بسم الله الرحمن الرحیم

بخش هفتم

ابزار اندازه گیری و کنترل
ترم دوم سال تحصیلی ۹۷-۹۶

محمد مزیدی
Mazidi.blog.ir
Mohammad.mazidi@iran.ir

حرارت

- **حرارت** در یک جسم، مربوط به انرژی سینتیک ملکول‌های موجود در یک بخش معینی از آن جسم می‌باشد.
- این انرژی به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد و از درجه حرارت (دما) بعنوان یک خاصیت فیزیکی نشاندهنده انرژی حرارتی جسم استفاده می شود.

➢ اندازه گیری درجه حرارت با استفاده از برخی خواص انجام می گیرد:

- تغییر در طول میله
- تغییر در حجم مایع
- تغییر در مقاومت الکتریکی سیم
- تغییر فشار حجم ثابتی از گاز
- تغییر رنگ فیلامان یک لامپ

حرارت

❖ مقیاس‌های اندازه‌گیری تغییرات درجهٔ حرارت

- مقیاس فارنهایت: در این مقیاس ۱۸۰ قسمت (درجه) بین نقطهٔ انجماد و نقطهٔ جوش آب وجود دارد (به ترتیب ۳۲ و ۲۱۲ درجهٔ فارنهایت).
- مقیاس سلسیوس: همین فاصله را به صد قسمت تقسیم نمود (به ترتیب صفر و ۱۰۰ درجهٔی سلسیوس)
- مقیاس درجه حرارت مطلق: کلوین برای نشان دادن درجه حرارت مطلق سلسیوس و رنکلین برای فارنهایت بکار می رود.

$$\theta_K = T_C + 273.15$$

$$\theta_R = T_F + 459.67$$

- در این روابط θ_K وθ_R هر دو درجه حرارت مطلق به ترتیب برحسب کلوین و رنکین، و T_C و T_F درجه حرارت به ترتیب بر حسب سلسیوس و فارنهایت می‌باشند.

مبدل حرارت

➢ تغییر طول میله

- وقتی اجسام در معرض تغییرات درجه حرارت قرار می‌گیرند ($\Delta T = T - T_0$) ، مطابق رابطهٔ زیر منبسط و یا منقبض می‌شوند:

$$\Delta \ell = \alpha \ \ell_0 \ \Delta T$$

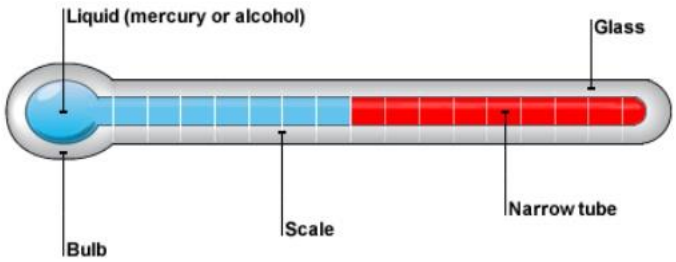
- در این رابطه $\Delta \ell$ تغییر در طول جسم، ℓ_0 طول جسم در درجه حرارت شاخص (T_0) و α ضریب انبساط حرارتی می‌باشد.

- از آنجایی که تغییرات طول بسیار کم می باشد از این روش بصورت مستقیم برای اندازه گیری تغییرات دما استفاده نمی شود.

مبدل حرارت

➢ تغییر حجم مایع (گرماسنج مایع در شیشه)

- از یک لولهٔ موئین شیشه‌ای تشکیل یافته که دارای حباب کوچک پر از مایع (به طور معمول جیوه و گاهی الکل) می‌باشد.
- اختلاف در حجم حاصل از انبساط یا انقباض موجب می‌شود که مایع در لولهٔ شیشه‌ای بالا یا پایین رود.
- برای محدوده ۲۰۰- تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می شوند.



