

# Beskontaktno mjerjenje temperature

Milan Kordić  
MKP d.o.o.

# Cilj predavanja

- Dobiti pregled i razumijevanje pojmova potrebnih za definiciju tehničke specifikacije koju mjerni instrument mora zadovoljiti kako bi ispravno odradio svoju namjenu
- S ovog predavanja bi trebali otići sa dovoljno znanja da možete ispravno odabrati mjerni instrument

# Zadatak: Provjeriti može li uređaj raditi na 20 °C temperature okoline

- Kako pristupiti problemu?
- Definiramo sustav
- Definiramo: „Što znači može li uređaj raditi?”
- Definiramo pokus
- Definiramo mjerni uređaj
- Analiziramo rezultate

# Sustav koji se promatra

- Ispravljač sa prekidanjem struje.
- Ulazni napon: napon gradske mreže
- Izlazni napon: 24 V
- Izlazna struja: 2 A
- Snaga?

# Izrada pokusa

- Kao trošilo odabiremo otpornik
- Kriterij: preveliko zagrijavanje
  - Što znači preveliko? Definirati broj.
  - Kritični elementi (svi, neki, nije me briga)
- Ispitna metodologija
  - Bez opterećenja
  - 2 A opterećenje

# Da bi zadovoljili kriterij sa razinom pouzdanosti...

- Mjernu veličinu moramo „dobro” izmjeriti
- „Dobro” u brojkama znači:
  - Zadovoljiti mjerni opseg koji se očekuje
  - Točno
  - Sa potrebnom osjetljivošću
  - Snimiti brzinu promjene ako je potrebno
  - Pregledati cijeli sustav

# Što mjerimo?

- Kriterij pokusa nam za mjernu veličinu daje temperaturu
- Što je temperatura?
- Što je toplina?
- Dosad ste čuli za nekoliko tipova različitih mjerila temperature
- Kojim od ranije navedenih mjerila možemo zadovoljiti naš mjerni kriterij

# Can't touch this...

- Može li naš instrument zadovoljiti:
  - očekivani mjerni opseg?
  - točnost?
  - osjetljivost?
  - brzinu uzorkovanja?
  - ponovljivost mjerne metode
  - efikasan utrošak vremena u izvođenju pokusa

# Mjerni opseg koji se traži

- Tipično od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $2000^{\circ}\text{C}$
- Ispod nule postaje izazov zbog malog signala
- Iznad  $2000^{\circ}\text{C}$  postaje izazov zbog fizikalnih karakteristika mjernog instrumenta
- Koje osjetilo temperature nam omogućava takav mjerni opseg?

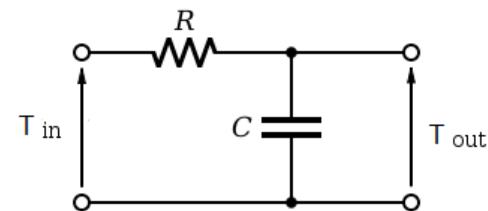
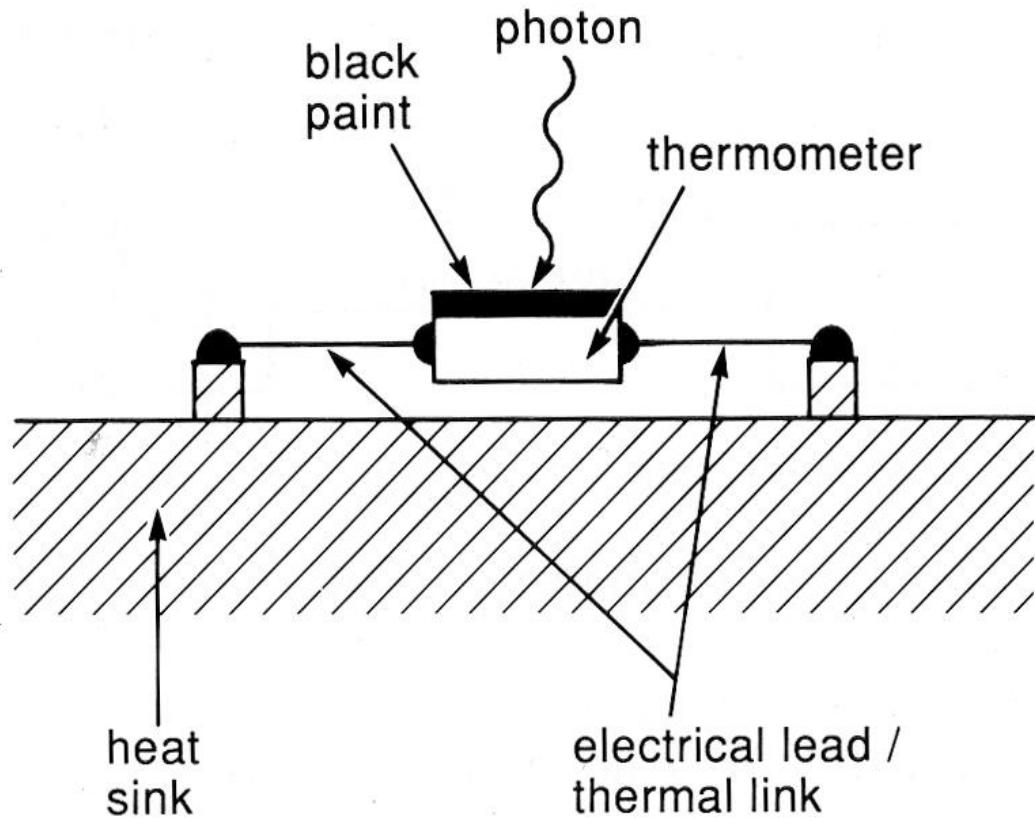
# Termistor

Kako dobijemo informaciju o temperaturi iz termistora:

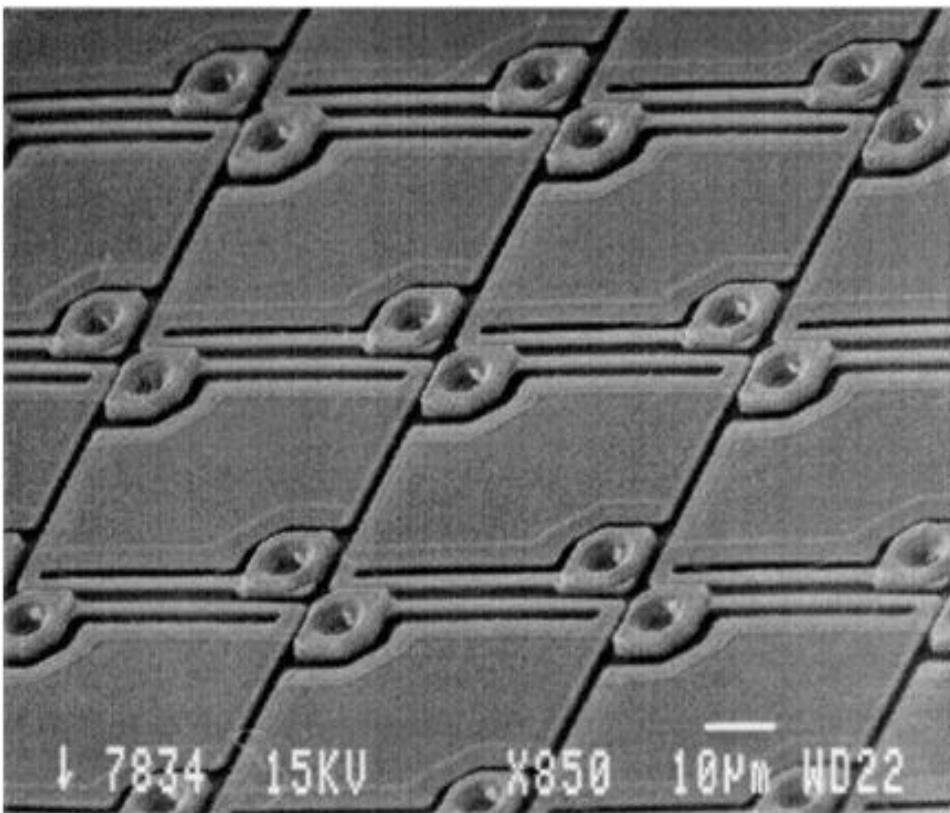
- Osjetilo?
- Pretvorba u električnu veličinu?
- Obrada signala?
  - Steinhart-Hart jednadžba:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C[\ln(R)]^3$$

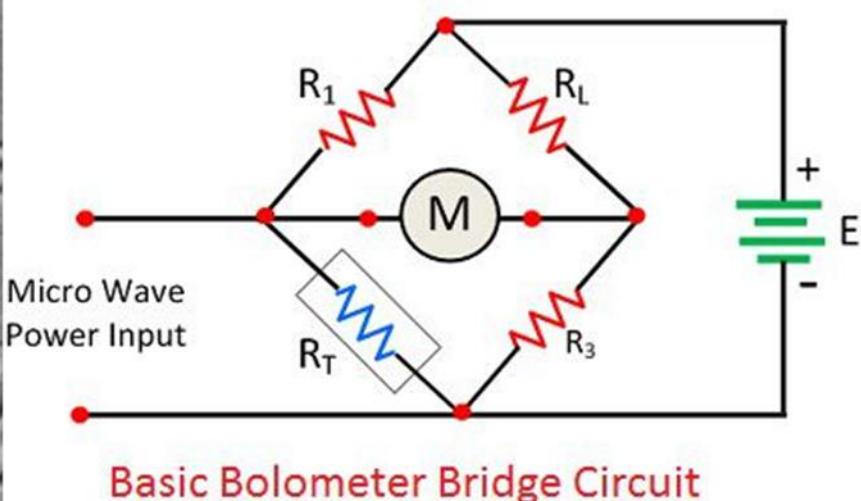
# Bolometer



# Izgled bolometra



Electron Microscope Image  
of microbolometer FPA



Circuit Globe

# Vratimo se na mjerni opseg

- Kamera na stolu ima 14-bitni A/D konverter za svaki piksel
- Mjerni opseg joj je  $2040\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Koliko nam iznosi vrijednost Least Significant bita?
- Kako biste povećali rezoluciju instrumenta?
- Zadovoljava li instrument naše potrebe?

# Točnost [eng. Accuracy]

- Tipična  $\pm 2^\circ$  ili  $\pm 2\%$  izmjerene vrijednosti
- Na  $100^\circ\text{C}$  grijemo max  $2^\circ\text{C}$
- Instrument je umjeren 28. 3. 2017., možemo napraviti usporedno mjerenje sa drugim mjernim instrumentom
- Iskoristit ćemo termometar na električnom kuhalu
- Koju razliku očekujemo?

# Objašnjenje rezultata

Što se dogodilo?

Je li u pitanju možda:

Gruba pogreška (kuhalo ne radi kako treba)

Sistematska pogreška (loša pozicija kamere)

Slučajna pogreška (algoritam za fokus)

