

MS/18 (1)

FRANZ VON MAGNIS

FILSAFAT ALAM

(1969)

Franz von Magnis S.J.

FILSAFAT ALAM

Diktat untuk keperluan mahasiswa Sekolah Tinggi Filsafat Driyarkara

Jakarta 1969/73

BAGIAN - SATUREFLEKSI FILSAFAH ATAS GAMBARAN DUNIA FISIKA MODEREN

Catatan pendahuluan.

Filsafat Alam berarti: mengadakan refleksi atas alam dunia. Atau lebih baik: refleksi atas gambaran dunia. Karena dunia ini hanya dapat kita tinjau dari faham kita sendiri. Maka dari itu sebelum kita mulai dengan refleksi, gambaran dunia fisika moderen harus diterangkan terlebih dahulu. Supaya para pembaca yang mungkin kurang faham akan fisika atom, dapat mengerti gambaran dunia fisika moderen, kami tempatkan pada permulaan suatu uraian tentang garis2 besar fisika atom. Sedangkan uraian tentang gambaran dunia fisika moderen mutlak perlu dipelajari sebelum menyibukkan diri dengan refleksi filsafat. Karena bagaimana orang dapat mengadakan refleksi, bilamana tak ada yang menjadi bahan refleksi? Refleksi filsafat sendiri berjalan dalam dua langkah yang akan diterangkan pada tempatnya.

∠ Fasal ini tidak perlu dibaca bilamana telah mengetahui tentang fisika atom  
I. GARIS2 BESAR FISIKA ATOM

1. Ringkasan sejarah:

Sejauh kita ketahui, orang2 pertama yang bertanya apa yang kiranya menjadi bagian2 terakhir daripada benda2 alam itu orang2 Yunani kuno. Thales (624-546) berpendapat, bahwa arialah yang menjadi bahan segala benda. Empedokles (ca.492-432) menetapkan empat unsur2 dasar: api, air, udara dan tanah; segala isi dunia terdiri atas empat unsur dasar ini. Filsafat alam dinajukan secara menentukkan oleh Demokrit (460-370): Menurut dia, segala apa yang ada terdiri dari bagian2 terakhir dan terkecil yang tidak dapat dibagi lagi dan karena itu disebut atom (a-tomos : tidak-terbagi). Atom tak dapat ditembus, berat, abadi dan tak terhancur. Jumlahnya tak terhingga. Sama atom bersifat sasa (hanyalah bentuknya berlain-lainan). Tak ada perbedaan2 kwalitatip pada atom2. Perbedaan2 kwalitatip yang kita saksikan di dunia (air, besi, kulit dsb.) diterangkan unseur2 yang melulu kwantitatip, yaitu tempat, dan kecepatan atom2 itu di ruang kosong.

Lebih dari satu setengah ribu tahun ajaran Demokrit tentang atom tinggal terlupa. Aristoteles telah mengambil oper ajaran Empedokles tentang empat unsur dan dengan demikian orang puas. Tibalah masa moderen. Amerika diketemukan. 30 tahun kemudian pelayaran pertama mengelilingi bumi. Abad ke-16. Teropong dan mikroskop diketemukan. Kopernikus menemukan susunan sistim matahari yang sebenarnya. Galilei menemukan bulan2 Jupiter, kawah2 bulan dan fase2 Venus. Kepler merumuskan hukum2 gerakan planit2. Leeuwenhoek menemukan dinemi-dinemi baru daripada hidup dalam setetes air. Itulah permulaan suatu gambaran dunia yang sama sekali baru.

Gambaran dunia abad pertengahan, yaitu suatu harmoni teratur yang terdiri dari sfera2 dengan dunia dan manusia di pusatnya hancur berantakan. Bumi diturunkan pangkatnya menjadi salah satu planit. Tidak lama kemudian matahari sendiri menjadi salah satu diantara jutaan bintang. Manusia tidak lagi bertujuan merencanakan dunia dan dengan demikian menduduki tempatnya dalam susunan tingkat2 kosmos. Melainkan ia mulai berubah dan menentukan dunianya. Dunia bukan lagi sesuatu yang harus diterima begitu saja melainkan perlu diselidiki, direbut, dirampas rahsia2-nya, dipergunakan bagi manusia. Itulah saat lahirnya ilmu alam dan teknik moderen.

Dari situ dapat dimengerti, bahwa ajaran tentang empat unsur dasar tidak lagi dianggap memuaskan. Filsuf Perancis Gassendi (+1655) menghidupkan kembali gagasan2 Demokrit. Ahli kimia Inggris R. Boyle (+1691) menciptakan istilah "unsur". Ia berpendapat, bahwa alam terdiri atas beberapa benda masing2 mempunyai kwalitas dasar tersendiri yang tak dapat dibuat. Itulah yang disebutnya unsur2. Menurut hematnya adalah sia2 belaka untuk mencoba membuat eses dari tanah. Esas adalah unsur, tak terhancur dan tak terbuat. Boyle-lah bapak gagasan unsur kimia. Pengertian kimia dinajukan lebih jauh lagi oleh John Dalton, seorang Inggris juga. Ia mendirikan teori atom yang moderen daripada kimia pada permulaan abad ke-19. Dalton mengajer, bahwa setiap unsur kiniawi (waktu itu sudah ada 40 yang diketahui) terdiri dari atom2 dari macam yang sama. Atom2 daripada unsur kimia masing-masing berbeda satu sama lain oleh karena besar dan berat mereka. Sedangkan atom2 daripada satu unsur tertentu, misalnya atom2 besi, adalah presis sama, tak ada perbedaan sama sekali. Itulah pada tahun 1808, saat kelahiran kimia moderen, yaitu ilmu yang menyelidiki susunan materil alam.



## 2. Molekul dan Atom, gabungan kimia dan unsur-2 murni.

Dalam dunia kita lihat ribuan macam zat: udara, air, tulang, kayu, batu, besi, garam, bensin, kertas, rambut dst. Zat2 itu terdiri dari apa? Misalnya sebuah kristal garam: ia bisa dipotong dan diremukkan sampai ia menjadi sehalus pasir, bahkan sampai hanya ada debu yang tinggal sehingga masing2 butir tak dapat dibedakan lagi dengan mata biasa. Rasanya tetap seperti garam. Tetapi bilamana kita memasukkan garam itu kedalam aparat Bohne, maka terjadilah sesuatu yang lain: Garam itu dibongkar menjadi dua zat yang lain sama sekali: suatu gas hijau beracun yang disebut Chlor, dan suatu logam, Natrium. Bilamana Chlor itu dipersatukan kembali dengan Natrium dan dipanasi, maka kembalilah kita mendapat garam. Inilah suatu contoh bagi kedua proses kimia fundamental: pembongkaran gabungan2 kimia kedalam unsur-nya dan penyusunan unsur2 kimia itu dalam gabungan2 kimia. Jadi garam adalah gabungan kimia dari dua unsur, Chlor dan Natrium. Begitu pula air adalah gabungan kimia dari dua gas zat-air (H) dan zat-asam (O).

Dalam proses itu kelihatan sesuatu yang penting. Bilamana dua unsur digabungkan, mereka harus berada dalam imbangan tertentu satu sama lain. Diketemukan bahwa 1 gr. H bergabung dengan 8 gr. O menghasilkan 9 gr. air. Padahal telah diketahui bahwa berat-atom H adalah 1 dan berat-atom O adalah 16 (berat-atom masih akan diterangkan). Maka dapat disimpulkan, bahwa pada air selalu 1 atom O bergabung dengan 2 atom H. Maka air mempunyai rumusan  $H_2O$ . Garam terdiri dari gabungan satu atom Cl dengan satu atom Na: NaCl. Pada asam-belerang 1 atom belerang (S) bergabung dengan 2 atom H dan 4 atom O: rumusannya adalah  $H_2SO_4$ . Jadi gabungan2 daripada atom2 dalam imbangun tertentu itu adalah bagian2 terkecil dari segala macam zat yang kita ketemukan. Mereka disebut *molekul*. Ada molekul yang amat kecil, misalnya molekul garam (NaCl) atau molekul zat air yang terdiri dari atom H ( $H_2$ ). Tetapi terdapat juga molekul2 raksasa yang terdiri dari ribuan atom. Molekul2 raksasa majemuk itu yang membangun sel2 hidup.

Molekul2 itu terdiri dari? Sebagaimana telah dikatakan, molekul2 itu terdiri dari atom2. Atom2 itu telah diketemukan 92 macam, hal mana berarti, bahwa dalam alam raya kita menemukan 92 unsur. Dari 92 unsur itulah segala bahan yang ada di dunia disusun. Unsur2 itu tidak dapat dibongkar menjadi unsur2 lain lagi. Setiap unsur hanya terdiri dari satu macam atom, yang berlainan bagi masing2 unsur dan berbeda satu sama lain karena berstanya.

Mari kita catat: molekul2 adalah gabungan atom2. Sifat2 suatu benda (ke-ras, lunak, warnanya, rasanya, baunya db.) ditentukan oleh molekul2 itu. Molekul2 itu sendiri terdiri dari atom2. Di alam raya terdapat 92 macam atom, yang disebut unsur, karena segala isi dunia memuatnya sebagai unsurnya.

## 3. Keadaan agregasi, panas.

Kita tahu bahwa zat yang sama dapat berada dalam tiga keadaan yang berlainan: dalam keadaan padat, dalam keadaan cair dan dalam keadaan gas (kita tidak membicarakan keadaan agregasi keempat, yaitu plasma); plasma berarti gas yang di-ionisasi, yaitu gas yang (biasanya karena kehilangan elektron2) telah kehilangan netralitas listriknya. Misalnya  $H_2O$  terdapat dalam bentuk es, air dan uap. Apa yang membedakan ketiga-tiganya? Bukankah susunan kimia: ketiga-tiganya memang terdiri dari 2 atom H dan satu atom O. Melainkan karena gerakan gerakan2 molekul2 itu. Dalam keadaan uap maka molekul2  $H_2O$  berterbangan bebas dengan kecepatan yang tinggi dan molekul2 itu jauh sekali satu sama yang lain. Pada keadaan air molekul2 se-akan2 melekat satu sama lain, mereka saling berdekatan tetapi masih terus menerus berubah tempatnya. Sedangkan pada keadaan es molekul2 hanya bergetaran pada tempatnya yang tetap, jadi molekul sudah tidak menggantikan"tetangganya".

Apa yang menyebabkan rasa panas? Sebagaimana telah dikatakan, pun pada badan2 padat molekul2 itu bergerak sedikit, bergetar kekiri-kekanan. Getaran2 itu itu semakin cepat semakin suhu badan itu naik. Maka energi panas dalam badan ini adalah bukan lain daripada energi molekul2 yang bergetaran. Bilamana suhunya naik terus, getaran2 menjadi begitu hebat, hingga molekul2 akhirnya meninggalkan tempatnya yang tetap, mencampur-baur dengan molekul2 lain: badan itu mulai menjadi cair. Bilamana suhunya naik terus, gerakan molekul2 menjadi begitu cepat sehingga kekuatan2 yang menarik satu molekul pada yang lain tidak berdaya lagi untuk mengikat yang satu pada yang lain; molekul2 berterbangan bebas; bahan cair menjadi gas, artinya menguap.

Dengan demikian bakat fisikal dari pada panas dan suhu sudah menjadi terang. Energi panas bukan lain daripada energi getaran2 dan keterbangan2 molekul2 dan atom2, dan suhunya adalah ukuran daripada kekuatan dan kecapatan gerakan2 itu.

#### 4. Susunan atom :

11. Atom itu apa? Kata atom berarti: tak terbagi, dan 100 tahun yang lalu orang memang berpendapat, bahwa atom2 itu adalah bagian2 terkecil kobandian yang tak dapat dibongkar lagi. Akan tetapi ternyata atom itu bukanlah sesuatu yang terakhir, yang tak dapat dibongkar lagi, melainkan atom sendiri terdiri dari beberapa partikel (= bagian kecil). Terutama kita bedakan antara inti atom dan kulit atom.

Kondaan itu untuk sementara dapat kita bayangkan seperti berikut:

Atom ada intinya yang dikelilingi oleh elektron2, sebagaimana matahari dikelilingi planet2. Namun di sinipun perlu menegasakan, bahwa itu hanya suatu lukisan belaka. Sobetulnya atom itu berbentuk demikian, sebagaimana masih akan kita bicarakan panjang lebar. Mari kita ambil sebagai contoh yang teringan, zat-air (H). H. itu terdiri atas dua bagian : intinya (sebuah proton) dan satu elektron yang mengelilingi inti itu pada lintasan tertentu. Masa elektron hanya kira2  $1/2000$  daripada masa proton itu. Masa proton itu disebut masa atom satu. Baik proton maupun elektron bermuatan listrik. Elektron bermuatan 'muatan inti' negatif satu, dan proton bermuatan 'muatan inti' positif satu. Dengan demikian seluruh atom itu netral listriknya.

#### Kulit atom :

12. Mari kita 'lihat' dulu kulit atom. Pada atom H kulit atom terdiri dari satu elektron yang mengitari inti atom (satu proton). Atom yang berikut adalah atom Helium (He). He berelektron dua, yang mengitari inti pada kulit yang sama. Bilamana ditambah satu elektron lagi, maka tak ada tempat lagi di kulit pertama itu. Elektron itu menempatkan diri pada kulit kedua yang berada di luar kulit pertama. Kalau kulit pertama hanya mempunyai tempat bagi dua elektron, maka kulit kedua memberi tempat bagi delapan elektron maksimal. Kita tahu, bahwa unsur2 Lithium (Li, 3 elektron) sampai dengan Neon (Ne, 10 elektron) mempunyai kulit dua. Baru unsur nomor 11, yaitu Natrium (Na), menempatkan satu elektron pada kulit ketiga. Na berelektron 11, dua pada kulit dalam, delapan pada kulit kedua, satu pada kulit ketiga.

Keterangan ini cukup bagi kita. Masih dapat dicatat, bahwa kulit itu menandakan kemungkinan diadakannya gabungan2 kimia. Telah kita lihat, bahwa kulit elektron dapat menut jumlah tertentu elektron2 sampai penuh. Mari kita ambil dua atom, yaitu zat-air (H) ber-elektron satu dan zat-asam (O) ber-elektron delapan. Dua elektron dari O terdapat di kulit paling dalam, enam elektron lainnya terdapat pada kulit dua. Jadi kulit dua masih ada tempat untuk dua elektron. Bila sekarang O itu dihubungkan dengan H, maka dua H se-akan2 membagikan elektronnya masing2 dengan O, sehingga kulit dua daripada O itu sekarang menjadi penuh, jadi dua H digabungkan dengan satu O, dan gabungan ini adalah air (H<sub>2</sub>O). Kita mengerti pula mengapa zat2 yang kulit elektronnya sudah penuh (He: 2 elektron pertama; Ne : 10 elektron, dua di kulit pertama dan 8 di kulit kedua; dst.) tidak dapat mengadakan gabungan2 kimia : kulit elektron mereka sudah penuh, tidak dapat menampung elektron lain, jadi tidak dapat bergabung dengan atom lain.

#### Sistem Periodik Unsur2

13. Bilamana kita nongstur unsur2 menurut jumlah elektron mereka, maka di alam raya kita temukan 92 unsur. Unsur teringan adalah H dengan satu elektron, unsur terberat adalah uranium (U) dengan 92 elektron (di atas 7 lintasan). Bilamana unsur2 itu diatur dalam pita2 sedemikian rupa, hingga dengan setiap kulit baru dimulai pita yang baru pula, kita mendapat tujuh pita. Menarik perhatian, bahwa unsur2 yang letaknya satu di bawah yang lain (jadi yang berada pada permulaan atau pada akhir masing2 pita; artinya: yang kulit luarnya masih hampir kosong atau sebaliknya sudah penuh atau hampir penuh) mempunyai sifat2 kimia yang mirip : Karena susunan kulit paling luar mereka masing2 itu mirip, maka mereka dapat bergabung secara mirip dengan unsur2 lain.

#### Inti Atom.

14. Secara experimentil diketahui bahwa elektron2 bermuatan listrik negatif. Sekaligus ditentukan, bahwa seluruh atom yang terdiri dari kulit elektron dan inti itu bermuatan listrik netral, artinya tidak bermuatan listrik. Dari kenyataan itu dapat ditarik kesimpulan, bahwa pada setiap atom jumlah elektron yang bermuatan-listrik negatif itu dilawan dengan partikel2 yang sama banyaknya, yang bermuatan listrik positif dalam inti atom. Partikel2 positif itu disebut "proton". Maka dari itu nomor urut dalam sistem periodik unsur2 tidak hanya menunjuk pada jumlah elektron dari atom itu (misalnya : H : satu elektron; O: delapan elektron; mas: 79 elektron) melainkan juga pada jumlah proton dalam intinya (jadi: H: satu proton; O: delapan proton; mas 79 proton).

Ada sifat lain lagi yang membedakan proton dari elektron: proton adalah hampir 2000 kali lebih berat daripada elektron. Beratnya satu proton disebut berat atom 1. Elektron ternyata hanya mempunyai berat-atom 0,0005. Maka dari itu elektron2 tidak perlu dihitung, bilamana berat-atom suatu atom dihitung.

Selain proton masih ada bagian lain lagi dalam inti atom. Bagian itu sama beratnya dengan proton, yaitu berat-atomnya adalah satu. Bagian itu disebut n e u t r o n , karena tidak bermuatan listrik.

Mari kita ingat:

Elektron : muatan inti listrik : - 1; berat-atom : 0,0005

Proton : muatan inti listrik : + 1; berat-atom : 1.

Neutron : muatan inti listrik : 0; berat-atom : 1.

Secara kasar kita dapat berkata: Atom terdiri dari tiga bagian: dari proton2 dan neutron2 yang membentuk inti-atom, dan dari elektron2 yang mengitari inti itu.

15.

#### Berat-atom, jumlah neutron, isoton :

Inti atom H (zat-air) hanya terdiri dari satu proton. Karena inti-atom2 lainnya semua terdiri dari proton2 dan neutron2 (yang sama beratnya), padahal beratnya elektron2 dapat diabaikan, maka ternyata beratnya semua atom merupakan suatu kelipatan daripada berat atom H (berat-atom semua atom dibagi 1 merupakan angka genap). Sekaligus orang dapat menghitung jumlah neutron dalam suatu atom, bilamana ia mengetahui nomornya dalam sistim periodis serta berat atomnya.

Misalnya : H mempunyai nomor 1 dan berat-atom 1. Nomor 1 berarti: satu elektron, jadi juga: satu proton. Tetapi proton itu beratnya 1. Maka H itu tidak mempunyai neutron. O menduduki nomor 8 dalam sistim periodik, jadi jumlah elektron dan protonnya adalah 8. Padahal beratnya atom adalah 16. Jadi O mempunyai 16-8 neutron, jadi 8 neutron. Uranium adalah nomor 92; maka mempunyai 92 elektron dan proton, dan berat atomnya adalah 238; maka jumlah neutronnya adalah  $238 - 92 = 146$ .

