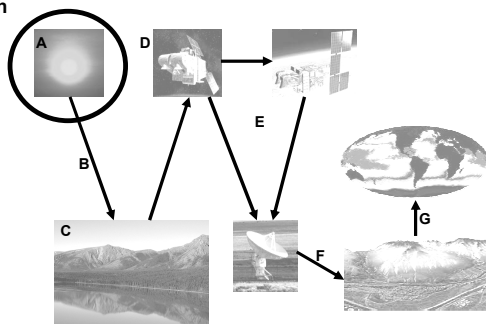


TELEDETEKCJA

- A – źródło
- B – oddziaływanie z atmosferą
- C – obiekt, oddziaływanie z obiektem
- D – detektor
- E – zbieranie danych
- F – analiza
- G – zastosowania



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

CIAŁO DOSKONAŁE CZARNE

Ciała o wysokiej temperaturze emitują energię w postaci fali elektromagnetycznej. Od pewnej energii ciała emitują poza promieniowaniem cieplnym (podczerwienią) także promieniowanie widzialne.

Wszystkie ciała cechuje zdolność absorpcyjna A oraz zdolność emisyjna W .

Dla każdej substancji stosunek zdolności emisyjnej do zdolności absorpcyjnej jest wielkością stałą i zależną od temperatury i długości fali.

$$\frac{W}{A} = \text{const}$$

Ciałem doskonale czarnym nazywamy takie ciało, którego zdolność absorpcyjna A jest równa 1.



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

PRAWO KIRCHHOFFA

Stosunek zdolności emisyjnej W powierzchni do jej zdolności absorpcyjnej A jest dla danej temperatury taki sam dla wszystkich powierzchni i jest równy zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego (CDC).

$$\frac{W}{A} = \frac{W_{\text{CDC}}}{1} = W_{\text{CDC}}$$

Czyli ciało o małej zdolności emisyjnej W równocześnie mało absorbuje.

Zdolność emisyjna W charakteryzująca ilość wypromieniowanej energii z powierzchni ciała jest funkcją temperatury i jest różna dla różnych długości fal.



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

PRAWO STEFANA-BOLTZMANN

Zdolność emisyjna ciała doskonale czarnego

$$W_{\text{CDC}} = \sigma T^4$$

gdzie, stała $\sigma = (5,67032 \pm 0,00071) * 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$

T – temperatura bezwzględna [K].

Ciało, które nie jest doskonale czarne emituje

$$W_{\text{CDC}} = a \sigma T^4$$

Gdzie a jest jego zdolnością absorpcyjną.



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

CIAŁO DOSKONAŁE CZARNE

Poza ilością promieniowania potrzebna jest nam również informacja o rozkładzie widmowym promieniowania ciała doskonale czarnego.

- Prawo Wiena
- Prawo Rayleigha-Jeansa
- Prawo Plancka



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

PRAWO WIENA (1893)

W ciele doskonale czarnym pobudzone termicznie cząsteczki poruszają się z różnymi prędkościami. Rozkład prędkości dany jest rozkładem Maxwella, który wyprowadzony został przy założeniach:

- prędkości nie zależne od kierunku
- widmo prędkości nie zależne od kierunku
- średnia energia cząsteczek wynosi:

$$\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT$$

gdzie, stała Boltzmanna: $k = 1,38062 \cdot 10^{-23} \left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

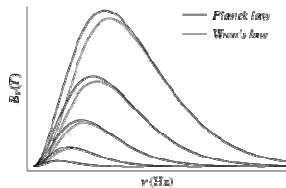
PRAWO WIENA

Gęstość energii promieniowania monochromatycznego Φ_λ wewnątrz izotermicznej wnęki ciała doskonale czarnego w zakresie długości fali od λ do $\lambda+d\lambda$ wynosi:

$$\Phi_\lambda d\lambda = \frac{c_1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) \lambda^5} d\lambda$$

gdzie c_1 i c_2 stałe promieniowania dobrane do rozkładu energii w widmie ciała doskonale czarnego.

Prawo to zawodzi dla dłuższych długości fali czyli dla mniejszych częstości.



