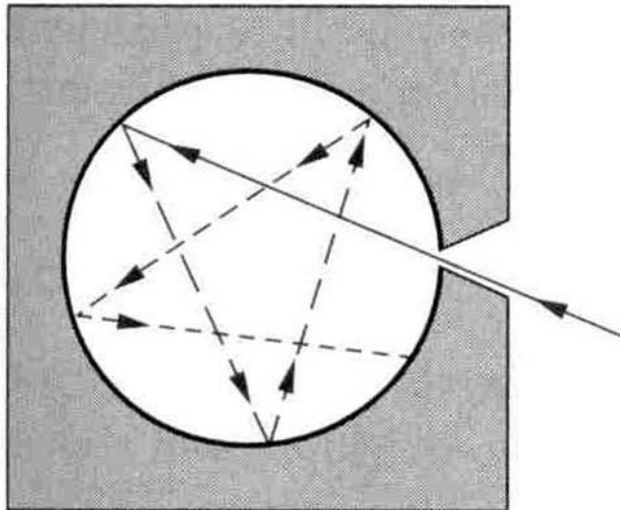
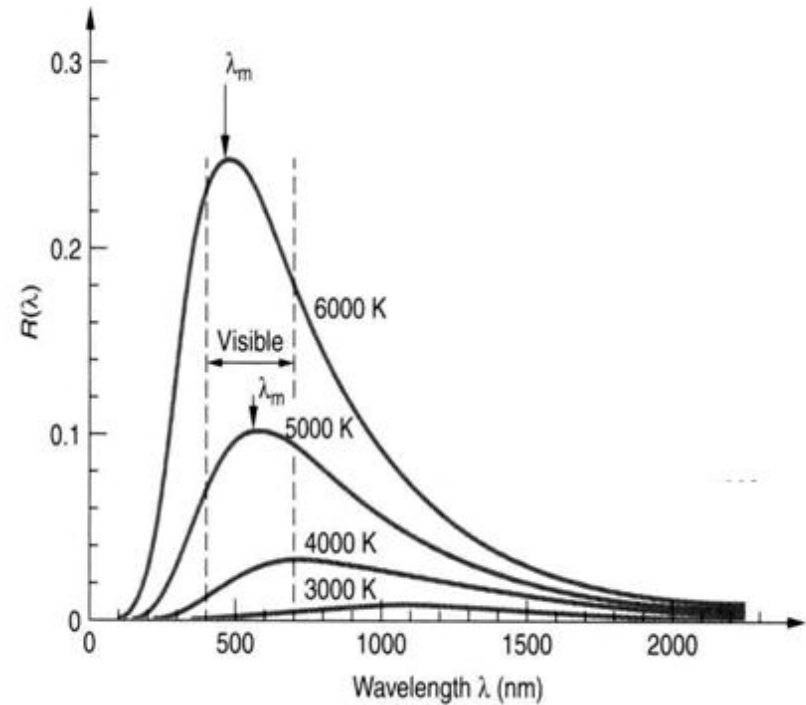


Radiasi Benda Hitam

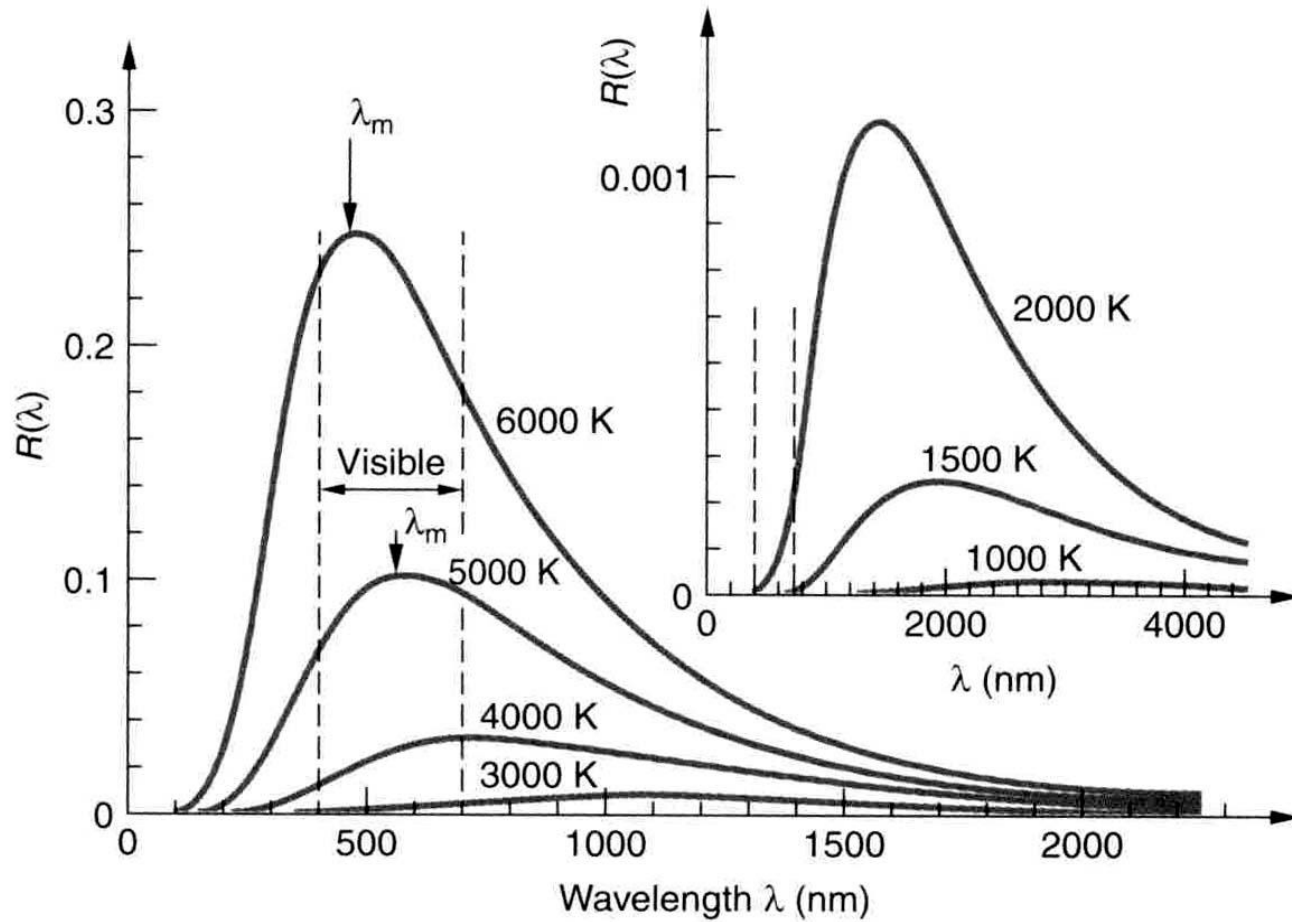
Model Rongga yang berlubang dipanaskan



Bentuk Spektrum yang dihasilkan



Kurva Radiasi



Lubang kecil pada dinding rongga dianggap sebagai benda hitam

- . Suatu lubang kecil pada sebuah dinding berongga dapat dianggap sebagai benda hitam. Pada waktu suatu benda berongga dipanaskan, misalnya pada suhu T maka dinding sekeliling rongga akan memancarkan radiasi dan memantulkan sebagian radiasi yang datang (menyerap sisanya). Peristiwa penyerapan dan pemancaran oleh tiap-tiap bagian dinding berongga akan berlangsung terus-menerus hingga terjadi kesetimbangan termal. Pada keadaan setimbang suhu tiap bagian dinding sudah sama besar sehingga radiasi yang dipancarkannya sama dengan energi yang diserapnya.

Radiasi yang terkumpul dalam rongga berupa gelombang elektromagnet

- Dalam keadaan ini rongga dipenuhi gelombang-gelombang yang dipancarkan oleh tiap-tiap titik pada dinding rongga. Radiasi dalam rongga ini bersifat uniform. Jika dinding rongga diberi sebuah lubang maka radiasi ini akan cari titik keluar dari lubang. Radiasi yang keluar ini dianggap sebagai radiasi benda hitam. Ketika benda berongga dipanaskan, elektron-elektron atau molekul-molekul pada dinding rongga akan mendapatkan tambahan energi sehingga electron bergerak dipercepat. Menurut teori elektromagnetik muatan yang akan dipercepat akan memancarkan radiasi. Radiasi inilah yang disebut sebagai sumber radiasi benda hitam.

Model dari Lord Rayleigh dan James Jeans

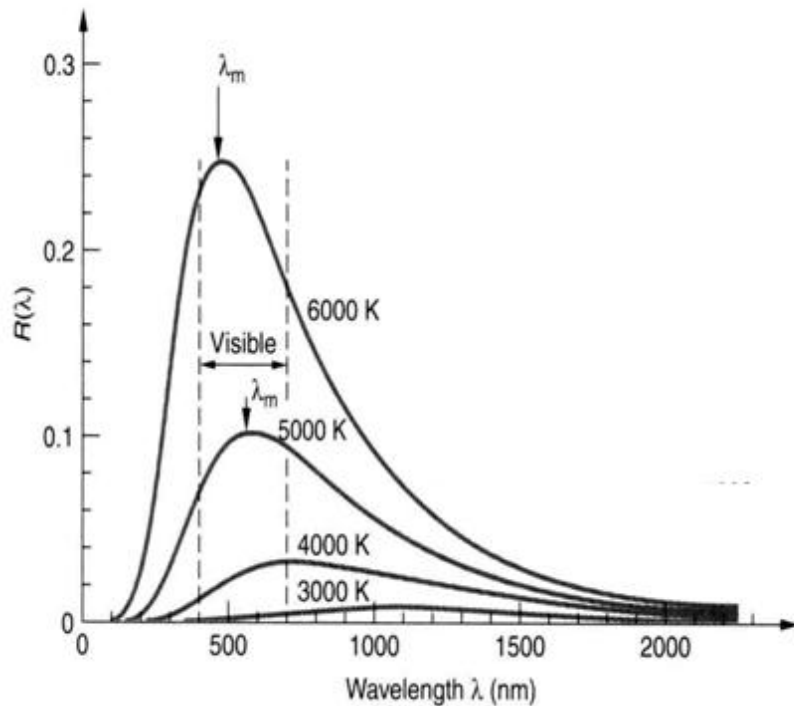
- Rayleigh dan James Jeans mengusulkan suatu model yang menganggap bahwa muatan-muatan di dinding (permukaan) benda berongga dihubungkan dengan sebuah pegas (ikatan antar atom dalam kristal). Ketika suhu benda dinaikkan, muatan-muatan ini mendapatkan energi kinetiknya untuk bergetar lebih cepat (osilasi elektron). Sehingga muatan yang bergerak akan menimbulkan gelombang elektromagnet, yang disebut Radiasi. Radiasi ini akan terkungkung di dalam rongga berbentuk gelombang tegak. Karena dinding rongga berupa konduktor maka pada dinding rongga terjadi simpul-simpul berupa gelombang tegak. Sehingga terdapat tak berhingga banyak ragam (mode) gelombang tegak yang ditandai dengan frekuensi atau panjang gelombangnya.

