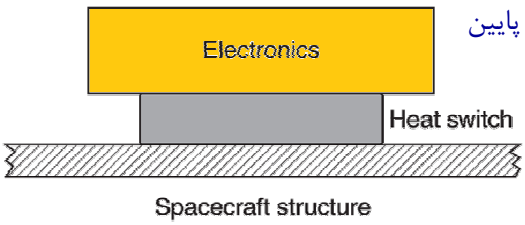
به نام پروردگار یکتا

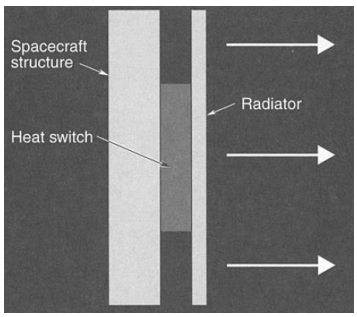
سایر سخت افزارهای حرارتی

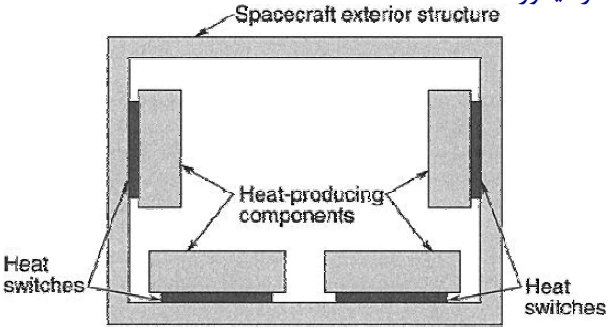
- سوئیچ‌های حرارتی (Heat Switches)
- لوپ‌های سیال پمپ شده (Pumped Fluid Loops)
- ترموالکتریک کولرها (Thermoelectric Coolers)
- مواد تغییر فازدهنده (Phase-Change Materials)
- لورها (Louvers)

سوئیچ های حرارتی

- سوئیچ‌های حرارتی (Heat Switch)
  - یک هادی حرارتی و عایق حرارتی مناسب
  - قرارگیری سوئیچ حرارتی بین جسم داغ (قطعه الکترونیکی) و سطح سرد (رادیاتور)
  - کنترل غیرفعال دمای سطح داغ (قطعه) در حالت اتلاف بالا و پایین بدون نیاز به توان الکتریکی، ترموستات و گرمکن
- کاربردها
  - اتصال مجزای قطعات و سازه
  - اتصالات سازه به رادیاتور