➢ مزایا

- ارزان بودن
- استفاده آسان
- عدم نیاز به منبع تغذیه
- تکرارپذیری بالا و عدم نیاز سریع به کالیبراسیون

➢محدودیت ها

- برای کاربردهای خیلی دقیق مناسب نیستند
- نتایج دیجیتال ندارند.
- خطای ناشی از تماس با دست وجود دارد
- خطای قرائت دما وجود دارد.

مبدل حرارت

- فلزات (یا نیمه هادی ها) از نظر حساسیت مقاومت الکتریکی در مقابل حرارت سه گونه اند:
  1. فلزات یا آلیاژ هایی که نسبت به درجه حرارت حساسیت ندارند
  2. فلزاتی که با افزایش درجه حرارت مقاومت آنها زیاد می شود (PTC)
  3. اکسید بعضی از فلزات در مقابل افزایش دما افت مقاومت الکتریکی شدیدی از خود نشان می دهند (NTC)

مبدل حرارت

➢ گرمایاب مقاومتی (PTC)

- رابطه بین مقاومت الکتریکی و درجه حرارت که در این المانها مشاهده می‌شود به صورت زیر می‌باشد:

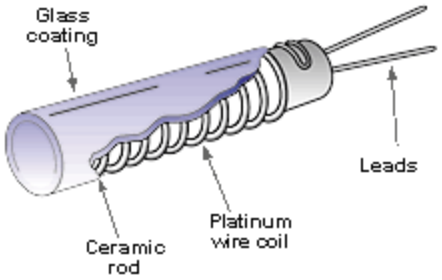
$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \rightarrow R_2 = R_1(1 + \alpha\Delta T)$$

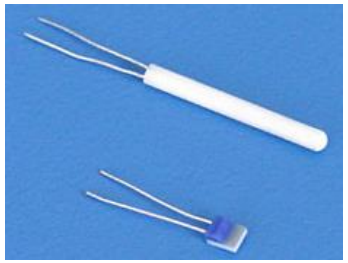
- به طور معمول از جنس پلاتین، نیکل و یا آلیاژ نیکل–مس ساخته می‌شود.

Resistance-temperature coefficients and resistivity at 20°C†

Substance	$\alpha(°C^{-1})$	$\rho(\mu\Omega \cdot cm)$
Nickel	0.0067	6.85
Iron (alloy)	0.002 to 0.006	10
Tungsten	0.0048	5.65
Aluminum	0.0045	2.65
Copper	0.0043	1.67
Lead	0.0042	20.6
Silver	0.0041	1.59
Gold	0.004	2.35
Platinum	0.00392	10.5
Mercury	0.00099	98.4
Manganin	±0.00002	44
Carbon	−0.0007	1400
Electrolytes	−0.02 to −0.09	Variable
Semiconductor (thermistors)	−0.068 to +0.14	10^9

- اکثر مبدل های حرارت مقاومتی از یک سیم نازکی که به دور یک هسته سرامیکی یا شیشه ای پیچیده شده تشکیل شده است.





مبدل حرارت

ترمیستورها (NTC)

- رابطه بین درجه حرارت و مقاومت الکتریکی به صورت نمائی می‌باشد:

$$R = R_0 \exp[\beta(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{\theta_0})] \qquad Ln(\frac{R}{R_0}) = \beta(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{\theta_0})$$

- R_0 مقاومت الکتریکی در درجه حرارت شاخص (θ_0) و β ضریب ثابتی است که به طریق تجربی بدست می‌آید و مقدار آن وقتی که θ_0 و θ (درجه حرارت مطلق) بر حسب کلوین باشند تقریباً بین ۳۰۰۰–۵۰۰۰ K است. این کمیت بستگی به جنس نیم‌هادی و درجه حرارت دارد. θ_0 و θ به ترتیب درجه حرارت مطلق شاخص و درجه حرارت مطلق ثانویهٔ نیم‌هادی است.

- نیم‌هادی‌هائی که در ترمیستورها ممکن است به کار روند شامل اکسیدهای نیکل، کوبالت، مانگانز و سلفیدهای آهن، آلومینیوم و مس می‌باشند.