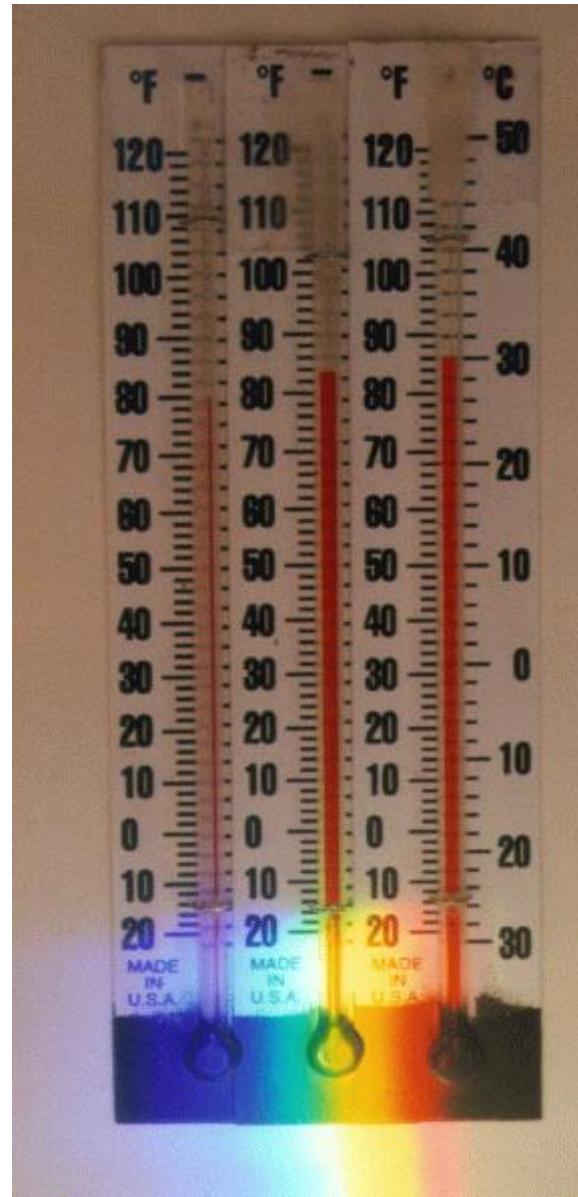
Provjerimo rezultat kontaknog mjerenja.

# Zašto kamera nije izmjerila dobro?

- Rekli smo da je bolometar element koji mjeri intenzitet zračenja [  $\text{Wm}^{-2}$  ]
- Možda kuhalo ima slab intenzitet kojeg odašilje u prostor
- Kako bismo to potkrijepili teorijom?
- Koja je fizikalna podloga našeg pokusa?

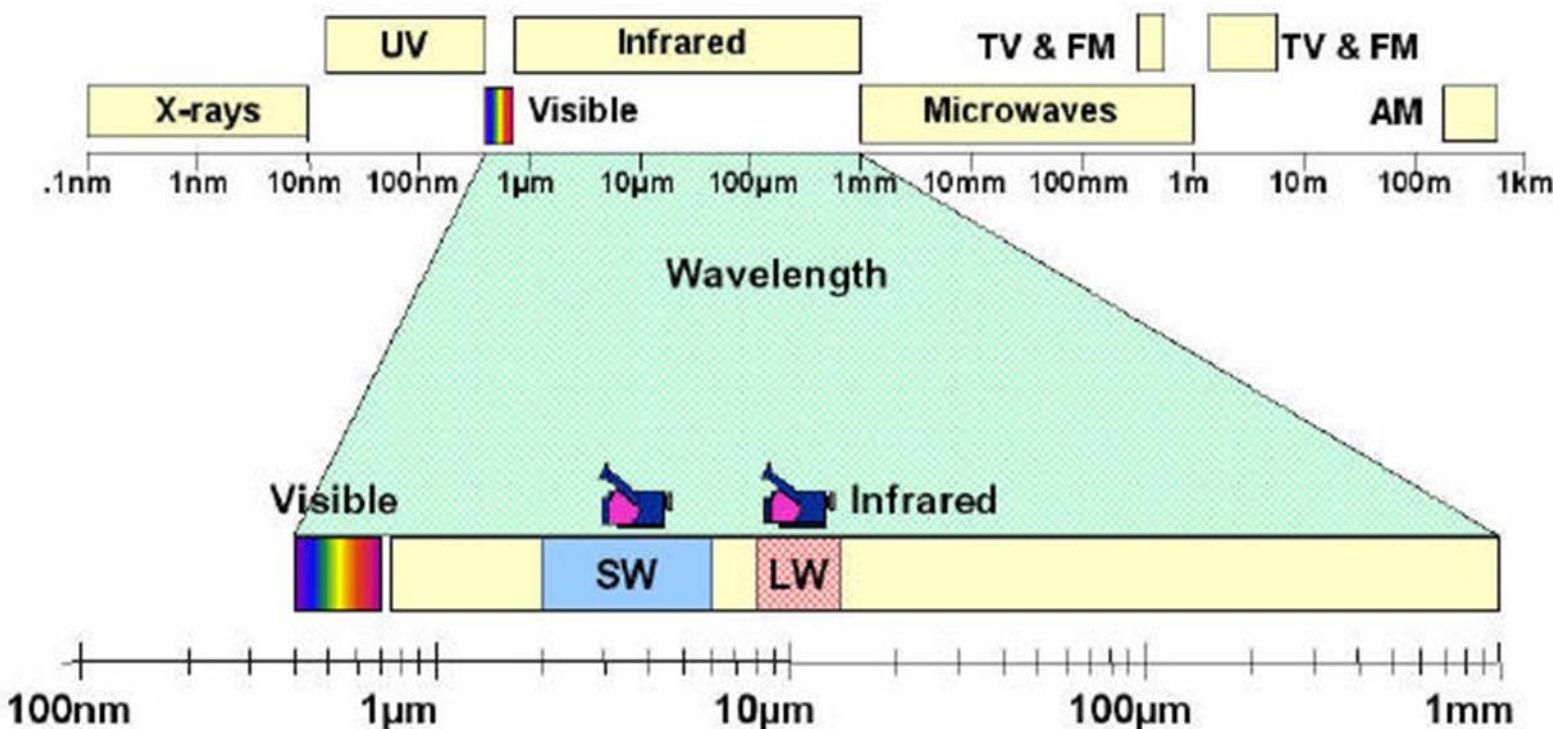
# Malo povijesti

- William Herschel  
(godina 1800.)