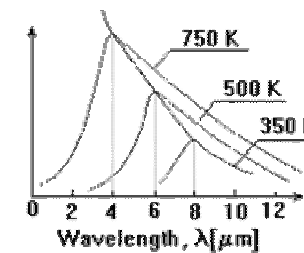
Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

PRAWO WIENA

Z poprzedniego prawa wynika, że długość fali promieniowania λ_{\max} odpowiadająca maksymalnej zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego jest odwrotnie proporcjonalna do temperatury bezwzględnej T.

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{0,28978}{T}$$



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

PRAWO RAYLEIGHA-JEANSA

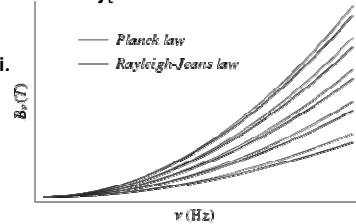
Dla uwięzionej w rezonatorze (wnęce) fali elektromagnetycznej powstaje n fal stojących. Każdy mod ma średnią energię kT . Jest to zasada ekwipartycji energii: średnia energia dla każdego kierunku/modu jest taka sama.

Gęstość promieniowania monochromatycznego φ_λ w zakresie długości fal od λ do $\lambda+d\lambda$ wynosi:

$$\varphi_\lambda d\lambda = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda$$

gdzie $\frac{8\pi}{\lambda^4}$ jest liczbą modów w jednostce objętości.

Prawo to zawodzi dla krótkich fal. Energia rośnie do nieskończoności. Katastrofa w nadfiolecie.



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelanic

PRAWO PLANCKA

W pierwszym kroku Planck zmodyfikował równanie Wiena:

$$\varphi_\lambda d\lambda = \frac{c_1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T} - 1\right) \lambda^5} d\lambda$$

Dzięki temu wynik pokrywa się z równaniem Rayleigha-Jeansa dla fal krótkich.

Czyli jedno równanie opisuje rozkład dla dowolnej długości fali.

Problem w tym, że Planck to równanie zgadł. Nie można go wyprowadzić na podstawie fizyki klasycznej.

W tym momencie rodzi się fizyka kwantowa.



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelanic

PRAWO PLANCKA

Zamiast zasady ekwipartycji energii rozumianej jako continuum stanów energetycznych o obsadzeniach proporcjonalnych do prawdopodobieństw danych przez prawo Boltzmana Planck postuluje, że mody odbierają energię od ścianek rezonatora w porcjach U . Zatem energia modu może przyjmować dyskretne wartości: $0, U, 2U, \dots$

gdzie: $U = \frac{hc}{\lambda} = h\nu$

Kozystając z tego Planck podał ostateczny wzór na gęstość energii promieniowania monochromatycznego w zakresie fal od λ do $\lambda+d\lambda$:

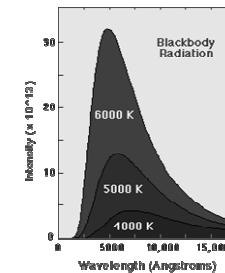
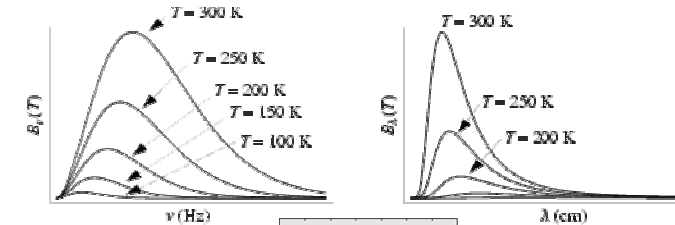
$$\varphi_\lambda d\lambda = \frac{8\pi ch}{\exp\left(\frac{ch}{\lambda kT} - 1\right) \lambda^5} d\lambda$$



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelanic

PRAWO PLANCKA

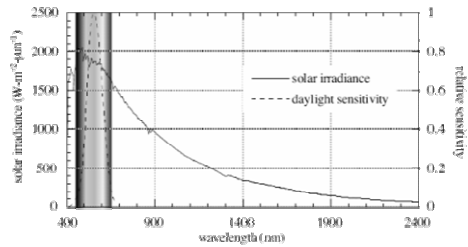


Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelanic

PRAWO PLANCKA

Dla Słońca o temperaturze 5800 K maksymalna energia przypada na falę o długości 500÷5100 nm (zielony). Co odpowiada energii fotonów 2,48 eV. Jest to energia wzbudzeń molekularnych.



