



FISIKA MODERN

Staf Pengajar Fisika
Departemen Fisika, FMIPA, IPB

MANFAAT KULIAH

- Memberikan pemahaman tentang fenomena alam yang tidak dapat dijelaskan melalui fisika klasik
 - Fenomena alam yang berkaitan dengan kecepatan yang sangat tinggi
 - Fenomena alam yang berkaitan dengan kelakuan cahaya dan partikel yang sangat kecil (ukuran mikron dan yang lebih kecil dari itu)

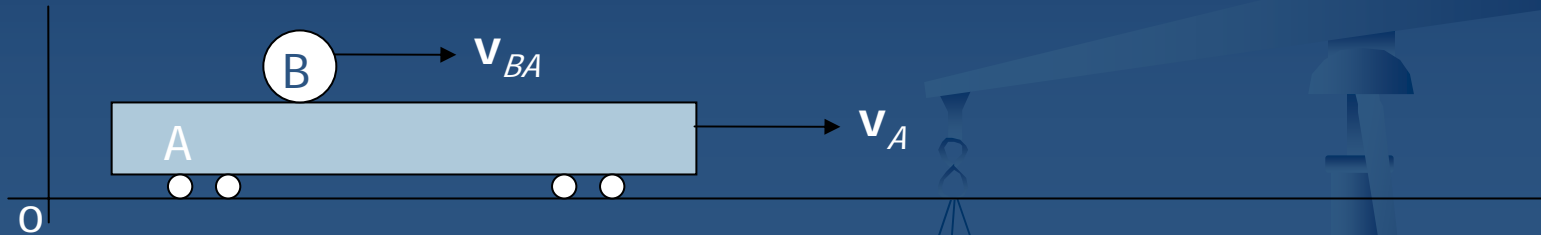
TUJUAN INSTRUKSIONAL

- Setelah mengikuti kuliah ini mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan berbagai fenomena alam (yang berkaitan dengan kecepatan yang sangat tinggi dan fenomena alam yang berkaitan dengan sifat cahaya dan partikel dengan ukuran sangat kecil) melalui teori fisika modern

POSTULAT RELATIVITAS KHUSUS

Secara klasik:

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_{BA} + \mathbf{v}_A$$

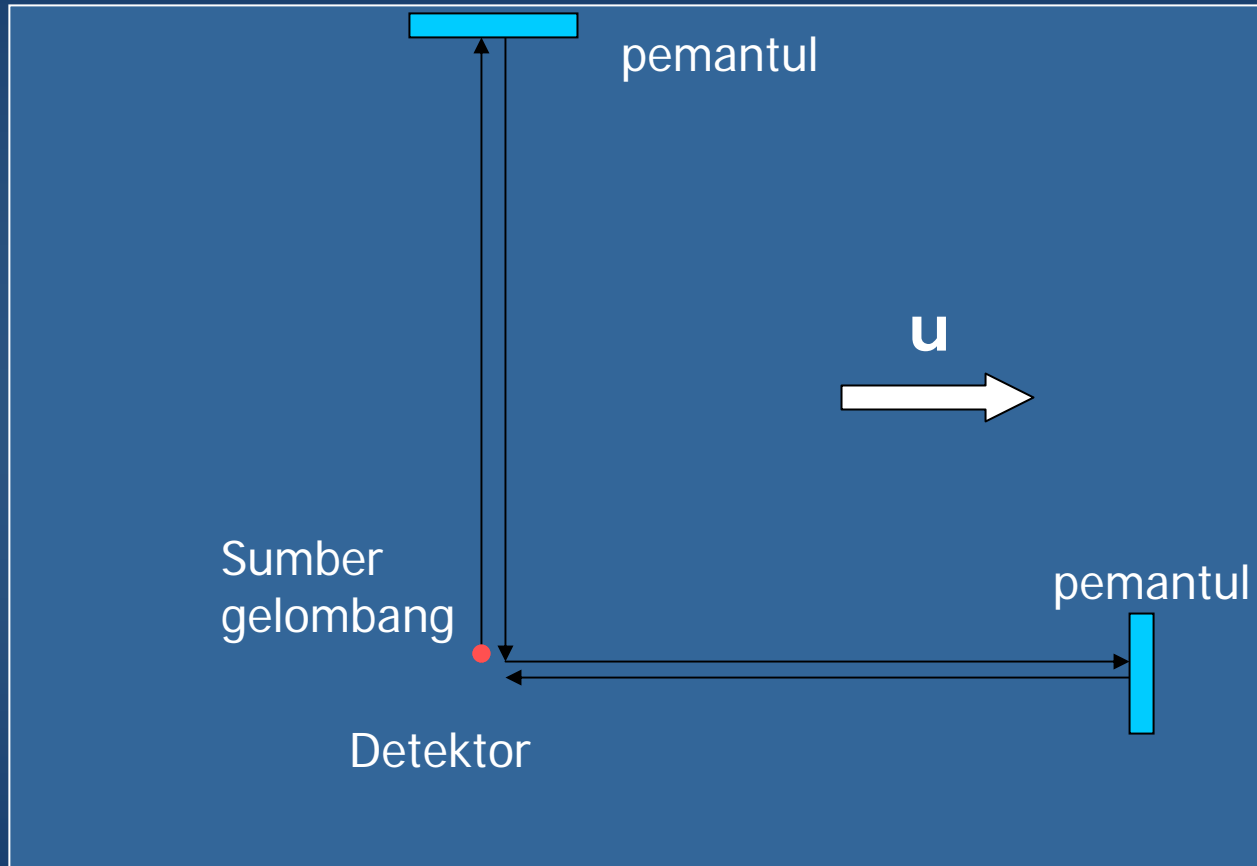


Berlaku juga untuk penjalaran gelombang mekanik yang menjalar dalam medium yang bergerak:

$$\mathbf{w} = \mathbf{u} + \mathbf{v}$$

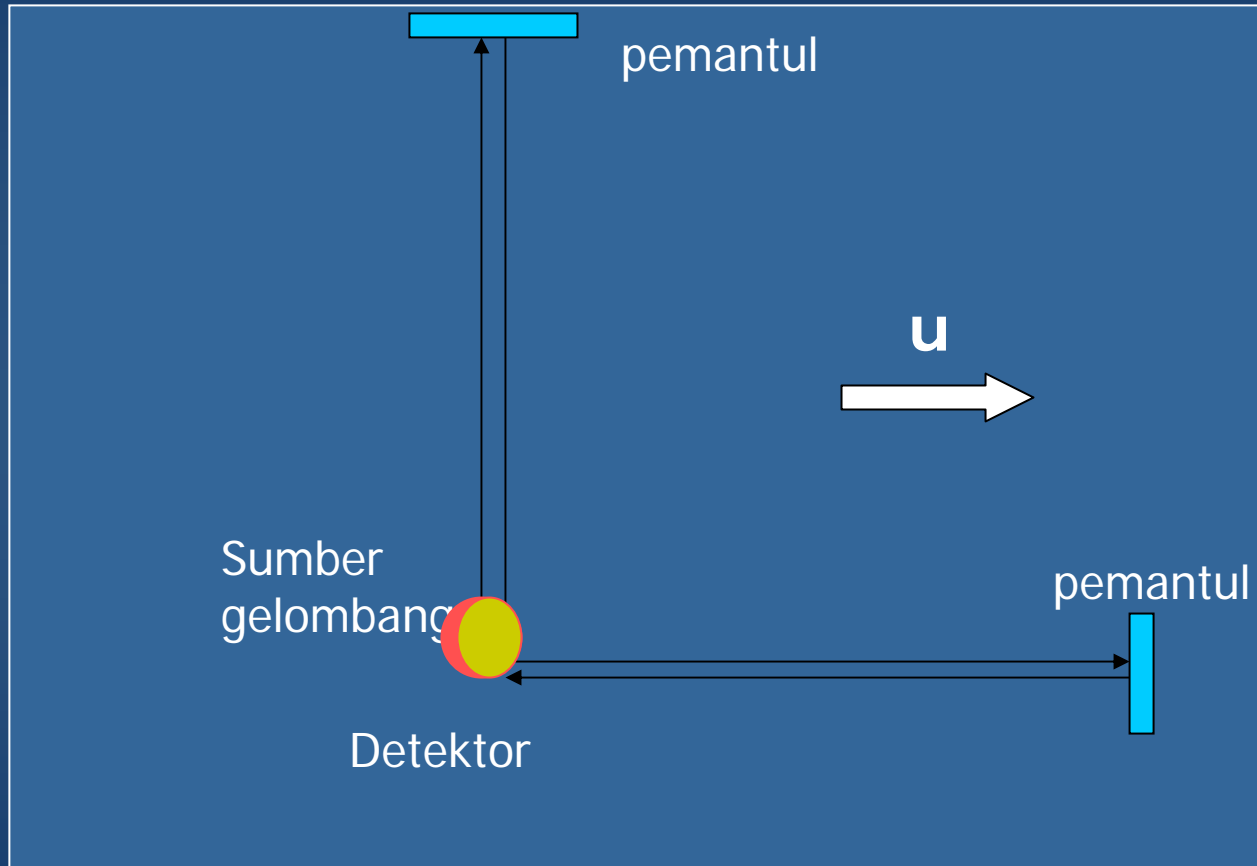
- \mathbf{v} : kecepatan gelombang dalam medium
- \mathbf{u} : kecepatan medium terhadap pengamat
- \mathbf{w} : kecepatan gel. terhadap pengamat