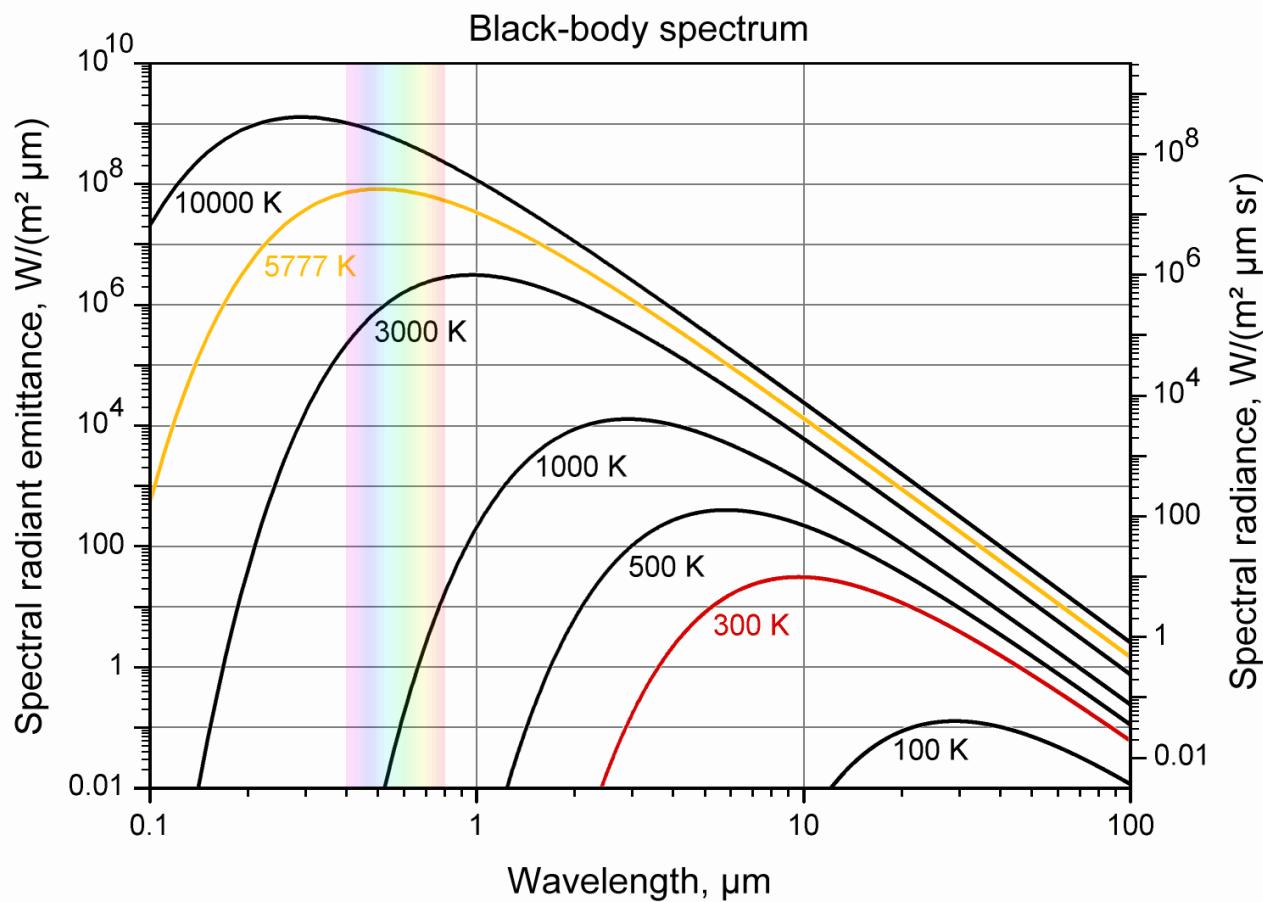
# Spektar EM valova

- Sva tijela iznad absolutne nule zrače u cijelom EM spektru



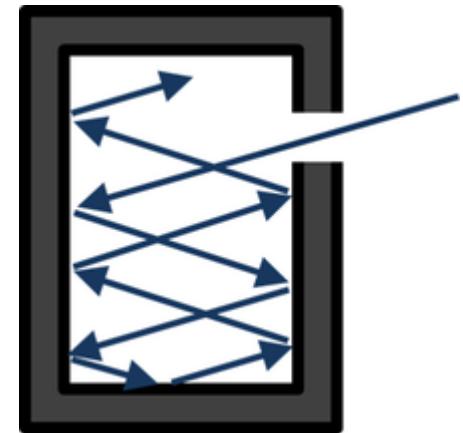
# Intenzitet zračenja IC valova

- Opisan Plackovim zakonom za crna tijela:



# Zračenje crnog tijela

- Crno tijelo upija svo upadno zračenje
- Zamislimo crno tijelo kao kockicu s otvorom:
- Za crnu kockicu vrijedi:
  - Konstantna temperatura
  - Refleksije unutar kocke difuzne
  - Prilikom refleksije, dio se apsorbira