Menentukan energi rata-rata tiap ragam

- Menurut Rayleigh and Jeans
- Berdasar termodinamika
- Statistik Boltzmann
- E Rata-rata = kT
- Bersifat kontinu
- Gelombang tegak sejenis dan terbedakan
- Menurut Planck
- Berdasar termodinamika
- Statistik Boltzmann
- Rata-rata $\langle E \rangle = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$
- Bersifat diskrit, dg
- Energi tiap ragam
- $\epsilon = n h\nu$

Hasil Experimen

Bentuk Spektrum



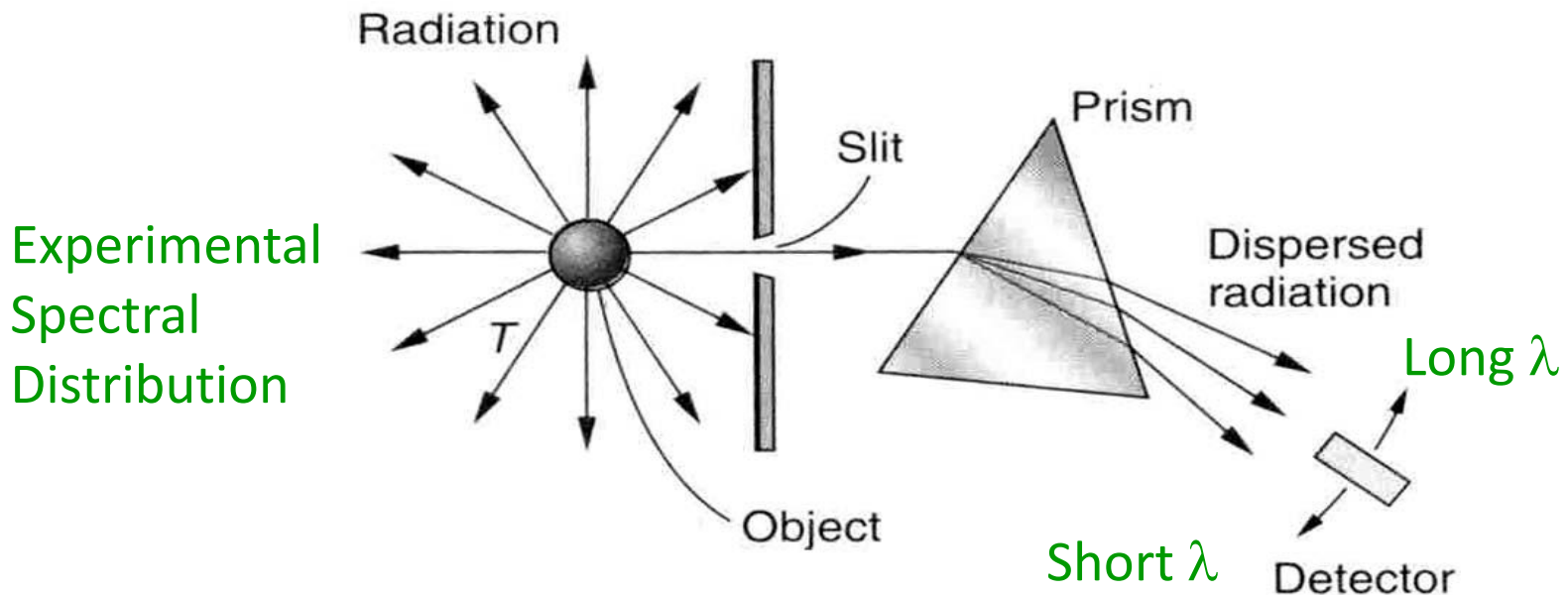
hasil Empirik

- Stefan-Boltzmann
- Hukum pergeseran Wien

Blackbody Radiation : Stefan-Boltzmann Relation

$$R \text{ (J/m}^2\text{s)} = \sigma T^4 \propto T^4$$

- R = Radiation intensity, T = Temp. in Kelvin, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
- For non-ideal black body, $R = \sigma T^4 E$ where E = emissivity < 1.



Blackbody Spectrum: Rayleigh-Jeans Equation

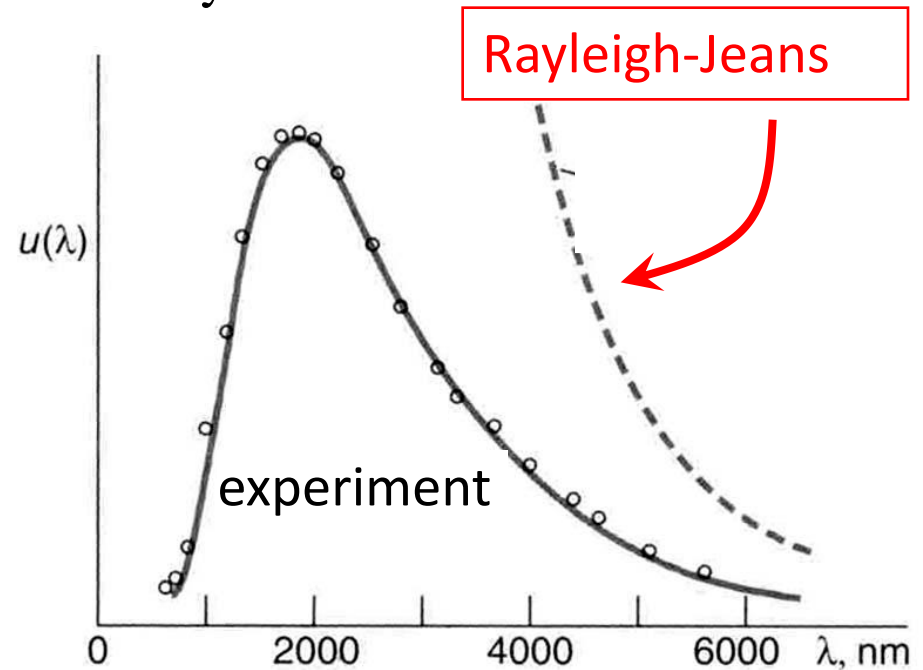
Energy Density: $u(\lambda) = E_{ave} n(\lambda) = kT (8\pi\lambda^{-4})$

where E_{ave} = average energy per “mode” = kT from Boltzmann distribution

$n(\lambda)$ = number of oscillation modes of cavity

- Rayleigh-Jeans equation behaves well at long λ (low energy).
- BUT, explodes to infinity for short λ (high energy).

⇒ UV catastrophe!



Energi Kinetik Rata-Rata

Radiation modes in a hot cavity provide a test of quantum theory



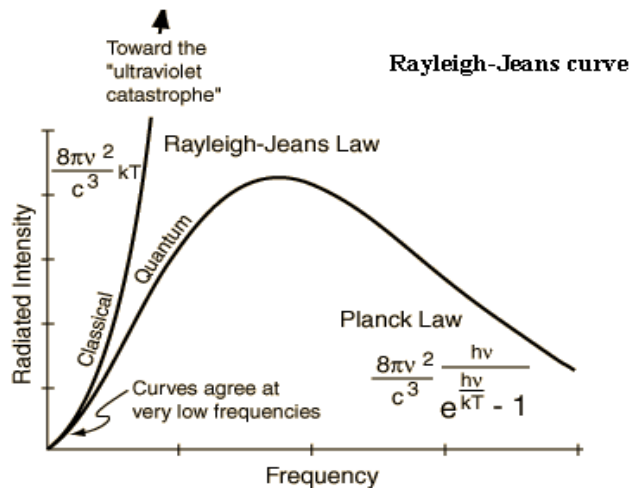
	#Modes per unit frequency per unit volume	Probability of occupying modes	Average energy per mode
CLASSICAL	$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$	Equal for all modes	kT
QUANTUM	$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$	Quantized modes: require $h\nu$ energy to excite upper modes, less probable	$\frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$

Teori klasik tidak memadai untuk menyelesaikan lengkung teori dari bentuk spektrum

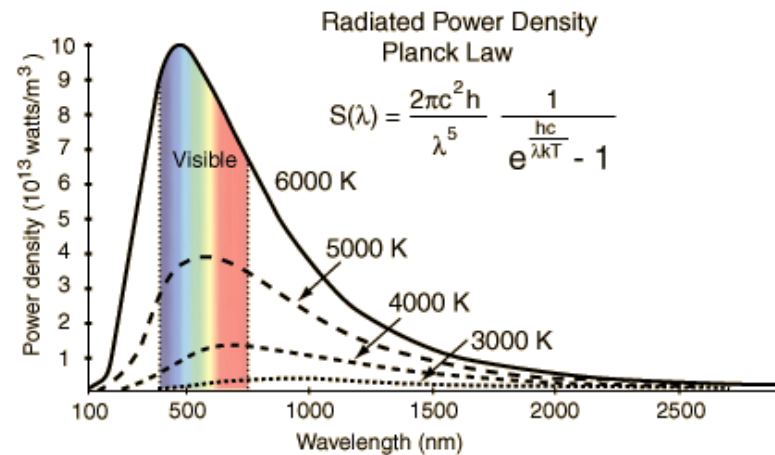
TEORI RAYLEIGH AND JANE GAGAL DENGAN EXPERIMEN

TEORI PLANCK SESUAI DG EXPERIMEN

Blackbody Intensity as a Function of Frequency



Radiation Curves

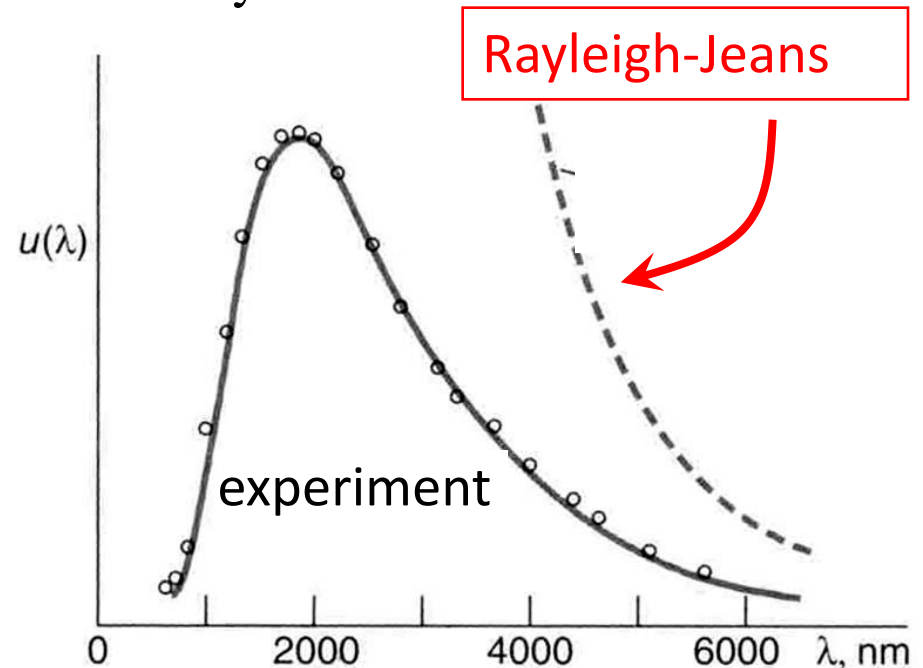


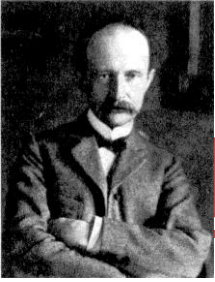
Blackbody Spectrum: Rayleigh-Jeans Equation

Energy Density: $u(\lambda) = E_{ave} n(\lambda) = kT (8\pi\lambda^{-4})$

where E_{ave} = average energy per “mode” = kT from Boltzmann distribution
 $n(\lambda)$ = number of oscillation modes of cavity

- Rayleigh-Jeans equation behaves well at long λ (low energy).
 - BUT, explodes to infinity for short λ (high energy).
- ⇒ UV catastrophe!



