedot semua udara dari atmosfer Bumi?

6 Mar 2019

Atmosfer bumi tidak terdispersi ke ruang angkasa luar karena adanya gravitasi bumi. Gravitasi berlaku pada semua benda bermassa, termasuk gas atau udara. Udara, karena sifat dari molekulnya, dan cenderung ringan, tidak menempel secara rigid di permukaan bumi, namun “mengumpul” di atas permukaan bumi. Itulah mengapa tekanan udara di permukaan bumi sebenarnya relatif tinggi,

yakni $10000 \frac{N}{m^2}$. Untuk membayangkan betapa besarnya tekanan ini, ia setara dengan 7 mobil berukuran sedang yang bertumpu pada bidang 1 meter persegi. Semakin jauh dari permukaan bumi, gaya gravitasi mengecil dan udara menjadi lebih tipis, hingga pada suatu level ketinggian, udara sudah tidak terikat lagi dengan gravitasi bumi.

Jika gravitasi itu ada, mengapa Bulan tidak jatuh ke Bumi?

7 Feb 2019

Gambar berikut mungkin bisa memberi ilustrasi.



Pada kecepatan yang cukup, suatu benda bisa bergerak mengelilingi bola bermassa seperti bumi. Kecepatan yang dibutuhkan ini bergantung pada kurvatur dari bumi. Dalam konteks ini, itu senilai dengan kira-kira 8 km/s. Dengan prinsip inilah manusia bisa meluncurkan satelit untuk mengelilingi bumi. Prinsip yang sama juga berlaku pada bulan.

Bila api butuh oksigen, dari mana matahari mendapatkannya bila tidak ada oksigen di luar angkasa?

24 Des 2018

Tidak. Matahari menyala tidak melalui proses pembakaran menggunakan oksigen sebagaimana umum terjadi di bumi.

Energi yang digunakan matahari untuk menyala bersumber dari reaksi fusi yang terjadi di dalam inti matahari. Reaksi fusi merupakan proses menyatunya dua inti atom yang disertai pelepasan energi yang cukup besar. Biasanya inti atom yang terlibat dalam reaksi fusi, terutama di bintang seperti matahari, adalah inti atom teringan, yakni hidrogen. Dua inti hidrogen akan bergabung menjadi inti helium. Selama bertahun-tahun matahari bersinar murni dari hidrogen-hidrogen yang berfusi di dalam intinya.

Apa rahasia dari ilmu matematika?

25 Des 2018

Rahasia apanya?

Jika yang dimaksud bagaimana cara belajarnya, maka ini Jawaban Aditya Firman Ihsan untuk Apa cara efektif untuk belajar matematika? semoga bisa membantu.

Jika yang dimaksud ilmunya sendiri, tidak ada yang berada di balik matematika selain logika formal. Seluruh teori dalam matematika diturunkan secara formal dan sistematis melalui deduksi terstruktur dengan berdasar pada aturan-aturan logika.

Apakah Albert Einstein mempercayai adanya Tuhan di alam semesta ini?

25 Des 2018

Ya. Einstein bukanlah seorang atheis, namun ia juga bukan seseorang yang religius. Einstein adalah seorang deis.

Deisme merupakan keyakinan yang menganggap Tuhan memang ada dan berperan di awal waktu dalam memulai semesta dan memformulasikan semua hukumnya, namun setelah itu semesta berjalan apa adanya dengan hukum-hukum fisika yang berlaku. Tuhan dalam deisme dianggap tidak pernah melakukan intervensi apapun di tengah-tengah keberjalanan waktu. Einstein dalam sebuah surat pada tahun 1954, memperjelas hal ini dengan mengatakan

I do not believe in a personal God and I have never denied this but have expressed it clearly. If something is in me which can be called religious then it is the unbounded admiration for the structure of the world so far as our science can reveal it.

Einstein lebih melihat bahwa semesta berjalan aturan-aturan yang tersistemasi melalui hukum fisika. Hal ini membuatnya tidak terikat pada Tuhan personal sebagaimana Tuhan dalam agama-agama, namun lebih pada Tuhan Pencipta, Tuhan Pendesain, Tuhan Arsitek yang telah membangun semesta yang kompleks ini. Namun, ia mengakui bahwa konsep Tuhan personal akan selalu sukar untuk dibantah ketika sains masih belum bisa mengungkap beberapa fenomena yang terjadi di alam, sebagaimana dalam essaynya tahun 1940, *Science and Religion*, ia mengatakan

To be sure, the doctrine of a personal God interfering with natural events could never be refuted, in the real sense, by science, for this doctrine can always take refuge in those domains in which scientific knowledge has not yet been able to set foot

Einstein sebagai yang percaya pada bahwa dengan hukum-hukum fisika, Tuhan menetapkan alur hidup semesta secara pasti, pun terlihat tidak bisa menerima mekanika kuantum begitu saja. Ia mengomentari konsep probabilistik dalam mekanika kuantum dalam kutipannya yang terkenal

I am at all events convinced that *He* does not play dice.