Tetapi mungkin pula, bahwa satu macam atom dengan jumlah elektron dan proton yang sama terdapat dalam dua atau tiga bentuk : jumlah neutron dapat berlainan. Misalnya : Atom H biasanya mempunyai berat 1, jadi hanya mempunyai satu proton dan tak ada neutron. Tetapi terdapat juga atom2 H dalam dua bentuk lain: elektronnya dan protonnya tetap hanya satu, tetapi ada satu atau dua neutron juga, sehingga atom H itu mempunyai berat atom 2 (Deuterium atau "air-berat") atau 3 (Tritium). Bentuk2 atom yang tidak biasa semacam itu disebut isotop. Dalam uranium (berat-atom 238: 92 proton dan 146 neutron) terdapat juga (dalam jumlah kecil) satu isotop Uran, yaitu Uran 235: berat atomnya adalah 235, jumlah proton tetap 92 tetapi jumlah neutron hanyalah 143. Hanya isotop itu dapat dibelah dalam bom atom.

#### 16. 5. Partikel-partikel dasar.

Sebagaimana telah kita lihat, atom2 terdiri dari tiga bagian : elektron, proton dan neutron. Sejuah kita ketahui sekarang, bagian2 itu tidak lagi dapat dibagi dalam bagian2 lain (tetapi memang dapat dirubah menjadi bagian lain). Bagian2 semacam itu kita sebut b a g i a n - d a s a r .

Bagian2 itu mempunyai suatu sifat yang masih akan kita bicarakan: kadang2 mereka kelihatan sebagai gelombang2, kadang2 sebagai bola2 kecil. Dalam uraian pendahuluan itu cukuplah kalau kita memperhatikan gambaran bola itu.

Disamping elektron, neutron dan proton masih ada bagian2 lain, yang seringkali hanya mempunyai panjang hidup beberapa perjuta detik, sebelum merubah diri menjadi menjadi bagian lain. Begitu misalnya m e s o n (ada sedikit-dikitnya empat macam meson, yang beratnya 260 sampai 980 kali berat elektron): mereka hanya tahan  $2 \times 10^{-16} - 2 \times 10^{-8}$  detik lamanya.

Suatu bagian dasar tertentu adalah foton. Apa yang terjadi, bilamana sebuah sumber cahaya menyinari sebuah benda? Proses itu dapat digambarkan sebagai perindahan energi cahaya dalam bentuk gelombang2 elektron-magnet yang kontinu. Tetapi - dengan menggunakan gambaran korpuskel - dapat juga digambarkan sebagai penembakan bola2 kecil dari "benda cahaya". Dalam gambaran ini lampu dapat diibaratkan sebagai mesin yang menembakkan peluru2 cahaya. Peluru2 cahaya itu disebut f o t o n , atau kuantum-cahaya atau kuantum-gamma. Foton itu bergerak dengan kecepatan 300.000 km. per detik dan mempunyai massa-istirahat 0 (massa-istirahat : massa sebuah benda yang tidak bergerak, menurut teori relativitas maka benda yang bergerak mempunyai massa yang lebih besar daripada kalau tidak bergerak).

Catatan: Kadang2 orang bicara tentang antinatri. Yang dimaksud bukanlah benda2 yang tidak materiil dalam arti filsafah. Malainkan bahwa bagi semua ba-



gian yang ada, terdapat juga bagian-anti<sup>2</sup>, yaitu bagian<sup>2</sup> yang massanya serta panjang hidupnya sama, tetapi muatan listriknya kebalikan. Misalnya ada elektron maka ada juga anti-elektron atau positron yang sama dengan elektron kecuali bahwa muatan listriknya adalah positif. Ada juga anti-proton dan anti-neutron. Sebetulnya tidaklah mustahil, kalau di ruang angkasa ada pula sistim-sistim galaksi yang terbangun dari antimateri. Tetapi apabila sebuah bagian bertemu dengan bagian antinya, kedua-duanya "tersinar", artinya saling meniadakan dengan menuang sebuah foton, atau dengan lain kata, kedua-duanya dalam sekejap berubah menjadi energi balaka.

#### 17. .6. Gelombang elektro-magnetik, medan:

Sampai sekarang kita selalu memperhatikan sudut korpuskuler dunia mikro. Kita telah bicara tentang elektron, neutron, proton, yaitu bola<sup>2</sup> kecil dengan tempat dan masa tertentu. Namun ada juga fenomen<sup>2</sup> yang sama sekali tak dapat dimasukkan kedalam visi itu.

Mari kita ambil sebuah magnet. Magnet kita taruh di atas meja dan ditutup dengan sehelai kertas. Di atas kertas tersebut kita sebarakan keping<sup>2</sup> besi yang kecil. Kita akan melihat, bahwa keping<sup>2</sup> itu mengatur dirinya dalam bentuk tertentu. Di sini kita hadapi apa yang disebut medan-kuat.

Medan kuat adalah daerah ruangan, dalam mana pada setiap tempat ada kekuatan yang bekerja menurut hukum tertentu. Dalam contoh kita di atas dikeliling sebuah magnet terbentuk sebuah medan-magnetik dan semua benda besi ada di bawah pengaruh kekuatan itu menurut hukum<sup>2</sup> tertentu, sebagaimana dapat dilihat dari bentuk<sup>2</sup> keping<sup>2</sup> besi. Selain medan-magnetik terdapat juga medan-listrik.

Bagaimana terbentuknya medan? Apakah yang menghubungkan semua keping besi dengan magnet itu? Mari kita adakan suatu percobaan fikiran. Kita andaikan sebuah magnet yang begitu kuat, hingga keping<sup>2</sup> besi yang sampai 600.000 km. jauhnya terpengaruh oleh medannya. Sekarang kita taruh keping<sup>2</sup> besi dalam suatu garis yang lurus mulai dari magnet sampai sejauh 600.000 km. dari magnet itu. Setiap dua cm. kita pasang sebatang tongkat kayu tegak lurus atas baris keping<sup>2</sup> besi itu, sehingga keping<sup>2</sup> tersebut tidak dapat mendekati atau menjauhi magnet itu melainkan hanya dapat naik atau turun. Sekarang kita gerakkan magnet, yaitu : setiap detik dia kita gerakan 20 cm. keatas, dan dalam detik berikut 20 cm. kebawah, dan begitu terus menerus naik turun. Keping<sup>2</sup> itu tentu mengikuti gerak magnet itu. Bila magnet naik, keping<sup>2</sup> itu naik, bilamana magnet turun, keping<sup>2</sup> besi turun pula. Tetapi keping<sup>2</sup> besi tidak bergerak sekaligus. Yang berdekatan dengan magnet praktis mulai naik bersamaan dengan magnet. Tetapi yang jaraknya 300.000 km. dari magnet, baru mulai naik, pada saat magnet sudah mulai diturunkan lagi. Dan keping-keping yang 300.000 km. jaraknya itu baru sampai ke atas, bilamana magnet sudah kembali pada tempat semula. Sedangkan keping<sup>2</sup> yang jaraknya 600.000 km. dari magnet itu, bahkan baru mulai bergerak ke atas, bilamana magnet sudah mulai naik untuk kedua kalinya. Jadi pengaruh magnet terasa pada tempat yang 300.000 km. jauhnya itu baru sesudah satu detik, sedangkan pada tempat yang 600.000 km. jauhnya baru sesudah 2 detik. Dengan lain kata : medan magnet meluas dengan kecepatan 300.000 km. per detik dan mengisi seluruh ruangan. Orang fisik mengatakan medan magnet itu meluas, karena dari magnet ada gelombang<sup>2</sup> elektro-magnetik yang meluas mengisi seluruh ruang.

Di sini perlu memperhatikan satu hal. Gelombang<sup>2</sup> elektro-magnetik berbeda dari gelombang<sup>2</sup> air atau gelombang<sup>2</sup> bunyi, karena mereka tidak menaiki medium (panganter). Bilamana kita melemparkan batu ke dalam air, maka gelombang<sup>2</sup> meluas secara kontinu dalam medium air yang sudah ada. Begitu pula kalau orang berteriak, maka gelombang<sup>2</sup> bunyi meluas dalam medium udara dengan kecepatan  $c/1300$  n. per detik. Tetapi gelombang<sup>2</sup> elektro-magnetik adalah medium mereka sendiri, mereka meluas juga dalam ruangan kosong.

18. Salah satu macam gelombang elektro-magnetik adalah cahaya. Cahaya adalah potongan kecil dari spektrum besar gelombang<sup>2</sup> elektro-magnetik. Spektrum itu mulai dengan gelombang<sup>2</sup> listrik bolak-balik yang panjang-gelombangnya lebih dari 1000 meter, melalui gelombang panjang, gelombang tengah, gelombang pendek, gelombang ultra-pendek daripada radio dan televisi. Panjang mereka diukur dengan centimeter. Lebih kecil lagi adalah gelombang ultra-pendek yang dipakai pada radar. Badan kita tidak mempunyai alat penerima bagi gelombang<sup>2</sup> itu yang semuanya masih termasuk gelombang panjang. Bagus bilamana gelombang itu menjadi se-per-ribu atau bahkan se-per-juta milimeter, maka kita rasakan sebagai sinar panas misalnya dari sebuah dapur. Bilamana panjang gelombang sinar<sup>2</sup> elektro-magnetik mencapai tujuh se-persepuluh-ribu milimeter, mereka menjadi kelihatan sebagai cahaya merah-tua. Maka sinar<sup>2</sup> panas yang sedikit lebih panjang dan letaknya tepat di luar cahaya merah

itu, disebut juga sinar ultra-merah (atau infra-merah). Cahaya yang dapat kita lihat terletak di bidang panjang gelombang antara 7 dan 4 persepuluhribu milimeter. Gelombang2 cahaya yang lebih panjang kita "lihat" sebagai merah, kemudian sesakin pendek mereka, mereka menjadi oranye, kuning, hijau, biru, ungu. Gelombang2 yang lebih pendek dari ungu, tidak kelihatan lagi dan disebut "ultra-ungu". Seribu kali lebih kecil lagi adalah panjang gelombang sinar- $\gamma$ . Dan pada akhir ekstrim pendek daripada spektrum sinar energi itu terletak sinar gamma ( $10^{-13}$  mm.).

Jadi cahaya dan warna2 tak lain adalah gelombang2 dengan panjang gelombang tertentu, kepadanya mata kita teradaptasi : sebetulnya mungkin membayangkan mata yang dapat melihat/sebagian dari spektrum ultra-ungu yang tidak dapat kita lihat lagi. /gelombang2 radio atau sinar- $\gamma$ . Lebih misalnya masih dapat melihat

#### 19. 7. Edukasi : tenaga atom :

Tenaga adalah kemampuan untuk melaksanakan pekerjaan. Menurut hukum peneliharahan tenaga maka tenaga itu tidak pernah hilang atau bertambah melainkan dalam segala macam hanya berubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain.

Maka kita bertanya: darimana tenaga rakasa yang dibebaskan pada bom uran dan bom zat-air? Itu hanya dapat diterangkan oleh teori relativitas yang dirumuskan oleh Albert Einstein (1905). Menurut teori itu, tenaga dan massa itu sebetulnya sama dan dalam keadaan tertentu massa dapat menjadi tenaga dan tenaga dapat menjadi massa. Itu diungkapkan dalam rumusan terkenal :  $e = mc^2$  ( $e$  = tenaga/energi;  $m$  = massa;  $c$  = kecepatan cahaya). Tenaga atom itu bukan lain adalah massa yang dalam proses pembelahan atau penyatuan atom dirubah menjadi tenaga.

Bagaimana caranya menciptakan syarat2 untuk merubah materi menjadi tenaga? Untuk proses itu sendiri dibutuhkan tenaga dan tenaga itu terletak dalam inti atom. Sebagaimana kita ketahui, inti atom terdiri dari neutron2 dan proton2. Berhubung proton2 bermuatan listrik positif semua, sebetulnya proton2 itu menghalau satu sama lain dengan kekuatan yang besar. Tetapi ternyata inti2 atom bahkan sangat ketat kesatuannya. Kekuatan2 mana yang dapat mengatasi kekuatan penghalau masing2 proton terhadap proton2 lain2. Kekuatan2 itu disebut kekuatan inti. Kita sekarang tak dapat membicarakan apa kodrat kekuatan inti itu. Pokoknya, kekuatan inti terdapat antara para nukleon (nukleon adalah istilah bersama untuk bagian2 yang merupakan inti atom, jadi untuk proton2 dan neutron2). Kekuatan2 inti tidak akan cukup untuk mengatasi kekuatan penghalau antara proton2 yang listriknya positif itu. Tetapi bila proton2 itu dicampur dengan neutron (sebagaimana halnya dengan semua atom kecuali atom zat-air), padahal neutron2 itu hanya kena kekuatan inti dan bukan kekuatan penghalau, maka kekuatan2 inti itu menang terhadap tendensi-tendensi yang mau menghancurkan inti.

Namun kekuatan2 inti ada satu kekurangan. Mereka hanya bekerja pada jarak yang dekat sekali, yaitu hanya pada bagian2 yang saling bersentuhan. Padahal kekuatan penghalau listrik tidak begitu terbatas. Itu mengakibatkan, bahwa inti2 ringan amat kuat perputannya, sedangkan inti2 berat sesakin bertendensi untuk hancur. Uran misalnya adalah atom berat. Intinya terdiri dari 92 proton dan 146 neutron. Semua 92 proton saling menghalau, jadi setiap proton se-akan2 dihantam oleh 91 proton lain, padahal kekuatan yang mempersatukan mereka hanyalah 146 neutron yang hanya bekerja pada bagian yang berdekatan. Dengan begitu setiap proton mungkin dihantam keluar dari atom itu oleh 91 proton lain, sedangkan dipertahankan dalam persatuan inti hanya oleh kira2 16 neutron dan proton dengan kekuatan intinya. Maka ternyata inti atom uranium tidak stabil, melainkan lama-kelamaan pecah menjadi radium dan radium sendiri pecah menjadi timah-hitam. Sebaliknya, inti atom Helium terdiri dari hanya 2 proton dan 2 neutron. Jadi setiap proton inti He itu hanya dihantam oleh masing2 satu proton, sedang dipersatukan oleh 2 neutron dan satu proton (kekuatan inti). Maka ternyata berlaku hukum begini : inti2 ringan adalah amat stabil dan bertendensi kepersestuaan; inti2 berat adalah tidak stabil dan bertendensi ke-penghancuran.

Dari hukum itu dapat disimpulkan hukum lain : Inti2 ringan membebaskan tenaga, apabila mereka dipersatukan (ibarat orang merentangkan alat olah-raga expander: ia membutuhkan banyak tenaga untuk menjauhkan kedua sudut expander satu dari yang lain dengan melawan daya-tarik karet; apabila ia membiarkan kedua sudut itu saling mendekati, tenaga tadi tak perlu lagi dan menjadi bebas). Sedangkan inti2 berat membebaskan tenaga, apabila mereka dibelah (ibarat seorang ibu yang memegang dua anak kecil dengan tangkur kiri dan kanan; yang satu mau ke kiri yang satunya ke kanan, ibu di tengah dengan susah payah "mempersatukan" mereka; apabila ibu melepaskan kedua orang anaknya lari ke jurusan masing2, tenaga-pegang mereka tak dipakai lagi dan menjadi bebas).

"Bom atom", yaitu bom uran 235 (atau plutonium, suatu unsur yang dibuat manu-



sia dari uranium 238) itu berdasarkan hukum terakhir : Atom uran dibelah dua dan dan tenaga inti dibebaskan. Atom uran (92 proton, 143 neutron) kalau ditembak dengan sebuah neutron, pecah menjadi sebuah atom Barium (56 proton, 82 neutron) dan sebuah atom krypton (36 proton dan 50 neutron) (dapat juga pecah kedalam atom2 lain). Disini kita lihat sesuatu yang menentukan. Pecahnya satu atom uran belum menyebabkan suatu eksplosi besar. Untuk itu perlu milyaran atom. Tetapi dalam proses diatas di samping atom barium dan atom krypton masih ada 14 neutron yang lepas juga, padahal justru neutron2 itu yang membelah inti uran. Bilamana sebuah balok uranium (yang beratnya misalnya 1 kg.) ditembak dengan satu neutron saja, satu atom pecah dengan melepaskan 14 neutron. Pun pula bila 10 dari neutron itu tidak mengawal sebuah inti uran lagi, तो masih ada empat yang masing2 memisahkan sebuah inti uran dengan masing2 melepaskan 14 neutron dan seterusnya. Itulah yang disebut reaksi berantai. Dengan reaksi berantai itu dalam satu detik saja bermilyarden inti uran pecah dan terjadilah letusan atom yang dahsyat.

Bom hydrogen (bom zat-air) bekerja menurut sistim terbalik. Bom itu terdiri dari atom2 zat-air (H) yang amat ringan. Bilamana air-zat itu dipanasi sampai beberapa juta derajat panasnya (pemanasan itu biasanya dijalankan dengan meletuskan sebuah bom uran), atom2 zat-air itu memperseutakan diri menjadi Helium dan dengan demikian membebaskan tenaga-panas dan tenaga-radiasi yang seribu kali lebih kuat daripada bom-uran tadi.

Kita lihat betapa dahsyatnya tenaga2 penghancur yang tersembunyi dalam alam. Sekaligus kita lihat betapa banyaknya persediaan tenaga yang dapat kami pakai. Zat air terdapat secara berlimpah2 dalam sungai2 dan lautan2. Dengan mengabdikan tenaga2 atom secara damai, umat manusia dapat memuaskan segala kebutuhannya akan tenaga untuk waktu yang tak terbatas.

## 20. B. Ringkasan - istilah2 penting

### 1) Massa: dibedakan:

massa berat : adalah sifat materi yang mengakibatkan, bahwa semua benda saling tarik-merarik dengan kekuatan yang berbanding balik dengan kuadrat jarak antara benda2 itu.

massa lembam: adalah sifat materi yang mengakibatkan, bahwa sebuah benda menentang perubahan keadaan geraknya.

hukum pemeliharaan massa: pada proses2 alam yang diketahui, massa tidak dapat terjadi baru atau menghilang.

### 2) Tenaga (Energi) : adalah kemampuan untuk menjalankan pekerjaan .

hukum pemeliharaan energi: pada proses2 alam yang diketahui energi tidak dapat terjadi baru atau menghilang.

Perbandingan lurus (ekivalensi) antara massa dan tenaga  $E = m \cdot c^2$

( E = tenaga, m = massa, c = kecepatan cahaya = 300.000 km/dtk)

Maka berlakulah: semakin cepat sebuah benda (= semakin besar tenaga kinetisnya), semakin besar pula massanya, menurut rumus:

$$m_v = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$m_v$  = massa pada kecepatan v;

$m_0$  = massa waktu tidak bergerak; v = kecepatan; c = kecepatan cahaya).

### 3) Susunan benda2

a) molekul : adalah bagian terkecil suatu benda yang masih mempunyai sifat2 benda itu dan berupa gabungan atom.

b) atom : adalah bagian terkecil sesuatu elemen yang tak dapat diuraikan lagi dengan alat kimia.

terdiri dari kulit-atom dan inti-atom

kulit-atom : terdiri dari elektron2

inti-atom : terdiri dari proton dan neutron

elektron, proton dan neutron adalah bagian2 elementer.

c) bagian2 elementer: bagian2 yang tidak lagi dibangun dari bagian-bagian.

Macam2 bagian elementer:

1. Lepton2 ( yaitu : "bagian2 ringan" ) :

a. Elektron: massa tidak bergerak:

$0,91 \cdot 10^{-19}$  gr. ; 1 muatan-elementer-listrik negatif.

b. Positron: massa-tak-bergerak = elektron;

1 muatan-elementer-listrik positif.