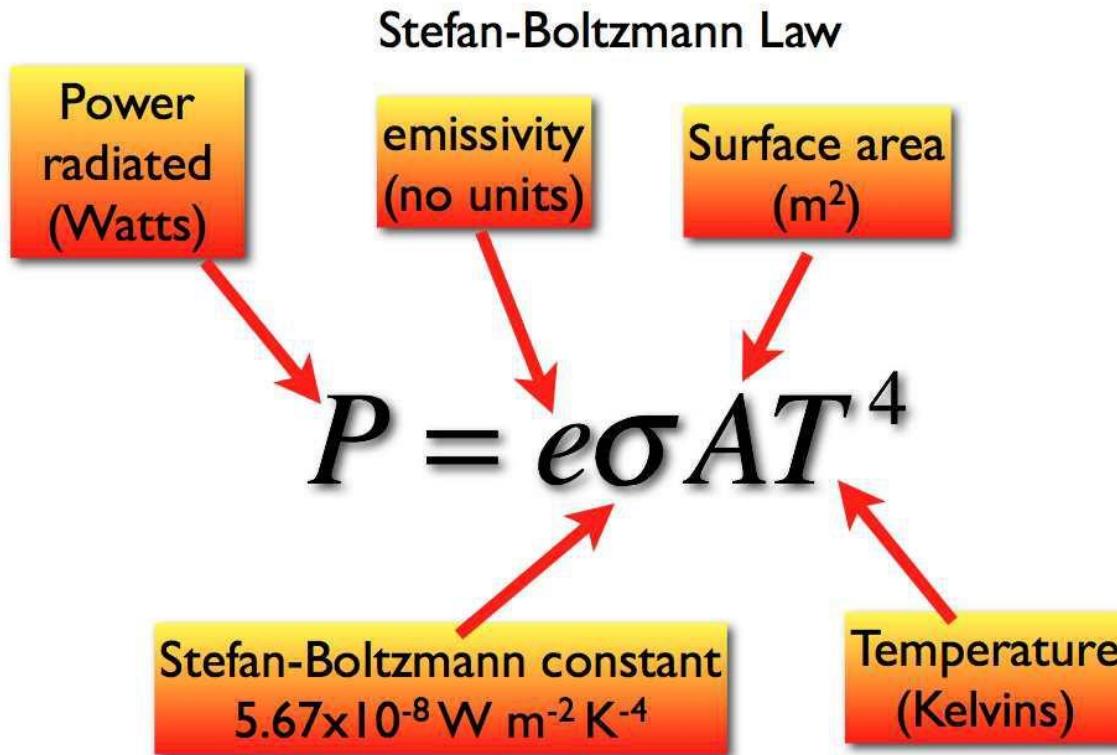
# Svojstva crnih tijela

- Intenzitet gustoće zračenja opisan Plackovim zakonom
- Crno tijelo upija svo upadno zračenje
- Niti jedno drugo tijelo ne može emitirati više vlastitog zračenja od crnog
- Crno tijelo emitira zračenje jednako u svim smjerovima

# Važnost crnog tijela za naš bolometar

- Crno tijelo apsorbira svo upadno zračenje:  
**apsorpcijski spektar**
- Crno tijelo emitira isključivo **vlastito zračenje**:  
dakle nema refleksija
- Zračenje realnih tijela više ili manje se može  
aproksimirati zračenjem crnog tijela
- Što moramo doznati o sustavu kako bi ga  
opisali pomoću crnog tijela?

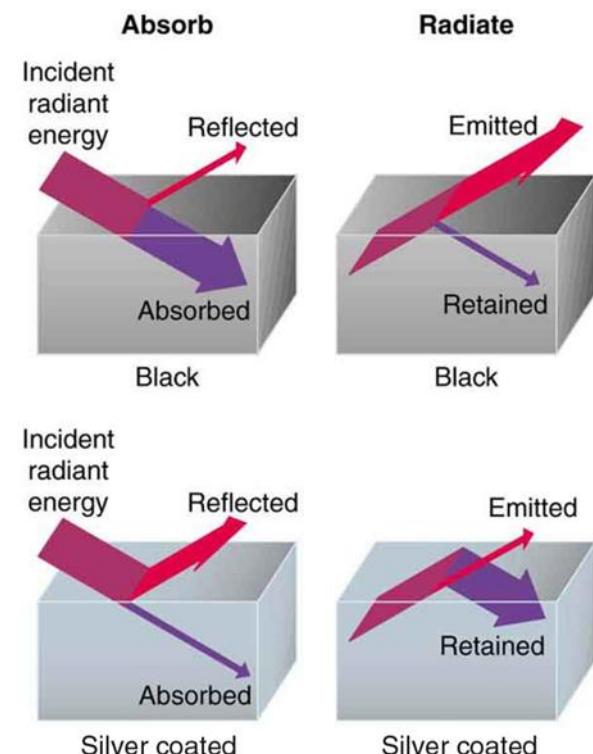
# Stefan, Boltzmann, Kirchhoff i volonter na ploči



# Što se događa sa EM valom prilikom upada na tijelo?

- Zakon očuvanja energije.
- Promatramo sa dva stajališta:
  1. Što apsorbira kamera?
  2. Što emitira realni sustav?

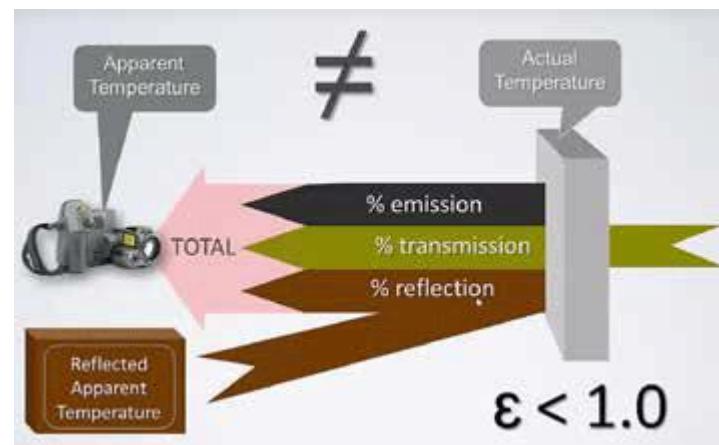
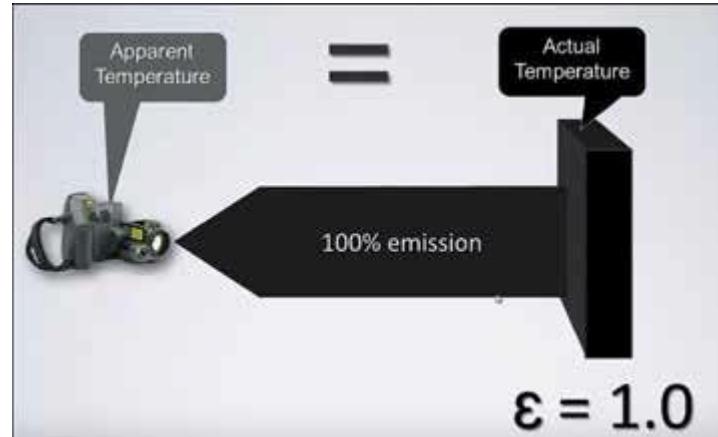
**Nas zanima samo sustav,  
ali kameru zanima sve...**