Einstein menganggap bahwa Tuhan telah menciptakan aturan sehingga segala fenomena harusnya bisa ditentukan secara deterministik.

Pada kecepatan apa alam semesta mengembang? Apakah lebih cepat atau lebih lambat daripada kecepatan cahaya?

25 Des 2018

Relatif. Bergantung dari jarak objek terhadap pengamat.

Perlu dipahami bahwa yang mengembang sebenarnya adalah ruang (*space*) dari semesta itu sendiri, bukan isi dari semestanya. Pada dasarnya setiap galaksi, bintang, dan semua materi di semesta ini “diam” dan hanya bergerak berdasarkan gravitasi yang bekerja padanya. Adanya tambahan gerakan ‘menjauh’ dari setiap materi semesta itu bukan berarti materinya sendiri yang bergerak menjauh, namun ruangnya yang membesar. Hal ini berimbas pada beberapa konsep yang mungkin sukar kita bayangkan dengan baik.

Pertama, ekspansi alam semesta tidak memiliki titik pusat. Segala sesuatunya menjauh satu sama lain berdasarkan pengamat. Kedua, semakin jauh objek dari pengamat, semakin cepat ia menjauhi pengamat. Ketiga, karena yang mengembang adalah ruang itu sendiri, maka laju ekspansinya bisa **lebih cepat** dari kecepatan cahaya. Terkejut? Kecepatan cahaya merupakan batas kecepatan tertinggi di semesta *bila suatu objek bergerak melintasi ruang*. Ketika ruang itu sendiri yang bergerak, maka batas ini bisa dilanggar! Fenomena lain yang serupa terkait pelanggaran batas tertinggi kecepatan ini adalah *entanglement* dalam dunia kuantum. Saya tidak akan bahas detail itu di sini, karena yang ingin saya tekankan hanya bahwa limit kecepatan di semesta tidak belaku dalam beberapa kasus. Apa artinya imbas ketiga ini? Kita ketahui bahwa kita ‘melihat’ semesta hanya bisa dengan cahaya, artinya batas terjauh dari semesta (disebut *observable universe* atau horizon kosmik) yang bisa kita lihat saat ini hanyalah objek-objek yang cahayanya bisa sampai ke kita (meskipun butuh jutaan tahun). Akan tetapi, karena pada titik yang cukup jauh dari pengamat, objek yang diamati bisa bergerak menjauh melebihi kecepatan cahaya, maka cahaya dari objek itu tidak akan pernah bisa sampai ke pengamat. Artinya apa? Horizon kosmik semakin mendekati pengamat! Semesta yang bisa kita lihat semakin sempit. Dalam beberapa waktu (yang tidak singkat tentunya), kita hanya bisa melihat beberapa galaksi yang cukup dekat dengan kita. Luas semesta yang sesungguhnya tidak akan pernah bisa kita ketahui.

Apa bukti alam semesta tidak kekal?

25 Des 2018

Bagaimana masa depan alam semesta sendiri masih belum bisa terprediksi dengan baik. Beberapa dekade yang lalu sempat bermunculan teori yang berusaha memprediksi bagaimana semesta ini akan berakhir. Salah satu yang cukup diterima adalah teori *Big Crunch*, yakni kebalikan dari *Big Bang*, bahwa total gravitasi di semesta akan memperlambat laju ekspansi semesta hingga pada suatu waktu, laju ekspansi ini akan berhenti dan berbalik menjadi mengerut. Hal ini serupa dengan batu yang kita lempar vertikal ke atas. Gaya gravitasi akan memperlambat laju batu itu hingga akhirnya berhenti pada suatu titik dan kembali jatuh lagi ke bumi.

Teori lain, seperti *Big Freeze (Heat Death)*, mengatakan bahwa semesta kelak pembentukan bintang akan semakin melambat dan dengannya total panas di semesta akan semakin menyebar. Semesta akan mencapai entropi maksimum dimana panas di semua titik adalah sama.

Sayangnya, penemuan terakhir terkait ekspansi alam semesta justru menunjukkan bahwa laju ekspansi ini justru meningkat (*accelerating*). Lebih lanjut mengenai hal ini bisa baca Jawaban Aditya Firman Ihsan untuk Pada kecepatan apa alam semesta mengembang? Apakah lebih cepat atau lebih lambat daripada kecepatan cahaya?. Dengan alam semesta yang terus mengembang dengan laju yang tidak akan pernah berhenti, maka akhir dari alam semesta berdasarkan *Big Crunch* tidak akan bisa terjadi. *Big Freeze* sendiri akan terpatahkan dengan fakta bahwa ekspansi alam semesta diakibatkan

oleh energi gelap (*dark energy*) dan hanya mempengaruhi ruang dari semesta itu sendiri, bukan materinya.