- c. Neutrino : massanya jauh lebih kecil; tidak bermuatan listrik.
- d. Foton : tenaga elektro-magnet berkonsentrasi, atau : cahaya dalam gambaran bola; tenaga:  $E = h \cdot \nu$  ( $h$  = kuantum kerja Plank, yaitu suatu konstante alam;  $\nu$  = frekuensi gelombangnya). Massa-tak bergerak = nol. Massa-gorak diperhitungkan demikian:  

$$m = E/c^2 = h \cdot \nu/c^2.$$
2. Nukleon2 (= bagian-inti-atom):
- a) Proton : massa-tak-bergerak = 1836,1  $m_e$  ( $m_e$  = massa elektron); 1 muatan-elemen terpositif; keadaan stabil
- b) Neutron : massa-tak-bergerak; sama dengan proton (hampir); tidak bermuatan listrik; keadaan tidak stabil: pukul-rata waktu hidupnya 18 menit, waktu paruh 13 menit (waktu paruh = masa dalam mana sebuah zat berubah 50 %; khususnya masa dalam mana 50% daripada suatu zat radio-aktif hancur)
3. Meson : macam2 bagian dengan massa-tak-bergerak antara 207  $m_e$  dan 966  $m_e$ , yang umur-hidupnya hanya sebagian kecil dari satu detik.
4. Hyperon : macam2 bagian yang lebih berat daripada nukleon2. Merupakan umumnya hanya sebentar sebelum hancur.
- 4). Kondaan agregasi : kondaan padat, cair atau gas tergantung daripada kecepatan dan cara bergerak molek2 benda itu.
- 5). Panas : rasa panas disebabkan oleh lambat-cepatnya gerakan molek2.
- 6). Medan kuat : daerah ruangan, dalam mana pada setiap tempat ada kekuatan yang bekerja menurut hukum2 tertentu.
- 7). Warna : perbedaan warna2 disebabkan oleh perbedaan dalam panjangnya gelombang cahaya yang mengenai mata kita.

## II. GAMBARAN DUNIA FISIKA MODERN

Bag. I/II

### Catatan metodis.

21. 1. Dalam fasal ini kami melaporkan tentang gambaran-dunia fisika moderen, Jadi kami belum mengadakan refleksi filsafah sendiri.
2. Gambaran dunia fisika moderen dengan sendirinya erat hubungannya dengan data-data empiris ilmu fisika, maka perlu data2 itu dilaporkan di sini sejauh data2 ini perlu untuk mengerti gambaran dunia daripada para ahli fisika.
3. Supaya kebaruan gambaran dunia daripada fisika abad ini dapat dipahami betul2, kami anggap perlu membicarakan terlebih dahulu gambaran dunia fisika abad yang lampau.
4. Perlu diperhatikan, bahwa istilah "gambaran dunia" menyangkut lebih daripada pelaporan belaka daripada data2 fisika beserta penyusunannya secara sistematis. Gambaran dunia berarti suatu pandangan yang menyeluruh atas realita. Jadi walaupun dalam fasal ini kami sendiri belum mengadakan suatu refleksi filsafah, namun gambaran dunia yang akan dilaporkan mengandung juga unsur2 bukan fisikalis, yaitu unsur2 ideologis, filsafah dan (pseudot-) keagamaan. Selalu perlu membedakan antara fakta2 fisikalis hasil penyelidikan dan perhitungan para ahli ilmu alam dan ilmu pasti dengan unsur2 apriori dan ideologis. Seorang teoretis tidak dapat ditolak keungkinannya, bahwa suatu umat manusia yang lain daripada kita membangun suatu gambaran dunia fisika yang lain sama sekali daripada gambaran dunia fisika kita, dan itu pun atas dasar fakta2 fisika yang sama. Jadi dengan istilah "gambaran dunia fisika" kami maksudkan suatu peristiwa historis dalam sejarah perkembangan kesadaran diri daripada umat manusia dalam hubungan dengan penemuan ilmu2 alam.

22.

### A. Materialisme mekanistik abad kesembilanbelas.

Max Planck, salah seorang tokoh fisika moderen, menceritakan pengalamannya ini : "Waktu saya mulai belajar di Universitas, saya minta nasihat pada guru saya Philipp von Jolly yang amat saya hormati, mengenai syarat2 dan harapan2 studi saya. Maka ia menggambarkan fisika sebagai ilmu yang telah berkebang tinggi dan hampir mencapai kematangan. Kiranya tidak lama lagi ilmu fisika akan

mencapai bentuknya yang yang definitif dan stabil, apalagi sesudah diketemukannya asas pemeliharaan tenaga ibarat mahkota perkembangan ilmu fisika. Mungkin di sana-sini masih akan ada sebutir debu atau sebuah pelambungan yang dapat diperikan dan diatur. Tetapi sistim fisika sebagai keseluruhan itu sudah cukup terjamin, dan fisika teoretis katanya telah mendekati taraf kesempurnaan yang telah berabad-abad lamanya dimiliki oleh ilmu ukur".

Dengan lain kata, para ahli fisika pada akhir abad yang lampau berpendapat, bahwa mereka telah mengetahui segala hal fundamental tentang susunan dunia. Kecuali beberapa bidang samping sudah tak ada lagi yang dapat diketahui. Paham itu grotesk rasanya mengingat, bahwa pada waktu itu misalnya seluruh bidang atom atau radioaktivitas belum diketahui sedikitnya. Hanya 30 tahun sesudah ucapan von Jolly tadi maka semua anggapan fisika sampai situ secara prinsipial dipersoalkan. Bagaimana sampai gambaran fisika yang klasik tadi dapat berkembang begitu?

23. Ilmu alam noderen lahir pada abad ke-16 dari Eropa. Sampai saat itu orang memang juga menguasai alam dan mengumpulkan pengetahuan tentang alam itu, tetapi tidak secara metodis (yaitu : penyelidikan sistematis daripada hukum2 alam demi dirinya sendiri). Astronomi (Ilmu bintang) dijalankan demi astrologi, yaitu untuk dapat meramalkan nasib manusia, dan orang tidak merasa keberatan dengan ajaran skolastik, bahwa bintang2 digurakkan oleh malaikat.

Penyelidikan kimia (misalnya untuk membuat emas) berupa magis dan spiritistis. Baru dalam abad ke-16, sebagai akibat Humanisme (dinama manusia secara eksplisit mempersoalkan dirinya sendiri), tumbuhlah juga perhatian terhadap susunan alam demi pengetahuan alam itu sendiri. Orang mulai menyelidiki alam secara sistematis, dan itulah disebut ilmu alam.

Pada awal abad ke-17 Galileo Galilei menjatuhkan kerikil2-nya dari menara miring di Pisa untuk menyelidiki hukum2 jatuhnya benda2. Pada waktu yang hampir sama J. Kepler berhasil memperhitungkan lintasan2 ketujuh planet dalam 30 tahun. Kemudian ahli fisika Inggris Isaac Newton (1643-1727) berhasil untuk menerangkan penemuan2 Galilei dan Kepler. Dialah yang merumuskan dan hukum fundamental fisika klasik, yaitu hukum gravitasi dan hukum inersia. Hukum gravitasi berbunyi: Dua buah benda saling tarik-menarik dengan kekuatan yang berbanding lurus dengan hasil-perbanyakan kedua massanya dan berbanding balik dengan kuadrat jarak kedua benda itu. Sedangkan hukum inersia menyatakan bahwa sebuah benda bertahan dalam keadaan tidak-bergerak atau bergerak-lurus-beraturan bilamana tidak diganggu oleh kekuatan2 luar. Ditambah ajaran Newton tentang ruang mutlak dan waktu mutlak. Dengan demikian Newton menciptakan dasar2 bagi fisika klasik. Semua benda berada di bawah hukum2 tertentu. Gerakan benda2 dapat diperhitungkan dengan amat tepat. Hukum2 itu berlaku di mana2. Fisika klasik dengan demikian mendekati ilmu geometri Euklid. (Euklid : filsuf Yunani, hidup pada abad ke-4 sebelum Masehi di Alexandria) yang juga bersifat mutlak (dalam geometri Euklid ada dua asas yang mutlak berlaku: Hubungan terpendek antara dua titik adalah garis lurus; dan : terhadap suatu garis lurus hanya ada satu garis lurus / melalui suatu titik P yang tidak memotong g/ (asas paralel)). Ilmu alam maju lagi dengan diketemukannya unsur2 kimia sebagai bagian2 terakhir yang daripadanya terbangun suatu fenomena2 materil. Dan itu berlaku baik bagi benda mati maupun bagi benda hidup. Maka dikira, bahwa semua fenomena di dunia dapat diterangkan sepenuhnya dengan hukum2 fisika dan kimia itu.

24. Atas dasar penemuan2 fisika itu berkembanglah suatu paham dalam abad yang lalu, yang menguasai kalangan2 orang ilmu dan cendekiawan, yaitu suatu materialisme mekanistik. Paham itu berpendapat, bahwa semua proses alam dapat diterangkan dengan hukum2 mekanika sebagai gerakan2, tarikan2, dan pengalihan2 daripada bagian2 materi yang terkecil. Juga fenomena2 hidup dan proses2 rohani dalam manusia diterangkan dengan gerakan lokal bagian2 terkecil materi menurut hukum2 Newton. Suatu fenomena baru dianggap diterangkan secara ilmiah, bilamana seluruhnya dapat dijelaskan dengan hukum2 mekanika. Apa yang tidak dapat diterangkan demikian, dianggap kolot dan takhyul. Berhubung jiwa manusia tidak memperlihatkan reaksi fisika dan kimia, jiwa diputuskan tidak ada.

Dari ilmu pemeliharaan massa dan tenaga ditarik kesimpulan, bahwa benda itu abadi. Jumlah semua massa dan semua tenaga adalah tak berubah, mutlak dan kekal, tidak dapat dijadikan baru dan tak dapat menghilang. Dengan demikian penciptaan dunia dianggap terbukti keustahilannya.

Materialisme mekanistik itu berpendapat, bahwa semua proses berada di bawah determinasi mutlak. Hukum2 alam mengatakan, bahwa setiap kejadian di dunia ada sebab materil mekanis. Dan di mana terdapat sebab itu, mutlak perlu ada juga akibatnya. Tetapi kalau kehendak manusia dianggap dapat diterangkan seluruhnya dengan gerakan bagian2 benda yang terkecil, kehendak manusia-pun adalah mutlak di bawah determinasi faktor2 materil dari luar. Jadi tidak ada kebebasan kehendak



sama sekali. Kerona determinisme mutlak itu mukjizat-pun - pendobrakkan hukum alam - dianggap tidak mungkin.

A.N. Whitehead menulis tentang periode itu : ".....in its last twenty years the century closed with one of the dullest stages of thought since the time of the First Crusade. It was an echo of the eighteenth century, lacking Voltaire and the reckless grace of the French aristocrats. The periode was efficient, dull, and half-hearted. It celebrated the triumph of the professional man.... The dominating note of the whole period of three centuries (17th to 19th, w/1) is that the doctrine. It was practically unquestioned. When undulations were wanted, and ether was supplied, in order to perform the duties of an undulatory material..... In the last lecture it was pointed out that the biological developments, the doctrine of evolution, the doctrine of energy, and the moloculer theories were rapidly undermining the adequacy of the orthodox materialism. But until the close of the century no one drew that conclusion. Materialism reigned supreme." (Science and the modern world, a Mentor book, 5, hal. 103 dan 115).

Yang

Yang sekarang membuat kita heran tentang cara berfikir demikian, bukanlah hanya sikap naif mereka (mangira, bahwa seluruh rahasia kosmos sampai ke rahasia hati manusia dapat diterangkan dengan gerakan2 mekanis daripada bagian2 terkecil materi, melainkan juga, bahwa sikap itu ternyata membuat mereka buta terhadap perkembangan2 ilmu alam sendiri yang dian2 sudah mulai membongkar dasar2 anggapan mekanistik itu.

nh. : Perhatikanlah perbedaan antara materialisme mekanis dan mekanistik. Materialisme abad yang lalu adalah materialisme mekanistik. Materialisme mekanistik: menerangkan segala fenomena dengan hukum2 materi yang paling fundamental. Materialisme mekanistik : begitu pula, tetapi menambah, bahwa hukum2 yang paling fundamental adalah identitis dengan hukum2 mekanika klasik. (Newton).

25.

#### Ringkasan:

##### Dasar2 fisika daripada materialisme mekanistik:

- 1). Materi perlu dipahani secara mekanistik, yaitu materi terdiri dari gumpal2 kecil materi yang bergerak menurut hukum2 mekanika (uas gravitasi dan azas änersi).
- 2). Materi tak dapat ditambah atau dikurangi, terjadi atau menghilang, karena hukum konstansi massa dan tenaga.
- 3). Hukum2 alam terdeterminasi mutlak.

##### Pendapat2 materialisme mekanistik:

- 1). Semua fenomena, termasuk hidup dan kerohanian manusia, dapat direduksikan kepada proses mekanis, yaitu gerakan lokal bagian2 terkecil materi menurut hukum2 mekanika.
- 2). Dunia adalah abadi; penciptaan tidak mungkin.
- 3). Karena semua proses terdeterminasi mutlak ke satu jurusan, maka tidak ada kebebasan kehendak dan mukjizatnya tidak mungkin.

Pertanyaan kritis: Selidikilah, sejauh mana materialisme mekanistik ternyata terwujud dalam dasar2 fisiknya atau tidak. Seandainya dasar2 fisika materialisme mekanistik ternyata benar, apakah lantas materialisme mekanistik benar juga?

#### B. Mikrofisika modern

26.

Pada tahun 1900 seorang fisikus Jerman, Max Plank, menemukan, bahwa penyiaran energi rupa2-nya tidak terjadi secara kontinu melainkan seakan-akan dalam bagian2 kecil, ber-lompat2-an. Bagian2 yang amat kecil itu disebutnya quantum, sehingga fisika atom modern juga disebut fisika kuantum. Untuk membayangkan betapa anehnya penemuan ini, dapat kita ambil contoh sebuah mobilnya yang jalannya tidak secara kontinu melainkan ber-lompat2 seperti kadang2 dibuat dalam film. Berdasarkan penemuan itu fisika modern mengatakan, bahwa realita atom2 selalu dapat diungkapkan dengan memakai gambaran suatu bola kecil (korpuskul).

Mikrofisika itu (mikro = paling kecil; mekaniknya: fisika tentang atom2 dan benda2 yang lebih kecil) monopoli suatu penyelesaian yang menyeluruh dengan penemuan de Broglie (fisikus Perancis) pada tahun 1924, bahwa Elektron (kemudian : semua bagian2 dasar) harus juga diungkapkan dengan memakai gambaran gelombang serta dengan "relasi-ketidakpastian" yang ditemukan oleh W. Heisenberg (fisikus Jerman). Penemuan2 itu mengatasi fisika Newton secara prinsipil. Namun tidaklah mustahil, bahwa fisika akan mencapai kemajuan2 prinsipil lagi. Secara prinsipil berlaku: Fisika modern tidak meniadakan fisika lama, melainkan memberi pembatasan kepadanya serta menempatkannya kedalam suatu kerangka yang lebih luas. Hukum2 Newton masih tetap berlaku, tetapi tidak di-mana2, melainkan hanya pada syarat2 tertentu. Fisika atom modernpun tidak akan ditiadakan lagi, tetapi

mungkin juga pernah akan ditempatkan di dalam suatu kerangka yang lebih luas lagi.

Maka sejak tahun 1926 (di mana fisikus Amerika Schrodinger berhasil untuk merumuskan penemuan<sup>2</sup> di atas itu dalam satu formalisme matematis) fisika tahu, bahwa benda<sup>2</sup> mikrofisika hanya dapat diungkapkan dengan memakai dua gambaran: gambaran korpuskel (ibarat bola kecil yang mempunyai tempat dan besarnya yang tertentu) dan gambaran gelombang (yang amat luas tempatnya). Problematika penemuan itu: kedua gambaran tadi saling bertentangan.

### 1. Sifat dasar bagian<sup>2</sup> dasar.

#### 27. a. Gambaran korpuskel:

Dalam gambaran korpuskel sebuah bagian dasar dianggap sebagai bola kecil bergaris-tengah  $10^{-13}$  cm. Gambaran itu harus dipakai berdasarkan fakta<sup>2</sup> ini:

- Kalau muatan listrik diukur, kita selalu mendapat kalipatan genap daripada apa yang disebut muatan-elementer.
- Kalau kita ukur tenaga (energi) daripada gelombang<sup>2</sup> elektro-magnet dengan frekwensi  $\nu$ , kita selalu mendapat kalipatan genap daripada kuantum-energi  $E + h \cdot \nu$  ( $h =$  konstanta kerja Planck).
- Dalam pengukuran massa-berat dan massa-lamban kita selalu mendapat kalipatan genap daripada suatu massa-berat dan massa-lamban elementer.

(Bentuk

Memun, bahwa/bola kecil itu hanya merupakan suatu gambaran belaka, itu ternyata dari suatu rangkaian hasil<sup>2</sup> pengukuran yang sama sekali bertentangan dengan gambaran korpuskel tadi itu.

#### 28. b. Gambaran gelombang:

Dalam gambaran ini sebuah bagian-dasar harus dianggap sebagai gelombang. Mungkin orang bertanya: gelombang dari apa? Pertanyaan itu sekarang belum dapat dijawab. Gambaran gelombang itu harus kita pakai berdasarkan fenomena<sup>2</sup> interferensi pada bagian<sup>2</sup> dasar yang terisolir.

#### Apakah itu Interferensi?

Bilamana kita melemparkan sebuah batu kedalam kolam air, maka dari tempat batu kena permukaan kolam itu ada gelombang berbentuk lingkaran meluas kesegala jurusan. Bilamana kita melemparkan dua buah batu, maka terjadilah dua buah gelombang lingkaran yang sesudah beberapa detik bertemu. Bentuk gelombang hasil pertemuan dua (atau lebih banyak) gelombang itulah yang disebut *interferensi*. Di mana lembah-gelombang kena lembah-gelombang, lembah-gelombang menjadi lebih dalam; di mana gunung-gelombang kena gunung-gelombang, gunung-gelombang menjadi dua kali lebih tinggi. Tetapi di mana gunung-gelombang kena lembah-gelombang, kedua-duanya saling meniadakan dan airnya tinggal rata.

Mari kita membuat percobaan ini: Kolam air dibagi dua oleh sebuah tembok. Dalam tembok terdapat dua celah. Sekarang kita lepaskan sebuah gelombang rata dari pinggir kiri kolam bagian kiri ke jurusan tembok. Gelombang itu akan melalui dua celah itu dan dari belakang tembok meluas dalam bentuk lingkaran ke dalam bagian kanan kolam. Kita andaikan, bahwa gelombang kena lurus pada tembok. Maka dalam dua celah air pada saat yang sama naik turun. Panjangnya gelombang (yaitu: jarak antara dua puncak gunung gelombang) adalah  $w$ . Sekarang kita perhatikan tiga titik pada sebelah kanan kolam bagian kanan (yaitu: di hadapan tembok yang merupakan sebelah kiri kolam bagian kanan) yaitu titik A, titik B dan titik C.

Titik A sama jaraknya dari kedua celah itu. Itu berarti: Kalau gunung-gelombang dari celah utara sampai di A, gunung-gelombang dari celah selatan sampai juga. Begitu pula halnya dengan lembah dari kedua gelombang itu.

Jadi pada A kita mendapat getaran yang kuat, dua kali lipat naik dan turunnya dari masing<sup>2</sup> gelombang.