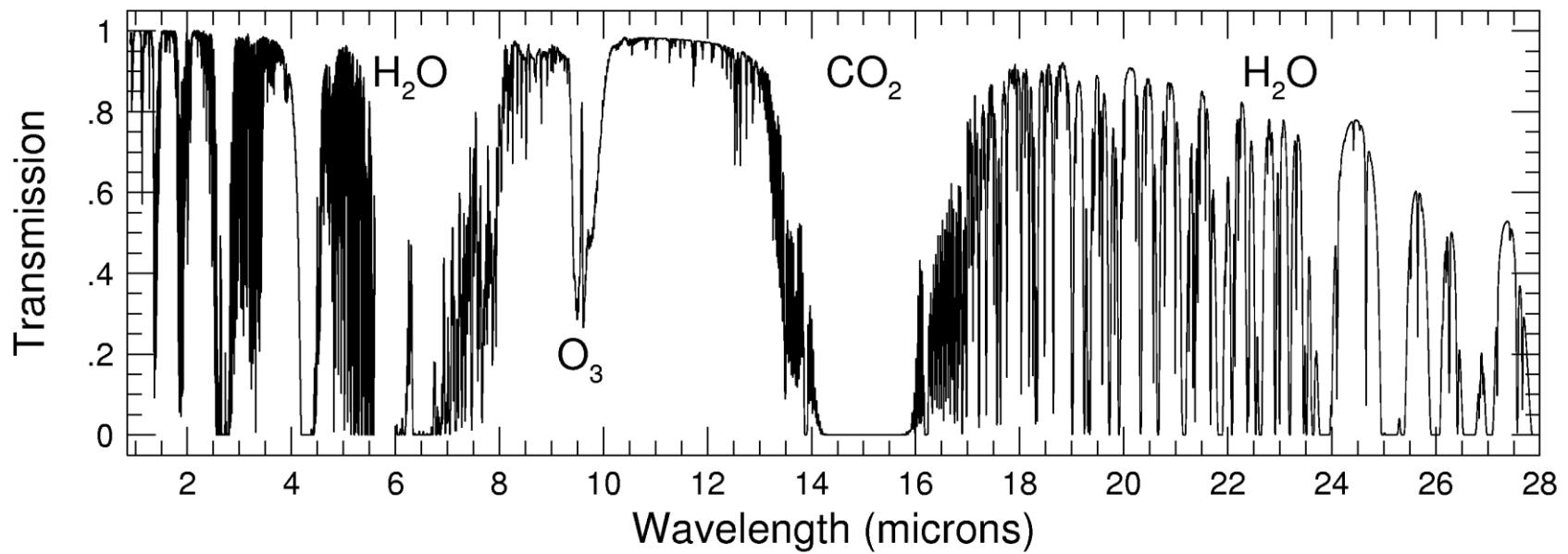
# Emisivnost

- Ovisi o kutu, temperaturi, materijalu, spektru,...
- Mi ćemo se koncentrirati na materijal prvenstveno

# Refleksivnost

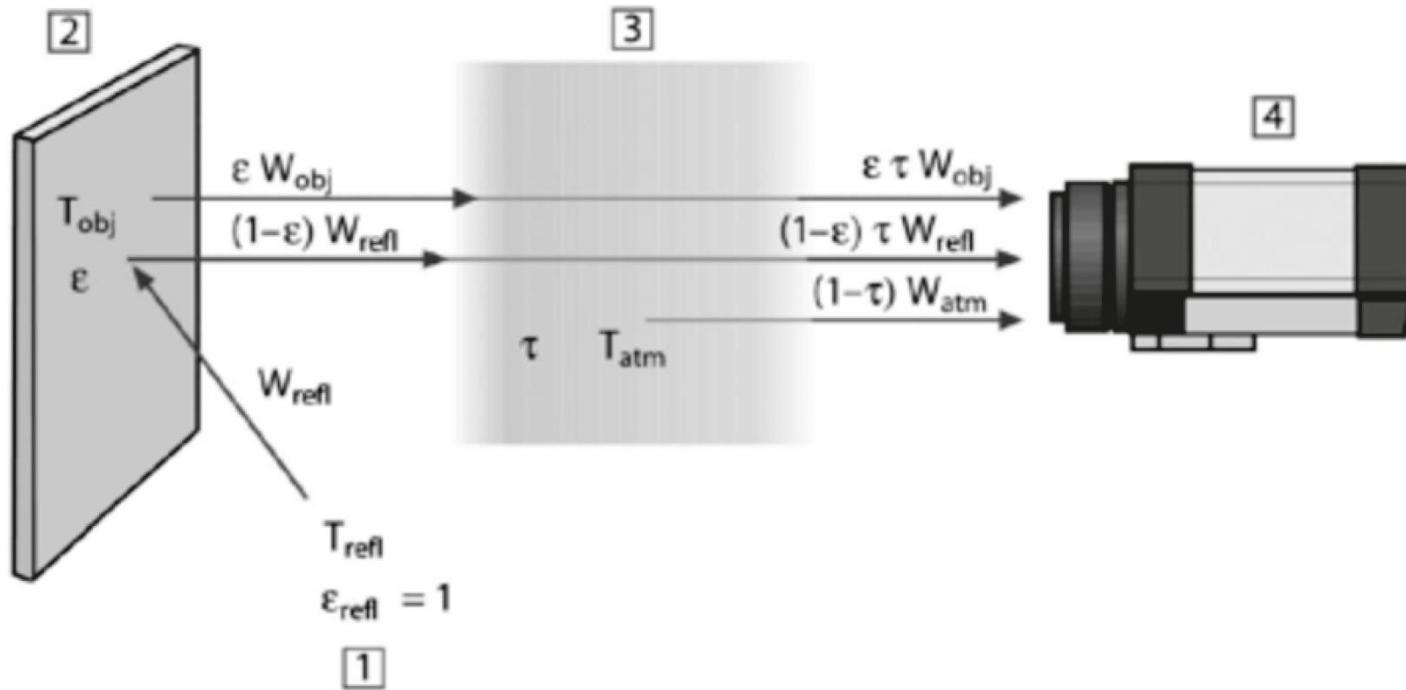


# Udaljenost, relativna vlažnost i temperatura zraka



# Ukupni utjecaj

Figure 1 – Schematic representation of a thermographic measurement. 1) adjacent ambient, 2) object, 3) atmosphere, 4) camera.  $T_{obj}$ : object's temperature,  $T_{refl}$ : reflected temperature,  $T_{atm}$ : atmosphere temperature (room temperature).  $W_{obj}$ : radiation potency emitted by object,  $W_{refl}$ : radiation potency emitted by adjacent ambient,  $W_{atm}$ : radiation potency emitted by atmosphere (17)