Akhir dari semesta pun sampai saat ini masih sangat sukar untuk diprediksi. Satu per satu fakta sains justru semakin menunjukkan begitu banyak hal yang belum diketahui dari semesta.

Berapa usia alam semesta ini?

25 Des 2018

13.8 milyar tahun yang lalu.

Darimana ini diketahui? Perhitungan matematis dengan melihat mundur ekspansi alam semesta. Jika kita ketahui bahwa semesta saat ini mengembang dengan kecepatan yang kita ketahui nilainya, maka kita akan bisa mendapatkan berapa tahun yang lalu semesta masih hanya berupa titik singularitas (*big bang*).

Sudah banyak hasil observasi yang telah menunjukkan bahwa alam semesta memang berawal dari *big bang*. Salah satunya adalah CMB (*Cosmic Microwave Background*). CMB merupakan radiasi elektromagnetik (lebih tepatnya gelombang mikro) yang terbaca seragam dari segala arah. Apa yang sebenarnya ditunjukkan oleh CMB? Dalam observasi benda langit, pada dasarnya kita seperti melihat ke masa lalu. Mengapa? Karena cahaya butuh waktu untuk sampai dari sumber ke mata kita. Objek-objek langit berjarak bertahun-tahun cahaya dari kita. Artinya, ketika kita melihat objek langit, kita melihat keadaan objek tersebut bertahun-tahun yang lalu, ketika cahaya itu meninggalkan objek tersebut. Menggunakan prinsip ini, CMB merepresentasikan cahaya yang dipancarkan semesta pada awal terbentuknya, yang baru mencapai mata kita setelah 13,8 milyar tahun yang lalu. Cahaya ini mengalami pergeseran merah yang cukup besar akibat efek Doppler sehingga panjang gelombangnya berubah ke rentang gelombang mikro.

Bagaimana cara menjelaskan lebih sederhana mengenai konsep dimensi ke-5?

26 Des 2018

Dimensi ke-4 dianggap sebagai dimensi waktu. Apa yang khas dari waktu? Ya, bahwa ia ibarat sebuah garis yang bermula dari masa lalu dan terus hingga ke masa depan. Garis waktu ini menghubungkan titik-titik semesta pada setiap bingkai waktu. Lantas bagaimana kita membayangkan dimensi ke-5? Garis pada dasarnya merupakan sifat atau “bentuk” dari dimensi pertama. Maka, bila kita ibaratkan dimensi ke-4 seperti dimensi pertama namun dalam konsep waktu, maka dimensi ke-5 bisa diibaratkan dimensi ke-2 dalam konsep waktu, atau dengan kata lain, **bidang waktu**. Bidang ini berisi kemungkinan-kemungkinan alternatif dari waktu. *Timeline* semesta dimana anda telah meninggal di usia muda ada dalam dimensi ke-5 ini.

Apa bintang terbesar yang terdeteksi hingga saat ini?

27 Des 2018

VY Canis Majoris.

Bintang ini terletak di rasi bintang Canis Major, sekitar 3900 tahun cahaya dari Bumi. Berikut adalah beberapa sifat fisis dari bintang ini^[1]

Parameter	Value	Reference
Distance (kpc)	1.17 ± 0.08	1
Bolometric flux (10^{-13} W/cm ²)	6.3 ± 0.3	2
Rosseland angular diameter (mas)	11.3 ± 0.3	3
Rosseland radius (R_{\odot})	1420 ± 120	4
Effective temperature (K)	3490 ± 90	5
Spectral type	M4 (M3–M4.5)	6
Luminosity ($10^5 L_{\odot}$)	2.7 ± 0.4	7
Initial mass (M_{\odot})	25 ± 10	8
Current mass (M_{\odot})	17 ± 8	9
Surface gravity (log g /cgs)	-0.6 ± 0.4	10

References. 1: Average of Choi et al. (2008) and Zhang et al. (2012); 2: Photometry from Smith et al. (2001) and IRAS fluxes; 3: this work; 4: 3 with 1; 5: 3 with 2; 6: 5 with van Belle et al. (2009); 7: 2 with 1; 8–10: 5 and 7 with evolutionary tracks from Ekström et al. (2012).

Diameter bintang ini kira-kira sekitar 1420 kali radius matahari, atau sekitar 1,9752 milyar kilometer. Jika sukar membayangkan, misalkan saja anda berada dalam pesawat dengan kecepatan 1000 km per jam, maka kira-kira anda butuh waktu sekitar **700 tahun** untuk mengelilinginya 1 putaran.

Apa kegunaan akselerator partikel? Mengapa benda ini begitu penting?

28 Des 2018

Sederhananya, untuk “memecah” partikel.