Titik B letaknya lebih dekat dengan celah utara (U) daripada celah selatan (S). Perbedaan jarak adalah persai  $\frac{1}{2}w$ . Itu berarti: bila dari celah utara ada gunung-gelombang sampai ke B, maka dari celah selatan ada lembah-gelombang sampai ke B. Maka kedua gelombang itu saling meniadakan, tidak ada getaran sama sekali dan airnya tinggal tidak bergerak.

Titik C letaknya 1 panjang-gelombang (satu kali  $w$ ) lebih dekat dengan celah Utara daripada dengan celah Selatan. Bilamana gelombang pertama dari U sampai, gelombang dari S belum sampai. Terjadilah getaran biasa. Bilamana gunung-gelombang pertama dari S sampai di C, maka sekaligus sudah sampai pula gunung-gelombang kedua dari U. Jadi gunung-gelombang kena gunung-gelombang. Akibat: sesudah gelombang pertama kita mendapat getaran yang sama seperti di A.

Kita tarik kesimpulan: pada titik<sup>2</sup> yang jaraknya dari satu celah adalah 1, 2, 3, 4, ..... panjang gelombang genap lebih besar atau lebih kecil daripada

dari celah yang kedua. Sebaliknya: pada titik2 yang jaraknya dari satu celah adalah 1, 3, 5, 7, 9, ..... tengah panjang gelombang lebih besar atau lebih kecil daripada dari celah kedua, kedua gelombang yang datang dari dua celah itu saling meniadakan. Kedua gelombang yang datang dari dua celah itu saling memperkuat.

Gerakan saling memperkuat atau saling meniadakan daripada beberapa gelombang disebut interferensi.

29.

### Fenomena2 interferensi pada bagian2 dasar.

Untuk menjelaskan apa yang dimaksud, kini akan memakai skema sebuah eksperimen (yang amat akomatis).  $Q$  adalah sumber elektron yang memancarkan elektron2. Elektron2 itu melalui sebuah lensa elektron  $L$ , sehingga lintasan2 terbangnya elektron2 itu menjadi paralel. Kemudian elektron2 itu melalui sebuah medan listrik yang mengakibatkan kecepatan yang sama pada semua elektron. Elektron2 yang jurusannya paralel dan kecepatannya sama itu menghantam sebuah layar  $S$  yang tak tertambus, di mana elektron2 tersumbat. Dalam layar  $S$  terdapat dua celah  $T_1$  dan  $T_2$ . Cukup jauh di belakang  $S$  kita tempatkan sebuah fotoplat  $F$ . Elektron2 yang melalui kedua celah itu, menghantam fotoplat  $F$  dan meninggalkan titik hitam pada tempat mereka kena.

Pertama kita tutup celah bawah ( $T_2$ ). Titik2 hitam terbagi begini pada plat  $F$ : Kebanyakan terdapat presis berhadapan dengan celah  $T_1$  yang terbuka itu; titik itu kita sebut  $P_1$ ; kekiri-kanan  $P_1$ , ada juga titik2 hitam, tetapi semakin kurang. Sekarang kita tutup  $T_1$  dan kita buka celah bawah, yaitu  $T_2$ . Ternyata kebanyakan titik hitam terdapat presis di hadapan  $T_2$ , yaitu di  $P_2$  sedangkan kekiri-kanan  $P_2$  titik hitam semakin berkurang.

Akan tetapi apa yang terjadi, bilamana kedua celah itu sama2 terbuka? Apa yang kita harapkan? Yang dapat diharapkan, yaitu agar pembagian titik2 hitam pada dua fotoplat tadi saling menjumlahkan: Titik2 hitam paling banyak harus terdapat pada  $P_1$  dan  $P_2$ , dan diantara kedua titik itu, sedangkan kekiri-kanan  $P_1$  dan  $P_2$  titik hitam harus semakin berkurang. Tetapi ternyata gambar yang kita dapat adalah lain sama sekali: Pada titik  $P_1$  dan  $P_2$  sama sekali tidak terdapat titik2 hitam dan di sebelah luar  $P_1$  dan  $P_2$  ada lagi banyak titik hitam.

30.

Mungkin orang mengatakan: kalau aliran elektron yang melalui celah atas dan celah bawah itu saling menarik dan saling mendorong dari  $P_1$  dan  $P_2$ . Maka kita sekarang merubah percobaan sedemikian rupa hingga selalu hanya ada satu elektron terbang dan elektron yang berikut baru ditetak, bilamana elektron pertama sudah sampai pada  $F$ . Dengan demikian tidaklah mungkin lagi, bahwa elektron2 yang terbang melalui celah atas dipengaruhi oleh elektron2 yang terbang melalui celah bawah, karena selalu hanya ada satu elektron yang terbang. Tetapi ternyata pembagian titik2 hitam pada fotoplat  $F$  adalah sama.

Inti persoalan terletak dalam fakta, bahwa masing2 elektron dipengaruhi oleh keadaan daripada kedua celah itu. Bilamana kedua celah itu terbuka, maka tidak ada elektron yang terbang ke  $P_1$  dan  $P_2$ . Bilamana hanya ada satu celah terbuka, elektron2 boleh ke  $P_1$  dan  $P_2$ . Seandainya elektron2 itu memang berbentuk bola kecil, jelaslah bahwa sebuah elektron hanya dapat melalui atau celah atas atau celah bawah. Tetapi kalau begitu, bagaimana dapat diterangkan, bahwa satu elektron itu juga dipengaruhi oleh celah yang tidak dilaluinya?

Mungkin dapat dibuat hipotesis, bahwa elektron sesudah melalui celah atas kemudian membelok kembali dan kemudian melalui celah bawah. Atau, bahwa dari celah yang terbuka, ada kekuatan keluar yang kebetulan menjauhi elektron itu dari  $P_1$  dan  $P_2$ . Tetapi hipotesis itu hancur, bilamana kita menempatkan sebuah layar kecil agak jauh di depan celah bawah. Kedua celah itu tetap terbuka, sehingga menurut hipotesis2 tadi elektron2 tidak boleh ke  $P_1$  atau  $P_2$ . Tetapi ternyata kita sekarang melihat, bahwa elektron2 terbang juga ke  $P_1$  dan  $P_2$ , artinya elektron2 sekarang bersifat sama dengan keadaan, di mana satu celah tertutup. Dengan lain kata: hipotesis, bahwa elektron itu pertama melalui celah satu dan lantas celah satunya, atau, bahwa dari celah terbuka ada kekuatan2 keluar yang menghalau elektron2 dari  $P_1$  dan  $P_2$ , itu tidak tahan.

31.

Apa yang dapat kita kesimpulan? Pembagian titik2 hitam, bilamana kedua celah dibuka, memaksa kita untuk meninjau pendapat, bahwa elektron2 itu adalah bola2 kecil. Karena bola2 kecil tentu melalui atau celah atas atau celah bawah dan kebanyakan nanti mengenai fotoplat  $F$  pada titik  $P_1$  dan  $P_2$ . Tetapi lintasan elektron2 itu berupa apa? Kalau kita menggambarkan pembagian titik2 hitam dengan suatu garis, maka kita mendapat suatu garis bergelombang. Ternyata garis bergelombang itu adalah mirip dengan garis bergelombang yang kita dapat pada interferensi dua gelombang dalam sebuah kolam. Dengan lain kata, fenomena2 tadi adalah fenomena interferensi. Berdasarkan fenomena2 tadi sebuah elektron dapat digambarkan sebagai sebuah gelombang yang kena pada layar  $S$ , dan melalui sedangkan dari tengah2 kedua titik itu terdapat kebanyakan titik2 hitam,



kedua celah dengan membentuk dua gelombang lingkaran, yang ber-interferensi pada fotoplat F. Presisinya: Titik2 hitam terdapat sedemikian rupa pada F, se-akan2 masing-masing elektron adalah gelombang, yang panjang gelombangnya sedemikian besar hingga di  $P_1$  dan  $P_2$  perbedaan jarak ke celah atas dan celah bawah itu adalah prosis setengah panjang gelombang tadi. Bilamana kita rubah jarak antara kedua celah, maka bentuk penghitaman berubah juga. Bahwa fenomena2 tadi memang merupakan efek2 interferensi, dapat diperkuat, bilamana kita membuat tiga, empat atau lima celah pada layar S. Kita mendapat pembagian titik2 hitam yang presis cocok dengan apa yang kita harapkan menurut hukum2 interferensi.

#### Refleksi :

32. Kita telah menyaksikan fenomena2 interferensi pada elektron2 yang terisolir. Itu berarti, bahwa realita eksperimental kadang2 tidak dapat digambarkan dengan gambaran korpuskel melainkan harus digambarkan dengan gambaran gelombang. Jadi sebuah elektron dapat juga digambarkan sebagai rangkaian gelombang dengan sedikit-dikitnya lima gunung-gelombang dan lembah-gelombang. Itu berlaku bagi setiap elektronik sendiri2. Gelombang2 itu mendapat bentuknya menurut susunan eksperimen. Dengan demikian terjadilah kenyataan yang aneh, bahwa langsung di belakang kedua belah celah tadi elektron yang satu itu harus digambarkan sebagai dua gelombang lingkaran yang tidak ada hubungan satu sama lain.

Sebagaimana hasil eksperimen2 kita tahu, bahwa semua bagian dasar (jadi juga neutron, proton, neutron, foton) menyebabkan fenomena2 interferensi dan karena itu harus digambarkan pula dengan gambaran gelombang.

Abstrak : bagian2 dasar harus dideskripsikan baik dengan memakai gambaran korpuskel maupun gambaran gelombang. Sifat itulah yang kita sebut sifat ganda bagian2 dasar.

### 2. Pengertian statistik gambaran gelombang.

33. Bagaimanakah hubungan antara gambaran gelombang dan gambaran korpuskel? Sebagaimana telah kita lihat, masing2 elektron harus digambarkan sebagai rangkaian gelombang. Walaupun begitu, masing2 elektron hanya membuat satu titik hitam pada fotoplat F (karena bagian2 dasar secara langsung hanya dapat diukur dalam gambaran korpuskel). Ternyata titik2 hitam masing2 tidak pernah dekat pada  $P_1$  dan  $P_2$ , karena pada dua tempat itu gelombang2 saling meniadakan menurut interferensi. Sebaliknya titik2 hitam kebanyakan ada pada titik2 lain yang tertentu, di mana gelombang2 saling memperkuat menurut interferensi. Dari situ ditarik kesimpulan: diantara titik hitam yang disebabkan oleh masing2 elektron, dan gelombang2 dengan mana elektron2 itu harus digambarkan, terdapat relasi sbb. : Dimana amplitude gelombang itu (amplitude = tingginya gunung gelombang) paling besar, di mana terdapat probabilitas (kemungkinan, harapan) paling besar bahwa akan dibuat sebuah titik hitam; di mana amplitude gelombang adalah kecil atau sama dengan nol, di mana probabilitas untuk mendapat titik hitam adalah kecil atau sama dengan nol juga.

Masih ada hal lain yang perlu diperhatikan: kalinat di atas ini merupakan pernyataan statistik, maka tentang sebuah elektron tertentu sama sekali tidak mungkin ditentukan di mana ia akan mengenai fotoplat. Tetapi bilamana ada jumlah besar elektron2 ternyata titik2 hitam di mana elektron2 kena pada fotoplat itu presis sesuai dengan apa yang kita harapkan berdasarkan amplitude gelombang2. Perbedaan pernyataan statistik untuk satu kejadian dan untuk amat banyak kejadian dapat dinengerti dengan contoh dadu: Tidak pernah dapat saya tentukan, manakah angka yang akan dihasilkan pada pembarangan dadu yang berikut. Tetapi saya dapat menentukan, bahwa di antara seribu kali dadu dibuang, angka enam akan muncul kira2 166 kali. Adalah kekhususan bagian2 mikro, bahwa mereka prinsipil bersifat statistik: masing2 sama sekali tidak dapat ditentukan; tetapi dalam jumlah besar mereka bersifat tepat menurut perhitungan probabilitas.

Jelaslah bahwa dengan desikian pendapat tentang kemutlakan hukum2 alam sudah hancur. Karena semua benda terdiri dari bagian2 mikro dan karena bagian2 mikro hanya menurut hukum2 statistik, tak ada tempat bagi determinisme mutlak. Begitu pula dengan diketemukannya gambaran gelombang sebagai gambaran komplementer untuk deskripsi bagian2 mikro, fakta mekanistik tentang materi tidak lagi dapat diperlihatkan.

34.

### 3. Corak subvektivitas daripada fisika kuantum

Pengertian statistik gambaran gelombang (yaitu : besarnya amplitude gelombang berarti besarnya probabilitas untuk mendapat resultan pada pengukuran tempat pada titik itu) membawa suatu akibat yang menyanggulkan satu faham dasar daripada fisika klasik lagi.

Fisika klasik bertolak dari pendapat, bahwa fisika bertugas untuk menggambarkan benda2 sesuai dengan keadaan benda2 itu sendiri (the thing as it is in itself). Paham itu sudah runtuh karena sifat ganda (korpuskel - gelombang) bagian2 dasar, karena kedua gambar itu tidak dapat disesuaikan satu sama yang lain, sehingga harus diakui, bahwa bagian2 dasar sendiri (the elementary particles themselves) itu bukan korpuskel dan bukan gelombang. Konsekwensi radikal kenyataan itu baru menjadi terang dengan pengertian statistik gambaran gelombang. Kita akan melihat bahwa sebuah benda mikro selalu memperlihatkan diri kepada si pengamat sesuai dengan apa yang ingin dilihat oleh si pengamat itu. Dengan lain kata rupanya bukanlah si pengamat yang menyesuaikan diri kepada obyek pengamatan, melainkan obyek pengamatan yaitu realita fisikalis, menyesuaikan diri kepada si pengamat. Kenyataan itu akan kami jelaskan dengan memakai tiga contoh.

nb: Istilah "realita fisikalis" dalam fisika modern mendapat arti yang tertentu. Berhubung dengan fakta tersebut diatas, yaitu bahwa obyek penyelidikan selalu menyesuaikan diri kepada si penyelidik, maka dengan "realita fisikalis" dimaksudkan benda fisikalis sejauh menjadi obyek penyelidikan fisikalis, atau sifat2 dan struktur2 yang diterapkan kepada obyek2 pengetahuan fisikalis dalam deskripsi alam fisikalis. Dengan demikian ilmu fisika menyempitkan soal apakah ada realita fisika in se, lepas dari penyelidikan fisikalis. Soal ini memang tidak termasuk ilmu fisika melainkan filsafat.

35.

1. Mari kita kembali kepada contoh tadi. Kita sekarang memperhatikan elektron di depan layar S. Menurut hasil observasi sampai sekarang, maka elektron itu harus digambarkan sebagai gelombang rata yang memenuhi seluruh ruang antara lensa L dan layar S. Menurut pengertian statistik itu berarti, bahwa pada semua tempat dalam ruang itu terdapat probabilitas yang sama untuk mendapat resultat positif bilamana diadakan pengukuran tempat terhadap elektron itu (sebagaimana, sebelum dadu itu dibuang, semua orang angka ada probabilitas yang sama yaitu seperenam). Sekarang kita tempatkan sebuah tabung penghitung kedalan ruang itu pada titik P, dan kita andalkan, tabung penghitung itu bereaksi (tabung penghitung adalah alat pengukur tempat elektron; tabung penghitung bereaksi itu berarti, bahwa pada saat itu 'terdapat' sebuah elektron). Apa artinya? Itu berarti, presisi pada tempat itu dinyatakan adanya elektron itu. Tetapi dengan demikian maka probabilitas untuk menemukn elektron itu pada tempat lain sekaligus menjadi nol (sebagaimana bila dadu dibuang dan kita mendapat angka 4, maka sekaligus probabilitas untuk mendapat angka 1, 2, 3, 5, 6 menjadi sama dengan nol). Tetapi itu berarti menurut pengertian statistis, bahwa sekarang elektron itu harus digambarkan dengan gelombang bola yang hanya presisi di dekat P mempunyai amplitudo yang berbeda dengan nol. Tetapi gelombang berbentuk bola yang begitu terbatas ruangnya, adalah sama sekali berlainan daripada gelombang rata semula yang mengisi seluruh ruang antara L dan S. Dengan lain kata: Bilamana kita dapat mengetahui dimana elektron berada (dengan mengadakan pengukuran tempat), maka elektron itu bersifat se-akan2 ia betul2 berada pada tempat itu. Bilamana kita tidak dapat mengetahui tempat elektron, maka elektron bersifat se-akan2 ia betul2 tidak mempunyai tempat tertentu melainkan memenuhi seluruh ruang antara L dan S. Kenyataan itu diperkuat, bilamana kita urubah percobaan tadi sebagai berikut:

36.

2. Tabung pengukur sekarang kita taruh presisi di depan celah atas. Dengan demikian kita mendapat dua kemungkinan: atau tabung pengukur bereaksi atau tidak. Bilamana bereaksi, berarti elektron ada di situ dan probabilitas untuk hadirnya elektron itu di celah bawah adalah nol. Jadi elektron hanya melalui celah atas. Bilamana tabung penghitung tidak bereaksi, maka elektron sudah pasti melalui celah bawah. Sekarang kita solidiki elektron2 yang melalui celah atas (dimana tabung pengukur bereaksi) dan kesediaan sampai kepada foteplat F. Ternyata kita mendapat pembagian titik2 hitan presisi sama dengan pembagian waktu celah bawah tertutup. Resultat ini mungkin akan dapat ditrongkan begini: diantara elektron dan tabung penghitung terdapat pengaruh fisikalis timbal balik, dan karena itu fenomen2 interferensi dicegah. Tetapi keterangan semacam ini tidak dapat diterima pada elektron2 dimana tabung penghitung tidak bereaksi, jadi pada elektron2 yang melalui celah bawah. Setelah elektron yang melalui celah bawah, tidak dapat bereaksi dengan tabung penghitung di depan celah atas. Tetapi ternyata kita mendapat pembagian titik2 hitan pada F yang sama dengan bentuk yang kita dapat, bilamana celah atas tertutup, artinya tidak ada fenomen2 interferensi dan elektron bersifat seperti bola kecil.

Dengan lain kata: Bilamana si pengamat dapat mengetahui celah mana yang dilalui elektron, maka elektron secara fisik bersifat se-akan2 betul2 hanya melalui satu celah saja, yaitu celah atas (reaksi dengan tabung penghitung) atau celah bawah (tabung penghitung tidak menunjukkan reaksi).

Tetapi bilamana si pengamat tidak dapat mengamati celah mana yang dilalui elektron, maka elektron dalam realita fisikalis bersifat se-akan2 betul2 melalui kedua celah sekaligus dan pada fotoplat F kelihatan fenomena interferensi.

Bupanya masih ada satu jalan keluar: Orang dapat mengira, bahwa elektron melalui celah bawah, tetapi karena di depan celah atas ada tabung penghitung, maka tabung penghitung mencegah gelombang elektron itu melalui celah atas. Keterangan ini tidak dapat dipertahankan juga sebagaimana akan terlihat dari percobaan berikut:

37.