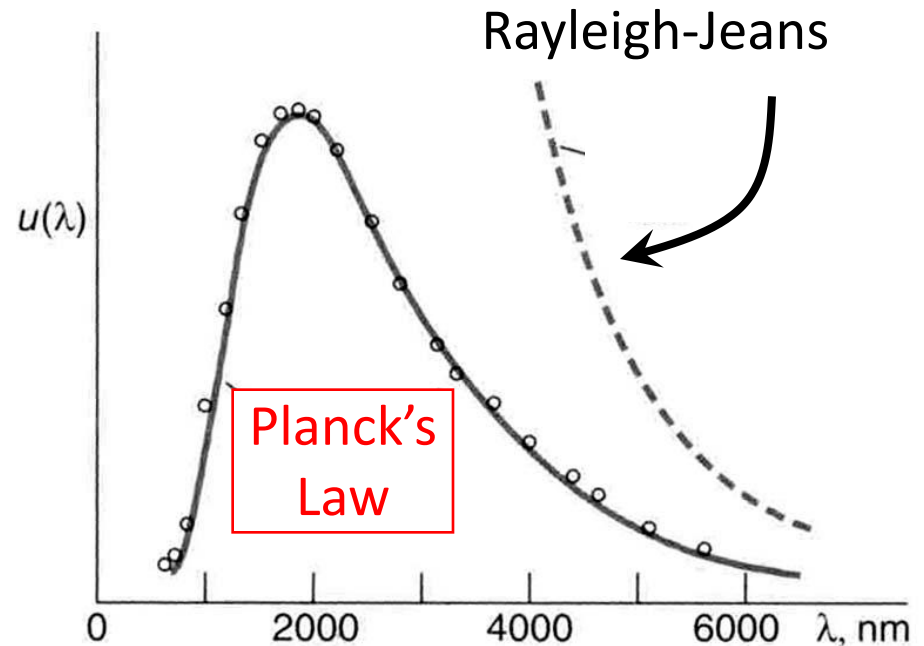


Blackbody Spectrum: Planck's Law

$$u(\lambda) = E_{ave} n(\lambda) = \left[\frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right] (8\pi\lambda^{-4})$$

where E_{ave} is given by Bose-Einstein distribution using $E = hc/\lambda$

- Planck's Law was initially found empirically (trial and error!)
- Derived from quantization of radiation, i.e. existence of photons!
- Limit for small $\lambda \rightarrow$ zero.
- Limit for large $\lambda \rightarrow$ Raleigh-Jeans.



Spectral Blackbody: Derivation of E_{ave}

- OLD method uses a continuous energy distribution $f(E)$ and integrates to find E_{ave} for the Raleigh-Jeans equation.

$$\boxed{E_{ave}} = \int E f(E) dE = \int E (Ae^{-E/kT}) dE = \boxed{kT}$$

- NEW method uses a discrete energy distribution $f_n(E_n)$ and uses a summation to find E_{ave} for Planck's Law.

$$E_{ave} = \sum E_n f_n(E_n) = \sum E_n (Ae^{-E_n/kT}) \text{ where } E_n = \frac{nhc}{\lambda}$$

$$\boxed{E_{ave}} = \boxed{\frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}}$$

- Assumption of Energy Quantization is CRITICAL!

Rapat Energi menurut perumusan Planck

Energy per unit volume per unit frequency

$$S_\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Energy per unit volume per unit wavelength

$$S_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Randiansi Spektral Total

$$R_T = \frac{c}{4} \rho_T$$

Energy per unit
volume per unit
frequency

$$S_\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Energy per unit
volume per unit
wavelength

$$S_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

- POSTULAT PLANCK

- Energi yang dapat dimiliki oleh osilator tidak kontinu melainkan berharga diskrit (*Quantization of energy*) yaitu kelipatan dari $h\nu$ dengan h ialah konstanta Planck dan ν adalah frekuensi getaran
- Sebaran energi osilator menganut distribusi Boltzmann yaitu bahwa kemungkinan suatu osilator mempunyai energi antara ε dan $(\varepsilon + d\varepsilon)$ adalah : ε

$$P(\varepsilon) d\varepsilon = (e^{-\varepsilon/KT})/KT d\varepsilon$$

Persamaan Planck

- $N(\nu)$ adalah rapat mode getar gelombang elektromagnetik di dalam rongga
- $N(\nu)d\nu$ adalah jumlah getaran persatuan volume dengan frekuensi antara ν dan $(\nu + d\nu)$ sebesar

$\rho_T(\nu) : (\text{Rapat energi}).$

$$\rho_T(\nu). d\nu = \langle \mathcal{E} \rangle N(\nu) d\nu$$

$N(\nu) : (\text{jumlah getaran})$

$$N(\nu) d\nu = (8\pi\nu^3) / c^3 d\nu$$

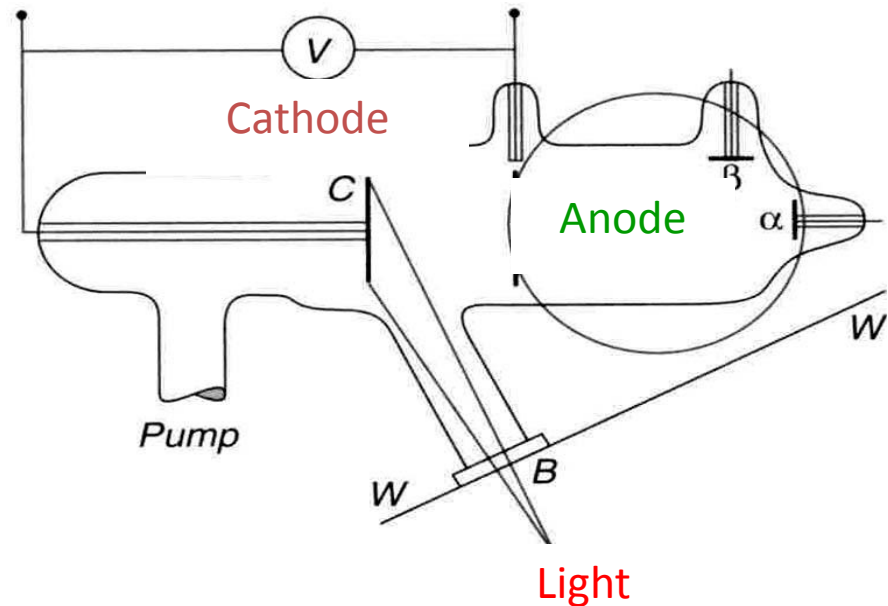
Photoelectric Effect: “Particle Behavior” of Photon

- Photoelectric effect shows quantum nature of light, or existence of energy packets called photons.
 - Theory by Einstein and experiments by Millikan.
- A single photon can eject a single electron from a material only if it has the minimum energy necessary (or work function ϕ).
 - A 1 eV (or larger) photon can eject an electron with a 1 eV work function.

Photoelectric Effect: Apparatus

- Photons hit metal cathode and eject electrons with work function ϕ .
- Electrons travel from cathode to anode against retarding voltage V_R (measures kinetic energy K_e of electrons).

- Electrons collected as “photoelectric” current at anode.
- Photocurrent becomes zero when retarding voltage V_R equals stopping voltage V_{stop} ,
i.e. $eV_{\text{stop}} = K_e$



Photoelectric Effect: Equations

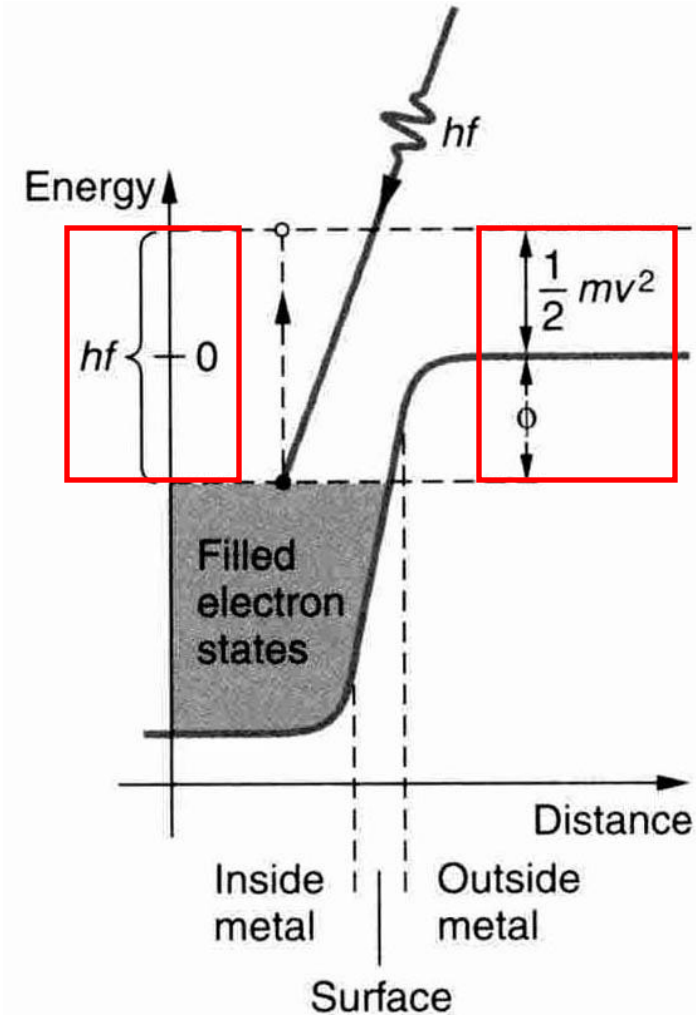
- Total photon energy =
 e^- ejection energy + e^- kinetic energy.

$$\frac{hc}{\lambda} = \phi + \frac{mv^2}{2} = \phi + eV_{stop}$$

- where hc/λ = photon energy, ϕ = work function, and eV_{stop} = stopping energy.

- Special Case: No kinetic energy ($V_o = 0$).
 - Minimum energy to eject electron.