Misalkan anda ingin mengetahui apa isi dari *laptop* anda, maka anda tentu perlu membongkarnya bukan? Untuk membongkar *laptop*, ada alat dan caranya. Anda cukup gunakan obeng. Namun, bagaimana jika misal *laptop* itu, atau benda apapun, tidak punya sekrup sama sekali? Maka salah satu cara membongkarnya adalah membenturkannya dengan begitu kuat, sampai ia pecah berkeping-keping.

Dengan cara itulah fisikawan terus mengetahui komponen dari materi. Partikel-partikel elementer begitu tidak stabil untuk bisa ada secara terpisah dalam waktu yang lama, sehingga mereka jarang bisa ditemukan secara terpisah untuk bisa diteliti lebih lanjut. Lantas bagaimana? Akselerator partikel digunakan untuk “mengadu” dua partikel dalam kecepatan tinggi, dan kemudian dengannya subpartikel baru akan pecah dan keluar. Karena partikel elementer tidak stabil, eksistensi subpartikel ini tidak akan bertahan lama, namun paling tidak, dalam waktu yang singkat itu, subpartikel ini bisa diambil data-datanya. Selain itu, dengan akselerator partikel, subpartikel-subpartikel ini bisa direproduksi terus menerus tanpa harus “mencari” di alam.

Kenapa gravitasi bisa menahan manusia di permukaan bumi?

28 Des 2018

Kenapa tidak? Gravitasi merupakan gaya tarik antar benda bermassa. Manusia bermassa dan bumi bermassa, maka jelas bumi dan manusia saling tarik menarik. Karena tidak ada gaya lain yang cukup besar untuk melawan gaya tarik itu, ya manusia tidak punya alasan untuk lepas dari permukaan bumi.

Misalkan saja anda punya dua magnet saling menempel karena ada gaya tarik yang bekerja di antara mereka. Jika tidak ada gaya lain yang cukup besar untuk melawannya, mereka tidak punya alasan untuk berpisah.

Jika cahaya tidak memiliki massa, mengapa cahaya terpengaruh oleh gravitasi?

19 Des 2018

Dualisme Gelombang-Materi.

Segala apapun di semesta ini, punya identitas ganda, bergantung dari bagaimana kita mengamati ia. Ini merupakan konsep yang *shocking* dan sukar dicerna memang. Identitas suatu entitas sebagai suatu gelombang, dicirikan dari panjang gelombangnya, sedangkan identitasnya sebagai suatu materi, dicirikan dari momentumnya (massa x kecepatan). Ketidakpastian *Heissenberg* memperlihatkan bagaimana jika kita mengukur momentum suatu entitas dengan akurat, maka keakuratan kita dalam mengukur panjang gelombangnya akan mengecil, demikian juga sebaliknya. Artinya, kita tidak akan pernah bisa melihat suatu entitas sebagai dua identitas itu sekaligus.

Terkait cahaya, kita selama ini “mengukur”-nya sebagai suatu gelombang. Akan tetapi, dalam pengukuran tertentu, cahaya bisa berperilaku seperti materi, yang memiliki momentum (artinya memiliki massa dan kecepatan). Identitas cahaya sebagai materi inilah yang membuat ia juga terpengaruh oleh gravitasi. Pada dasarnya, tidak hanya cahaya, namun semua gelombang elektromagnetik bisa memiliki sifat materi dan dengan itu terpengaruh oleh gravitasi

Apakah simpanse akan menjadi manusia jika berevolusi?

21 Des 2018

Sukar untuk diketahui.

Teori evolusi menjelaskan bagaimana spesies terdiferensiasi melalui proses seleksi secara natural yang akan membuat makhluk hidup dengan spesifikasi fisik tertentu akan lebih mampu beradaptasi pada lingkungannya. Sejauh ini, teori evolusi cukup berhasil menjelaskan korelasi antara keragaman spesies dengan habitatnya masing-masing, dan juga korelasi mengenai bagaimana dua spesies pada awalnya merupakan spesies yang sama sebelum keduanya terpisah secara geografis.

Akan tetapi, manusia adalah makhluk yang kompleks, karena apa yang menjadikan manusia seorang manusia adalah kemampuan kognitifnya. Jika manusia dianggap spesies berdasarkan karakteristik fisik, maka ia memang tidak jauh berbeda dari keluarga primata. Sayangnya, evolusi kemampuan kognitif sukar untuk dibuktikan mengingat bukti-bukti yang bisa ditemukan hanyalah fosil dari makhluk-makhluk hominid (neandertal, homo habilis, dan semacamnya). Diferensiasi seperti apa yang terjadi ketika yang berubah bukanlah bentuk fisik, namun kompleksitas kemampuan berpikir? Ini sukar untuk dibuktikan secara langsung.