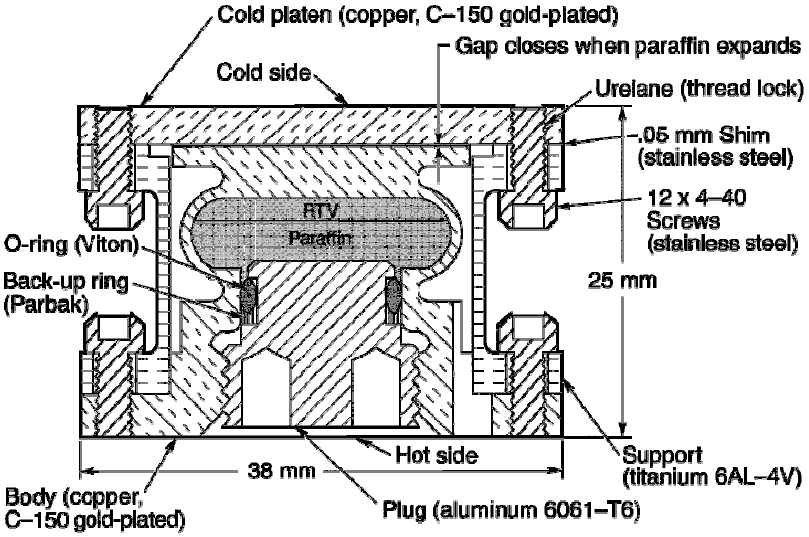






سوئیچ های حرارتی

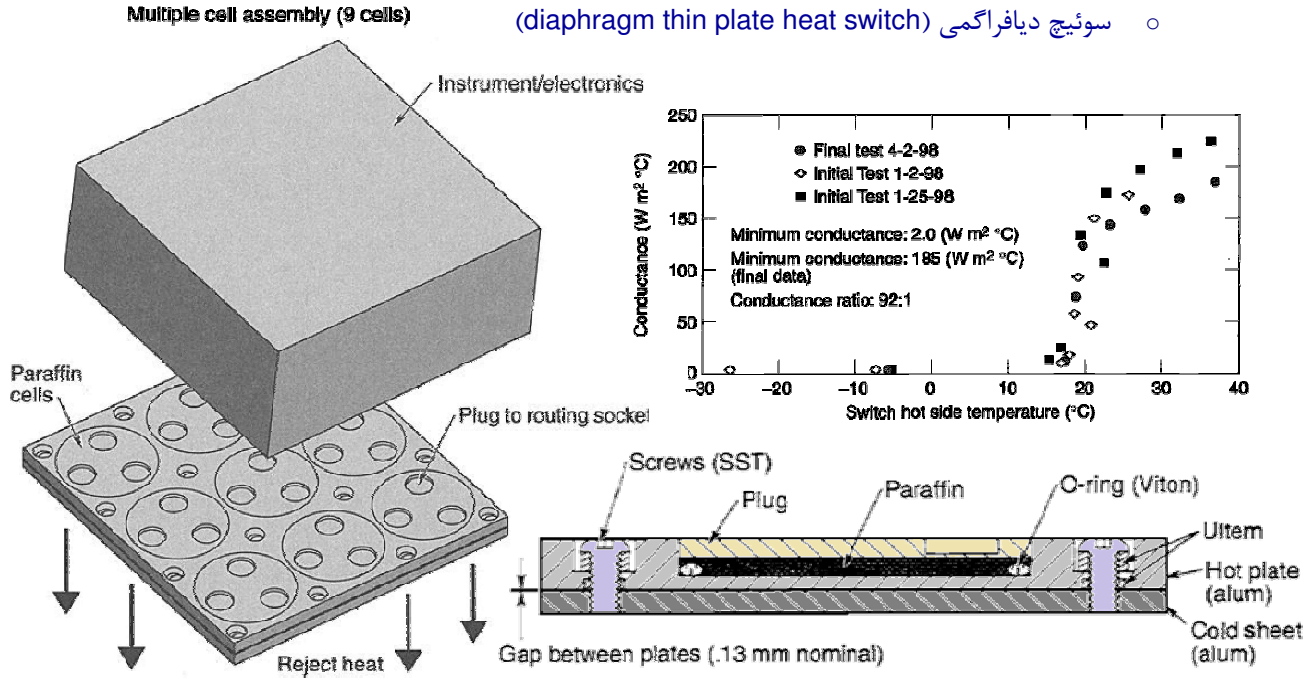
- انواع سوئیچ‌های حرارتی
  - سوئیچ‌های حرارتی پارافینی (paraffin heat switch)
    - افزایش ۱۵ درصدی حجم پارافین در اثر ذوب شدن
    - تولید نیروی هیدرولیکی و ایجاد فشار در سطح تماسی



Characteristic	Value
Conductance ratio	100:1
Maximum conductance	0.73 W/°C
Minimum conductance	0.0075 W/°C
Mass	100 g
Diameter	38.1 mm
Height	25.4 mm