Penjalaran Gelombang Mekanik dalam Medium yang Bergerak



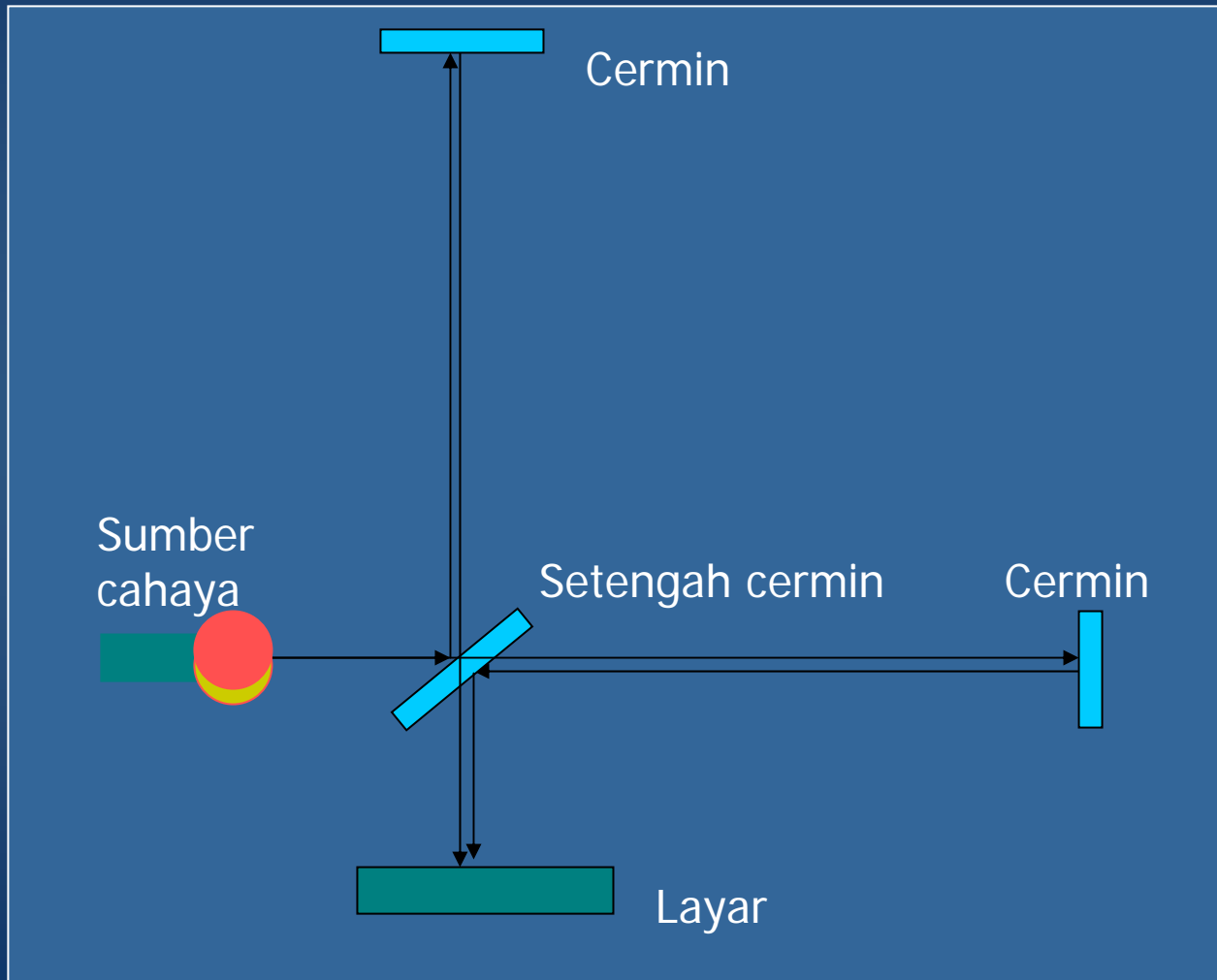
Kedatangan pulsa gelombang tidak bersamaan

Penjalaran Gelombang Mekanik dalam Medium yang Bergerak



Kedatangan pulsa gelombang tidak bersamaan

Percobaan Michelson-Morley



Kedatangan kedua pulsa cahaya di layar **bersamaan!!!**

POSTULAT RELATIVITAS KHUSUS

Hasil percobaan Michelson-Morley tidak dapat dijelaskan melalui Fisika Klasik. Maka Einstein mengemukakan dua postulat relativitas khusus:

- Prinsip relativitas: hukum fisika dapat dinyatakan dalam persamaan yang berbentuk sama dalam semua kerangka inersial, yaitu kerangka-kerangka yang bergerak dengan kecepatan tetap sama lain
- Kelajuan cahaya dalam ruang hampa sama besar untuk semua pengamat dan tidak tergantung pada gerak pengamat

Konsekuensi dari Postulat Relativitas Khusus

- Pemuaian waktu: selang waktu yang diamati oleh pengamat yang bergerak terhadap kejadian lebih besar dibandingkan yang diamati pengamat yang diam terhadap kejadian
- Pengerutan panjang: panjang benda yang diamati oleh pengamat yang bergerak terhadap benda tsb lebih kecil dibandingkan yang diamati oleh orang yang diam terhadap benda tersebut