3. Kita mespergunakan susunan percobaan yang sama: Sumber elektron E, lensa elektron L yang memberi lintasan2 yang paralel kepada elektron2. Diusahakan agar semua elektron terbang dengan kecepatan yang sama. Kita pasang layar S dengan dua celah. Agak jauh di belakang layar itu kita taruh fotoplat F,  $\angle$ fotoplat terus ditukar dengan fotoplat baru, sehingga bagi setiap elektron ada fotoplat tersendiri. Sekarang kita pasang sebuah sumber cahaya yang menerangi seluruh daerah di antara lensa L dan layar S secara rata. Bilamana daerah itu dilalui elektron, elektron itu merefleksir kembali sedikit dari cahaya itu. Cahaya yang dipantulkan kembali itu kita periksa secara seksama. Pemeriksaan itu akan menghasilkan tiga macam keterangan: 1. tentang cahaya yang dipantulkan kembali itu sendiri, 2. tentang reaksi yang terdapat antara cahaya dan elektron, 3. tentang keadaan elektron itu sendiri.  $\angle$ Elektron2 kita tambak sendiri2. Sesudah satu elektron sampai pada fotoplat F

Di sini perlu kita perhatikan, bahwa penyelidikan cahaya yang direfleksir itu dapat diadakan dengan dua cara. Atau tempatnya dapat diukur (dan dengan demikian kita juga dapat mengetahui tempat dimana cahaya dan elektron bereaksi; dan oleh karena itu juga tempat elektron waktu reaksi dengan cahaya itu kita ketahui). Atau kita dapat mengukur impuls cahaya itu (pengukuran mana sekaligus menyatakan sesuatu tentang elektron).

Sekarang kita berbuat sebagai berikut: Kita mengadakan penyelidikan terhadap cahaya yang direfleksir oleh elektron itu (perhatikan penyelidikan itu diadakan sesudah reaksinya dengan elektron) dengan cara yang memberitahu kepada kita tempat cahaya itu pada saat reaksinya dengan elektron. Tetapi dari tempat cahaya kita dapat mengetahui tempat elektron pula. Jadi elektron itu harus digambarkan sebagai suatu gelombang bola. Dengan demikian harus diharapkan bahwa pada fotoplat F kita mendapat pembagian titik2 hitam yang kita dapat juga, bilamana elektron2 hanya melalui satu celah (tidak ada efek interferensi). Sesudah beberapa waktu kita jumlahkan semua fotoplat dari elektron2 ini. Ternyata tidak ada efek2 interferensi.

Sekarang cahaya yang dipantulkan oleh elektron kita selidiki dengan cara mengukur impuls (perhatikan: penyelidikan diadakan pada saat reaksi antara cahaya dan elektron sudah selesai). Tetapi untuk mengukur impuls (impuls = dorongan/kekuatan daripada hantaman elektron pada papan) harus diketahui jurusan presisi dan kecepatan elektron itu. Jurusan hanya dapat diketahui tepat, bilamana elektron digambarkan sebagai gelombang rata yang meluas ke satu jurusan (gelombang2 bola-elektron yang diukur tempatnya harus digambarkan sebagai gelombang bola-meluas dalam setengah lingkaran dan karena itu tidak mempunyai jurusan jelas). Dari pengukuran impuls cahaya yang direfleksir dapat ditarik kesimpulan pula tentang impuls elektron sesudah reaksi dengan cahaya itu, tepatnya, tentang jurusannya dan tentang panjang-gelombangnya. Itu berarti: Elektron itu harus digambarkan sebagai gelombang rata. Tetapi kita tahu, bahwa gelombang rata yang melalui kedua celah itu akan menghasilkan fenomena2 interferensi pada fotoplat. Sekarang kita turunkan titik2 hitam masing2 elektron (yang telah bereaksi dengan cahaya yang diukur impulsnya dari fotoplat2). Ternyata kelihatan fenomena2 interferensi yang typis bagi gelombang rata yang telah melalui dua celah.

Dengan demikian kita mendapat hasil yang sama: Bilamana kita dapat mengetahui (dengan pengukuran tempat) celah mana yang dilalui elektron, maka elektron itu bersifat se-akan2 betul2 melalui satu dan hanya satu celah. Bilamana kita tidak dapat mengetahui celah mana yang dilalui elektron (mis. karena kita mengadakan pengukuran impuls), maka elektron bersifat se-akan2 betul2 melalui kedua celah sekaligus. Dalam hal ini perlu diperhatikan, bahwa kita baru menyelidiki cahaya sesudah reaksinya dengan elektron. Baru sesudah reaksi itu kita tentukan cahaya yang dipantulkan itu mau diapakan. Maka tidak dapat dikatakan, bahwa penyelidikan kita mengganggu reaksi antara cahaya dan elektron. Melainkan reaksi antara elektron dan cahaya itu sama sekali tidak dirubah. Baru sesudahnya foton yang dipantulkan itu kita selidiki, dan penyelidikan itu sudah tidak mempengaruhi elektron. Namun elektron itu ditentukan sifatnya oleh pengukuran itu.

Di sini kita menghadapi problematika fundamental mikrofisika: Apakah kita masih boleh mengatakan, bahwa kita mengonali realita "an sich"? Bukankah alam mikro justru diwujudkan oleh pengetahuan kita? Apakah faham pengetahuan yang rea-



lis masih dapat dipertahankan?

38.

#### 4. Sifat ganda proses<sup>2</sup> temporal

Sampai sekarang hanya kita bicarakan sifat ganda yang menguni ruang. Tetapi dalam menggambarkan proses<sup>2</sup> mikro dalam waktu pun terdapat sifat ganda itu. Sebagai contoh kita ambil emisi sebuah foton oleh sebuah atom.

Dalam proses emisi tersebut atom itu berubah dari keadaan yang kaya enerjinya ke dalam keadaan yang lebih miskin enerjinya. Timbullah pertanyaan: Apakah perubahan itu terjadi sekaligus, dalam satu loncatan pada satu saat, ataupun perubahan itu memakan waktu tertentu dalam waktu yang lama-kelamaan (secara kontinu) energi itu dipancarkan keluar?

Perubahan meniadak daripada keadaan energetis atom dianjurkan oleh karena kita selalu mendapat kelipatan genap daripada kuantum energi h.ny, bilamana kita mengukur energi gelombang cahaya dengan frekuensi ny. Itu berarti: bilamana kita mengukur cahaya yang dipancarkan oleh sebuah atom, maka kita selalu mendapat resultat, bahwa atom belum ada emisi cahaya sama sekali atau telah dipancarkan seluruh foton (seperti dalam eksperimen dengan layar bercahaya dua: kalau kita mengukur celah mana yang dilalui elektron, kita selalu mendapat resultat, bahwa elektron itu atau melalui celah bawah atau celah atas).

Tetapi kita mendapat resultat lain, kalau alat pengukur kita berupa demikian hingga hingga erisi foton hanya dapat ditentukan dengan ketepatan (presision) 10 ns. (1 ns = 1 Nanosecond =  $10^{-9}$  sec), jadi kalau kita secara prinsipial tidak dapat mengetahui, pada saat mana dalam 10 ns itu foton itu diemisikan. Dalam keadaan itu fenomena<sup>2</sup> menaka kita untuk menggambarkan foton itu sebagai kelompok gelombang dengan jarak 1 sampai 3 meter antara gunung-gelombang pertama dan terakhir. Cahaya itu berkecepatan 300.000 km/sec, maka untuk menciptakan kelompok gelombang yang 3 meter panjangnya itu atom harus mengemisikan energi cahaya secara kontinu selama 0,003/300.000 detik = 10 ns. Di sini emisi foton dan perubahan atom dari keadaan kaya energi ke keadaan yang lebih miskin energi tidak dapat dianggap sebagai kejadian mendadak sekaligus, melainkan sebagai kejadian kontinu yang terjadi secara berturut-turut dalam jangka waktu 10 ns.

Disinipun nampaklah sifat subyektifitas daripada mikrofisika: Bilamana kita dapat mengetahui dengan ketepatan 1 ns, kapan foton itu diemisikan, maka foton itu bersifat se-akan<sup>2</sup> atau seluruhnya telah diemisikan atau sama sekali belum diemisikan. Sedangkan bilamana ketepatan pengukuran hanya mencapai 10 ns, maka foton bersifat se-akan<sup>2</sup> dipancarkan secara kontinu selama 10 ns itu (sehingga sesudah 5 ns baru  $\frac{1}{2}$  foton itu keluar dari atom). Kemungkinan pengetahuan si penganat rupanya menentukan kelakuan realita fisikalis.

39.

#### 5. Bagian<sup>2</sup> mikro dan benda<sup>2</sup> makro.

nb. : Sesuatu disebut benda makro, bilamana sifat<sup>2</sup>-nya diakibatkan oleh jasanya kolektif amat banyak bagian<sup>2</sup> mikro.

Apa sebabnya maka benda<sup>2</sup> makro, misalnya sebuah batu, tidak memperlihatkan sifat ganda (sifat korpuskel - gelombang), padahal benda makro hanya terdiri dari amat banyak bagian<sup>2</sup> dasar dengan sifat gandanya? Jawabannya adalah sebagai berikut: Benda makropun secara prinsipial mempunyai sifat ganda. Tetapi efek sifat ganda benda<sup>2</sup> makro itu begitu kecil kalau dibandingkan dengan bagian<sup>2</sup> mikro hingga tidak lagi dapat diamati. Upananya kita menenakkan bola<sup>2</sup> tenis kecil ke jurusan suatu layar dengan dua celah, dan kita tidak dapat mengetahui celah mana yang dilalui, maka kita akan mendapat juga efek<sup>2</sup> interferensi pada tembok di belakang layar. Tetapi efek<sup>2</sup> itu mempunyai ukuran  $10^{-20}$  m, 1.000.000 kali lebih kecil daripada garis tengah atom yang terkecil, artinya efek<sup>2</sup> itu tidak dapat diamati.

40.

#### 6. Relasi ketidakepastian Heisenberg.

Fisika klasik yakin bahwa semua proses alam dapat diperhitungkan sebelumnya dengan mutlak, asal saja keadaan sistim yang bersangkutan diketahui seluruhnya dengan tepat. Harapan ini ditumbangkan oleh fisika kuantum dengan mengatakan: sebuah bagian dasar secara prinsipial tidak pernah dapat ditentukan atau diukur seluruhnya.

Untuk menentukan sebuah bagian dasar seluruhnya, kita perlu mengetahui:

1. tempatnya dan 2. impuls-nya. Dengan impuls dimaksud dorongan/kekutan daripada hantusan sebuah bagian dasar pada suatu rintang, dengan lain kata, impuls adalah produkt daripada masa dan kecepatan sebuah bagian. Untuk menentukan impuls kita perlu mengetahui dua hal: jurusannya dan kekuatannya. Jurusan impuls adalah garis tegak atas permukaan gelombang (permukaan gelombang = garis/median yang menghubungkan masing-masing gunung gelombang). Kekuatan dapat diperhitungkan menurut rumus  $p = h/\lambda$  (p = kekuatan; h = kuantum kerja Planck, suatu konstante alam;  $\lambda$  =

panjang gelombang). Maka dari itu untuk mengukur impuls dengan tepat, maka 1. jurusan gelombang harus jelas (yaitu hanya satu) dan 2. panjang gelombang di mana2 harus sama. Syarat2 ini hanyalah terpenuhi kalau gelombang itu di mana2 sama sifatnya dan rata.

Sebaliknya kita telah melihat : kalau diukurkan tempatnya, maka elektron harus digambarkan sebagai gelombang bola yang berbentuk titik. Tetapi gelombang macam itu sama sekali tidak mempunyai jurusan (karena meluas sebagai bola ke segala jurusan) dan tidak mempunyai panjang gelombang tertentu, justru karena gelombang itu diperas pada tempat yang amat terbatas.

Alhasil: semakin tepat pengukuran tempat yang kita adakan, semakin tidak tepat pengukuran impuls, dan semakin tepat pengukuran impuls semakin tidak tepat pengukuran tempat. Kondisi itu dirumuskan secara matematis dalam kalimat: Produk daripada ketidak-pastian tempat dan ketidak-pastian impuls adalah sedikit-dikitnya sebesar konstanta kerja Planck. Menurut penemuan Heisenberg (1927) rumus ini disebut relasi ketidak-pastian Heisenberg.

Dari relasi ketidak-pastian Heisenberg harus ditarik kesimpulan, bahwa secara prinsipial tidaklah mungkin untuk menentukan suatu keadaan mikrofisikalitas secara tepat. Sebaliknya itu berlaku pula bagi keadaan makrofisikalitas. Tetapi karena kelucunya kuantum kerja Planck ketidak-pastian itu tidak kontara.

41.

### 7. Sifat statistik hukum2 alam.

Salah satu akibat revolusioner fisika kuantum adalah pengetahuan bahwa hukum-hukum alam (yang dulu dianggap berlaku di-mana2 dan pada segala zaman dan tak terdabrak) hanya bersifat statistik. Kenyataan ini akan diterangkan dalam dua langkah.

1. Kita mengambil dua wadah dengan gas Helium. Satu gas itu dalam kedua wadah adalah sama. Sebagaimana kita ketahui, suhu itu bukan lain daripada hasil gerakan2 molekul2 suatu benda. Kedua gas berwujud sama. Apakah itu berarti, bahwa kedua gas itu tetap sama keadaannya?

Apapun juga yang kita perbuat dengan dua gas ini, reaksi dan sifatnya adalah presis sama. Tetapi seandainya kita dapat melihat masing2 molekul, kedua gas itu sama sekali berlainan satu sama lain. Bahkan dalam wadah yang sampan molekul2 yang banyaknya kira2  $10^{24}$  itu tidak berkecepatan sama. Melainkan mereka masing2 berterbangan dengan kecepatan2 dan jurusan2 yang berlainan. Suhu seluruh gas adalah energi-gerak rata2 daripada semua molekul itu. Kita melihat, bahwa keadaan makro yang sama dihasilkan oleh ber-milyar2 keadaan mikro yang masing2 berlainan. Adalah sama sekali tidak probabel seandainya molekul2 dalam dua wadah gas itu gerakannya presis sama. Gas sebagai keseluruhan bersifat sesuai dengan nilai-rata2 energi masing2 molekul yang diperhitungkan secara statistik.

Dengan demikian istilah probabilitas telah menjadi istilah kunci bagi fisika moderen. Apa itu probabilitas? Probabilitas adalah penyempitan kuantitatif daripada istilah kemungkinan (possibilitas). Sebelum dadu dilempar, saya dapat berkata : mungkin saya mendapat enam. Probabilitas sempertepat ucapan ini: saya ada kemungkinan  $1/6$  akan mendapat enam. Adalah mungkin bahwa dua gas berada dalam keadaan mikro yang presis sama. Tetapi probabilitasnya adalah minimal. Bahwa dua gas berada dalam keadaan mikro yang presis sama, adalah sama sekali improbabel.

Akan tetapi bukan hanya gas2 terdiri dari molekul2 melainkan semua benda makro. Maka sifat semua benda makro hanyalah merupakan nilai rata2 statistik daripada sifat molekul2-nya. Misalnya : adalah sama sekali tidak probabel bahwa semua  $10^{20}$  molekul suatu batu kebetulan bergerak dalam jurusan yang sama, tetapi teoritis itu tetap mungkin. Jadi secara teoritis adalah mungkin bahwa sebuah batu tibe2 milai terbang (dengan sekaligus menjadi dingin). Namun kita harus menunggu ratusan milyar tahun sebelum kemungkinan ini menjadi probabilitas yang berarti.

Mungkin sekarang orang berkata: seandainya saya dapat mengetahui keadaan masing2 molekul atau atom dari suatu sitin (hal mana praktis harus dikatakan mustahil mengingat jumlah rakasan atom2 itu), maka saya dapat menentukannya dengan kepastian mutlak (dan tidak hanya dengan kepastian statistik) bagaimana sifatnya benda makro yang terdiri dari atom2 itu. Akan tetapi justru di sinilah fisika kuantum moderen menjawab: itu prinsipial tidak mungkin.

42.

2. Menurut relasi ketidak-pastian Heisenberg memang tidak mungkin untuk mengetahui keadaan sebuah bagian dasar seluruhnya: atau saya tentukan tempatnya, lantas saya tidak tahu apa2 tentang impulsnya, atau saya tentukan impulsnya, lantas saya tidak tahu tempatnya. Karena ketidak-pastian itu bagian2 dari masing2 memberi kesan bahwa mereka mempunyai semacam spontanitas: sebagaimana saya tak dapat menentukan coklat mana dari dua buah coklat yang akan dipilih oleh seorang a-

anak kecil, begitu pula tidak dapat saya ramalkan sifat sebuah bagian dasar. Apakah kita di sini memang berhadapan dengan suatu spontanitas yang sesungguhnya masih akan dibicarakan.

Baru bilamana ada jumlah besar bagian2 dasar, maka semakin besar probabilitas untuk mendapat resultat2 tertentu bila diadakan pengukuran. Bilamana satu elektron melalui celah layar, sama sekali tidak dapat diramalkan di mana ia akan menghantam fotoplat. Tetapi bilamana saya tembak 10.000 elektron maka dapat dipastikan bagaimana pembagian titik2 hitam di fotoplat itu, artinya, dimana elektron2 itu menghantam fotoplat.

Sebagai contoh dapat kita ambil perubahan radioaktif. Maksudnya ialah bahwa atom2 daripada unsur2 tertentu secara spontan (tidak tergantung dari sebab2 dan syarat2 luar) berubah menjadi atom2 suatu unsur lain dalam waktu tertentu, dengan sekaligus memancarkan radiasi. Misalnya inti uran rata2 hidup selama 6,5 milyar tahun. Artinya sesudah 6,5 milyar tahun suatu atom2 dalam sebuah balok uran telah berubah menjadi radium dan akhirnya telah hitam. Waktu paruh uran adalah 4,5 milyar tahun, artinya sesudah 4,5 milyar tahun 50% daripada atom2 uran telah berubah menjadi radium (dan telah hitam).

Namun secara prinsipil tidaklah mungkin untuk meramalkan, kapan sebuah atom uran tertentu berubah. Kita disini hanya mempunyai hukum statistis. Kita hanya tahu bahwa dalam waktu 4,5 milyar tahun presisi 50% daripada atom2 uran telah menjadi radium, tetapi kita sama sekali tidak tahu kapan masing2 atom itu berubah menjadi atom radium. Mirip dengan asuransi kecelakaan: meroka tidak tahu sama sekali dimana dalam tahun 1980 akan ada kecelakaan lalu lintas dan siapa yang akan kena, tetapi berdasarkan fakta2 statistik meroka dapat memperkirakan kira2 berapa orang yang akan mendapat kecelakaan dalam tahun 1980.

Kesimpulan mana yang dapat kita tarik bagi makrofisika? 1. Hukum2 yang mengatur sifat2 benda makrofisikalis itu hanyalah hukum statistis. Kita tidak pernah dapat membuat pernyataan mutlak mengenai suatu keadaan tertentu. 2. Sifat statistis itu tidak berarti, bahwa kita sama sekali tidak mempunyai kepastian mengenai hukum2 alam. Hanyalah: kepastian itu tidak mutlak. Akan tetapi berhubungan dengan jumlah milyar dan milyar bagian2 dasar maka sifat2 masing2 bagian dasar telah sama sekali saling meratakan secara statistis, sehingga kita dapat percaya dengan pasti bahwa apa yang harus diharapkan menurut hukum2 alam itu memang akan terjadi. Dengan lain kata: dalam alam makro hukum2 alam yang kita ketahui berlaku dengan pasti - walau dengan kepastian statistis - dan sifat2 benda makro dapat dideskripsikan secara menyeluruh, sehingga dalam mikro suatu kepastian yang dapat seluruhnya mendeskripsikan sebuah bagian dasar itu memang tidak mungkin.