Evolusi manusia dari simpanse masih sebatas narasi yang dihasilkan dari pengumpulan segala bentuk korelasi yang bisa menjembatani makhluk-makhluk hominid ke manusia.

Lantas, jika tidak menjadi manusia, simpanse akan berevolusi menjadi apa? Ya bergantung banyak hal. Evolusi adalah proses penyesuaian spesies terhadap lingkungannya. Jika sekelompok simpanse

diisolasi di tengah pulau terpencil yang jarang memiliki pohon dan lebih pada padang rumput, mungkin dalam ribuan tahun mereka akan menjadi sedikit lebih tegak dengan tangan yang lebih pendek. Tapi menjadi lebih pintar? Itu hal lain. Saya masih menganggap kemampuan kognitif manusia terlalu kompleks untuk sekadar dibentuk dari proses evolusi.

Ada berapakah sebenarnya dimensi di alam semesta ini?

22 Des 2018

Dalam kerangka pengamatan manusia, semesta ini berdimensi 3. Namun, seiring dengan berkembangnya teori fisika, kandidat-kandidat teori fundamental, seperti teori string atau teori M membutuhkan dimensi yang lebih tinggi agar perhitungan matematikanya konsisten. (Lebih lanjut lihat String theory - Wikipedia). Dimensi yang lebih tinggi ini tingkatannya tidak sekadar tambah 1–2 dimensi, namun sampai 10–26 dimensi. Sebagai makhluk berdimensi 3 memang sukar bagi kita untuk mempersepsikan dimensi yang lebih tinggi. Akan tetapi, konstruksi dimensi berbasis 3 bisa dilakukan untuk paling tidak memahami dimensi-dimensi selanjutnya.

Seperti apa konstruksinya?

Oke. Kita mulai dari sebuah titik dan kita sebut ia berdimensi 0. Jika kita miliki titik lain yang berbeda dari titik itu dan kita tarik garis yang melewati keduanya, maka kita dapatkan ruang dimensi 1. Jika kita tarik garis lain yang tidak melewati kedua titik tadi (salah satunya tidak masalah), maka kita membangun sebuah bidang, ruang dimensi 2. Garis lain ini kita sebut sebagai “cabang” dari garis yang pertama, karena mereka tidak berimpit. Bila kemudian bidang dimensi 2 tadi kita lipat (kita lekukkan), kita sudah dapatkan dimensi 3. Secara sederhana dimensi 3 ini juga bisa didapatkan dengan menambah satu bidang lagi yang tidak mengandung kedua garis pertama kita. Kenapa saya pakai pendekatan lipatan adalah karena lipatan dimensi 2 ini yang memungkinkan makhluk dimensi 2 (misalkan semut) bisa “menghilang” dari ujung suatu bidang ke ujung yang lain, melalui dimensi 3.

Sampai sini saya rasa tidak ada masalah, karena dimensi 3 adalah lingkup pengamatan kita. Bagaimana melanjutkannya? Kita iterasi proses sebelumnya. Misalkan seluruh ruang 3 dimensi kita ini, dianggap sebagai satu titik. Jika kita punya titik lain, seperti sebelumnya, kita akan dapatkan dimensi 4. Tapi apa titik lain ini? Ya, semesta dimensi 3 pada 5 detik yang akan datang misalnya. Kita tarik garis, maka inilah garis waktu dimensi 4. Kita lanjutkan. Jika ada cabang atau garis lain yang berbeda dari garis waktu kita, maka kita dapatkan dimensi 5. Apa garis lain ini? Ya, alternatif *timeline*. Setiap waktu, garis dimensi 4 bercabang pada bidang waktu dimensi 5. Bila bidang waktu ini kita lipat (lekukkan), kita dapatkan dimensi 6.

Cukup sampai disini? Mari coba lagi. Misalkan seluruh ruang 6 dimensi, yakni semesta 3 dimensi beserta seluruh *timeline* yang mungkin, kita anggap sebagai 1 titik. Kita butuh titik lain untuk bisa dapatkan dimensi 7. Apa titik lain ini? Ya, semesta ini dengan big bang yang berbeda, hukum gravitasi yang berbeda, dan semua hukum fisika yang berbeda. Kita ulangi prosesnya sampai dimensi 9, dan kita bisa bayangkan *multiverse*!

Apakah bisa dilanjutkan lagi? Sayangnya interpretasi fisis berhenti sampai dimensi 9. Apa maknanya titik lain pada dimensi 10, kita belum bisa bayangkan. Tapi sampai titik dimensi 9, para fisikawan sudah mulai percaya bahwa ada semesta lain di luar sana dengan hukum fisika yang benar-benar berbeda dari semesta kita.

Jadi berapa sebenarnya dimensi semesta? Ya, belum diketahui. Matematika mampu membawa fisikawan hingga 10 bahkan 26 dimensi, sayang untuk membuktikannya, kita sebagai makhluk dimensi 3, belum punya kapabilitas selain imajinasi.