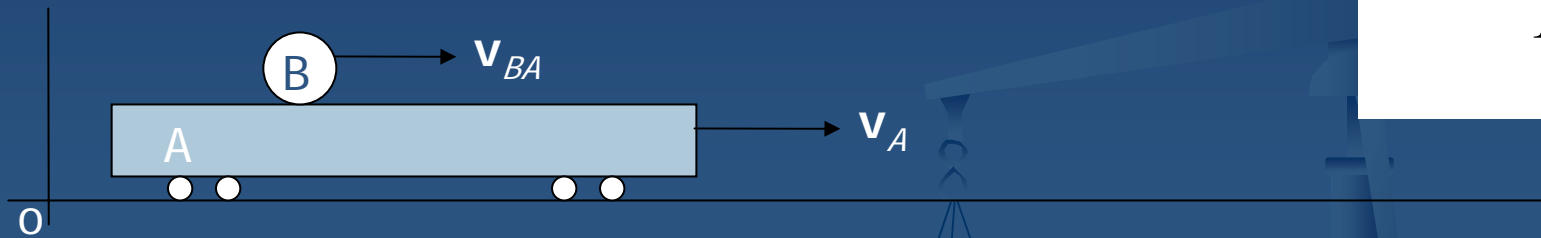
$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Contoh Soal: Jarak antara dua titik A dan B di permukaan bumi adalah 600 km. Sebuah pesawat super cepat bergerak dengan kelajuan $0,8 c$ melintasi kedua titik tersebut. (a) Tentukan jarak A ke B menurut pilot pesawat. Tentukan waktu yang diperlukan pesawat untuk melintasi kedua titik tersebut (b) menurut orang di bumi dan (c) menurut pilot pesawat.

Jawab: (a) 360 km; (b) $2,5 \times 10^{-3}$ s; (c) $1,5 \times 10^{-3}$ s

Penjumlahan Kecepatan



$$v_B = \frac{v_{BA} + v_A}{1 + \frac{v_{BA} v_A}{c^2}}$$

Contoh: Sebuah kereta bergerak dengan kelajuan 18 m/s sementara di dalam kereta seorang kondektur berjalan dengan kelajuan 1 m/s. Apakah rumus penjumlahan kecepatan relativistik berlaku untuk persoalan ini? Jelaskan jawaban anda.

Contoh: Sebuah roket bergerak dengan kelajuan $0,8c$ menuju bumi. Kemudian roket mengirimkan sinyal elektromagnetik ke arah bumi. Tunjukkan melalui rumus penjumlahan relativistik bahwa kelajuan sinyal tersebut bagi orang di bumi adalah c juga.

Kesetaraan Massa dengan Energi

- Massa relativistik: benda yang bergerak mempunyai massa yang lebih besar dibandingkan jika dia diam
- Kesetaraan massa-energi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

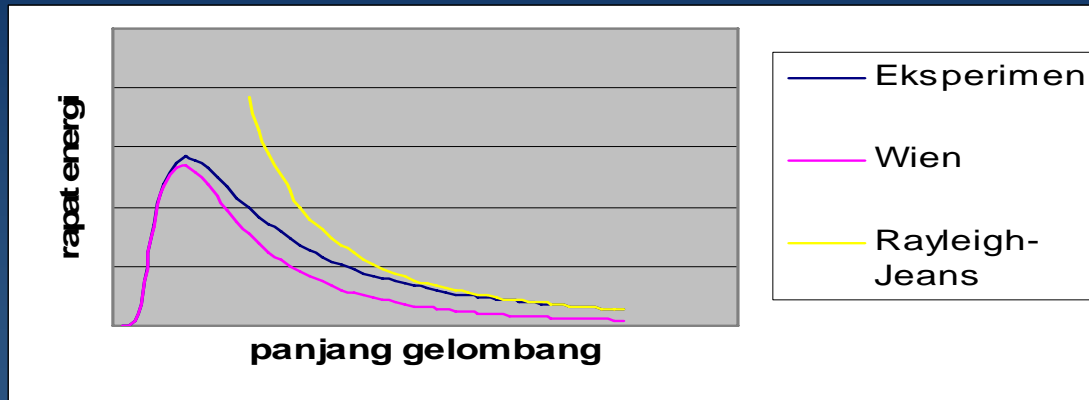
$$E = mc^2$$

Contoh soal: Apakah massa 1 mol es sama dengan massa 1 mol air?
Jelaskan jawaban anda!

Tentukan energi total yang terkandung dalam seongkah batu yang massa diamnya 1 kg jika dia bergerak dengan kelajuan 0,6 c

(Jawab: $1,125 \times 10^{17}$ J)