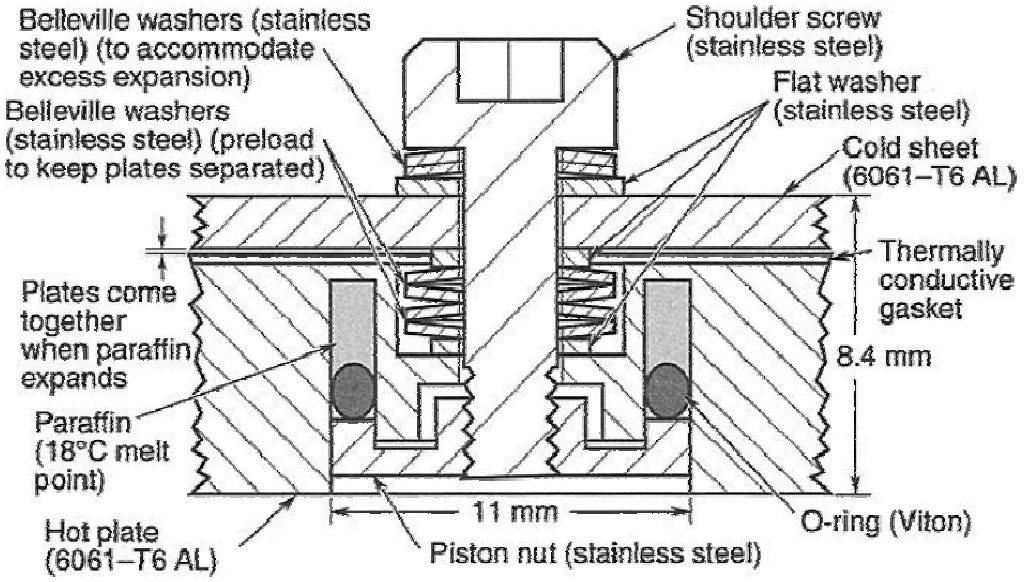
سوئیچ های حرارتی

- انواع سوئیچ‌های حرارتی
  - سوئیچ دیافراگمی (diaphragm thin plate heat switch)



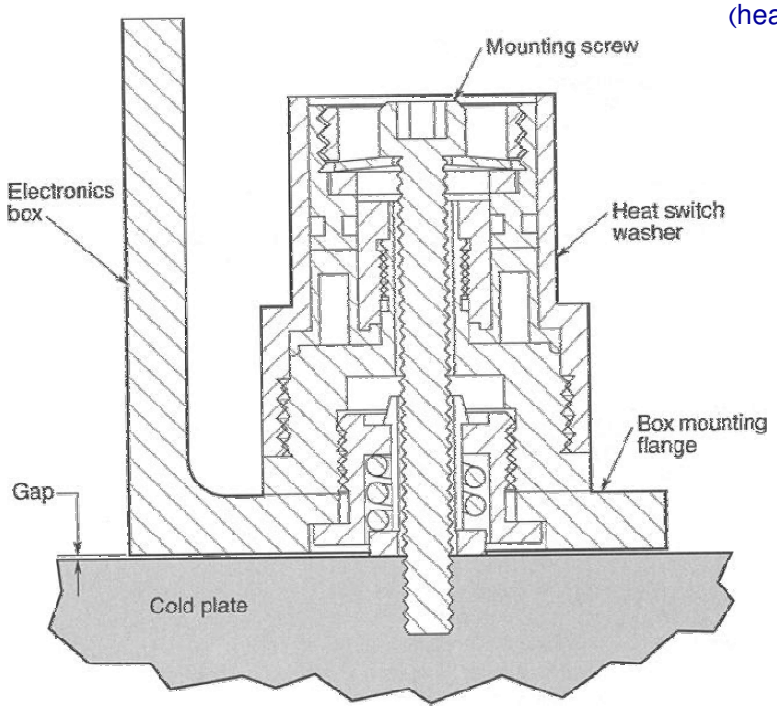
سوئیچ های حرارتی

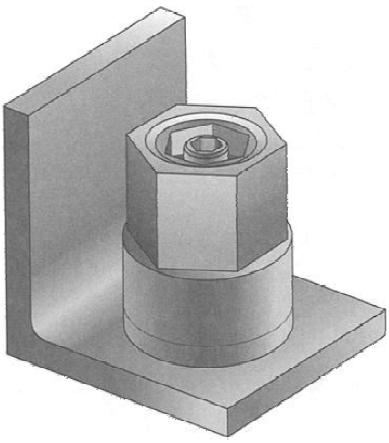
- انواع سوئیچ‌های حرارتی
  - سوئیچ چفت‌کننده (heat switch fastener)