مبدل حرارتی

- به طور معمول از پیوند پودرهای نیم‌هادی که به صورت اکسید هستند توسط یک چسب مخصوص استفاده می‌شود. مایع مخلوط روی سیم‌های نیم‌هادی ریخته می‌شود و بعد از خشک و سفت شدن به عنوان ترمیستورهای تسبیحی عرضه می‌شود.

- مشکل اصلی NTC ها رفتار غیرخطی و خاصیت خودگرمایی آنها می باشد.
- NTC برای میدانهای نسبتا محدود درجه حرارت در محدوده دمای محیط مناسب می باشند.
- حساسیت ترمیستورهای NTC نسبت به PTC بیشتر می باشد.

مبدل حرارتی

- کاربردهای PTC

- بعنوان یک دستگاه محدود کننده جریان مانند فیوز.
- بعنوان یک بخاری در داخل کابین ماشین های دیزلی یا گرم کردن موتورهای دیزل در سرما
- در مدار محافظ باتری لیتیوم

- کاربردهای NTC

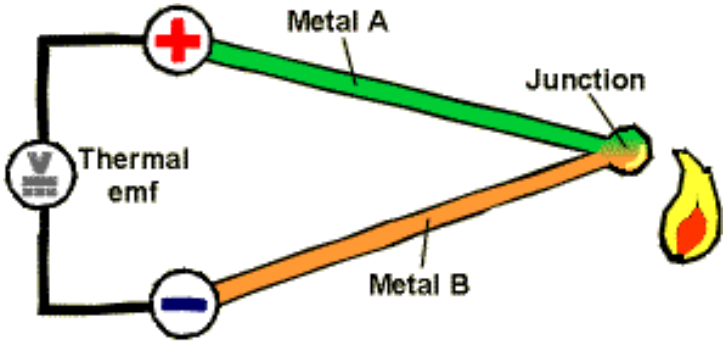
- بعنوان یک دماسنج در دماهای کم
- محدود کننده جریان بالای اولیه هنگام روشن شدن منبع تغذیه. با گذشت زمان گرم شده و مقاومتش کم می شود و اجازه می دهد جریان برقرار شود.
- بعنوان سنسور در اتوموبیل برای نظارت بر دمای خنک کننده ها
- نظارت بر دمای باتری هنگام شارژ شدن
- برای نظارت بر فرآیندهای صنایع غذایی

مبدل حرارتی

- **اثر ترموالکتریک** تبدیل مستقیم اختلاف دما به ولتاژ الکتریکی و یا برعکس آن است.
- اگر دو مفتول فلزی غیر هم جنس را به هم پیچیده و محل پیچیدگی را حرارت دهد بین دو سر دیگر مفتول ها نیروی محرکه الکتریکی (emf) ایجاد می شود. emf تابع دمای نقطه اتصال است.

ترموکوپل

- در انتخاب فلزات ترموکوپل باید سعی شود که اختلاف پتانسیل (میلی ولت) حاصل از درجه حرارت مورد اندازه گیری حداکثر باشد.



- ترموکوپلها محدودهٔ وسیع اندازه گیری آنهاست که به طور اسمی از ۱۸۰- تا ۱۸۰۰+ درجه سانتیگراد را در برمی گیرد.