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

BILANS ENERGETYCZNY PLANET

$$E_p = E_r + E_t + E_i$$

E_p – całkowita energia emitowana przez planetę

E_r – energia słoneczna odbita od planety (atmosfery i powierzchni) bez zmiany długości fali

E_t – energia reemitowana po zmianie długości fali (absorpcja części widzialnej i podczerwonej widma słonecznego i emisja w zakresie podczerwieni i mikrofal)

E_i – energia własna planety pochodząca ze źródeł wewnętrznych



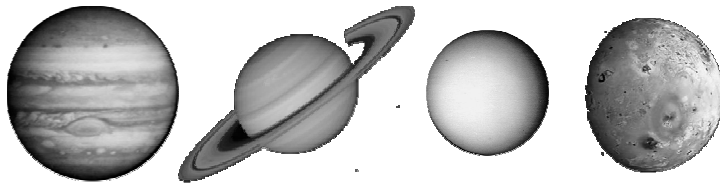
Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

BILANS ENERGETYCZNY PLANET

ŹRÓDŁA ENERGII WŁASNEJ PLANETY – E_i

- Radioaktywność
- Kurczenie się planety (Jowisz, Saturn, Uran)
- Siły pływowe (IO)



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

BILANS ENERGETYCZNY PLANET

ŹRÓDŁA ENERGII ZIEMI

Dla Ziemi energia emitowana E_i pochodzi z wnętrza.

- Jądro ziemi ma temperaturę 5600 K (słońce 5800 K).
- Radioaktywność pierwiastków.

Źródłem promieniowania jest:

- Konwekcja mas skalnych w obrębie płaszczka
- Przewodnictwo ciepłne
- Radioaktywność (w warstwie pierwszych 15÷20km)

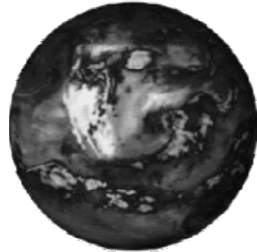


Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

SŁOŃCE → ZIEMIA

- Odległość Słońce-Ziemia: $1,49 \cdot 10^{11}$ m
- Ziemia otrzymuje $0,46 \cdot 10^{-9}$ część energii emitowanej przez słońce.
- Ziemia otrzymuje 342 W/m^2
- Dzięki swej masie Ziemia utrzymuje atmosferę.
- W rezultacie temperaturze powierzchni Ziemi wynosi 288 K , czyli 15° C .
- Maksimum energii emitowanej przez Ziemię przypada na falę o długości ok. $10\text{--}11 \mu\text{m}$.



Promieniowanie emitowane



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

SŁOŃCE → ZIEMIA

Energia otrzymywana przez Ziemię od Słońca:

$$E_R + E_T = E_0 \left(\frac{a^2}{4R^2} \right)$$

gdzie:

E_R – energia odbita

E_T – energia reemitowana po zmianie długości fali

E_0 – energia emitowana przez Słońce

a – promień Ziemi

R – odległość Słońce-Ziemia

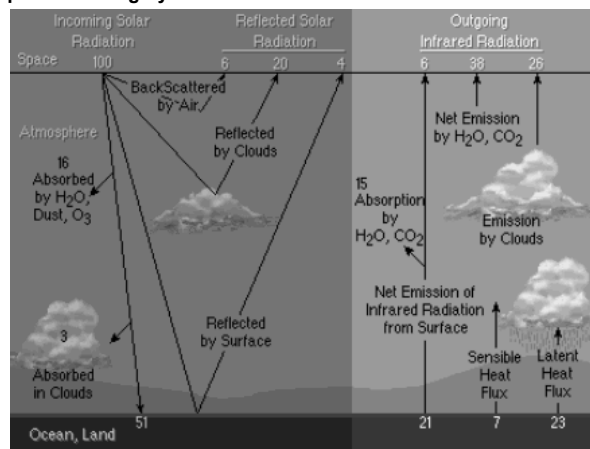


Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec

SŁOŃCE → ZIEMIA

Gospodarka energetyczna Ziemi:



Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

Rafał Kasztelaniec