سوئیچ های حرارتی

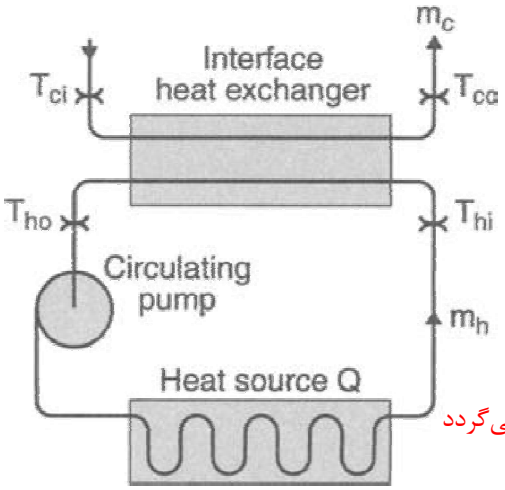
- انواع سوئیچ‌های حرارتی
  - سوئیچ واشری (heat switch washer)





لوپ‌های سیال پمپ شده

- **لوپ‌های سیال پمپ شده (Pumped fluid loops - PFLs)**
  - انتقال میزان بسیار زیادی از انرژی از نقطه‌ای به نقطه دیگر با استفاده از انتقال حرارت جابجایی اجباری یک مایع (forced liquid convective cooling)
  - اجزای اصلی یک PFL ساده
    - دستگاه پمپ کننده (pumping device) موتور الکتریکی
    - مبدل حرارتی (heat exchanger)
    - رادیاتور
    - ماده سردکننده (coolant)

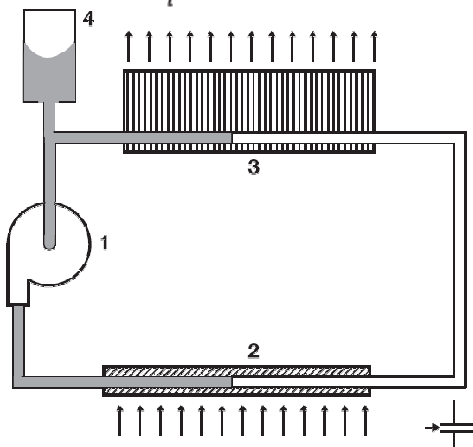


- **ماده سردکننده (coolant)**
  - ماده سردکننده منبسط شونده (expandable)
    - پس از جذب حرارت از فضاپیما خارج می‌شود
  - ماده سردکننده غیرقابل انبساط (nonexpendable)
    - پس از جذب حرارت و انتقال آن به رادیاتور به چرخه باز می‌گردد

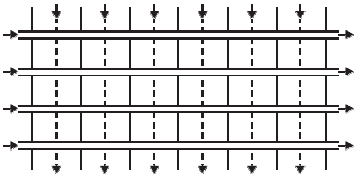
لوپ‌های سیال پمپ شده

- **طبقه‌بندی انواع PFLها**
  - لوپ‌های انتقال حرارت تک فاز (مایع یا گاز) - (single-phase heat transfer loops)

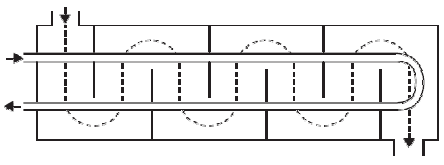
$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T$$



    - انتقال حرارت از طریق افزایش دمای مایع یا گاز و کاهش آن در رادیاتور
    - سادگی و قابلیت اطمینان بالاتر سیستم
    - سادگی و انعطاف‌پذیری در جانمایی در داخل فضاپیما
    - نیاز به پمپاژ بیشتر و سریعتر سیال برای دفع حرارت
    - سیال کاری مانند آب، آمونیاک، F-21، F-11
  - لوپ‌های دو فازی مایع (two-phase fluid loops)
    - استفاده از انرژی نهان تبخیر برای انتقال حرارت بیشتر
- **طراحی مبدل حرارتی**