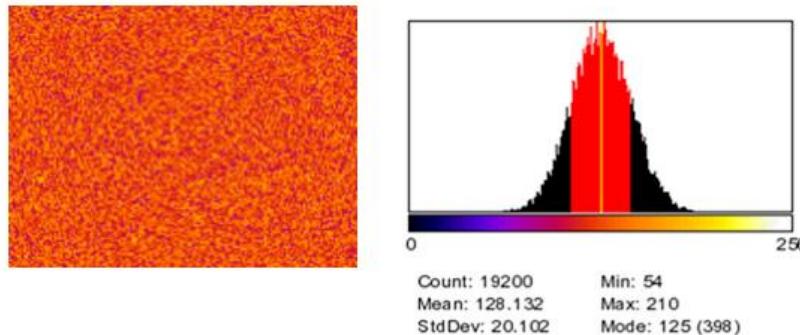


# Mjerna metoda

- Prilikom mjerjenja struje, vrši se usporedba sa etalonom struje.
- Bolometar mjeri intenzitet zračenja
- Naš etalon za usporedbu je crno tijelo
- Na taj način vrši se umjeravanje opreme
- Zadovoljava li nas točnost instrumenta?

# Temperaturna rezolucija

- Deklarira se obično kao NETD@T ili Noise equivalent temperature distribution na temperaturi snimanog tijela

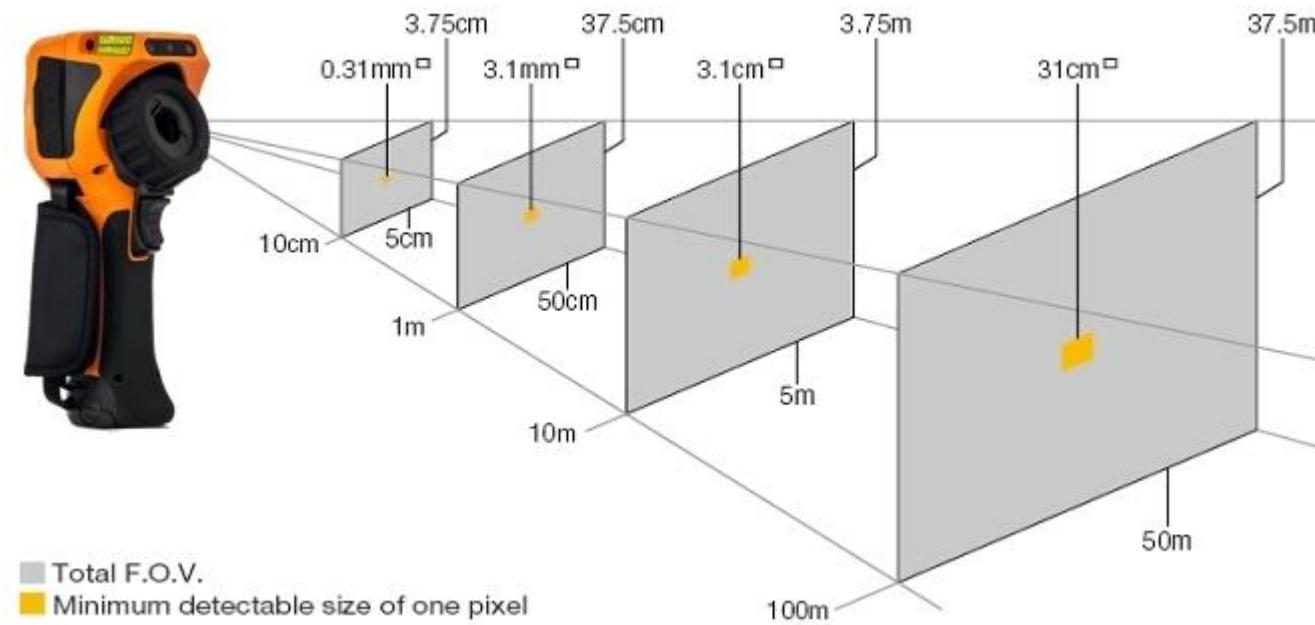


# Nastavak

- Ovisi o temperaturi snimanog tijela
  - Viša temperatura, bolja rezolucija
  - Zašto?
- Ovisi o izboru leće
- Ovisi o tehnologiji:
  - Otpornička osjetila oko 50 mK
  - Diodna osjetila oko 15 mK

# Prostorna rezolucija

- Senzor: svi pikseli skupa
- Što vidi senzor: FOV ili Field of View
- Što vidi jedan piksel; IFOV ili Instantaneous FOV



# Veličina elemenata koje snimamo

- Zavojnice su cca. 40x40 mm
- Kondenzatori se kreću 5x10 mm do 20x30 mm
- Tranzistori reda veličine 6x6 do 20x20 mm
- Ostali elementi između 3x10 mm pa do 1x3mm
- Zadovoljava li uređaj?