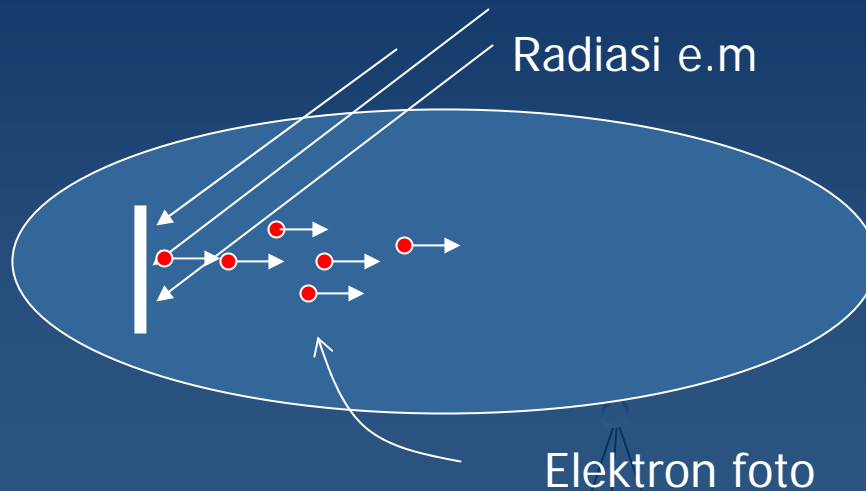
Radiasi Benda Hitam



- Wien dengan model fungsi tebakannya (kurva merah) mendapatkan hasil sesuai dengan untuk panjang-gelombang kecil (frekuensi tinggi)
- Rayleigh & Jeans dengan model fisika klasik (kurva kuning) mendapatkan hasil sesuai dengan panjang-gelombang besar (frekuensi rendah). Hasil ini disebut bencana ultraviolet
- Planck (1900) menemukan rumus dengan menginterpolasikan rumus Wien dan rumus Rayleigh-Jeans dengan mengasumsikan bahwa terbentuknya radiasi benda hitam adalah dalam paket-paket dengan energi per paket :

$$E = hf$$

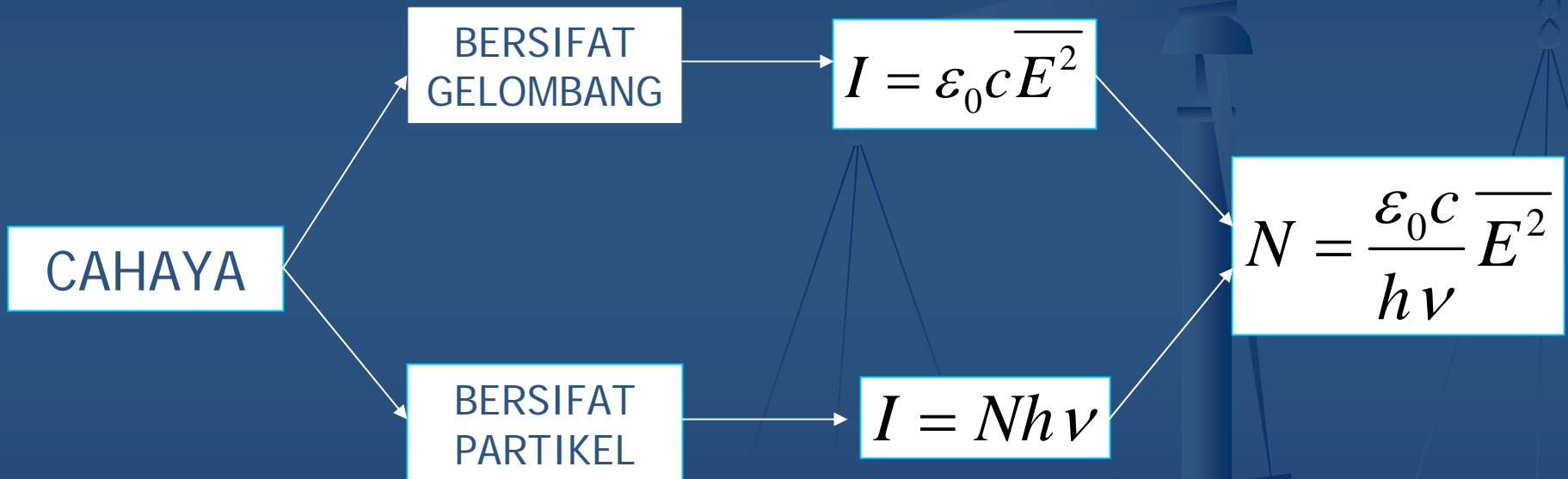
EFEK FOTOLISTRIK



- Jika logam mengkilat di iradiasi, dia akan memancarkan elektron
- Ada frekuensi ambang yang bervariasi dari satu logam ke logam yang lain: hanya cahaya dengan frekuensi lebih besar dari frekuensi ambang yang akan menghasilkan arus elektron foto
- Einstein: Efek fotolistrik merupakan peristiwa tumbukan antara partikel radiasi e.m. (foton) dengan elektron.
- Energi Kinetik Maksimum elektron yang terlepas:

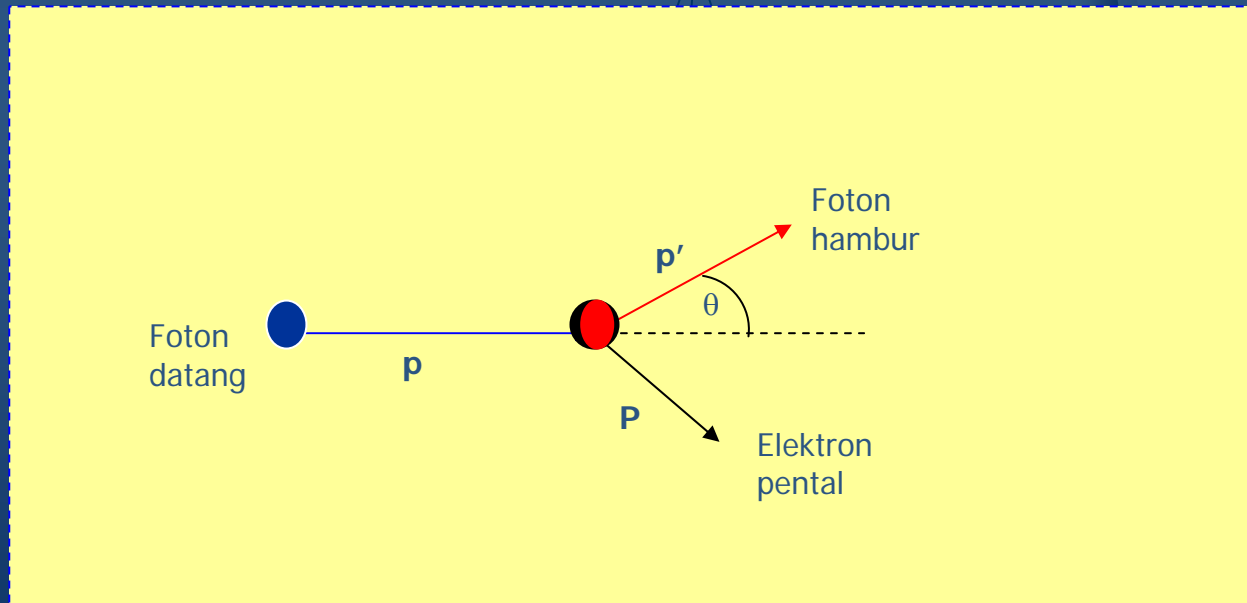
$$K = hf - W$$

APAKAH CAHAYA ITU?



EFEK COMPTON

- Efek Compton merupakan bukti paling langsung dari sifat partikel dari radiasi e.m.



GELOMBANG DE BROGLIE

- Foton berfrekuensi ν mempunyai momentum:
- Panjang gelombang foton:
- De Broglie mengusulkan agar persamaan panjang gelombang tersebut berlaku umum, baik bagi foton maupun bagi materi. Panjang gelombang de Broglie: m adalah massa relativistik. Usulan de Broglie ini dapat dibuktikan dengan percobaan difraksi elektron oleh Davisson & Germer

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

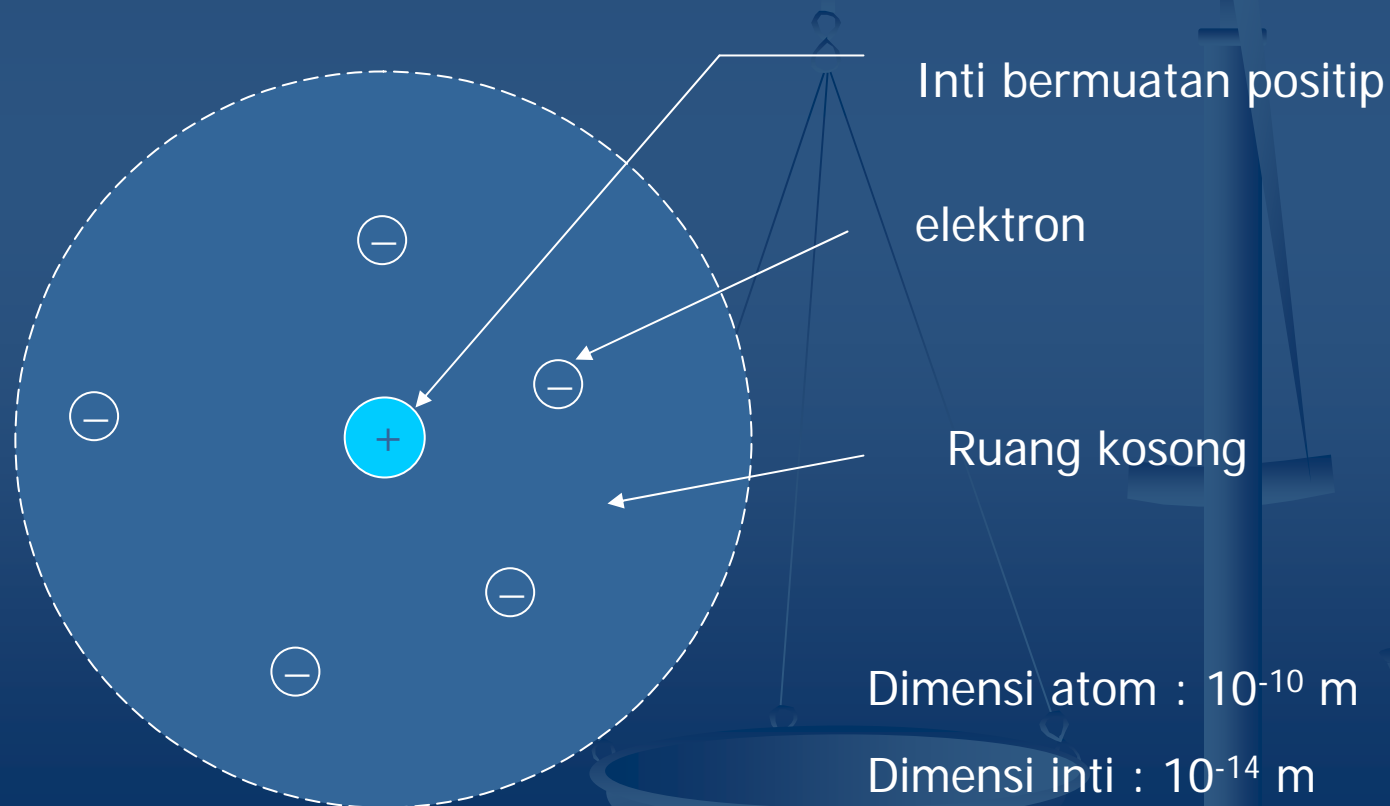
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Contoh Soal: hitung panjang gelombang de Broglie dari (a) kelereng bermassa 10 gram yang bergerak dengan kelajuan 10 m/s (b) elektron yang bergerak dengan kelajuan 10^7 m/s. Berikan ulasan dari hasil perhitungan tersebut