43.

### 8. Individualitas bagian2 dasar, "materi2 dan "energi2

Kita mengakhiri uraian tentang fisika kuantum dengan uraian mengenai bagian-bagian dasar, materi dan energi sebagai bagian2 paling dasar alam raya.

nb. : Bagian2 dasar adalah bagian2 yang tidak lagi dibangun dari bagian2 lain. Tetapi: Bahkan seandainya sebuah bagian dasar a terdiri bagian b dan c, maka b dan c begitu berubah sifat2-nya sehingga b dan c didalam a tidak dapat dikenali lagi. Sebaliknya bagian2 daripada inti atom, atom dan molekul juga dalam keadaan tersusun itu masih jelas dapat dikenali kembali. Timbulah pertanyaan : Apakah bagian2 dasar memang merupakan bagian2 paling dasar dan tak berubah daripada alam raya?

#### a. Tak berubah?

Ternyata lah bagian2 dasar dapat saja berubah. Dalam keadaan tertentu bagian-bagian dasar satu macam berubah menjadi bagian2 dasar macam lain. Bahkan ada beberapa bagian dasar yang sama sekali tidak stabil keadaannya melainkan berubah dalam waktu tertentu menjadi bagian2 lain (cf. nr. 20). Misalnya neutron: dari kelcampok neutron 50% berubah menjadi masing2 1 Proton, 1 elektron dan 1 neutrino dalam waktu 13 menit. Sebaliknya sebuah proton dapat dirubah menjadi 1 neutron, 1 positron dan 1 neutrino (perubahan ini membuktikan pula, bahwa neutron tidak terdiri dari 1 proton, 1 elektron dan 1 neutrino. Seandainya demikian maka neutron hanya dihasilkan oleh 1 proton ditambah dengan 1 elektron dan 1 neutrino. Tetapi ternyata lah proton dapat dirubah menjadi neutron tanpa menambah elektron dan neutrino itu).

44. b. Individualitas bagian2 dasar?

Yang dipersoalkan disini adalah: adakah artinya kalau kita berkata: disini kita menghadap 3 elektron atau 5 proton? Fisika kuantum menjawab: Sebagaimana berlaku: apakah sebuah bagian dasar harus digambarkan sebagai korpuskel atau



atau sebagai gelombang (apakah kita menghitung tempat atau impuls, apakah elektron melalui celah tertentu atau melalui kedua-celah ds.) tergantung dari kemungkinan observasi kita; begitu pula berlaku: Bilamana si pengamat mempunyai kemungkinan untuk mengukur jumlah bagian2 dasar, maka bagian2 dasar itu bersifat sesuai dengan itu, artinya: pengukuran itu akan menghasilkan resultat2 tertentu dan diskret (misalnya 200 elektron). Tetapi bilamana si pengamat tidak dapat mengukur jumlah bagian2 dasar, maka bagian2 dasar itu bersifat seperti satu kelompok gelombang yang luas dan kontinu. Disini sama sekali tidak ada artinya untuk mengatakan: di sinilah mulailah bagian nomor 13 atau di sinilah berakhirilah bagian nomor 12 (kenyataan itu dapat dibayangkan sebagai berikut: kelompok gelombang bagian pertama (yang terdiri dari sedikit-dikitnya 5 gelombang) secara kontinu diteruskan oleh kelompok gelombang bagian kedua dst. sehingga tidak mungkin mengatakan: gelombang ini termasuk kelompok kedua; melainkan kita mendapat satu medan bergelombang - seperti medan berink-riak karena angin - dimana gelombang pertama sudah sampai pada dinding belakang padahal di depan terus-menerus dilepaskan gelombang2 baru).

#### 45. c. Keastuan materiil alam raya.

Dengan demikian sudah menjadi jelas, bahwa istilah "individualitas" dalam alam mikro tidak dapat diobjektivar, seperti juga istilah "tempat". Sebagaimana sebuah bagian dasar dapat dipandang sebagai korpuskel bertempat tertentu atau sebagai gelombang yang luas ruangnya, begitu pula alam raya dapat dipandang sebagai perkumpulan korpuskel2 atau sebagai satu amara gelombang. Untuk menerangkan implikasi2 kolimat itu, perlu terlebih dahulu diterangkan arti istilah "keadaan-antara".

#### Kadaan-antara.

Kita telah melihat (nr.38) bahwa emisi sebuah foton oleh sebuah elektron dapat digambarkan dengan dua cara: Atau emisi itu terjadi sekaligus, mendadak : foton sekaligus dikeluarkan seluruhnya; atau itu terjadi dalam pemancaran kontinu dalam jangka waktu tertentu, yaitu dalam jangka waktu yang perlu supaya sekelompok gelombang cahaya berkepanjangan 1 sampai 3 m. dapat keluar dari elektron. Dalam jangka waktu itu baik elektron maupun foton berada dalam keadaan-antara itu: elektron telah mengemisikan sebagian dari foton dan foton telah sebagian keluar, tetapi belum seluruhnya. Hal yang sama berlaku bagi absorpsi foton oleh sebuah atom; selama kelompok 3m. itu sedang "memasuki" atom, atom sebagian telah bertemaga foton itu dan sebagian belum, sedangkan foton sebagian masih lepas dari atom dan sebagian belum.

Hal ini masih dapat dibuat lebih rumit lagi. Kita mengirim sebuah foton kejurusan suatu pagar atom (beberapa atom). Menurut fisika kuantum berlakulah: bilamana si pengamat mempunyai kemungkinan prinsipial untuk mengetahui, atom mana yang mengabsorpsi foton itu, maka foton dan atom itu bersifat se-akan2 foton itu hanya diabsorpsi oleh satu atom tertentu. Bilamana si pengamat tidak mempunyai kemungkinan itu, maka foton itu bersifat se-akan2 betul2 diabsorpsi oleh semua atom dalam pagar itu (itu dapat dipastikan dari fenomena2 interferensi).

46.

#### Pertukaran kuantum-medan2 virtuil.

nb.: kuantum: Adalah istilah mikrofisika untuk fenomena2 mikro yang ditangkap dalam resultat2 pengukuran yang diskret, atau dlk. kuantum adalah istilah untuk semua unsur mikrofisika dalam penggambaran korpuskuler.

kuantum-medan : adalah kuantum2 yang mengkonstitusikan suatu medan (medan lihat nr. 17).

virtuil: dalam fisika suatu proses disebut virtuil, bilamana tidak dapat diobservasi langsung melainkan hanya dapat dikesimpulkan dari akibat2-nya.

Kadaan2-antara yang baru dibicarakan rupa2-nya menaikan peranan yang amat penting dalam usaha fisika modern untuk menerangkan kosatuan alam semesta. Formalisme matematis fisika kuantum menerangkan hal aksi dan reaksi fisikalis pada umumnya dengan suatu pertukaran terus menerus daripada kuantum2 yang berada dalam keadaan-antara itu.:

- kekuatan listrik dan magnet (atraksi dan repulsi) direduksikan pada kuantum2 cahaya yang berada diantara kedua muatan (positip dan negatip) dalam keadaan-antara. Artinya: muatan 1 se-akan2 terus menerus mengemisikan kuantum2 cahaya yang terus diabsorbisikan oleh muatan 2, dan muatan 2 itu terus mengemisikan kuantum2 cahaya itu yang terus diabsorbisikan kembali oleh muatan 1 dan seterusnya.
- kekuatan inti sebagaimana terdapat antara nukleon2 (lih. nr. 19) direduksikan pada pertukaran virtuil meson2. Artinya: meson2 itu berada diantara nukleon2

itu dalam keadaan-antara, mereka terus menerus diemisikan "setengahnya" dan terus diabsorbsikan kembali.

- Kekuatan gravitasi (resp. pengaruh massa2 berat terhadap relasi2 geometris dalam lingkungannya) direduksikan ke-pertukaran virtual graviton2, artinya ke-graviton2 yang terus menerus berada dalam keadaan-antara itu (graviton adalah bagian bagian dasar yang karena kecilnya belum dapat dibuktikan adanya secara eksperimental, tetapi yang dianggap memang ada oleh para fisikus teoretis karena sebab2 matematis).

Karena semua kekuatan tadi secara prinsipil tidak kenal batas, maka medan-kekuatan2 itu (yang terdiri dari bagian2 dalam keadaan-antara) meluas ke-mana2 secara tak terbatas, memenuhi alam semesta. Medan itu adalah medium daripada segala aksi dan reaksi fisikalis.

47.

#### Kecintaan universal

Bagaimana kita dapat membayangkan struktur fisikalis alam semesta?

Tadi kita pergunkan gambaran korpuskuler. Dengan memakai gambaran itu kita berkata : Alam semesta terdiri dari bagian2 yang saling berhubungan secara erat dan ketat oleh bagian2 yang berada dalam keadaan-antara. Sebetulnya istilah "keadaan-antara" hanya merupakan usaha lemah untuk mengungkapkan sesuatu dalam gambaran korpuskel yang sebetulnya harus diungkapkan dalam gambaran gelombang. Kalau kita memakai gambaran gelombang, bagian2 itu harus dianggap sebagai gelombang. Tetapi kita telah melihat bahwa antara gelombang2 tidak mungkin ada batasan yang tajam; yang satu secara kontinu berhubungan dengan yang lain. Pertukaran kuantum virtual dalam gambaran ini berarti: gelombang2 bagian2 tetap mengemisikan gelombang2 kuantum2 medan yang saling meresapi. Dengan demikian alam semesta merupakan satu realita yang beridungengan. Secara prinsipil setiap bagian berhubungan dengan setiap bagian alam semesta. Tak ada bagian yang sama sekali terisolir. Manusiapun, oleh karena merupakan bagian alam semesta, secara fisikalis berhubungan dengan seluruh alam semesta lain.

Medium alam semesta itu mempunyai "a granular structure" (granular dari grain = biji). Artinya: medium itu bukanlah seperti bubur, melainkan paling2 seperti bubur yang ada gumpal2-nya. Medium itu terdiri dari medan2-kekuatan dengan gumpal2 energi atau massa, yaitu bagian2 yang lebih tetap dibandingkan dengan bagian2 yang berada dalam keadaan-antara.

Tetapi perlu diperhatikan, bahwa batas antara "gumpal2" dengan medan adalah tidak tajam. Melnya dapat dibayangkan dengan memakai contoh kaca yang sedang mencair. Pada kaca tak ada batas tajam antara keadaan padat dan keadaan cair. Jadi kalau dalam kaca yang cair itu masih ada bagian2 kaca mengambang yang lebih dingin dan karena itu belum mencair, maka antara kaca yang telah mencair dan gumpal2 kaca yang belum mencair itu tidak ada batas tajam melainkan yang satu berhubungan secara kontinu dengan yang lain.

48.

#### d. Materi dan energi.

Dalam fisika klasik energi dianggap sifat daroada materi. Sesudah apa yang diterangkan diatas kita tidak heran lagi, kalau fisika sekarang melihat materi dan energi hanyalah sebagai dua sudut daripada satu realita yang sama. Materi adalah energi yang membeku dan energi adalah materi yang di-dinamisir. Kita lebih baik mengganti kata materi disini dengan kata massa. Perbedaan antara massa dan energi memang tidak begitu besar. Dari satu pihak: massa itu tidak hanya boleh digambarkan sebagai korpuskel yang terbatas tepat dan bertempat tertentu melainkan harus juga digambarkan, dengan memakai gambaran gelombang, sebagai sesuatu yang meluas dan tidak bertempat tertentu. Dari lain pihak: energi tidak hanya boleh dipandang sebagai medan gelombang melainkan harus juga digambarkan sebagai kuantum2 energi yang diskontinu.

Itu diungkapkan oleh Einstein dalam rumus dasarich teori relativita khusus:  $e = mc^2$  ( $e$  = energi,  $m$  = massa,  $c$  = kecepatan cahaya). Setiap massa ada energinya yang sesuai dan setiap energi ada massanya yang sesuai. Massa dapat "berubah" menjadi energi dan sebaliknya. Untuk itu kami sajikan empat contoh:

1. Kita pannaikan gas hydrogen ( $H_2$ ). Gas itu bercahaya. Itu apa artinya? Karena gas  $H_2$  kita pannaikan, atom2  $H$  bertabrakan dengan kecepatan yang lebih besar dan bertabrakan lebih sering. Oleh karena energi tabrakan itu elektron dari atom  $H$  dironggok dari kulitnya (kulit terdalam) kearah satu kulit atom luar. Dalam waktu  $1/100.000$  detik elektron itu loncat kembali ke kulitnya yang sebenarnya. Diforensi energi antara dua kulit itu (kulit luar lebih banyak energinya) diterbak keluar dalam bentuk satu foton.

2. Satu contoh lagi mengenai perubahan energi menjadi massa: neutron bebas dalam waktu 18 menit berubah menjadi 1 proton, 1 elektron dan 1 neutrino

( $H + P + E + \nu$ ). Sekarang proton kita percepat (kita tambah energi geraknya) dan kita tembakan kepada sebuah inti Aluminium. Dalam suatu proses yang rumit ( $P + {}^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow N + {}^{27}_{14}\text{Si} \rightarrow N + E' + \nu + {}^{27}_{13}\text{Al}$ ) kita mendapat, selain inti Al yang berubah, 1 neutron, 1 positron dan 1 neutrino.

Sekarang kita dapat memikirkan percobaan ini: Neutron yang kita dapat dari proton itu selalu kita biarkan berubah lagi menjadi proton, elektron dan neutrino. Proton itu ditembakkan lagi kepada inti Al yang sama. Elektron2, positron2 dan neutrino2 kita kumpulkan. Dengan demikian kita dapat menciptakan elektron2 seakurasi hati dari neutron yang sama itu. Elektron2 itu bukan lain daripada energi yang dimasukkan kedalam proton.

3. Apabila sebuah bagian bertemu dengan bagian-antinya (nr. 16), keduanya terpecah: massa mereka sebagian besar berubah menjadi energi murni. Bilamana elektron bertemu dengan positron, kedua-duanya menghilang dengan mengeluarkan sebuah foton dan dengan melepaskan banyak energi (energi itu jauh lebih besar daripada energi inti). Bilamana sebuah proton bertemu dengan antiprotonnya, mereka pun menghilang dengan melahirkan sebuah meson, dan dengan melepaskan amat banyak energi. Jadi massa di sini menjadi energi.

4. Contoh terakhir mengenai perubahan massa menjadi energi adalah bom-uran dan bom-hydrogen. Pada pembelahan resp. fusi inti sebagian kecil dari massa atom2 yang bersangkutan berubah menjadi energi murni. Betapa hebatnya energi hasil sedikit massa itu telah kita ketahui.

49.

### 2. Kesimpulan

Secara singkat dapat kita katakan: mikrofisika moderen telah menghancurkan anggapan fisika klasik tentang kepastian mutlak hukum2 alam, tentang kemungkinan untuk dapat mengetahui realitas alam "in se", tentang kemungkinan untuk membuat model-model tentang alam mikro sehingga alam mikro itu dapat kita bayangkan. Semua istilah dari dunia pengalaman kita, yaitu dunia makro, tidak berlaku begitu saja di alam mikro. Hanya ada satu unsur yang bahkan semakin kuat dalam mikrofisika moderen: kekuasaan matematika. Dengan matematika kita tetap dapat sampai kepada realita mikro yang tak terbayangkan itu. Garban yang plastis tentang dunia mikro tidak mungkin lagi, tetapi seluruh fenomena2 mikro dapat ditangkap adekuat dalam formalisme matematika.

50.

### C. Teori Relativita

Selain fisika kuantum teori relativita-lah yang paling mendalam merubah gambaran dunia fisika. Mirip dengan fisika kuantum teori relativitapun menunjukkan, bahwa imajinasi kita tidak dapat mengikuti hasil2 fisika lagi. Kami mulai dengan teori relativita khusus, kemudian dibicarakan teori relativita umum.

#### I. Teori Relativita Khusus.

Teori Relativita Khusus (TRK) disusun oleh Albert Einstein dalam tahun 1905. TRK itu sesungguhnya berarti suatu revolusi dalam fisika dengan menyatakan, bahwa ukuran2 ruang, waktu dan berat berubah sesuai dengan keadaan gerak pengamat. Menurut TRK tidak mungkin berkata: meja ini panjangnya 1 m, kereta api Jakarta-Cikampek membutuhkan 2 jam, karung ini beratnya setengah kuintal. Itu mungkin berlaku bagi saya, tetapi bagi seorang yang bergerak yang bergerak dengan kecepatan amat tinggi, ukuran2 itu semuanya berubah.

Pertama kami utarakan pernyataan2 TRK dengan tepat. Kedua pernyataan2 itu kami terangkan dengan beberapa contoh. Ketiga dibicarakan batas2 TRK dan keempat pembeneran eksperimental.

#### a. Pernyataan2 Teori Relativita Khusus:

TRK beralkasan dua: 1. Relativita istilah "diam" (tidak bergerak) dan "bergerak" dalam sistim2 inersial dan 2. konstansi kecepatan cahaya.

51.

#### Relativita daripada "diam" dan "bergerak"

Bilamana saya duduk dalam kereta api yang bergerak lurus serupa dengan tidak tergoncang2, padahal tirai jendela ditutup rapat, saya tidak mempunyai kemungkinan untuk mengetahui apakah kereta api itu bergerak atau tidak. Kalau saya menjatuhkan kotak rokok, jatuhnya lurus. Bilamana saya melemparkan sebuah jeruk, melayangnya biasa saja. Baru apabila saya melihat keluar jendela, saya tahu bahwa kereta api saya bergerak. Tetapi itupun tidak tepat. Karena sebetulnya saya melihat tanah di luar bergerak. Dengan hak yang sama saya boleh mengatakan: kereta saya diam dan tanah di luar bergerak, dan si petani di luar mengatakan: tanah yang saya injak itu diam dan kereta api itu bergerak. Ternyata "diam" dan "bergerak" adalah istilah relatif: mereka tergantung daripada siapa yang



menakainya.

Itu bukanlah barang tentu. Apabila kereta-api direm dengan mendadak, konduktor akan jatuh dan kopor2 jatuh dari rak. Petani di luar tentu saja tidak jatuh. Begitu pula halnya apabila kereta-api berangkat dengan mendadak atau kecepatannya tiba2 ditambah. Di sini relativita berakhir. Hanya saja dalam kereta apilah yang bergerak dan bukan stasiun di luar, karena hanya sayalah yang merasa mau jatuh, bukan orang2 di peron. Jadi dalam sistim2 yang berada dibawah pengaruh kokustan2 (kokustan yang mempercepat dan kekuatan pegerasa) relativita hilang. Relativita daripada dian dan bergerak hanya berlaku antara sistim2 yang bergerak lurus serupa, karena dalam sistim2 semacam itu tidak terdapat gaya pusinger (centrifugal forces). Sistim2 yang bergerak lurus beraturan disebut sistim inersial.

Relativita antara dian dan bergerak pada sistim2 inersial sudah lama diketahui. Unsur revolusioner dalam susunan Einstein adalah prinsip.

52.

#### Konstansi kecepatan cahaya

dan kesimpulan2 yang ditarik daripadanya. Prinsip itu berbunyi: kecepatan cahaya oleh semua pengamat diukur sama cepatnya. Biar ia mendekati ataupun menjauhi sumber cahaya atau sama sekali tidak bergerak terhadapnya, pengukurannya selalu menunjukkan kecepatan cahaya 300.000 km/detik. Atau dengan lain kata, kecepatan cahaya tidak tergantung dari keadaan gerak sumber cahaya itu.