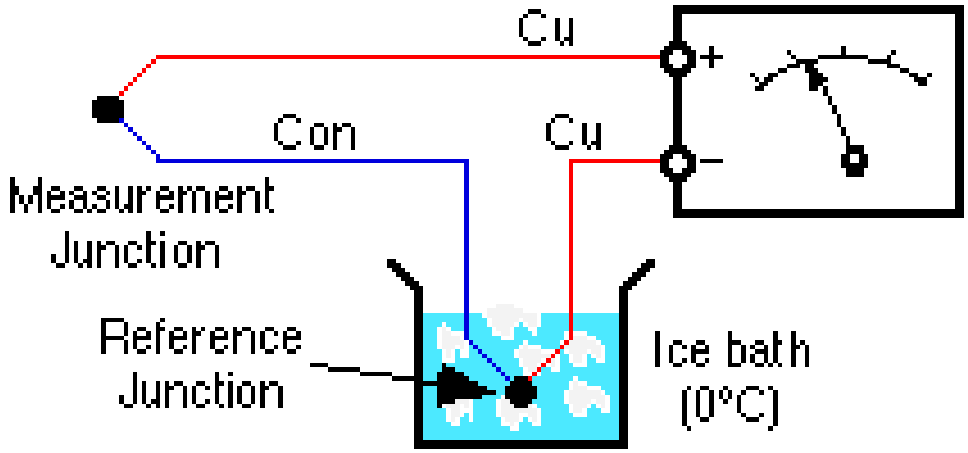
مبدل حرارتی

- انواع ترموکوپل

نوع	جنس	رنج دمایی	حساسیت	قابلیت استفاده در			
				خلا	اکسیده	کاهیده	خنثی
K	کرومل–آلومل	-184 to 1260	39 µv/C	ندارد	دارد	ندارد	دارد
J	آهن–کنستانتین	0 to 760	55 µv/C	دارد	دارد	دارد	دارد
E	کرومل–کنستانتین	0 to 982	76 µv/C	ندارد	دارد	ندارد	دارد
T	مس–کنستانتین	-184 to 400	45 µv/C	دارد	دارد	دارد	دارد
N	نیسیل–نیکروسیل	0 t0 1100	10.4 µv/C	دارد	دارد	دارد	دارد

مبدل حرارتی

- ترموکوپلها اختلاف دما را اندازه گیری می کنند نه دمای مطلق
  - نیاز به دمای مرجع دارند (نقطه سرد)
- هر ترموکوپل باید حداقل دارای دو نقطه اتصال باشد
  - با دانستن دمای یک نقطه دمای نقطه دیگر بدست می آید



- فراهم کردن شرایط مرجع یخ همیشه امکان پذیر نیست درنتیجه از روش های دیگر اندازه گیری، دمای مرجع بدست می آید و اصلاحات ولتاژ اعمال می شود.

مبدل حرارتی

- محدودیت های استفاده از ترموکوپل
  - نیاز به اندازه گیری دو دما (یکی مرجع و دیگری نقطه مورد نظر) داریم.
  - ولتاژ تولید شده وابسته به خلوص مواد استفاده شده در سیم ها می باشد لذا در انتخاب مواد باید دقت نمود.
  - سیگنال ولتاژ نسبت به دما غیرخطی می باشد.
  - برای کالیبراسیون می بایست ترموکوپل در نزدیکی ترموکوپل مرجع باشد و اگر ترموکوپل را برداشته و دوباره در داخل حمام یخ قرار دهیم، دقیقا همان خروجی را تولید نمی کند.

مبدل حرارتی

➢ گرماسنج تابشی

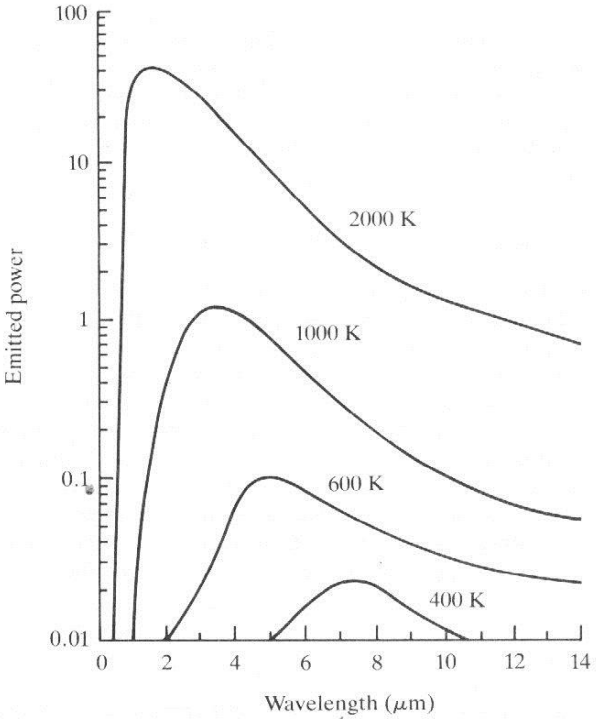
- در درجات حرارت بالا به خاطر ناپایداری و از بین رفتن عایق‌بندی، مبدل های قبلی کارائی خود را از دست می‌دهند.
- تمامی اجسام متناسب با درجه حرارت خود (بالای صفر مطلق) دارای تشعشعات الکترومغناطیسی (تشعشات حرارتی) می‌باشند.
- میزان انرژی تابشی خارج شده از یک جسم با سطح سیاه، با درجه حرارت آن جسم:

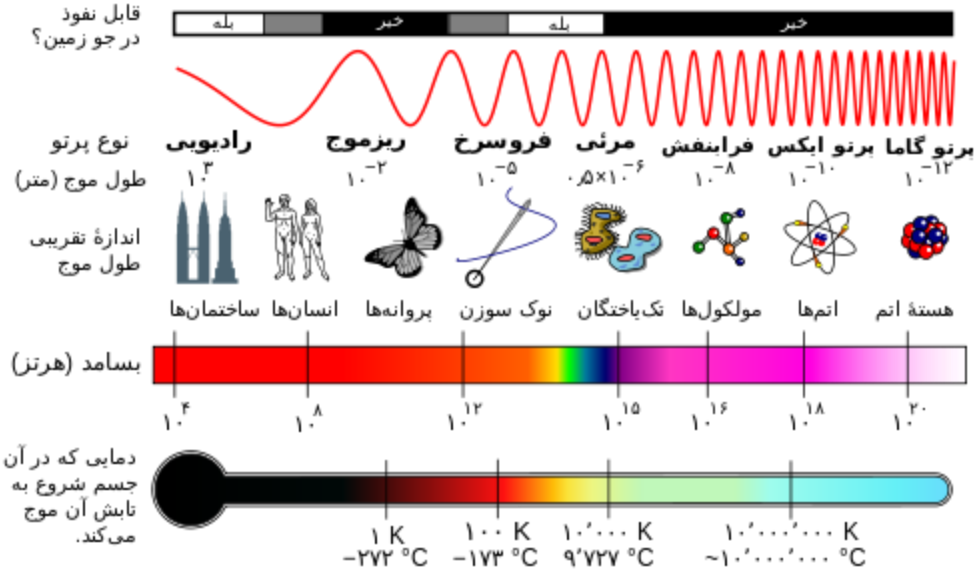
$E = KT^4$

- K ضریب ثابت و مقدار آن $K = 5.67 \times 10^{-8}$، E انرژی (توان) تخلیه شده از جسم برحسب وات بر مترمربع و T درجه حرارت مطلق جسم بر حسب کلوین یا رنکین است.
- با این روش می‌توان درجه حرارت یک قطعه را بدون آنکه با آن تماس حاصل شود اندازه‌گیری نمود.

مبدل حرارتی

- تشعشعات الکترومغناطیسی خارج شده از یک جسم دارای طول موجهای متفاوتی می باشد.
- قسمت عمده طیف فرکانس مطابق با گسترهٔ بین امواج قابل رویت و مادون قرمز می‌باشند.





مبدل حرارتی

- چالش های اندازه گیری تابشی:
  - امواج تابشی علاوه بر دما وابسته به جنس و شکل می باشند.
  - مقداری از انرژی در فاصله رسیدن به مبدل جذب یا پخش می شود.

- انواع روش های گرماسنجی تابشی
  - پیرومتر نوری
  - پیرومترهای تابشی
  - پیرومترهای با تشعشعات باند – عریض

مبدل حرارتی

- چالش های اندازه گیری تابشی:
  - امواج تابشی علاوه بر دما وابسته به جنس و شکل می باشند.
  - مقداری از انرژی در فاصله رسیدن به مبدل جذب یا پخش می شود.