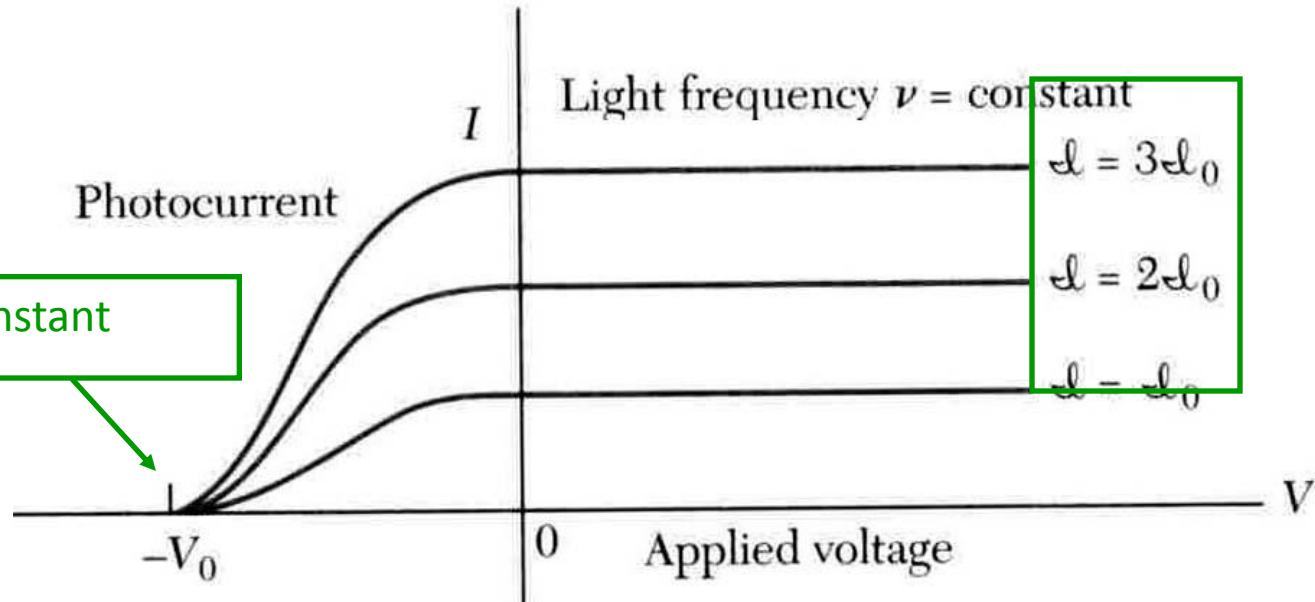
$$E_{min} = \frac{hc}{\lambda_{min}} = \phi$$



Photoelectric Effect: IV Curve Dependence

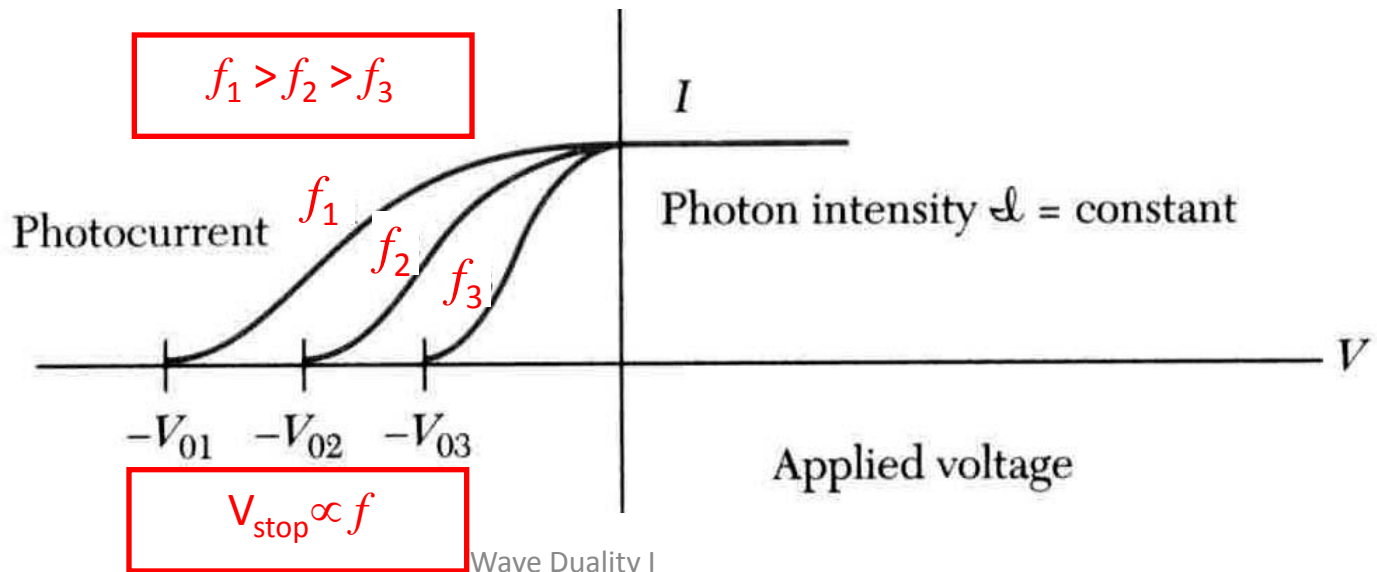
Intensity I
dependence

$V_{\text{stop}} = \text{Constant}$



Frequency f
dependence

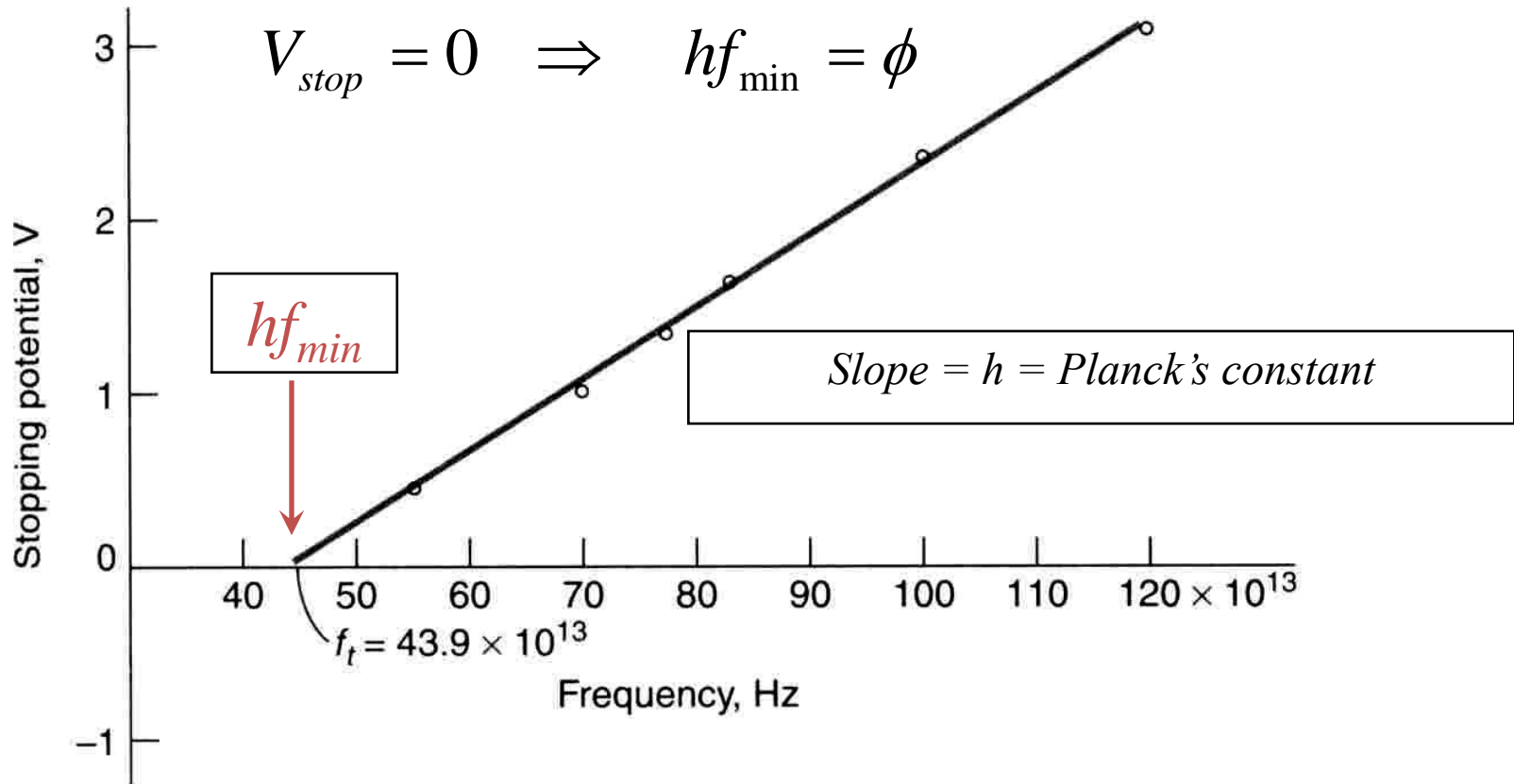
$f_1 > f_2 > f_3$



$V_{\text{stop}} \propto f$

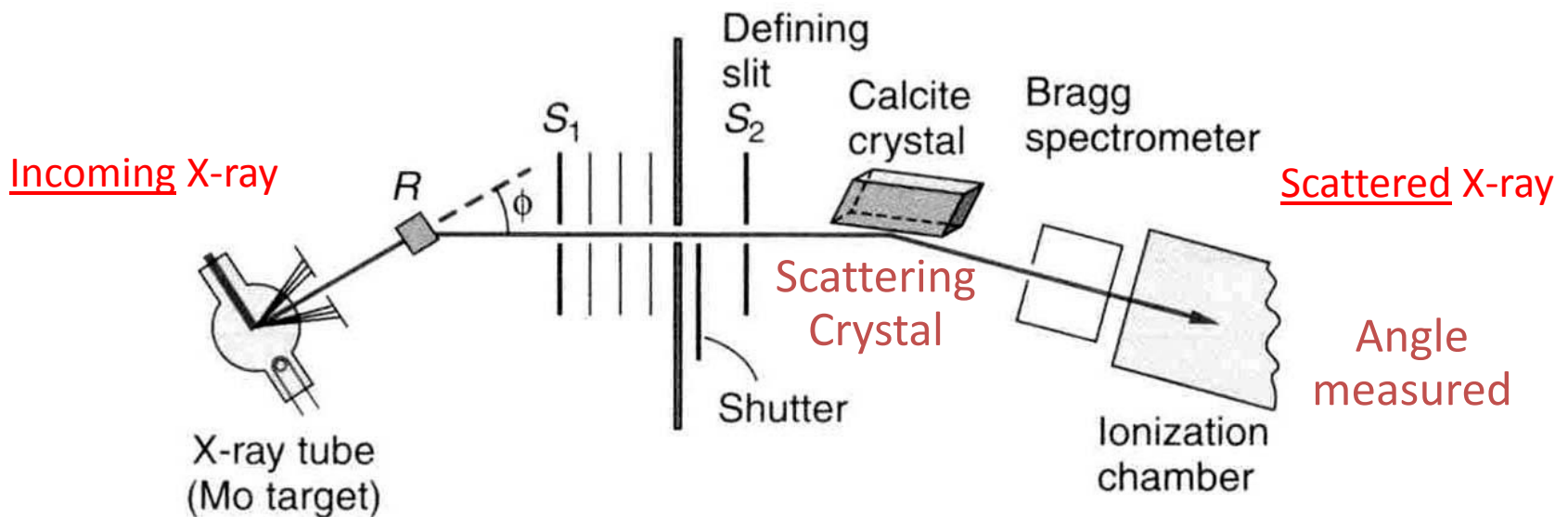
Photoelectric Effect:

$$eV_{stop} = hf - \phi$$



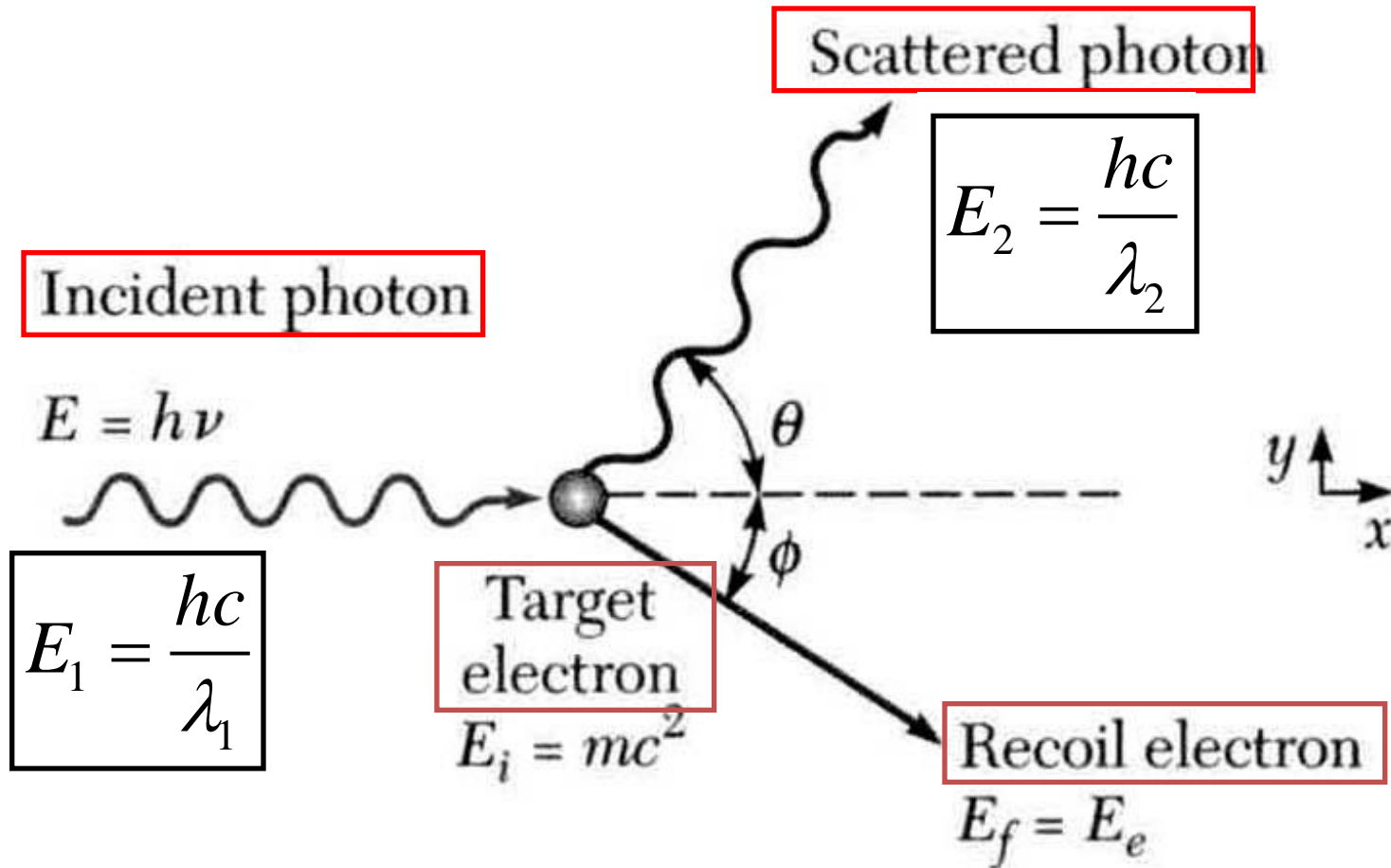
Compton Scattering: “Particle-like” Behavior of

- An incoming photon (E_1) can inelastically scatter from an electron and lose energy, resulting in an outgoing photon (E_2) with lower energy ($E_2 < E_1$).
- The resulting energy loss (or change in wavelength $\Delta\lambda$) can be calculated from the scattering angle θ .



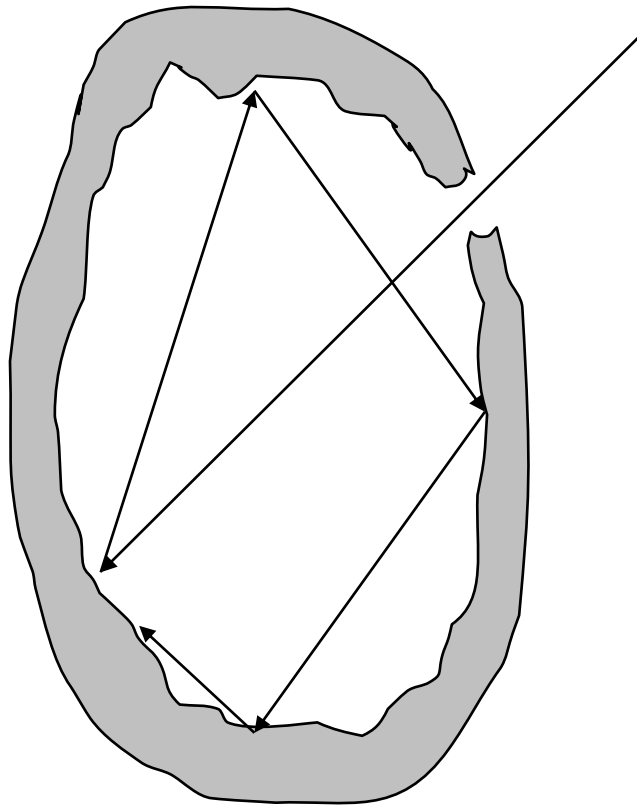
Compton Scattering: Schematic

PHOTON IN \Rightarrow PHOTON OUT (inelastic)



Menentukan energi rata-rata tiap ragam

**BENDA HITAM DIMODELKAN
LUBANG KECIL DIDINDING
RUANG KOSONG YANG
GELAP**

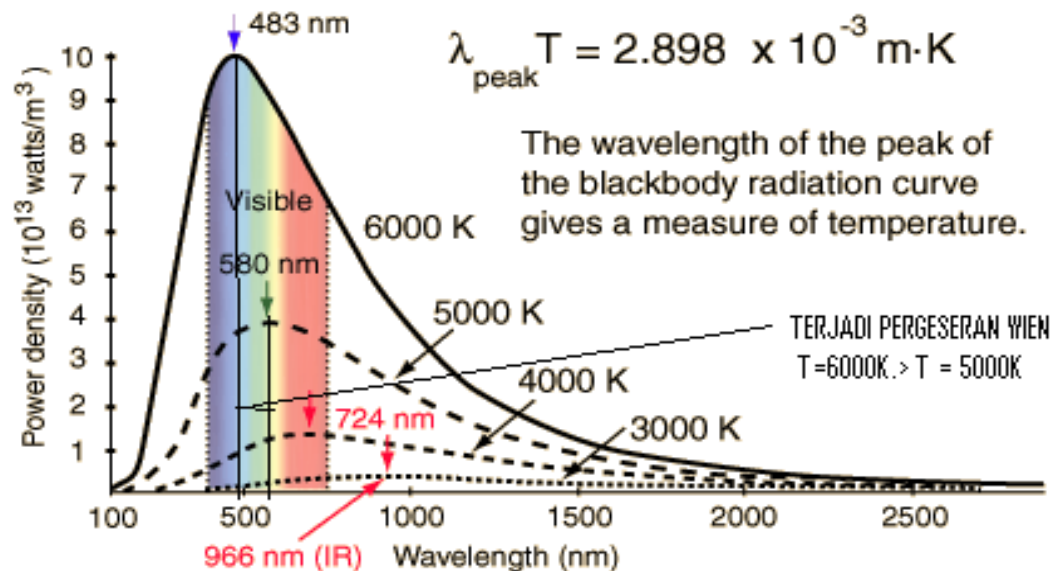


Radiasi yang keluar ini dianggap sebagai radiasi benda hitam. Ketika benda berongga dipanaskan, elektron-elektron atau molekul-molekul pada dinding rongga akan mendapatkan tambahan energi sehingga bergerak dipercepat. Menurut teori elektromagnetik muatan yang akan dipercepat akan memancarkan radiasi. Radiasi inilah yang disebut sebagai sumber radiasi benda hitam.

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \text{ j/ m}^2\text{s} \quad \text{Stefan-Boltzmann Law}$$

$$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ watt / m}^2\text{K}^4$$

Wien's Displacement Law



WIEN GAGAL

- Wilhelm Wien menemukan suatu hubungan empirik sederhana antara panjang gelombang yang dipancarkan untuk intensitas maksimum sebuah benda dengan suhu mutlak T , yang dinyatakan sebagai :
- $\lambda_{T C} = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{mK}$
- maks
- $= = ' - (7.2)$
- Dengan C adalah tetapan pergeseran Wien. Pada gambar di bawah ini ditunjukkan grafik hubungan antara intensitas terhadap panjang gelombang suatu benda hitam sempurna untuk tiga jenis suhu. Perhatikan pergeseran puncak-puncak spektrumnya. Panjang gelombang untuk intensitas maksimum semakin kecil seiring dengan bertambahnya suhu mutlak. Total energi kalor radiasi yang dipancarkan sebanding dengan luas daerah di bawah grafik.
- **Gambar 7.1.** Grafik intensitas terhadap panjang gelombang suatu benda hitam pada 3 jenis suhu mutlak.
- Dari grafik di atas, kita mendapat gambaran bahwa intensitas radiasi maksimum akan memiliki nilai panjang gelombang kecil (dengan kata lain frekuensi besar) pada benda dengan suhu tinggi. Dan sebaliknya, intensitas radiasi maksimum akan memiliki nilai panjang gelombang besar (dengan kata lain frekuensinya kecil) ketika benda bersuhu lebih rendah.
- Hukum pergeseran Wien ini hanya dapat menjelaskan radiasi benda hitam dengan panjang

- **C. Teori Rayleigh and Jeans**
- Rayleigh–Jeans dapat menjelaskan radiasi benda hitam untuk panjang gelombang yang nilainya besar, namun gagal menjelaskan radiasi benda hitam untuk panjang gelombang yang nilainya kecil. Artinya, berdasarkan teori Rayleigh and Jeans ini, hukum Stefan–Boltzmann (pers. 7.1) hanya berlaku pada panjang gelombang yang nilainya besar.

Sambungan rongga yang dipanaskan

- Spektrum elektromagnetik meramalkan gelombang yang dikenal dengan teori Teori ini ng atau ramalan
- Masalah te mengangga merambat bencana ul belakangar efek fotolis menyebabkan digantikannya teori elektromagnetik klasik dengan mekanika kuantum. Saat ini, paket-paket tersebut disebut foton

Photoelectric Effect: "Particle Behavior" of Photon

PHOTON IN \Rightarrow ELECTRON OUT

• Photoelectric effect shows quantum nature of light, or existence of energy packets called photons.

– Theory by Einstein and experiments by Millikan.

• A single photon can eject a single electron from a material only if it has the minimum energy necessary (or work function ϕ).

– A 1 eV (or larger) photon can eject an electron with a 1 eV work function.