Mari kita terangkan ini pada suatu contoh. Di atas dua rel yang paralel ada dua lokomotif masing2 dengan lampu raksasa. Kedua lampu menyinarikan cahaya ke suatu papan pengukur di ujung jauh rel itu, yang mengukur kecepatan cahaya yang masuk. Per-tama2 kedua lok masih diam. Cahaya dari dari kedua lok itu sampai ke papan pengukur itu dengan kecepatan 300.000 km/detik. Sekarang satu lok mulai bergerak, semakin cepat, sampai ia meluncur kejurusan papan pengukur dengan kecepatan 150.000 km/detik. Tetapi papan pengukur menerima cahaya dari kedua lok itu sama2 dengan kecepatan 300.000 km/detik. Tetapi lok yang meluncur dengan kecepatan 150.000 km/det, menajauhi lok satunya itu mempunyai juga papan pengukur kecepatan cahaya pada sudut belakangnya. Papan itu mengukur kecepatan cahaya dari lok yang ditinggalkan di belakangnya. Ternyata cahaya itu pun mempunyai kecepatan 300.000 km/det.

Dengan lain kata, pada kecepatan cahaya berlakulah perhitungan ini:

1.  $300.000$  (kecepatan bertolak) =  $300.000$  (diukur di papan pengukur).
2.  $300.000 + 150.000$  (kecepatan lok) =  $300.000$ .
3.  $300.000 - 150.000$  (kecepatan lok yang satu menjauhi lok satunya lagi) =  $300.000$ .

Keanehan ini membuktikan: kecepatan cahaya adalah suatu konstante alam yang berlaku mutlak. Dalam teori relativita khusus Einstein menarik kesimpulan2 logis dari kemutlakan kecepatan cahaya: Semua pengukuran panjang dan waktu hanya berlaku relatif terhadap keadaan bergerak pengukur. Tepatnya:

1. Bagi pengamat tidak bergerak (A) panjangnya sebuah benda (B) yang bergerak berubah menjadi lebih pendek berbanding lurus dengan kecepatannya (bila diukur sejurusan dengan pergerakan) : Semakin cepat, semakin pendeklah B. Tetapi sebaliknya bagi B malah A-lah yang memendek berbanding lurus dengan kecepatannya (karena relativita "diam" dan "bergerak"). Panjangnya benda bergerak diperhitungkan menurut rumus:

$$L_v = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$
 ( $L_v$  = panjangnya benda bergerak;  $L_0$  = panjangnya benda itu waktu tidak bergerak;  $v$  = kecepatannya;  $c$  = kecepatan cahaya).

2. Bagi pengamat tidak bergerak A semua proses waktu diatas sebuah benda yang bergerak (B) menjadi lebih lambat berbanding lurus dengan kecepatannya: semakin cepatlah B, semakin lambat jalannya arloji-nya. Sebaliknya B mengukur, bahwa arloji2 pada A lebih lambat jalannya. Kelambatan proses2 waktu pada benda yang bergerak diperhitungkan menurut rumus:

$$Z = 1 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$
 ( $Z$  = panjang waktu pada benda bergerak;).

3. Diadakan2 peristiwa  $E_1$  dan  $E_2$  yang berjauhan dalam ruang. Dalam keadaan2 tertentu pengamat 1 dapat berkata:  $E_1$  terjadi pada waktu bersamaan dengan  $E_2$ ; pengamat 2 mengatakan:  $E_1$  terjadi sebelum  $E_2$ ; pengamat 3 mengatakan:  $E_1$  terjadi sesudah  $E_2$ . Peristiwa2 yang berjauhan dalam ruang tidak ada artinya dikatakan: peristiwa2 itu terjadi pada waktu yang sama atau pada waktu yang tidak sama.

4. Energi berbanding lurus dengan massa menurut rumus:  $E = mc^2$  ( $E$  = energi;  $m$  = massa). Maka, semakin cepat sebuah benda, semakin berat dia itu, menurut rumus:

$$mv = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$
 ( $mv$  = massa benda bergerak;  $m_0$  = massa benda kalau tidak bergerak). Dari rumus ini harus ditarik kesimpulan: Benda yang

massa-diamnya berlainan dari nol, tidak dapat mencapai kecepatan cahaya, karena pada kecepatan cahaya massa-nya akan menjadi tak terbatas (infinite).

53. b. C o n t o h :

Apa yang baru diuterekan akan menjadi lebih tereng pada contoh ini yang agak utopis. Ada dua balok  $T_1$  dan  $T_2$ , masing2 5.000.000 km panjangnya. Kedua balok terletak berdampingan dalam ruang angkasa. Pengamat2 di kedua balok membonarkan: Kedua balok ini panjangnya presis sama, artinya: ujung kiri dari  $T_1$  ( $A_1$ ) terletak presis berdampingan dengan ujung kiri  $T_2$  ( $A_2$ ) dan ujung kanan dari  $T_1$  ( $B_1$ ) terletak presis berdampingan dengan ujung kanan  $T_2$  ( $B_2$ ). 1.280.000 km. dari  $A_1$  dipasang tanda titik  $C_1$  (diatas  $T_1$ ) dan 1.280.000 km dari  $A_2$  dipasang tanda titik  $C_2$  (diatas  $T_2$ ). Dua titik itu pun letaknya tepat berdampingan. Pada  $B_1$  dan  $B_2$  ada dua jam. Pengamat2 di  $T_1$  dan  $T_2$  saling mencocokkan jamnya sampai cocok sama sekali; mereka memastikan: jam di  $B_1$  menunjukkan waktu yang sama dengan jam di  $B_2$  dan kedua jam itu berjalan dengan kecepatan presis sama. Sekarang  $T_1$  bergerak kekanan dan  $T_2$  bergerak kekiri saling menjauhi. Kemudian mereka berhenti dan saling mendekati.

Kecepatan harus ditingkatkan sampai masing2 dengan kecepatan 100.000 km/det. saling mendekati. Waktu sebelum mereka saling melewati dipergunakan oleh para pengamat di masing2 balok untuk mencocokkan semua jam yang tersebar di seluruh balok dengan jarak masing2 20.000 km. Maksud pencocokkan itu ialah supaya semua jam itu pada saat yang sama menunjukkan waktu yang sama dengan jam di  $B_1$  resp.  $B_2$ . Bagaimana cara jam2 itu mereka cocokkan? Sepanjang seluruh balok telah dipasang sebatang poros yang berputar. Pada setiap 20.000 km dipasang jarum penunjuk di atas poros itu yang mengikuti putarannya. Sebelum poros berputar, semua jarum itu menunjuk ke atas. Sekarang poros itu dibuat berputar oleh sebuah motor yang bergendangan dengan jam di  $B_1$  dan  $B_2$ . Dengan demikian adalah terjamin, bahwa semua jarum menunjukkan waktu yang sama dengan jam di masing2 balok itu.

Waktu kedua balok saling melewati, para pengamat di masing2 balok mencatat waktu2 di atas kedua balok itu. Bagaimana waktu itu dapat dicatat? Misalnya dengan memotret dari masing2 balok secara demikian, hingga pada satu foto jam2 baik yang di  $T_1$  maupun yang di  $T_2$  pada tempat yang berdampingan kelihatan sekaligus. Mari kita ingat: Waktu kedua balok masih berdiam berdampingan, para pengamat di kedua balok itu menyatakan:  $A_1$  terletak berdampingan dengan  $A_2$ ;  $C_1$  berdampingan dengan  $C_2$ ;  $B_1$  berdampingan dengan  $B_2$ ; dan para pengamat di  $T_1$  telah memastikan bahwa semua jam di  $T_1$  menunjukkan waktu yang sama dengan jam di  $B_1$ , sedangkan para pengamat di  $T_2$  telah memastikan, bahwa semua jam di  $T_2$  menunjukkan waktu yang sama dengan jam di  $B_2$ .

Sekarang  $T_1$  datang dari kanan dan  $T_2$  dari kiri dan mereka saling melewati. Apa yang didapati oleh pengamat di masing2 balok?

1. Waktu  $B_1$  lewat  $B_2$ , jam2 baik di  $B_1$  maupun  $B_2$  menunjukkan posisi jarum 100 detik.
2. Waktu  $A_1$  lewat  $A_2$ , jam di  $A_1$  menunjuk 106,4 detik, jam di  $A_2$  menunjuk 93,6 detik.
3. Waktu  $A_1$  lewat  $C_2$ , jam di  $A_1$  menunjuk 88,9 detik., jam di  $C_2$  menunjuk 100,0 detik.
4. Waktu  $C_1$  lewat  $A_2$ , jam di  $C_1$  menunjuk 100,0 det., jam di  $A_2$  menunjuk 111,1 detik.

## 54. Itu berarti apa? Kita menyaksikan:

1. Pembalikan urutan dalam waktu:  $T_1$  memastikan:  $A_1$  lewat  $C_2$  dulu (88,9 det.), baru lewat  $A_2$  (93,6 det.). Dan baru sesudah  $A_1$  melewati  $A_2$ ,  $B_1$  melewati  $B_2$  (100,0 det.).

Sebaliknya  $T_2$  memastikan: Pertama-tama  $B_2$  melewati  $B_1$  (100,0 det.). Kemudian  $A_2$  lewat  $A_1$  (106,4 det.) dan kemudian  $A_2$  lewat  $C_1$  (111,1 det.)

2. Pertaubatan:  $T_1$  memastikan, bahwa jam2 di  $T_1$  lebih lambat jalannya daripada di  $T_2$ . Sebaliknya  $T_2$  memastikan: jam2 di  $T_2$  jalannya lebih lambat daripada jam2 di  $T_1$  (nb: Seandainya  $T_1$  mengatakan: jam2 di  $T_2$  berjalan terlalu lambat, dan  $T_2$  menjawab: tidak, jam2 di  $T_1$  berjalan terlalu cepat, tidak ada persoalan. Persoalan terletak dalam keanehan, bahwa kedua belah pihak mengatakan bahwa yang lain adalah terlambat).

Bagaimanakah  $T_1$  sampai ke pendapatnya?  $T_1$  melihat: Waktu yang diperlukan  $A_2$  untuk meluncur dari  $A_1$  ke  $C_1$  adalah hanya 4,7 detik menurut jam di  $T_1$  (dari 106,4 sampai 111,1), sedangkan menurut jam2 di  $T_2$  jarak itu dilewati dalam 6,4 detik (dari 93,6 sampai 100,0). Jadi jam2 di  $T_2$  adalah lebih lambat daripada jam2 di  $T_1$  bagi  $T_1$ .

Bagaimanakah  $T_2$  sampai ke pendapatnya?  $T_2$  memastikan: jam2 di  $T_2$  menunjukkan, bahwa  $A_1$  membutuhkan 6,4 detik (dari 100 sampai 106,4) untuk meluncur dari  $A_2$  ke  $C_1$  dan  $B_1$  presis sama waktunya dan jalannya dengan jam di  $B_2$ ;

$C_2$  ke  $A_2$ . Dalam waktu yang sama jarak di  $T_1$  hanya maju 4,7 detik (dari 88,9 sampai 93,6). Jadi bagi  $T_2$  jam di  $T_1$  lah yang lebih lambat jalannya.

3. Pendekatan : Kedua pengamat (di  $T_1$  dan  $T_2$ ) masing2 memastikan bahwa balok yang lain menjadi lebih pendek. Panjangnya sebuah benda diukur dengan mengukur dengan mengukur kedua ujung paling luar benda itu pada saat yang sama.  $T_1$  memastikan: pada waktu  $T_1$  seluruh balok  $T_2$  (yang sekaligus ditunjuk oleh semua jam di sepanjang balok  $T_1$  itu)  $B_2$  presis berimping dengan  $B_1$ , sedangkan  $A_2$  pada saat 100 itu berimping dengan  $C_1$ . Tetapi  $C_1$  adalah 3.720.000 km dari  $B_1$  menurut ukuran  $T_1$ . Jadi menurut  $T_1$  seluruh balok  $T_2$  (yang tadinya dipastikan oleh kedua balok balok pitak berpanjang 5.000.000 km. itu) hanya berukuran 3.720.000 km. panjangnya.

Sebaliknya  $T_2$  memastikan: pada waktu 100,0 (yang ditunjuk oleh semua jam di sepanjang balok  $T_2$  itu sekaligus)  $B_1$  terdapat presis berimping dengan  $B_2$ , sedangkan  $A_1$  pada saat 100 itu berimping dengan  $C_2$ . Tetapi menurut ukuran  $T_2$  maka  $C_2$  hanya berjarak 3.720.000 km. dari  $B_2$ . Jadi menurut  $T_2$  seluruh balok  $T_1$  hanya berukuran 3.720.000 km. panjangnya.

### c. Batas relativitas :

Perlu diperhatikan, bahwa contoh tadi hanya berlaku, apabila kedua balok bergerak dengan kecepatan lurus serupa (sistem inersial). Hanya pada sistem inersial terdapatlah relativitas daripada pemendekan dan pelambatan. Apabila sebuah benda bergerak merupakan lingkaran, maka benda itu kena gaya pusungan dan relativitas itu hilang. Hal yang sama berlaku, apabila sebuah benda dipercepat atau diperlambat. Jadi kalau kapal angkasa mengelilingi bumi, hanya ukuran2 kapal itu diperpendek dan diperlambat dan bukan ukuran2 bumi.

56.

### d. Pembenaran experimntil.

Untuk waktu yang cukup lama dasar experimntil TRK sempit sekali, yaitu hanyalah percobaan Michelson pada tahun 1881. (Untuk menenangkan bagaimana gelombang2 elektro-magnet dapat menyebar dalam ruang kosong, orang dulu menerima existensi suatu ether yang mengisi seluruh ruang antara massa2 secara rata sebagai medium pengangkut gelombang2 tersebut. Untuk membuktikan existensi ether itu secara experimntil, Michelson mengadakan pertimbangan begini: Ether pengangkut gelombang2 itu memenuhi seluruh ruang kosong. Padahal bumi bergerak dalam ruang kosong. Jadi bumi bergerak juga terhadap ether. Maka cahaya (yang termasuk gelombang2 elektro-magnet, nr. 18) yang disinarkan melawan arus ether itu mestinya maju lebih lambat daripada cahaya yang disinarkan sesuai dengan arus ether itu (seperti kapal yang melawan arus sesuai dengan arus sungai). Ternyata, bahwa cahaya, bagaimanapun penyinarannya, selalu bergerak dengan kecepatan yang sama sehingga terbukti, bahwa tak ada sesuatu seperti ether itu). Namun experimen ini belum membenarkan TRK secara positif.

Pembenaran positif baru terjadi dalam tahun tigapuluh. Sekarang TRK adalah jelas terbukti secara experimntil dan tidak dapat diragukan lagi. Seluruh fisika atom modern tidak dapat dipikir tanpa rumus2 TRK. Baru waktu Dirac berhasil untuk menyesuaikan fisika atom baru penemuan Heisenberg dan Schrodinger dengan rumus TRK, beberapa fenomena tertentu dapat diterangkan. Sebagai hasil perpaduan ini existensi positron diramalkan beberapa tahun sebelum positron diketemukan. Ekuivalensi antara massa dan energi ( $E = mc^2$ ) secara langsung dibenarkan dalam produksi energi atom.

Perlambatan proses2 waktu pada kecepatan2 yang tinggi terbukti oleh karena gelombang2 cahaya yang disinarkan oleh atom2 itu makin menjadi lambat makin atom itu dipercepat (frekwensi gelombang menurun). Bukti yang terbaik untuk perbandingan waktu adalah meson. Meson yang diam hanya hidup selama 0,000.002 detik. Sedangkan meson terbang dengan hampir kecepatan cahaya, meson itu nanti dapat melalui jarak kira2 600 m. Tetapi meson2 yang terjadi dalam lapisan2 luar atmosfer ternyata melalui jarak hampir sampai ketanah bumi, artinya jarak yang sampai 100 kali lebih panjang daripada 600 m tadi. Mengapa? Meson2 itu bergerak dengan hampir kecepatan cahaya. Maka hidup diperpanjang sampai 100 kali hingga dapat melalui jalan yang jauh lebih panjang daripada "sementinya"!

Juga bertambahnya massa sebanding dengan bertambahnya kecepatan terbukti: Proton2 yang dipercepat sampai 99,94% kecepatan cahaya dalam siklotron2 raksasa menjadi 25 kali lebih berat daripada biasa.

Dengan pembenaran2 experimntil demikian maka TRK tidak dapat diragukan lagi.

57.

## 2. Teori Relativitas Umum.

Berlainan dengan TRK teori relativitas umum (TRU) belum 100% terjamin secara experimntil. Walaupun demikian TRU pada umumnya diterima oleh para ahli fi-



sika noderen.

#### a. Pernyataan2 Teori Relativita Umum:

TRU menyatakan, bahwa struktur2 geometris ruang dan waktu tergantung daripada adanya massa2 berat. Dalam hubungan ini terkenal istilah2 "kekakuan ruang" (curvature of space) dan "kekakuan waktu" (curvature of time).

##### aa. Kekakuan ruang

Apn yang dirakad dengan kekakuan ruang dapat dirumuskan begini: Apabila kita merealisasikan suatu bentuk geometris secara fisikalis, maka sifat2 bentuk tersebut menyimpang secara terstur daripada sifat2 yang seharusnya ada pada bentuk itu menurut geometri Euklid; ukuran dan macan penyimpangan itu tergantung daripada pembagian massa2 berat dalam ruang.

Kalimat itu perlu diterangkan dengan contoh. Menurut geometri Euklid jumlah sudut dalam segitiga adalah  $180^\circ$ . Sekarang kita pasang sebuah segitiga rakasa mengelilingi matahari, misalnya dengan memasang tali pada batang2 yang keluar di tiga tempat di matahari. Tali2 itu kita kencangkan. Untuk memocokkan apakah tali-tali memang lurus, kita bawa sebuah gyro-compass mengikuti tali2 itu. Ternyata tali2 itu lurus. Sekarang kita ukur jumlah sudut: ternyatalah kita mendapat  $\Delta$  akan angka yang sedikit lebih besar daripada  $180^\circ$ . Kita dapat memperbaiki syarat2 percobaan. Setelah kita mendapat jumlah yang berkonvergensi pada angka yang sedikit lebih daripada  $180^\circ$ . Seandainya segitiga itu kita pasang keliling bintang yang 10 kali lebih berat daripada matahari, penyimpangan dari jumlah  $180^\circ$  akan 10 kali lebih besar.

Perlu diperhatikan: penyimpangan jumlah sudut segitiga itu tidak dapat diterangkan dengan alasan, bahwa tali2 oleh beratnya matahari ditarik sedikit ke jurusan matahari. Karena dengan demikian sudut2 malah akan menjadi lebih tajam dan jumlahnya akan kurang daripada  $180^\circ$ .

Apakah yang terjadi, kalau segitiga itu dipasang sedemikian rupa sehingga matahari berada di luarnya? Lalu kita mendapat jumlah sudut yang sedikit lebih kecil daripada  $180^\circ$ .

TRU juga mengatakan: Hubungan terpendek antara dua titik tidak tentu garis lurus. Dan: terhadap suatu garis g secara prinsipil mungkin lebih dari satu garis paralel melalui suatu titik P. Prinsip2 ilmu ukur Euklid tidak berlaku dalam realita.