Apa yang terjadi pada Bumi seandainya Matahari berhenti bersinar selama satu hari?

23 Des 2018

Tergantung seberapa jauh kita mau membayangkan realisasi kemungkinan matahari berhenti bersinar.

Pertama, jika kita hanya meninjau “sinar”-nya saja, mungkin dampaknya tidak lah terlalu besar, namun juga tidak bisa dispelekan. Suhu bumi akan menurun bahkan hingga jauh ke bawah titik beku. Antartica yang hanya mendapat sedikit sekali bagian dari sinar matahari saja tercatat memiliki suhu tetendah hingga -93 derajat celsius. Beberapa tanaman mungkin akan layu dan kadar oksigen akan menipis dalam beberapa waktu. Namun semua ini mungkin tidak akan sampai mematikan seluruh kehidupan di bumi.

Kedua, jika yang kita anggap tidak bersinar adalah berarti matahari berhenti menghasilkan energi, maka walau hanya sepersekian detik saja itu terjadi, matahari akan kehilangan gaya penyeimbang gravitasinya sendiri sehingga ia runtuh dan mengecil. Gravitasi akan membuat matahari terus menciut hingga sampai seukuran planet bahkan lebih kecil. Pada titik ini, matahari akan berubah menjadi apa yang dikenal sebagai bintang katai putih (*white dwarf*). Efeknya apa ke bumi? Ya bumi kehilangan satu-satunya sumber energi bagi kehidupan. Ketika matahari sudah runtuh menjadi katai putih, maka ia tidak akan bisa kembali lagi seperti semula. Bumi dan planet lainnya mungkin masih akan dengan normal mengitarinya, namun kehidupan di dalamnya akan mati. Dalam waktu singkat bumi hanya akan menjadi planet es seperti Neptunus.

Akan tetapi, pada hukumnya, matahari masih memiliki waktu 5 milyar tahun lagi sampai seluruh energinya habis. Ditambah lagi, matahari tidak akan begitu saja berubah dalam sekejap menjadi katai putih, namun melewati fase raksasa merah (*red giant*) dan *planetary nebulae* terlebih dahulu.

Mengapa tidak ada hewan lain yang berevolusi untuk bisa berdiri dengan dua kaki?

23 Des 2018

Dalam prinsip evolusi, diferensiasi spesies hanya bisa terjadi bila suatu karakteristik fisik tertentu bisa lebih mampu beradaptasi dengan lingkungan ketimbang lainnya. Misalnya, jerapah memiliki leher panjang karena dengan karakteristik itu membantu mereka sebagai pemakan daun lebih mampu bertahan hidup pada habitat dengan pohon-pohon tinggi.

Agar kemudian ada spesies yang terdiferensiasi untuk berdiri dengan dua kaki, maka harus ada keunggulan tertentu dari diferensiasi tersebut pada lingkungannya. Pertanyaan ini dalam titik ini mungkin perlu dielaborasi. Kenapa? Hewan seperti apa yang dimaksud? Saya akan coba bongkar semua kemungkinan jawaban.

Hewan yang bisa disematkan dengan konsep “berdiri” hanya hewan-hewan pada filum Arthropoda (serangga, laba-laba, udang, dan semacamnya) dan filum Chordata, atau lebih khususnya subfilum Vertebrata. Jelas Arthropoda tidak ada yang memiliki 2 kaki, maka kita singkirkan ia dari

pertimbangan. Dalam hal vertebrata, kita bisa menyingkirkan semua kelas ikan, karena ikan tidak memiliki konsep “berdiri”. Kita juga kemudian bisa singkirkan kelas amfibi, karena tidak ada dari mereka yang berkaki 2. Hal ini menyisakan hanya beberapa kelas. Kita tinjau satu per satu.

Pertama, sebenarnya **seluruh kelas aves** (burung, ayam, angsa, dll) berdiri dengan dua kaki. Selain itu, **beberapa keluarga reptil** (reptil bukan kelas sendiri, ia satu kelas besar bersama aves sebagai *Sauropsida*), pernah memiliki spesies yang berdiri dengan dua kaki, yakni beberapa dinosaurus seperti Tyranosaurus atau Stegosauros. Terakhir, **beberapa kelas mamalia** seperti makropoda (kangguru dan semacamnya) atau rodentia (berang-berang dan semacamnya) mampu berdiri dengan dua kaki.

Dengan semua itu, lantas apa maksud anda dari “tidak ada hewan lain yang berevolusi untuk bisa berdiri dengan dua kaki”?

Apakah kamu percaya pada teori adanya dunia paralel?

23 Des 2018

Sebelum saya jawab, makna “dunia paralel” di sini perlu diperjelas, karena ia bisa memiliki **2 makna**.