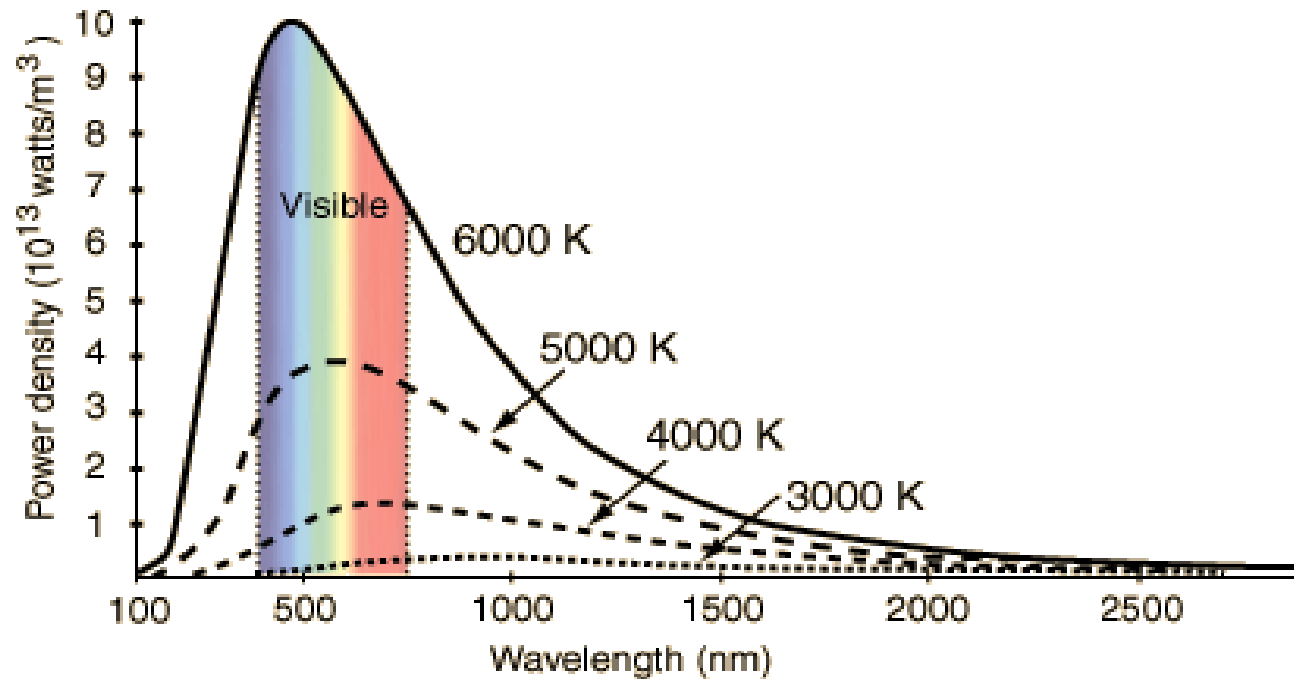
• Electron ejection occurs instantaneously \Rightarrow photons cannot be "added up."

– Two 0.5 eV photons cannot "add" together to eject the electron above.

• Extra energy from the photon is converted to kinetic energy of the ejected electron.

– A 2 eV photon would eject the electron above with 1 eV kinetic energy.

Radiation Curves



Rongga yang dipanaskan

- Dalam laboratorium, benda yang paling mendekati radiasi benda hitam adalah radiasi dari sebuah lubang kecil pada sebuah rongga. [Cahaya](#) apa pun yang memasuki lubang ini akan dipantulkan dan energinya diserap oleh dinding-dinding rongga berulang kali, tanpa mempedulikan bahan dinding dan panjang gelombang radiasi yang masuk (selama panjang gelombang tersebut lebih kecil dibandingkan dengan diameter lubang). Lubang ini (bukan rongganya) adalah pendekatan dari sebuah benda hitam. Jika rongga dipanaskan, [spektrum](#) yang dipancarkan lubang akan merupakan [spektrum kontinu](#) dan tidak bergantung pada bahan pembuat rongga. Pancaran radiasinya mengikuti suatu kurva umum (lihat gambar). Berdasarkan [hukum radiasi termal](#) dari Kirchhoff kurva ini hanya bergantung pada suhu dinding rongga, dan setiap benda hitam akan mengikuti kurva ini.
- Spektrum yang teramati tidak dapat dijelaskan dengan teori [elektromagnetik klasik](#) dan [mekanika statistik](#). Teori ini meramalkan intensitas yang tinggi pada panjang gelombang rendah (yaitu, frekuensi tinggi); suatu ramalan yang dikenal sebagai [bencana ultraungu](#).
- Masalah teoretis ini dipecahkan oleh Max Planck, yang menganggap bahwa radiasi elektromagnetik dapat merambat hanya dalam paket-paket, atau kuantum (lihat [bencana ultraungu](#) untuk rinciannya). Gagasan ini belakangan digunakan oleh [Einstein](#) untuk menjelaskan [efek fotolistrik](#). Perkembangan teoretis ini akhirnya menyebabkan digantikannya teori elektromagnetik klasik dengan [mekanika kuantum](#). Saat ini, paket-paket tersebut disebut

Rongga yang dipanaskan

- Dalam laboratorium, benda yang paling mendekati radiasi benda hitam adalah radiasi dari sebuah lubang kecil pada sebuah rongga. [Cahaya](#) apa pun yang memasuki lubang ini akan dipantulkan dan energinya diserap oleh dinding-dinding rongga berulang kali, tanpa memedulikan bahan dinding dan panjang gelombang radiasi yang masuk (selama panjang gelombang tersebut lebih kecil dibandingkan dengan diameter lubang). Lubang ini (bukan rongganya) adalah pendekatan dari sebuah benda hitam. Jika rongga dipanaskan, [spektrum](#) yang dipancarkan lubang akan merupakan [spektrum kontinu](#) dan tidak bergantung pada bahan pembuat rongga. Pancaran radiasinya mengikuti suatu kurva umum (lihat gambar). Berdasarkan [hukum radiasi termal](#) dari Kirchhoff kurva ini hanya bergantung pada suhu dinding rongga, dan setiap benda hitam akan mengikuti kurva ini.