- انواع روش های گرماسنجی تابشی
  - پیرومتر نوری
  - پیرومترهای تابشی

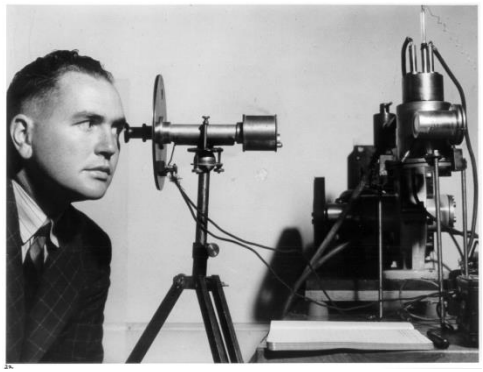
مبدل حرارتی

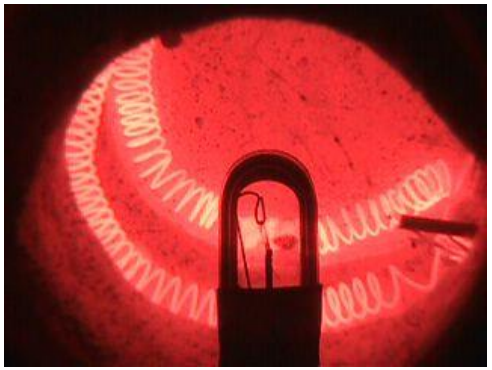
➢ پیرومتر نوری

- برای اندازه‌گیری حرارت جسمی که پرتو گسیل یافته از آن جسم به رنگ سرخ و قابل رویت است به کار می‌رود.
- درنتیجه تنها برای حرارتهای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد مناسب می‌باشد.

❑ ساختار دستگاه

- دستگاه دارای یک رشته تنگستن (فیلامان) است که از آن جریان عبور می کند. با تنظیم دستگاه جریان را باید آنقدر افزایش داد که فیلامان سرخ شود و همرنگ جسم داغ.
- شخصی که از چشمی دستگاه نگاه می کند بدلیل همرنگی، رشته فیلامان را نمی بیند و در آن لحظه خروجی دستگاه که وابسته به جریان عبوری از فیلامان است نشاندهنده درجه حرارت می باشد.

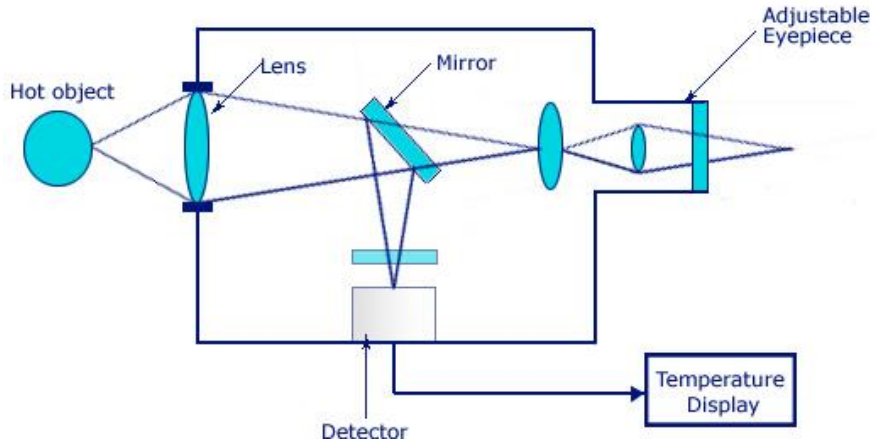




مبدل حرارتی

➢ پیرومترهای تابشی

- این مدل شبیه به پیرومتر نوری است ولی در این انواع قطعهٔ تنگستن (فیلامان) و چشم انسان حذف شده‌اند و به جای آنها از یک آشکارساز تابشی استفاده می‌شود.
- تشعشعات گسیل گشته از جسم گرم (کمتر از ۶۰۰ درجه، که گداخته نیست) را که در بخش مادون قرمز طیف نوری قرار می‌گیرند، می‌تواند آشکار سازد.