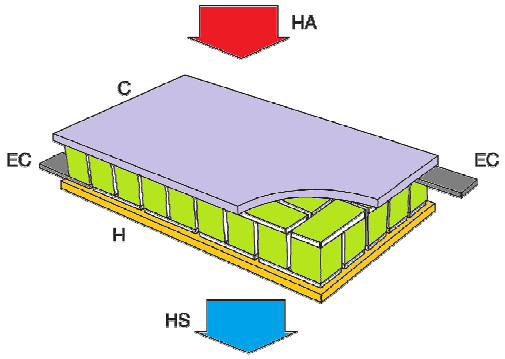


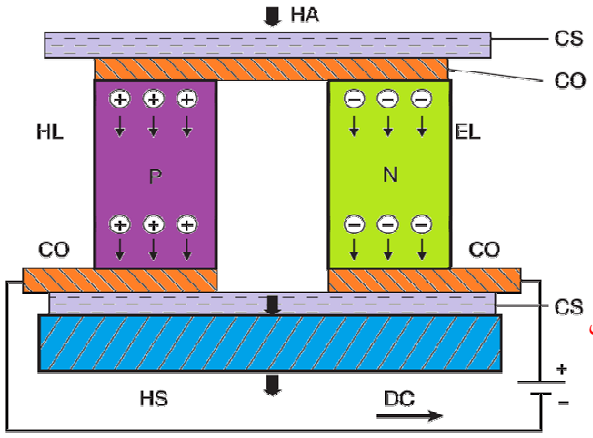
cross-flow exchangers



shell-and-tube exchangers

ترموالکتریک کولرها





- ترموالکتریک کولرها (Thermoelectric coolers)
  - یک پمپ حرارتی نیمه‌هادی (solid-state heat pump)
  - خنک‌کاری بر اساس اثر Peltier در محل اتصال دو ماده
  - بدون نیاز به سیال کاری و سردکننده
  - امکان کنترل دما با دقت 0.01 K
  - امکان افزایش و کاهش دما با استفاده از تغییر جهت جریان
  - ایجاد گرادیان دمایی ثابت متناسب با ولتاژ ورودی
  - قابلیت اطمینان بالا، عدم نیاز به تعمیر و نگهداری
  - مقاومت بالا در برابر شوک و ارتعاشات
  - عدم تولید نویز الکتریکی، صوتی و ارتعاشی
  - کاربرد ساده علی‌رغم حجم و وزن کم
  - استفاده محدود در موارد خاص با توجه به کارآیی پایین

ترموالکتریک کولرها

- عملکرد ترموالکتریک کولرها (Thermoelectric coolers)
  - عملکرد ترموالکتریک کولر بر اساس ترکیبی از
    - اثر Seebeck
    - اثر Peltier
    - اثر Thomson
    - اثر Joule
    - اثر Fourier
  - ضریب عملکرد COP - (coefficient of performance)
    - نسبت حرارت پمپ شده از سطح سرد به گرم به توان الکتریکی صرف شده
    - افزایش ضریب COP با کاهش گرادیان دمایی
    - مقدار ضریب COP در حدود 0.5