# Dinamički odziv

- Tipične vrijednosti bolometra 30-60 Hz
- Što prvenstveno ograničena otporna mjerila?
- Diodni detektori: >500 Hz
- Bitno je čita li se cijela grupa senzora ili samo jedan dio mreže

# Prijelazne pojave i stabilnost

- Uključenje i temperaturni šok
- Samokalibracija ili NUC [eng. nonuniformity correction]

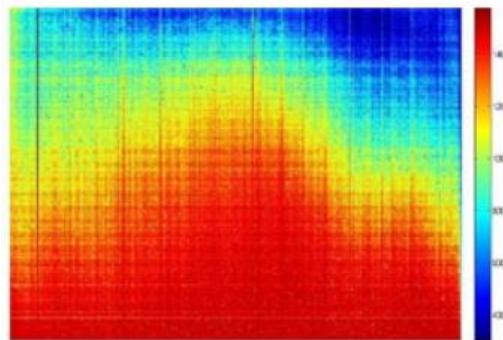


Image 1: Uncorrected Image



Image 2: Corrected Image

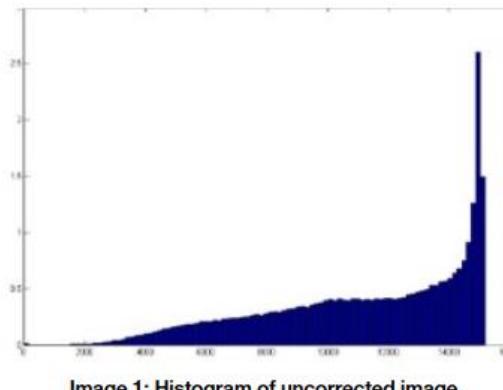


Image 1: Histogram of uncorrected image

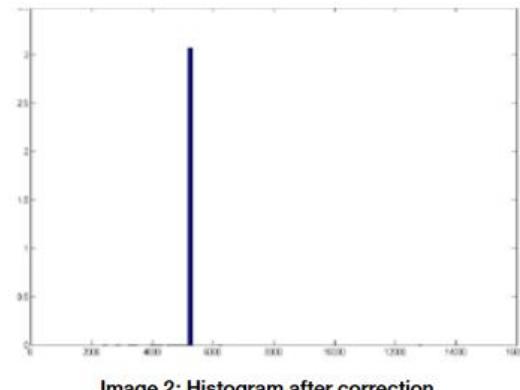
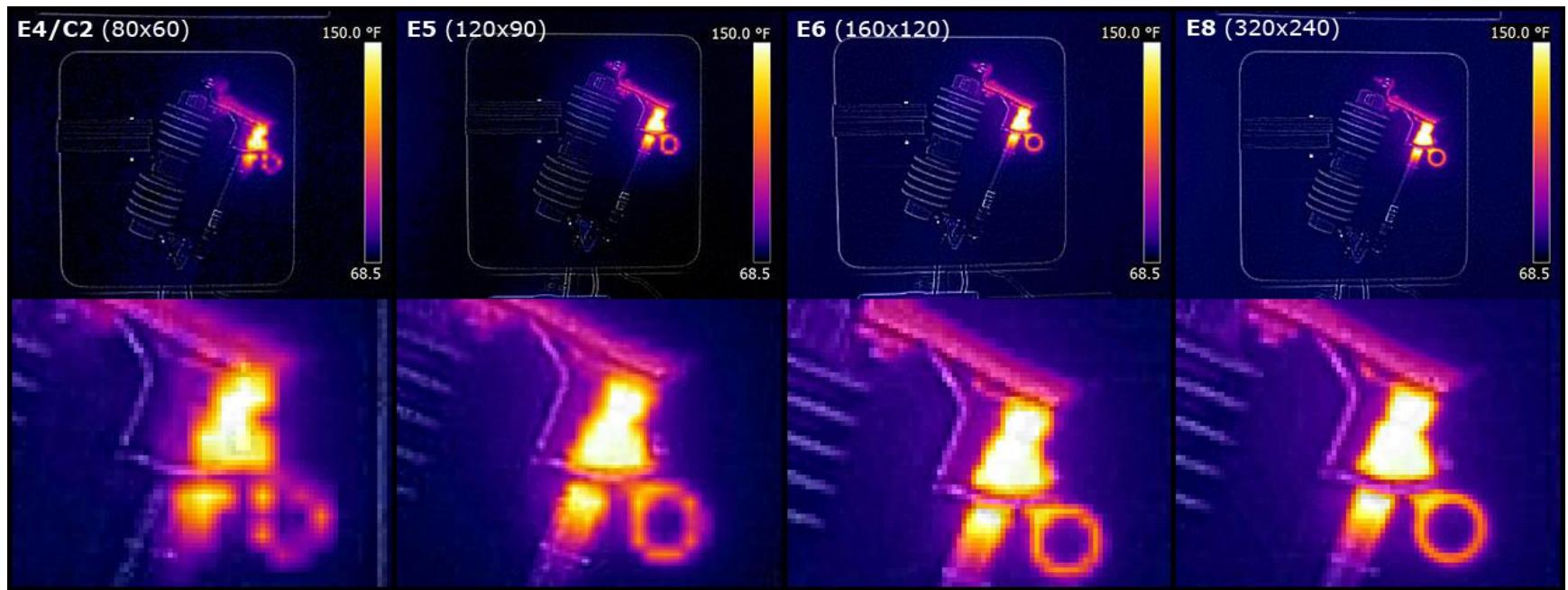


Image 2: Histogram after correction

# Rezolucija



# Efikasnost pokusa

- Kako biste provjerili uređaj na stolu pomoću kontaktnih mjerila?
- Kako kontaktno mjeriti kad radimo sa visokim naponom, recimo?
- Kako kontaktno mjeriti pokretne elemente?
- Kako kontaktno mjeriti teško pristupačne elemente (npr. dalekovod)?
- Koliko nam je doista bitna točnost?

# Rezultati pokusa

- Što možemo reći o temperaturi elemenata?
- Jesu li rezultati u skladu sa Vašim očekivanjima
- Zadovoljava li uređaj Vaš kriterij?
- Koja poboljšanja biste predložili?

# Završne napomene

- 1. NIKADA KAMERU NE UPERITI U SUNCE!!!!**
- 2. NIKADA KAMERU NE UPERITI U SUNCE!!!!**
3. Leću čistiti blagim mlazom zraka (pumpicom, ne kompresorom)
4. Ako prašina dođe na senzor, šaljite proizvođaču na čišćenje; nemojte sami.
5. Ako mislite da možete sami, pogledajte još jednom na račun za uređaj, proći će vas.