Itu dapat menjadi lebih jelas dengan contoh segitiga di atas bola. Umpamanya 300 tahun yang lalu dipasang segitiga rakasa diatas seluruh daerah Eurasia, orang2 tidak akan dapat menerangkan, mengapa jumlah sudut tidak sama dengan  $180^\circ$ . Sekarang kita tahu, bahwa bumi itu bundar dan bahwa karenanya garis2 yang kelihatan lurus ternyatalah keluk adanya. Tetapi perlu diperhatikan perbedaan ini: kita sekarang mempunyai model bumi yang sesuai, yaitu globus, sehingga dapat kita bayangkan, bagaimana bentuk segitiga itu "sebenarnya" dan mengapa segitiga itu "kekakuan" adanya. Tetapi pernyataan2 TRU secara prinsipil tidak dapat dibuat modelnya dan karena itu tidak dapat dibayangkan.

TRU mengajar pula: Sebuah kapal angkasa yang dikirini lurus keatas dan tetap tidak pernah berubah jurusannya, sesudah bernilyar-nilyar tahun akan menabrak bumi dari belakang, dan itu walaupun kapal itu terbang terus lurus saja ke depan. Itupun dapat kita bayangkan: suatu garis lurus dalam ruang berdimensi dua mungkin saja kembali dari "belakang" dalam ruang berdimensi tiga. Itulah sebabnya Columbus mengharapkan, bahwa ia akan kembali ke Spanyol melalui India, apabila ia berlayar dari Spanyol terus ke barat. Namun dalam ruang berdimensi tiga tidaklah mungkin untuk membayangkan pernyataan2 TRU.

58.

##### bb. "Kekakuan Waktu"

Dimensi spasial dan dimensi temporal merupakan dinansi dasar materi. Kalau sifat2 geometris (spesial) benda2 dipengaruhi oleh adanya massa2 berat, hal itu-pun dapat diharapkan mengenai dimensi2 temporal. Ternyata TRU menyatakan, bahwa semua proses waktu diperlambat bila berdekatan dengan massa2 berat: Getaran2 atom dan penyinaran cahaya yang bersangkutan dengan itu, jalannya arloji, proses2 fisiologis pada organisme hidup dan dengan demikian baik masa waktu maupun proses-proses tumbuh dan menjadi-tua biologis. Perlambatan2 itu pada umumnya sedikit sekali. Di permukaan matahari semua proses diperlambat 2 perjuta, di Sirius (30.000 lebih banyak gravitasi dari bumi) perlambatan adalah 1/20.000. Seseorang yang dipindahkan ke Sirius langsung sesudah lahir dan sesudah 60 tahun kembali ke bumi, dalam waktu itu menjadi 24 jam kurang tua daripada saudara kembarnya di bumi.

59.

cc. Beberapa kesimpulan tentang ruang dan waktu.

Kita harus membedakan antara ruang imajinasi dan ruang real, dan juga antara waktu imajinasi dan waktu real.

Ruang imajinasi dapat kita definisikan: keseluruhan segala posisi dalam dimensi berdimensi yang terdapat pada benda2 tangkapan pencacindera menurut imajinasi kita, sejauh keseluruhan itu dianggap sesuatu yang berdiri sendiri. Dalam ruang imajinasi itu berlakulah geometri Euclid.

Ruang real dapat kita definisikan sebagai keseluruhan segala posisi dalam dimensi berdimensi yang terdapat pada benda2 tangkapan pencacindera dalam realita, sejauh keseluruhan itu dianggap sesuatu yang berdiri sendiri.

Ruang real itu tidak identis dengan ruang imajinasi, karena dalam ruang geometri Euclid tidak selalu berlaku. Ruang real dalam struktur2 geometriannya ditentukan oleh adanya massa2 berat. Itu berarti: Apa yang disebut "kekeluargaan ruang" adalah struktur geometris ruang itu sendiri. Tidak ada ruang tanpa massa berat. Ruang itu bukan lain daripada medan fisikalis daripada massa2 berat.

Begitu pula kita harus membedakan antara waktu imajinasi dan waktu real.

Waktu imajinasi dapat kita definisikan sebagai: keseluruhan segala posisi dalam dimensi ber-turut2 yang terdapat pada proses2 menurut imajinasi kita, sejauh keseluruhan itu dianggap berdiri sendiri. Waktu ini berlaku di mana2 dan mutlak. Apa yang ada harus kita bayangkan sebagai termuat dalam waktu itu. Menurut waktu itu terdapat kesamaan waktu mutlak juga antara peristiwa2 yang berjaruhan.

Waktu real dapat kita definisikan sebagai: keseluruhan segala posisi dalam dimensi ber-turut2 yang terdapat pada proses2 dalam realita, sejauh keseluruhan itu dianggap berdiri sendiri.

Waktu real itu tergantung daripada adanya massa2 berat. Tanpa massa berat tidak masuk akal bicara tentang waktu. Ternyata waktu real tidak identis dengan waktu imajinasi hasil bayangan kita.

Maka kita dapat berkata: menurut TRU tidak ada ruang dan waktu tanpa materi dan juga tidak mungkin ada materi tanpa ruang dan waktu. Kedua-duanya menurut fisika modern (lain daripada menurut fisika Newton) tidak dapat di-pisah2-kan. Dari satu pihak materi dapat disebut simpul waktu-ruang, dari lain pihak waktu dan ruang dapat disebut medan materi.

nb: kadang2 ditanyakan: apakah waktu dan ruang itu ada? Pertanyaan ini sebetulnya tidak begitu tepat kalau dilepaskan daripada suatu pemikiran terhadap manusia seluruhnya. Ruang dan waktu adalah bentuk2 imajinasi kita: mau tak mau segala-galanya kita "lihat" dalam ruang dan waktu. Maka waktu dan ruang sendiri tak mungkin "ada" dalam arti seperti hal2 lain, karena lentas ruang dan waktu harus dilihat dalam ruang dan waktu lain lagi. Bagi kita di sini cukuplah ini: ruang dan waktu sendiri tidak ada, mereka adalah istilah pembantu orang fisikus. Yang ada hanyalah posisi2 dalam dimensi berdimensi dan berturut-turut itu, tetapi keseluruhan sebagai sesuatu yang berdiri sendiri tidak ada (dalam artinya: benda yang ada). Itu berlaku baik bagi ruang/waktu imajinasi maupun bagi ruang/waktu real. Sebagai sesuatu yang berdiri sendiri kedua-duanya merupakan benda fikiran belaka. Yang real dalam ruang/waktu real adalah, bahwa keseluruhan posisi2 betul2 terdapat pada benda-benda itu, sedangkan dalam ruang/waktu imajinasi keseluruhan posisi2 itu tidak betul2 terdapat pada benda2.

↳ tidak disebabkan oleh kekuatan fisikalis apapun (gravitasi, penyinaran, macam2 energi dll.). Melainkan "kekeluargaan ruang"

60. b. Arti Teori Relativita Umum.

TRU mengatasi TRK karena ia juga memuat gerakan2 yang dipercepat seperti gerakan2 lingkaran (jadi berlaku dalam semua sistim, bukan hanya dalam sistim2 inersial). Dengan demikian sama sekali tidak mungkin lagi untuk menastikan suatu gerakan absolut. Itu dicapai Einstein dengan menyorotkan dua fenomena yang sebetulnya tak ada hubungan: inersi (massa lemban) dan gravitasi (massa berat). Selalu sudah diketahui, bahwa massa berat sebuah benda adalah selalu sama dengan massa lembannya. Benda yang dua kilo beratnya membutuhkan tenaga yang dua kali lebih besar untuk dirubah keadaan bergelaknya daripada benda yang satu kilo beratnya. Dari kesesuaian itu Einstein menarik kesimpulan, bahwa kedua-duanya mempunyai alasan yang sama, yaitu bahwa struktur ruang dan waktu ditentukan oleh adanya massa2 berat. Jadi gravitasi dan inersi sebetulnya sama sekali tidak merupakan kekuatan melainkan hanya a menunjukkan strukturasi ruang dan waktu pada tempat itu. Einstein mempergunakan contoh ini: Dari tingkat atas seseorang mengamati anak2 yang main kelereng di pekarangan. Si pengamat heran kenapa kelereng2 itu selalu mengikuti lintasan2 tertentu. Dari ketinggianya tidak dapat dilihatnya, bahwa anak2 telah membuat alur2 halus dalam tanah, sehingga tanah yang sebetulnya rata itu mempunyai struktur tertentu dan menaksakan kelereng2 itu mengikuti lintasan2 tertentu. Begitu adanya massa2 berat mengalukan dan menstrukturkan ruang dan wak-

tu sehingga benda2 bergerak dalam lintasan2 keluk. Jadi sebuah benda yang jatuh atau mengelilingi dunia tidak berbuat demikian karena ditarik oleh kekuatan gravitasi atau inerti, mereka bahkan sama sekali tidak berada dibawah pengaruh suatu kekuatan melainkan mengikuti "garis-duniarnya" masing2, sesuai dengan struktur tempat dan waktu pada simpul waktu-ruang mereka masing2. Rasa berat atau rasa lembam hanya berarti bahwa benda yang terasa begitu dicegah untuk mengikuti garis-duniarnya oleh pengaruh kekuatan luar (misalnya oleh tangan yang mengangkat batu atau tendangan yang menggerakkan kereta). Sekali lagi kita di sini melihat hubungan erat antara materi dan ruang/waktu.

#### 61. c. Pembenaran empiris Teori Relativitas Umum.

TRU meramalkan tiga efek yang dapat dibenarkan secara empiris, yang kemudian ternyata terdapat, yaitu: 1. peredaran perihel Mercurius, 2. penyimpangan sinar cahaya di dekat massa2 berat dan 3. pergeseran merah garis2 spektrum di medan berat.

1. Peredaran perihel Mercurius. Seperti semua planet begitu pula Mercurius mengikuti lintasan berbentuk elipsis, dengan matahari sebagai pusat satuanya. Peros panjang elipsis itu tidak mempertahankan posisinya dalam ruang melainkan perlahan-lahan berputar mengelilingi matahari. Jadi titik terdekat pada matahari daripada lintasan Mercurius (disebut perihel) perlahan-lahan mengelilingi matahari. Putaran perihel itu sebagian besar diterangkan oleh daya tarik planet2 lainnya, tetapi tinggal sisa yang baru dapat diterangkan dengan TRU.

2. Penyimpangan sinar cahaya di dekat massa2 berat: Pada saat gerhana matahari ternyata kelihatan sinar beberapa bintang yang sebelumnya tertutup oleh matahari. Jadi sinar itu mengikuti lintasan keluk dipengaruhi oleh masa matahari.

3. Pelambatan proses2 fisikalis di dekat massa2 berat berarti, bahwa getaran-getaran gelombang elektro-magnetik diperlambat. Pada cahaya itu berarti, bahwa garis-garis spektrum di dekat massa2 berat harus bergeser ke-merah. Ternyata pergeseran ke-ujung merah telah dikemukakan dalam garis2 spektrum bintang2 yang amat berat. Begitu pula dipastikan, bahwa panjang gelombang sinar gamma menjadi lebih panjang di dekat massa2 berat: sinar2 gamma di atas menara tinggi berpanjang-gelombang lebih pendek daripada sinar2 gamma di permukaan bumi.

Karena b dan c diatas sulit dapat dipastikan, maka belum dapat dikatakan, bahwa teori relativitas umum telah 100% terbukti secara empiris.

#### D. Gambaran dunia fisika lama dan baru

#### 62. Uraian tentang fisika kuantum dan tentang teori relativitas menunjukkan bahwa ilmu fisika mengalami suatu revolusi dalam tigapuluh tahun pertama abad ini. Perubahan revolusioner itu dapat dijelaskan dengan beberapa anti-tesis:

- Dulu pengetahuan ilmu alam dianggap dasar terjamin dan tak terbantah bagi segala macam pengetahuan. Sekarang ilmu alam kehilangan kemungkinannya untuk membuat model alam. Fisika tidak lagi memahami alam melainkan hanya mendeskripsikannya secara matematis. Fisikus Pascual Jordan mengungkapkan hal itu begini: "Biasanya orang beranggapan, bahwa uraian sistematis teori pengetahuan adalah mirip dengan pembangunan sebuah gedung yang harus dicarikan dasar yang mutlak dapat dipercayai dan terjamin. Atas dasar ini bangunan dimulai, tembok2 dasar diikuti dengan tingkat2 yang semakin tinggi....."

Tetapi menurut konsep saya ilmu alam dapat diperbaiki dengan gedung yang dengan amat berahi didirikan di tengah2 rawa yang tak berdasar. Karena tidak ada dasar karang yang tak dapat diragukan kekuatannya, maka terpekas bangunan dimulai dari beberapa tempat yang kelihatan lebih kuat. Baru dalam proses pembangunan kita dapat menilai dengan lebih seksama kekuatan landasan yang dipilih. Demikian bangunan harus diteruskan baik ke atas maupun ke bawah....."

- Dulu pengetahuan tentang alam dianggap pengetahuan tentang realita yang tak dapat diragukan dan tidak tergantung daripada kita (pengetahuan itu sering dilawan dengan pengetahuan agama). Sekarang ternyata realita fisikalis ditentukan juga oleh subyek pengetahuan.

- Kategori ruang dan waktu dianggap berlaku mutlak. Sekarang teori relativitas mengajari, bahwa panjang dalam ruang dan waktu itu sesuatu yang relatif, tergantung dari keadaan pengukur.

- Fisika klasik berpendapat, bahwa bagian2 terkecil materi berupa bola2 kecil yang bergerak menurut hukum2 mekanika klasik, sama dengan benda2 besar seperti bintang2. Segala fenomena sampai ke fenomena kerohanihan manusia dianggap dapat diterangkan dengan gerakan2 bagian2 itu dalam ruang. "Akhirnya kami berpendapat bahwa ilmu fisika bertugas untuk mereduksikan fenomena2 alam kepada kekuatan2 atraksi dan repulsi yang tak berubah, yang intensitasnya selalu tergantung dari



jaraknya. Pemecahan lengkap persoalan itu berarti penjelasan komplis daripada alan" (von Helmholtz), Tetapi menurut fisika kuantum gambaran korpuskel itu hanya merupakan satu kemungkinan untuk menggambarkan bagian2 dasar. Penggambaran lengkap harus memakai juga gambaran gelombang. Kedua gambaran itu dipersatukan dalam formalisme matematis yang mempunyai hukum2 yang sama sekali baru dibandingkan dengan mekanika klasik. Ternyataah mekanika klasik tidak berlaku dalam alam-makro.

- Materi dulu dianggap tidak dapat berubah dan abadi. Kedua anggapan ini sekarang diragukan. Bahwa tidak ada bentuk dasar materi yang tak berubah telah kita lihat (nr 43 s/d 48). Tetapi juga diragukan, apakah materi tidak mempunyai permulaan. Pertama-tama harus dicatat: permulaan materi sebelumnya di luar ilmu fisika. (karena ilmu fisika hanya memperhatikan materi yang sudah ada). Tetapi dapat diterima, bahwa ilmu fisika memberikan data2 kepada refleksi filsafah yang condong ke arah adanya atau tidak adanya permulaan. Ternyata ada dua perkembangan yang lebih mudah dapat diterangkan kalau materi pernah mulai daripada kalau materi itu abadi. (tetapi perhatikanlah: kita hanya bicara tentang suatu tendensi; tendensi ini dapat berubah kalau ada kemajuan ilmu fisika dan astronomi lagi; yang mau kami perlihatkan hanyalah ini: dari sudut fisika tak ada alasan sedikikampung untuk lebih menganggap materi itu abadi daripada tidak abadi).

1. Ada tiga fenomena yang menunjukkan, bahwa alam semesta dalam bentuk sekarang tidak berumur lebih daripada 5 sampai 10 milyar tahun. (a). Pembongkaran radioaktif Uran: dalam waktu 4,5 milyar tahun unsur uran terongkar sebanyak 50% menjadi timah hitam. Maka dari itu relasi antara uran dan timah hitam pada satu tempat memungkinkan untuk memperhitungkan kapan uran ditempat itu membeku. Dengan demikian diperhitungkan, bahwa kulit bumi membeku kira2 4 sampai 5 milyar tahun j.l. (b). 1929 Hubble menemukan pergeseran ke arah merah dalam cahaya sistim2 bintang tetap yang amat jauh. Itu rupa2-nya berarti, bahwa sistim2 itu menjauhi kita dengan kecepatan yang amat besar. Bilamana dianggap bahwa gerakan itu juga terjadi dalam masa lampau, maka dapat diperhitungkan, bahwa kira2 5 sampai 10 milyar tahun yang lalu semua bintang meletus dari satu titik tolak (tentu saja fisika tidak dapat mengatakan apa yang terjadi sebelum "letusan purba" itu). (c). Sistim galaksi kita berputar sekali mengelilingi porosnya setiap 220 juta tahun. Menurut perhitungan Eddington belum ada banyak putaran yang terjadi, karena seandainya galaksi kita sudah lama berputar, bintang2 dalam sistim itu tentu terbagi lebih merata.

2. Salah satu astronomi moderen adalah "Steady-State-Theorie". Menurut teori ini (teori ini memang hanya suatu teori) kepadatan materi di alam raya adalah tetap sama. Tetapi alam raya terus ber-expansi pesat. Supaya ekspansi itu tidak mengurangi kepadatan materi, harus dianggap, bahwa terus menerus ada materi yang baru dilahirkan/terjadi di alam raya. Maka dapat diperhitungkan, bahwa kira2 5 sampai 10 milyar tahun yang lalu semua bintang meletus dari satu titik tolak (tentu saja fisika tidak dapat mengatakan apa yang terjadi sebelum "letusan purba" itu). (c). Sistim galaksi kita berputar sekali mengelilingi porosnya setiap 220 juta tahun. Menurut perhitungan Eddington belum ada banyak putaran yang terjadi, karena seandainya galaksi kita sudah lama berputar, bintang2 dalam sistim itu tentu terbagi lebih merata.

- Fisika klasik berpendapat, bahwa segala kejadian di dunia berada di bawah determinasi mutlak hukum2 alam. Tetapi dari fisika kuantum kita tahu, bahwa semua hukum alam hanya bersifat statistis dan bahwa benda2 mikro tidak terdeterminasi.

63. Akhirnya perlu memperhatikan dua hal: Pertama: walaupun hukum2 makrokosmos hanya bersifat statistis, mereka tetap berlaku. Mereka berlaku selalu, tetapi tidak di mana2 (tidak dalam mikrokosmos) dan tidak mutlak. Gerhana2 selalu akan diperhitungkan menurut hukum2 mekanika Newton. Kemajuan fisika baru memuat hukum2 klasik sebagai bagian2nya dan membatasi berlakunya.

Kedua: Yang harus dicela pada gambaran fisika klasik bukanlah pendapat2 fisikalis. Pendapat2 ini tidak salah melainkan hanya sekarang agak dibatasi berlakunya. Yang harus dicela adalah kesimpulan2 yang ditarik dari fisika itu ke bidang2 lain, misalnya antropologi filsafah dan agama. Kesimpulan2 itu tidak dibenarkan oleh metode ilmu alam sendiri, melainkan berupa keputusan filsafah ideologis apriori yang digantungkan pada fisika. Sekarangpun kita perlu belajar dari pengalaman itu: Fisika moderenpun tidak boleh dipakai untuk menarik kesimpulan2 yang tidak wajar.