- انواع آشکارساز تابشی
  - آشکارساز گرمایی
  - آشکارساز فوتونی

مبدل حرارتی

➢ آشکارساز گرمایی

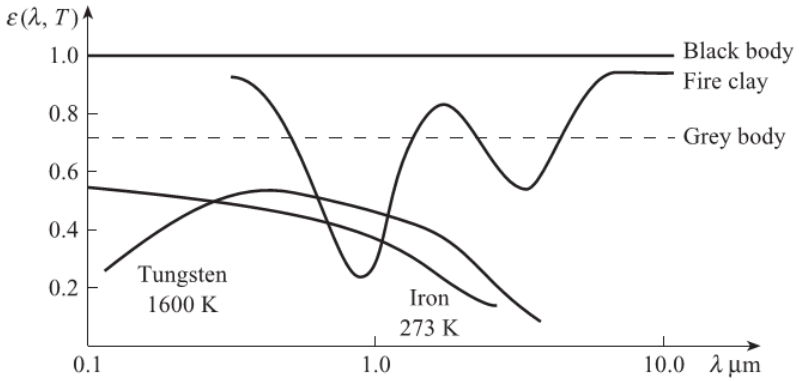
- افزایش درجه حرارت را در یک قطعهٔ سیاه رنگ که در نقطهٔ کانونی قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری می‌کند.
- آشکارساز گرمائی در مقابل تمامی فرکانسهای طیف با طول موجهای مختلف واکنش یکسانی نشان می‌دهد.

✓ نحوه کارکرد

- در تمامی این آشکارسازها نیاز به یک زمان کوتاه (چندین ثانیه) می‌باشد تا اولاً قطعهٔ سیاه رنگ گرم شده و ثانیاً وسیلهٔ اندازه‌گیر حرارت نسبت به تغییرات درجه حرارت واکنش نشان دهد.
- وسیله اندازه گیر می تواند ترموکوپل‌ها، ترمیستورها و ترمومترهای مقاومتی باشد.

- انرژی تابشی از جسم سیاه $E = KT^4$ است.

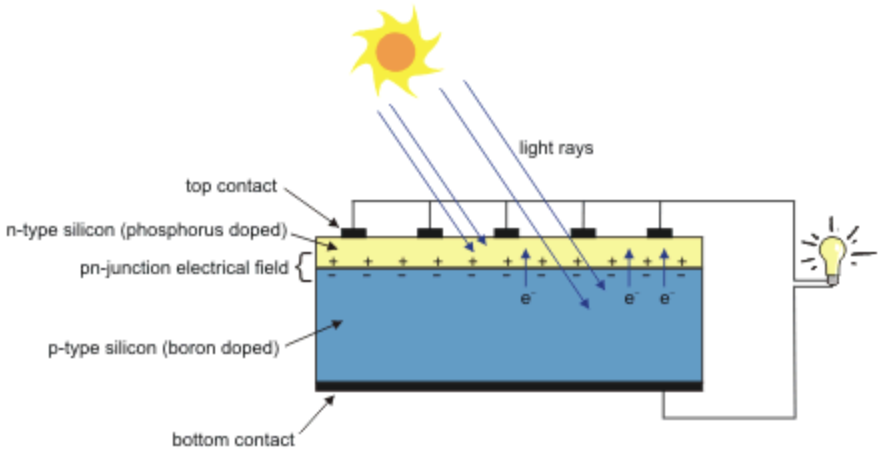
برای اجسام واقعی غیرسیاه یک ضریب انتشار ϵ در این فرمول ضرب می شود $E = \epsilon KT^4$ که برای جسم سیاه برابر یک و مابقی کمتر از یک است.



مبدل حرارتی

➢ آشکارساز فوتونی

- عموماً از نوع سلول فتوولتیک هستند.
- وقتی نور خورشید به یک سلول فتوولتاییک می‌تابد، بین دو الکترود منفی و مثبت اختلاف پتانسیل بروز کرده و این امر موجب جاری شدن جریان بین آنها می‌گردد.



- واکنش سریع‌تر از آشکارسازهای گرمائی نسبت به حرارت نشان می‌دهند.