Pertama. Dunia paralel bisa berarti bahwa semesta memiliki banyak *timeline* alternatif sehingga sebenarnya terdapat semesta lain sebagaimana semesta kita, namun hanya dengan *timeline* yang berbeda. Diri saya yang menjadi CEO perusahaan, atau menjadi presiden USA, atau sudah meninggal, ada semua di dunia paralel ini.

Kedua. Dunia paralel bisa berarti *multiverse*, atau adanya kumpulan semesta dengan isi yang benar-benar berbeda satu sama lain, bahkan dengan hukum fisika yang berbeda.

Terkait hal itu, saya pribadi percaya dengan kedua makna teori ini. Dunia paralel adalah konsep yang sangat memungkinkan secara fisis, meskipun belum bisa dibuktikan dengan cara apapun.

Pada konsep yang pertama, aliran waktu begitu sering memunculkan paradoks sehingga paralelisasi *timeline* alternatif perlu ada untuk bisa menghapus paradoks ini. Aliran waktu sampai sekarang dianggap sebagai aliran 1 arah, artinya ia selalu bergerak ke masa depan. Bila diandaikan kemudian mesin waktu berhasil ditemukan, maka apa yang terjadi bila seseorang pergi ke masa lalu dan kemudian membunuh kakeknya? Paradoks akan terjadi. Salah satu penjelasan yang bisa mendamaikan paradoks ini adalah bahwa ketika orang tersebut ke masa lalu dan membunuh kakeknya, terlibat di dalamnya 2 *timeline* yang berbeda. *Timeline* asli, dimana seseorang itu menggunakan masa lalu, tetap ada dan tetap terus bergerak ke masa depan. Kakeknya tetap hidup pada *timeline* itu dan ia pun kemudian tetap ada. Namun, ada *timeline* lain dimana kakek dari orang tersebut dibunuh sehingga orang tersebut tidak pernah dilahirkan.

Pada konsep yang kedua, apa yang ada di awal waktu (*big bang*) masih hal yang begitu misteri, sehingga fisikawan sering berspekulasi bahwa apa yang terjadi pada *big bang* adalah apa yang mendefinisikan semua hukum fisika di semesta ini. Dengan itu, proses *big bang* kemudian bisa dianggap sebagai suatu titik percabangan, dimana semesta-semesta lain terbentuk juga dengan hukum-hukum fisika yang benar-benar berbeda dengan semesta ini.

Dalam teori superstring, dimana semesta dianggap memiliki 11 dimensi, dunia paralel versi *alternate timelines* berada pada dimensi 6 dan dunia paralel versi *multiverse* berada pada dimensi 9. Untuk

penjelasan lebih lanjut mengenai hal ini, baca Jawaban Aditya Firman Ihsan untuk Ada berapakah sebenarnya dimensi di alam semesta ini?.

Berapa lama lagi waktu yang tersisa hingga kepunahan manusia?

23 Des 2018

Tidak bisa diketahui.

Banyak hal yang bisa menyebabkan kepunahan manusia, dan masing-masing memiliki peluang untuk terjadi dengan banyak faktor. Beberapa di antara sebab ini antara lain:

1. **Kerusakan ekologis bumi dan manusia gagal menemukan planet hunian lain.** Bila manusia tidak melakukan perubahan apapun atas keadaan ekologi saat ini, maka sebenarnya tidak butuh waktu lama bagi manusia untuk tidak dapat lagi tinggal di bumi, mungkin hanya dalam beberapa dekade. Jika sampai saat itu, planet hunian baru dan teknologi untuk menuju kesananya belum ditemukan, maka manusia akan punah.
2. **Meteor yang cukup besar jatuh menimpa bumi.** Dalam hal ini, tidak ada estimasi waktu yang bisa dilakukan. Setiap saat hal ini selalu mungkin untuk terjadi, meski dalam peluang yang kecil.
3. **Perang dunia lagi.** Jika pada suatu waktu di masa yang akan datang, perang dunia kembali terjadi, maka bisa diperkirakan kerusakan yang terjadi akan begitu besar. Teknologi persenjataan sekarang sudah begitu canggih, massif, dan destruktif. Beberapa negara sekarang bahkan sudah memiliki senjata nuklir. Hanya butuh konflik untuk membuat semua senjata itu diluncurkan. Perang dunia dengan teknologi tinggi akan membuat bumi akan menjadi seperti *cybertron*.
4. **Suatu epidemi penyakit.** Memang, teknologi kedokteran sekarang sudah begitu canggih untuk menyembuhkan berbagai penyakit. Akan tetapi, tetap ada kemungkinan mikroba-mikroba baru terbentuk dan berevolusi sehingga menjadi imun terhadap antibiotik. Apalagi sekarang, penelitian mikrobiologi membuat mikroba-mikroba baru terbentuk, yang mungkin didesain untuk menjadi senjata atau semacamnya. Mungkin saja suatu saat suatu virus (entah artifisial entah natural) akan menyerang dan menyebar dengan begitu cepat sehingga manusia tidak punya cukup waktu untuk merespon. Bayangkan saja seperti apa yang terjadi pada *Walking Dead*.
5. **Matahari kehabisan energi.** Yang ini tidak perlu dikhawatirkan, masih sekitar 5 milyar tahun lagi baru Matahari akan kehabisan bahan bakar fusinya. Ketika ini terjadi, matahari akan membesar menjadi *red giant* dan kemudian runtuh terhadap gravitasinya sendiri dan menciut menjadi bintang *white dwarf*. Dalam titik ini, sudah tidak dimungkinkan lagi ada kehidupan di bumi karena sumber energi utamanya telah tiada.