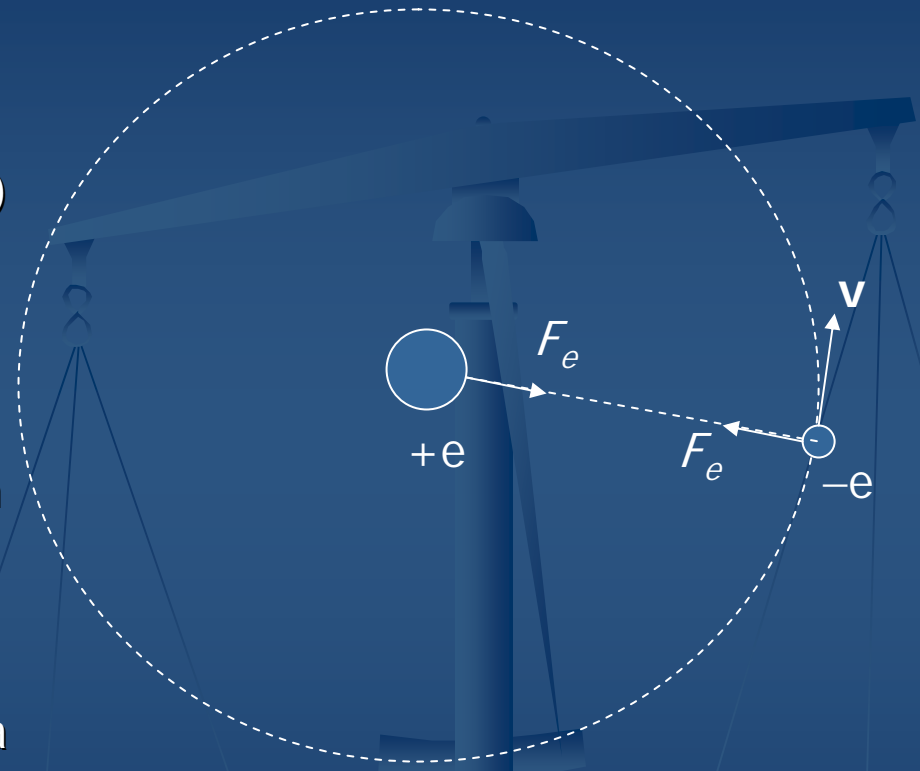
Model Atom

- Thompson: model roti kismis. Model ini gagal karena tidak sesuai dengan hasil percobaan hamburan Rutherford.
- Model Atom hasil percobaan hamburan Rutherford:



ORBIT ELEKTRON

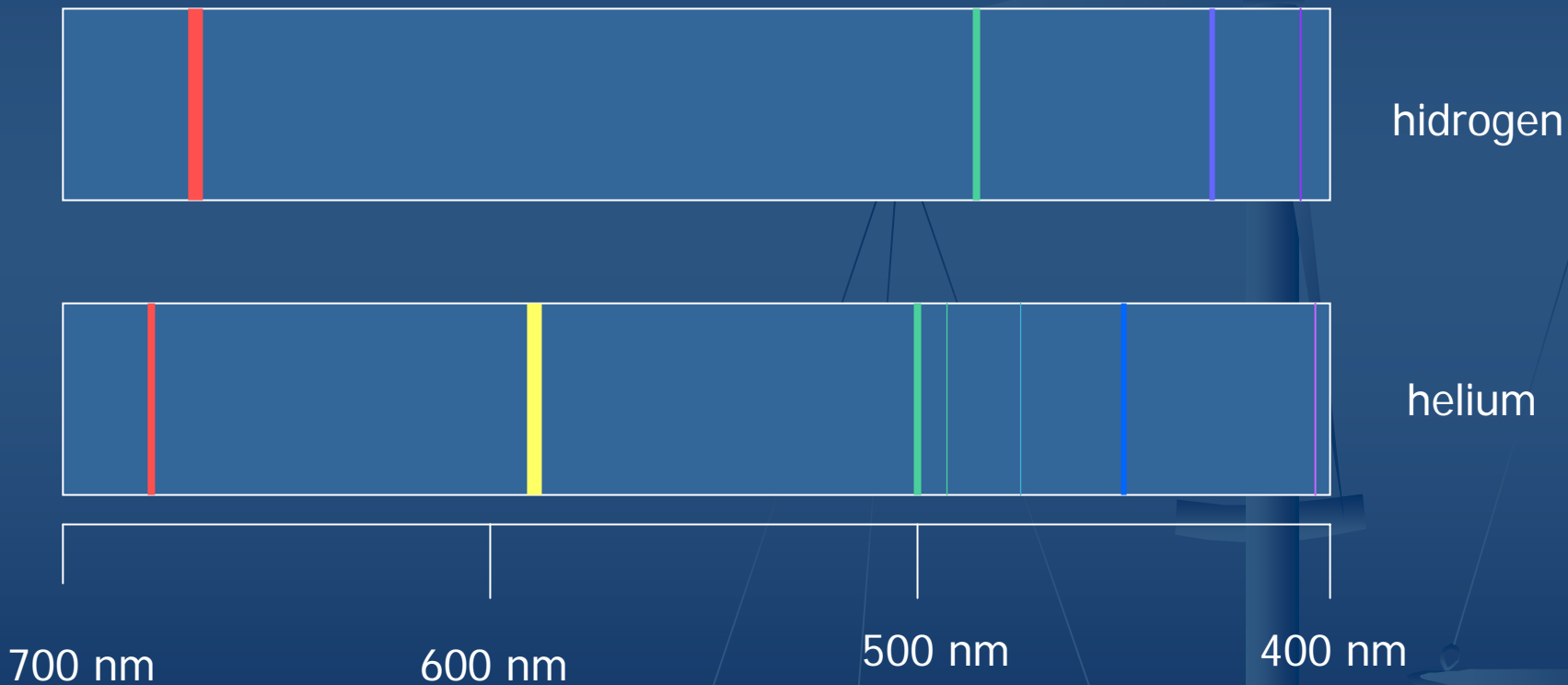
- Tinjau Atom Hidrogen
- Mekanika: Elektron harus dalam keadaan bergerak mengorbit agar tidak jatuh ke inti (model tata surya)
- Listrik Magnet: Muatan yang dipercepat harus memancarkan gelombang elektromagnetik
- **Jika teori klasik (mekanika dan listrik-magnet) harus dipenuhi seharusnya tidak terdapat atom yang stabil**
- **Kenyataan:** atom-atom secara umum berada dalam keadaan stabil. Walaupun atom memancarkan gelombang e.m., maka spektrumnya adalah spektrum diskrit



TEORI KLASIK GAGAL MENJELASKAN FENOMENA ATOMIK

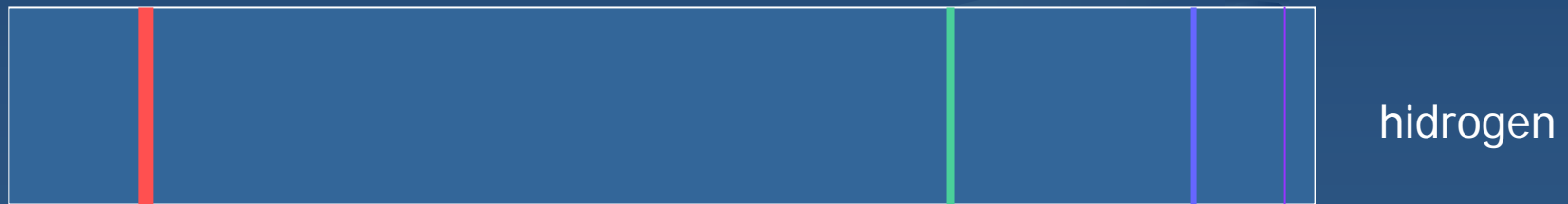
SPEKTRUM ATOMIK

- Setiap unsur memiliki spektrum atomik yang unik



SPEKTRUM ATOMIK (lanjutan)

- Untuk Hidrogen



Deret Balmer:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad n = 3, 4, 5, \dots$$

$$R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

ATOM BOHR

■ Postulat Bohr

- Elektron bergerak mengorbit inti dalam orbit mantap berupa lingkaran dengan momentum sudut merupakan kelipatan dari $h/2\pi$
- Pada keadaan mantap ini elektron tidak memancarkan radiasi e.m., radiasi baru dipancarkan/diserap jika elektron berpindah dari satu orbit ke orbit yang lain. Pada perpindahan ini foton yang dipancarkan mempunyai energi:

$$hf = E_{n_2} - E_{n_1}$$

Untuk atom Hidrogen:

$$E_n = \frac{E_1}{n^2};$$

$E_1 = -13,6 \text{ eV}$ merupakan energi tingkat dasar

PENUTUP

- Radiasi E.M. dapat bersifat partikel (radiasi benda hitam, efek fotolistrik, efek Compton)
- Materi dapat bersifat sebagai gelombang (difraksi elektron, sifat-sifat atom dll)
- Radiasi E.M. dan materi mempunyai sifat mendua, suatu bisa bersifat gelombang, tapi pada saat lain bersifat partikel.
- Teori Kuantum yang dikembangkan oleh Heisenberg, Schroedinger, Dirac, dll. telah sukses untuk menjelaskan berbagai fenomena tersebut dan dalam terapannya telah memberikan sumbangan yang sangat penting dalam perkembangan peradaban dunia.