PERSAMAAN EMPIRIK

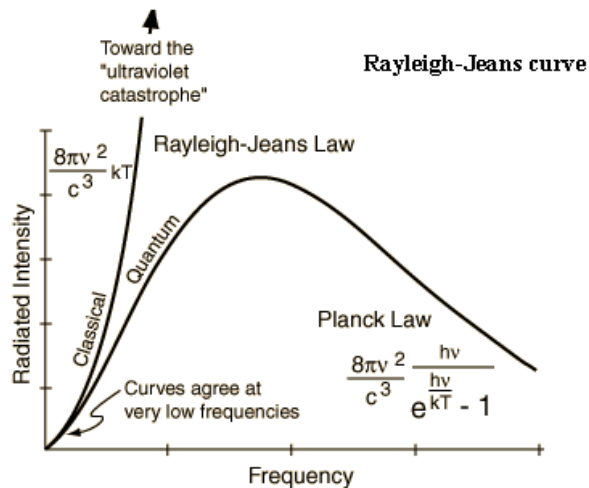
- **Wien's Displacement Law**

UPAYA UNTUK MENGENKAI LENGKUNG TEORI TERHADAP HASIL EXPERIMEN

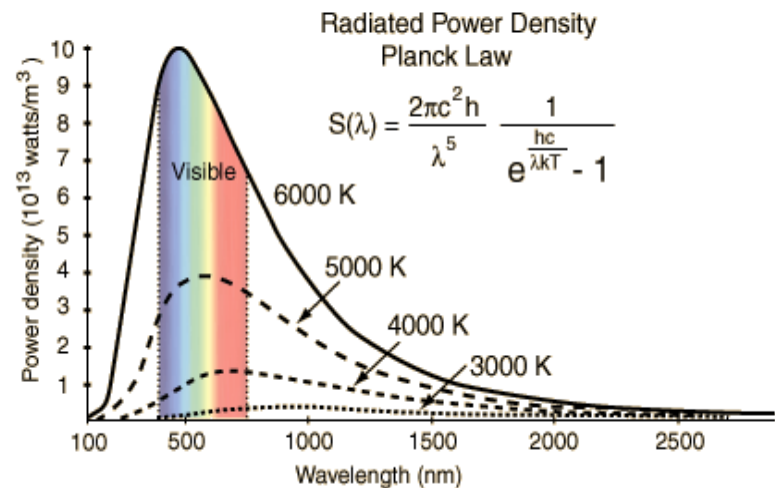
TEORI RAYLEIGH AND JANE GAGAL
DENGAN EXPERIMEN

TEORI PLANCK SESUAI DG
EXPERIMEN

Blackbody Intensity as a Function of Frequency

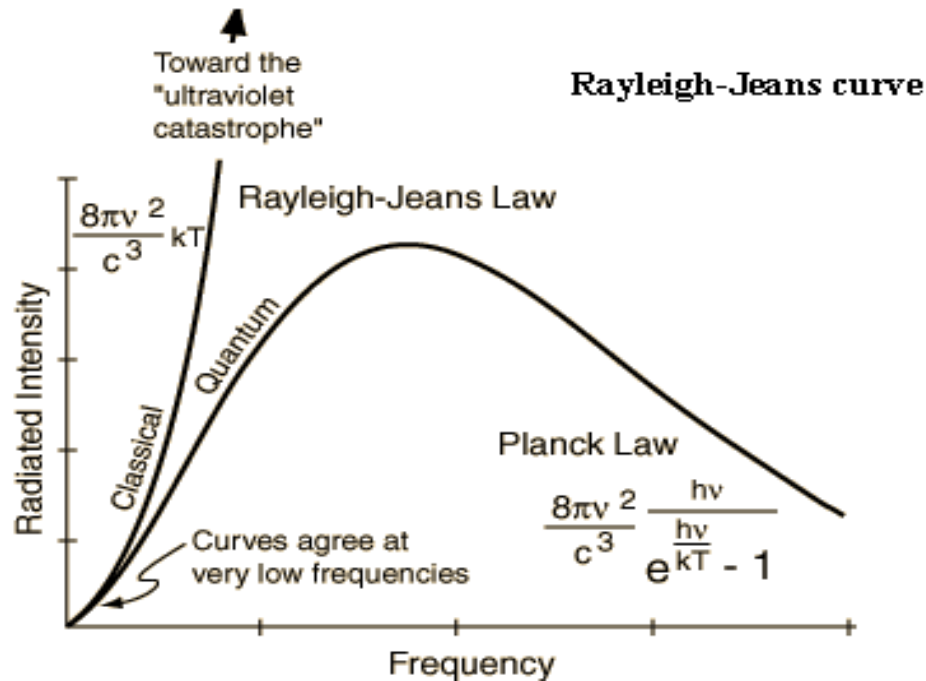


Radiation Curves



TEORI RAYLEIGH AND JANE GAGAL DENGAN EXPERIMEN

Blackbody Intensity as a Function of Frequency

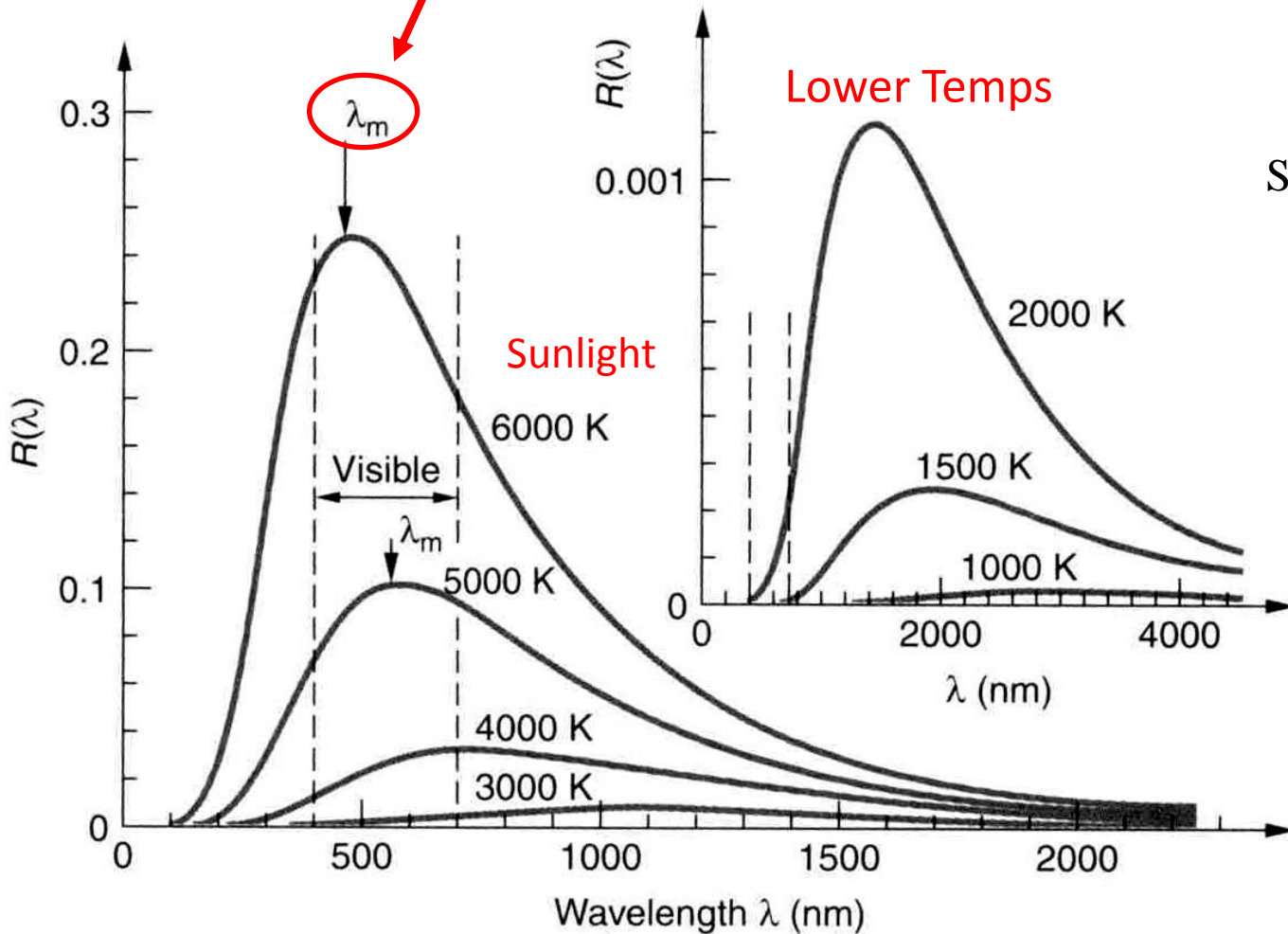


BENDA HITAM DIMODELKAN LUBANG KECIL DIDINDING RUANG KOSONG YANG GELAP

- Planck melakukan penurunan yang sama dengan yang dilakukan oleh Rayleigh
- dan Jeans, tetapi dengan asumsi bahwa gelombang elektromagnetik terkuantisasi,
- yang berarti bahwa gelombang tersebut terdiri atas paket-paket energi
- terkecil dengan energi tertentu. Paket energi terkecil tersebut akhirnya disebut
- sebagai foton, dengan energi yang bergantung pada frekuensi gelombang,
- yaitu
- $E = h \nu$ (2.2)
- Dengan asumsi ini, dan dengan mengatur nilai h , ternyata diperoleh hasil penurunan
- Planck yang tepat sama dengan kurva hasil percobaan. Nilai tetapan
- Planck, $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$.

: Wien's Law

$$\lambda_{peak} = \frac{2.9 \times 10^{-3} \text{ (mK)}}{T \text{ (K)}} \propto \frac{1}{T}$$



Spectral Distribution depends ONLY on Temperature.

RADIASI BENDA HITAM

Karena gerakan muatan-muatan ini acak dan percepatannya berbeda-beda, maka panjang gelombang radiasi yang dipancarkan oleh tiap muatan tidak sama

MODEL YANG DIUSULKAN :

1. Lord Rayleigh dan James Jeans
2. Wilhelm Wien
3. Max planck
4. Joseph Stefan dan Ludwig Boltzmann

Spectral Blackbody: Derivation of E_{ave}

- OLD method uses a continuous energy distribution $f(E)$ and integrates to find E_{ave} for the Raleigh-Jeans equation.

$$\boxed{E_{ave}} = \int E f(E) dE = \int E (Ae^{-E/kT}) dE = \boxed{kT}$$

- NEW method uses a discrete energy distribution $f_n(E_n)$ and uses a summation to find E_{ave} for Planck's Law.

$$E_{ave} = \sum E_n f_n(E_n) = \sum E_n (Ae^{-E_n/kT}) \text{ where } E_n = \frac{nhc}{\lambda}$$

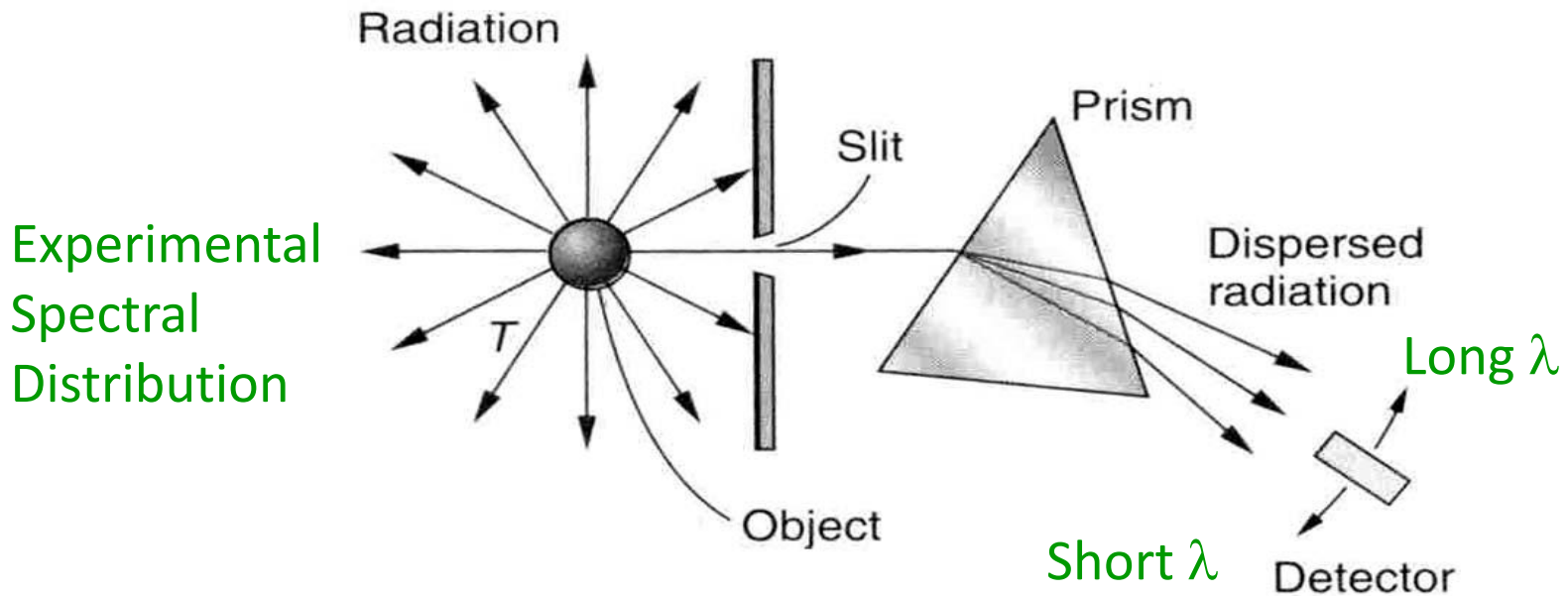
$$\boxed{E_{ave}} = \boxed{\frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}}$$

- Assumption of Energy Quantization is CRITICAL!

RADIASI BENDA HITAM: Stefan-Boltzmann Relation

$$R \text{ (J/m}^2\text{s)} = \sigma T^4 \propto T^4$$

- R = Radiation intensity, T = Temp. in Kelvin, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
- For non-ideal black body, $R = \sigma T^4 E$ where $E = \text{emissivity} < 1$.



RADIASI BENDA HITAM

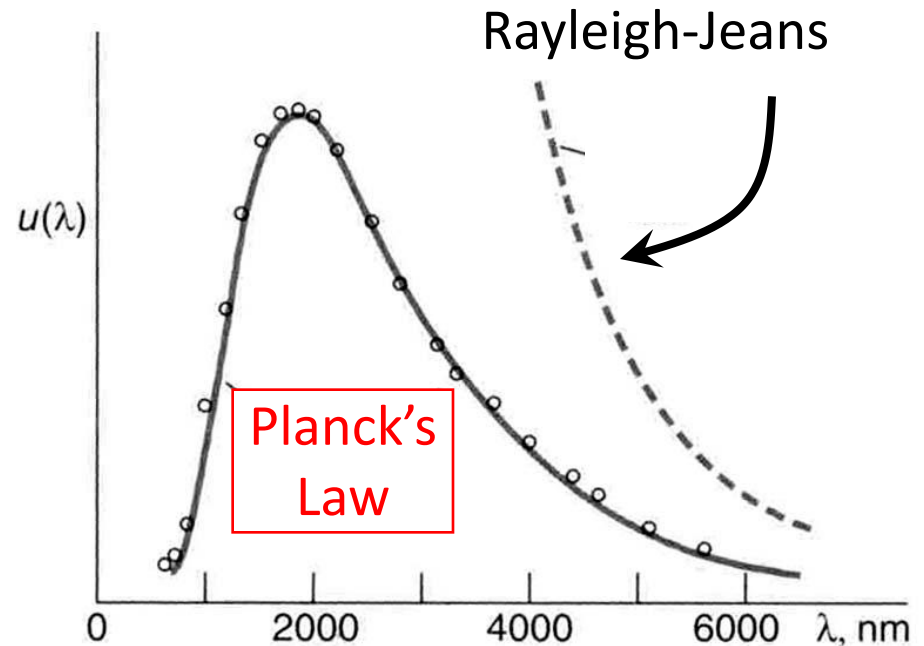
- . Radiasi yang keluar ini dianggap sebagai radiasi benda hitam. Ketika benda berongga dipanaskan, elektron-elektron atau molekul-molekul pada dinding rongga akan mendapatkan tambahan energi sehingga bergerak dipercepat. Menurut teori elektromagnetik muatan yang akan dipercepat akan memancarkan radiasi. Radiasi inilah yang disebut sebagai sumber radiasi benda hitam.