Masih banyak kemungkinan lain bagaimana manusia bisa punah, sehingga memprediksi kapannya menjadi hal yang mustahil. Beberapa mungkin bergantung tindakan kita saat ini sehingga bisa dicegah, namun beberapa juga bisa terjadi begitu mendadak dan natural sehingga tidak bisa kita antisipasi.

Apa kesulitan paling mendasar dalam upaya memahami alam semesta sebagai suatu keseluruhan?

13 Des 2018

Keterbatasan yang dimiliki manusia itu sendiri.

Manusia selalu dan akan selalu terjebak dan terpenjara oleh subjektivitasnya sendiri. Kita tidak bisa melihat semesta tanpa melalui saringan persepsi dan paradigma. Kita tidak bisa mengindra tanpa mencerna. Kita tidak bisa memahami tanpa menginterpretasi. Seandainya manusia bisa lepas dari dirinya sendiri, memahami semesta apa adanya adalah hal yang memungkinkan.

Apa satuan panjang terkecil yang ada dan bagaimana contoh wujudnya?

13 Mei 2019

Belum diketahui.

Banyak yang salah menganggap bahwa Planck Length adalah panjang terkecil. Panjang Planck adalah jarak yang bisa ditempuh cahaya dalam waktu 1 planck time. Planck time sendiri merupakan satuan yang diturunkan dari konstanta-konstanta dasar semesta (konstanta gravitasi, kecepatan cahaya, dan konstanta planck) dengan murni menyesuaikan satuan masing-masing (prosesnya dinamakan analisis dimensi) agar dihasilkan suatu konstanta baru yang satuannya berdimensi waktu. Satuan ini hanya untuk jadi acuan pada skala kuantum, sehingga tidak ada makna fisisnya sama sekali.

Panjang setengah planck length atau sepertiga planck length masih memungkinkan untuk ada.

'Big Bang' masih merupakan teori, jadi mengapa semua orang begitu yakin tentang usia alam semesta?

15 Des 2018

Banyak orang gagal membedakan makna 'teori' dalam perspektif ilmu sosial-humaniora dengan perspektif sains. Dalam sains, teori merupakan hukum yang telah terbukti kebenarannya, berbeda dengan teori dalam ilmu sosial-humaniora yang cenderung merupakan pendapat dari seseorang untuk menjelaskan fenomena.

Jadi, ketika kita berbicara teori relativitas, teori evolusi, atau teori big bang, maka sudah semua itu telah terbukti melalui metode ilmiah yang objektif dan universal.

Pertanyaan-pertanyaan di Quora, meskipun banyak yang aneh dan konyol, juga terkadang menggelitik pikiran dengan aspek-aspek spekulatif dan imajinatif. Dari sisiku sendiri, ini semua olahraga pikiran, meskipun terkadang menjadi gatal juga melihat jawaban lain yang juga konyol ataupun terlalu sederhana namun dapat banyak *upvote*. Terlepas dari banyak hal positif yang ku dapatkan, lama-lama aku pun menjadi jenuh juga. Sistem *upvote* di Quora menjadi kompetisi yang kurang sehat. Selain itu, konsep Quora membuatku jadi harus menyederhanakan jawabanku seringkas mungkin dan semenarik mungkin. Meskipun sebenarnya itu bagus untuk melatih kemampuanku menjelaskan, banyak hal tidak bisa dijelaskan secara singkat. Prinsipku yang dulu selalu menulis hanya untuk menulis dan bukan untuk dibaca menjadi semakin kandas karena tulisanku semakin terarahkan ke pembaca.

Seiring waktu, aktivitasku di Quora hanya menjadi seperti hype di awal waktu saja yang mana aku tak punya motivasi yang kuat untuk menjaga kebiasaan baru itu. Itulah kenapa akhirnya pada suatu titik aku berhenti sepenuhnya, dan ku putuskan mengarsipkan semuanya jadi booklet saja.

(PHX)