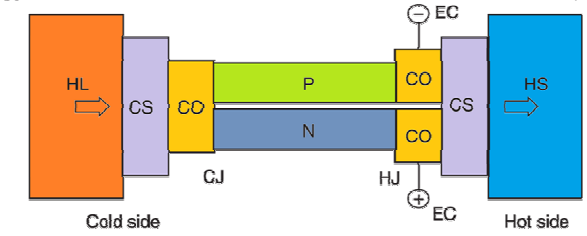
$$\Delta V_S = a\Delta T$$

$$\dot{Q}_P = aTI$$

$$q_T = \tau I \frac{dT}{dx}$$

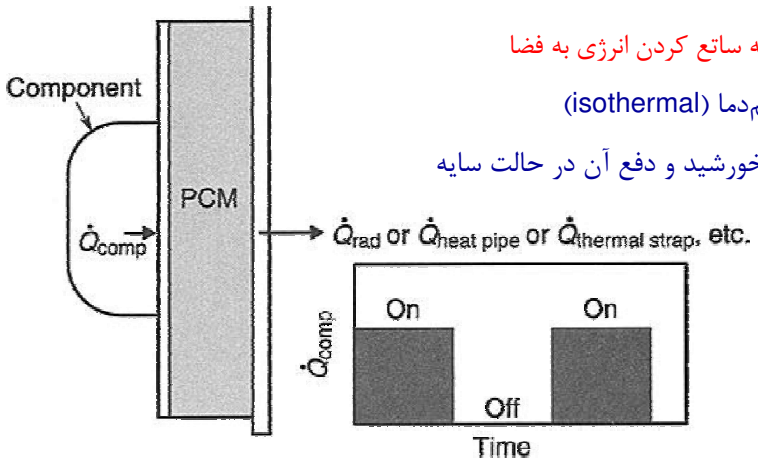
$$\dot{Q}_J = I^2 R$$

$$\dot{Q}_F = -kA\frac{dT}{dx}$$



مواد تغییرفازدهنده

- **مواد تغییر فازدهنده (phase-change materials) – PCM**
  - استفاده از تغییر فاز (گرمای نهان) مواد برای جذب انرژی
  - جذب انرژی در حالت افزایش دما، و رهاسازی انرژی در حالت سرد
  - مورد استفاده در قطعاتی با دوره زمانی کوتاه (short-duty-cycle)
  - استفاده عمده در قطعاتی با دوره کاری گردشی (cyclically operating)
    - ذوب شدن ماده در حالت روشن قطعه
    - یخ زدن ماده در خالت خاموش به ساتع کردن انرژی به فضا
  - امکان کنترل دمای قطعه در حالت هم‌دما (isothermal)
  - امکان جذب انرژی اضافی در معرض خورشید و دفع آن در حالت سایه



مواد تغییرفازدهنده

- **مواد تغییر فازدهنده (PCM)**
  - جامد – مایع (melting & freezing)
  - مایع – گاز (vaporization)
  - جامد – گاز (sublimation)
  - نمک بی آب (anhydrous salt)

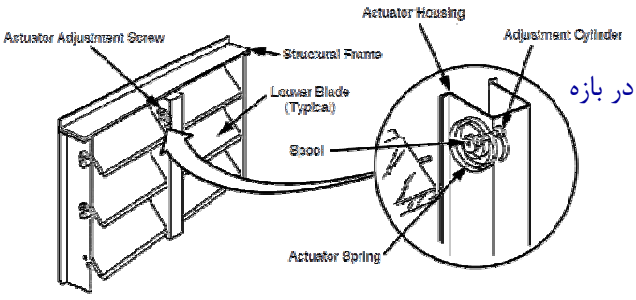
Material	Melting Point (°C)	Heat of Fusion (kJ/kg)
n-Eicosane ($C_{20}H_{42}$)	37	246
Polyethylene glycol 600 [$HO(CH_2CH_2O)_nH$]	20–25	146
Nitrogen pentoxide (N_2O_5)	30	320
Phosphonium chloride (PH_4Cl)	28	752
Dibasic sodium phosphate ($Na_2HPO_6{\cdot}12H_2O$)	37	279
Sodium sulfate ($Na_2O_4{\cdot}10H_2O$)	31	215
Glycerol [$C_3H_5(OH)_2$]	18	199
Calcium chloride ($CaCl_2{\cdot}6H_2O$)	29	170
p-Xylene [$C_6H_4(CH_3)_2$]	16	164
Sodium chromate ($Na_2CrO_4{\cdot}H_2O$)	23	164
n-Undecane ($C_{11}H_{24}$)	–25	141
n-Dodecane ($C_{12}H_{26}$)	–12	211
n-Tridecane ($C_{13}H_{28}$)	–6	155
n-Tetradecane ($C_{14}H_{30}$)	6	228
n-Hexadecane ($C_{16}H_{34}$)	17	237
n-Heptadecane ($C_{17}H_{36}$)	22	213
n-Octadecane ($C_{18}H_{38}$)	28	244
n-Nonadecane ($C_{19}H_{40}$)	32	187
n-Octacosane ($C_{28}H_{58}$)	62	253
1-Tetradecanol [$CH_3(CH_2)_{12}{\cdot}(CH_2)OH$]	38	230
Acetic acid (CH_3COOH)	17	187
Water	0	333