Blackbody Spectrum: Planck's Law

$$u(\lambda) = E_{ave} n(\lambda) = \left[\frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right] (8\pi\lambda^{-4})$$

where E_{ave} is given by Bose-Einstein distribution using $E = hc/\lambda$

- Planck's Law was initially found empirically (trial and error!)
- Derived from quantization of radiation, i.e. existence of photons!
- Limit for small $\lambda \rightarrow$ zero.
Limit for large $\lambda \rightarrow$ Raleigh-Jeans.



Karena gerakan muatan-muatan ini acak dan percepatannya berbeda-beda, maka panjang gelombang radiasi yang dipancarkan oleh tiap muatan tidak sama

MODEL YANG DIUSULKAN :

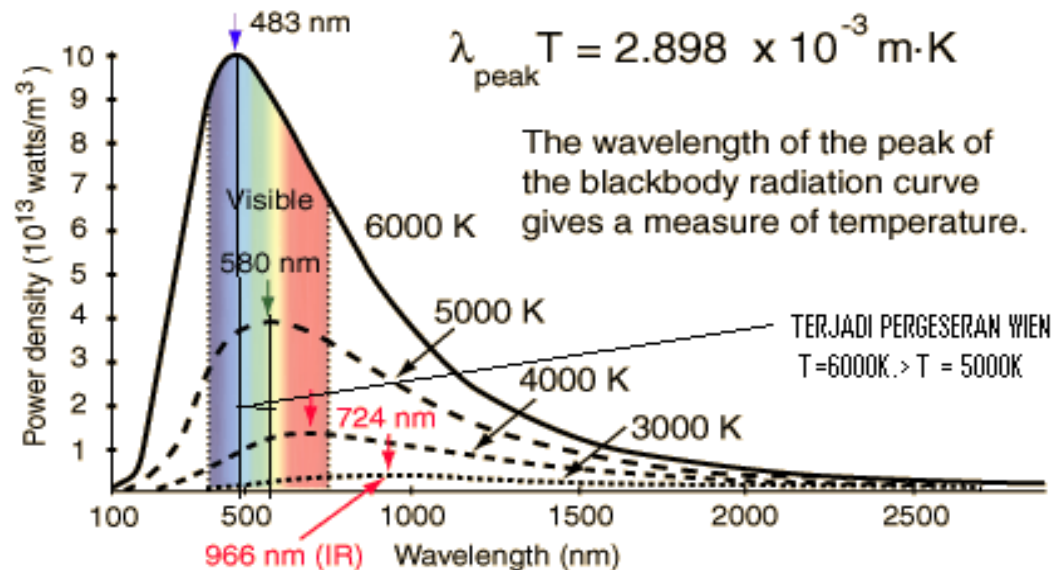
1. Lord Rayleigh dan James Jeans
2. Wilhelm Wien
3. Max planck
4. Joseph Stefan dan Ludwig Boltzmann

- Lord Rayleigh dan James Jeans mengusulkan suatu model yang menganggap bahwa muatan-muatan di dinding (permukaan) benda berongga dihubungkan dengan sebuah pegas. Ketika suhu benda dinaikkan, muatan-muatan ini mendapatkan energi kinetiknya untuk bergetar.

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \text{ j/ m}^2\text{s} \quad \text{Stefan-Boltzmann Law}$$

$$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ watt / m}^2\text{K}^4$$

Wien's Displacement Law

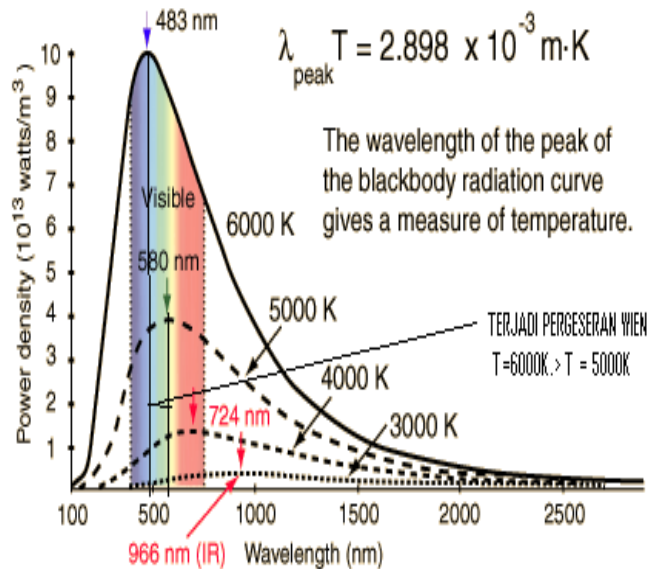


Model dari Lord Rayleigh dan James Jeans

- Lord Rayleigh dan James Jeans mengusulkan suatu model yang menganggap bahwa muatan-muatan di dinding (permukaan) benda berongga dihubungkan dengan sebuah pegas. Ketika suhu benda dinaikkan, muatan-muatan ini mendapatkan energi kinetiknya untuk bergetar.

HUKUM PERGESERAN WIEN

Wien's Displacement Law



- Sedangkan Model klasik lain diusulkan oleh Wilhelm Wien. Dengan menganggap benda hitam seperti sebuah silinder berisi radiasi benda hitam. Pekerjaan eksperimen ini tidaklah mudah karena dinding silinder bersifat pemantul sempurna dan piston yang dapat bergerak naik-turun. Radiasi ini mampu memberikan tekanan pada piston. Dengan menggunakan siklus Carnot, dapat dihitung usaha yang dilakukan oleh tekanan radiasi ini sebagai fungsi suhu. Karena tekanan radiasi dapat dinyatakan sebagai energi atau intensitas, Wien berhasil menghitung distribusi intensitas sebagai fungsi panjang gelombang untuk suhu tertentu, akan tetapi hanya mampu menjelaskan pada panjang gelombang pendek, namun gagal pada panjang gelombang yang panjang. Hasil ini menunjukkan bahwa radiasi elektromagnetik tidak dapat dianggap sesederhana seperti proses tumbukan

- Max planck menemukan bahwa sebenarnya energi merupakan besaran yang dipancarkan oleh sebuah benda dalam bentuk paket-paket kecil terputus-putus yang kemudian dikenal foton. Dia menurunkan rumus untuk radiasi benda hitam dan ia berhasil secara spektakular menerangkan bentuk kurva I sebagai fungsi panjang gelombang (?).

Analisis Max planck pada model

- Max planck menemukan bahwa sebenarnya energi merupakan besaran yang dipancarkan oleh sebuah benda dalam bentuk paket-paket kecil terputus-putus yang kemudian dikenal foton. Dia menurunkan rumus untuk radiasi benda hitam dan ia berhasil secara spektakular menerangkan bentuk kurva I sebagai fungsi panjang gelombang (?).

hukum Stefan-Boltzmann yang berbunyi

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \text{ j/ m}^2\text{s} \quad \text{Stefan-Boltzmann Law}$$

$$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ watt / m}^2\text{K}^4$$

- Joseph Stefan dan Ludwig Boltzmann telah melakukan pengukuran laju energi kalor radiasi yang dipancarkan oleh permukaan suatu benda. Hasil yang diperoleh selanjutnya dikenal sebagai hukum Stefan-Boltzmann yang berbunyi : “Energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan benda dalam bentuk radiasi kalor per satuan waktu sebanding dengan luas permukaan dan sebanding dengan pangkat empat suhu mutlak permukaan itu”. Jika sebuah benda dapat dikatakan benda hitam, maka cahaya yang jatuh pada benda tersebut tidak akan yang dipantulkan, sehingga sifat permukaannya tidak dapat untuk diamati. Oleh karena itu jenis benda hitamnya dibuat berongga.

ANALISIS RAYLEIGH JEANS

. Radiasi yang keluar ini dianggap sebagai radiasi benda hitam. Ketika benda berongga dipanaskan, elektron-elektron atau molekul-molekul pada dinding rongga akan mendapatkan tambahan energi sehingga bergerak dipercepat. Menurut teori elektromagnetik muatan yang akan dipercepat akan memancarkan radiasi. Radiasi inilah yang disebut sebagai sumber radiasi benda hitam.

- Benda hitam didefinisikan sebagai benda dimana radiasi yang jatuh akan diserap seluruhnya (tidak ada yang dipantulkan). Benda hitam sempurna sukar didapatkan. Jelaga yang sangat hitam masih mempunyai lowongan kerja daya pantul walaupun kecil sekali. Suatu lubang kecil pada sebuah dinding berongga dapat dianggap sebagai benda hitam. Pada waktu suatu benda berongga dipanaskan, misalnya pada suhu T maka dinding sekeliling rongga akan memancarkan radiasi dan memantulkan sebagian radiasi yang datang (menyerap sisanya). Peristiwa penyerapan dan pemancaran oleh tiap-tiap bagian dinding berongga akan berlangsung terus-menerus hingga terjadi kesetimbangan termal. Pada keadaan setimbang suhu tiap bagian dinding sudah sama besar sehingga radiasi yang dipancarkannya sama dengan energi yang diserapnya. Dalam keadaan ini rongga dipenuhi gelombang-gelombang yang dipancarkan oleh tiap-tiap titik pada dinding rongga. Radiasi dalam rongga ini bersifat uniform. Jika dinding rongga diberi sebuah lubang maka radiasi ini akan cari titik keluar dari lubang. Radiasi yang keluar ini dianggap sebagai radiasi benda hitam. Ketika benda berongga dipanaskan, elektron-elektron atau molekul-molekul pada dinding rongga akan mendapatkan tambahan energi sehingga bergerak dipercepat. Menurut teori elektromagnetik muatan yang akan dipercepat akan memancarkan radiasi. Radiasi inilah yang disebut sebagai sumber radiasi benda hitam.

Karena gerakan muatan-muatan ini acak dan percepatannya berbeda-beda, maka panjang gelombang radiasi yang dipancarkan oleh tiap muatan tidak sama

Energies yang dihasilkan bersifat kontinu

Energi yang dihasilkan bersifat

KARENA GERAKAN MUATAN-MUATAN INI ACAK DAN PERCEPATANNYA BERBEDA-BEDA, MAKA PANJANG GELOMBANG RADIASI YANG DIPANCARKAN OLEH TIAP MUATAN TIDAK SAMA

$$\boxed{E_{ave}} = \int E f(E) dE = \int E (A e^{-E/kT}) dE = \boxed{kT}$$

$$E_{ave} = \sum E_n f_n(E_n) = \sum E_n (A e^{-E_n/kT}) \text{ where } E_n = \frac{nhc}{\lambda}$$

$$\boxed{E_{ave}} = \boxed{\frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}}$$

KARENA GERAKAN MUATAN-MUATAN INI ACAK DAN
 KARENA GERAKAN MUATAN-MUATAN INI ACAK DAN
 PERCEPATANNYA BERBEDA-BEDA, MAKA PANJANG
 PERCEPATANNYA BERBEDA-BEDA, MAKA PANJANG
 GELOMBANG RADIASI YANG DIPANCARKAN OLEH TIAP
 MUATAN TIDAK SAMA
 MUATAN TIDAK SAMA

$$\boxed{E_{ave}} = \int E f(E) dE = \int E (Ae^{-E/kT}) dE = \boxed{kT}$$

$$E_{ave} = \sum E_n f_n(E_n) = \sum E_n (Ae^{-E_n/kT}) \text{ where } E_n = \frac{nhc}{\lambda}$$

$$\boxed{E_{ave}} = \boxed{\frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}}$$