Typical PCMs in the Range of-25 to +62℃

لورها

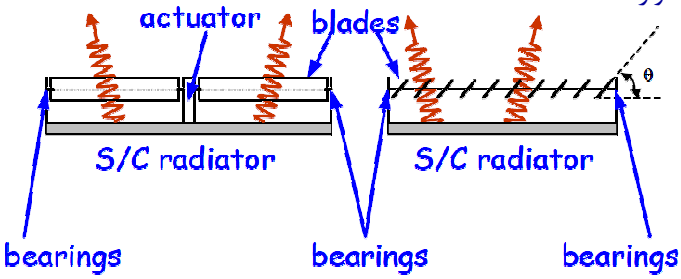
❖ **لورها (Louvers)**

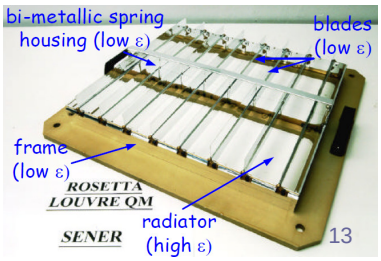
- یکی از سخت افزارهای فعال کنترل حرارت
- قابلیت استفاده در مواردی که اتلاف حرارتی اجزاء در بازه گسترده‌ای تغییر می‌نماید
- حرارت ساتع شده در حالت باز ۶ برابر حالت بسته



❖ **کاربردهای لورها**

- نصب بر روی سطح خارجی رادیاتورها
- پنجره‌ای برای تبادل حرارت اجزای داخلی ماهواره با فضا
- پنجره‌ای برای تبادل حرارت سطوح داخلی ماهواره





لورها

لورها

❖ **کارآیی لورها**

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\dot{Q}}{A\sigma T^4}$$

- انرژی شاتع شده در حالت باز به انرژی ساتع شده از یک جسم سیاه معادل

❖ **عملکرد لورها**

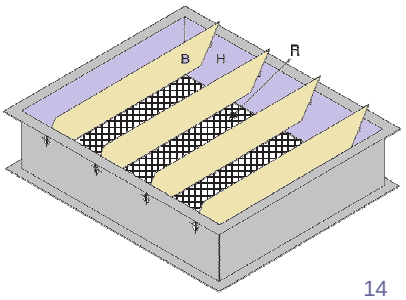
$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_c(\text{constant}), T \le T_c$$

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_o - \frac{\varepsilon_o - \varepsilon_c}{1 - T_c/T_o}(1 - T_c/T_o), T_c \le T \le T_o$$

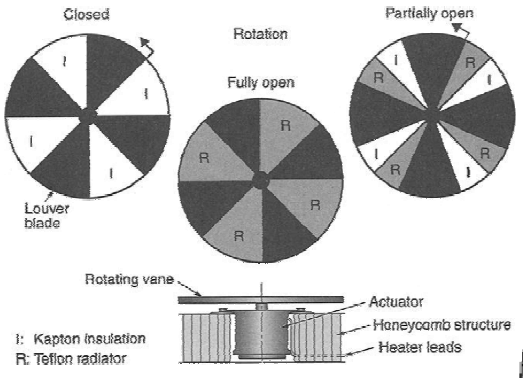
$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_o(\text{constant}), T \ge T_o$$

- حالت کاملا بسته
- حالت نیمه باز
- حالت کاملا باز

Program Louver Size (cm)	Radiator Hemispherical Emittance	ε_{eff} Open	 Closed	Radiator[a] ΔT (K)
ATS-6[b] 45.7 × 58.2	OSR ε = 0.77	0.62	0.114	18.0
ATS-6 45.7 × 58.2	Z-306 ε = 0.88	0.71	0.115	18.6
GPS 40.6 × 40.5	Z-306 ε = 0.88	0.70	0.090	18.0
Intelsat CRL[c] 62.2 × 60.5	AgTEF ε = 0.76	0.67	0.080	10.0
MMS Landsat-4[d] 55.6 × 108.1	Z-306 ε = 0.88	0.39	0.100	17.0



لورها



- **انواع لورها**
  - لورهای پنجره‌ای
    - همراه با sunshield
    - بدون sunshield
  - لورهای چرخ و فلکی