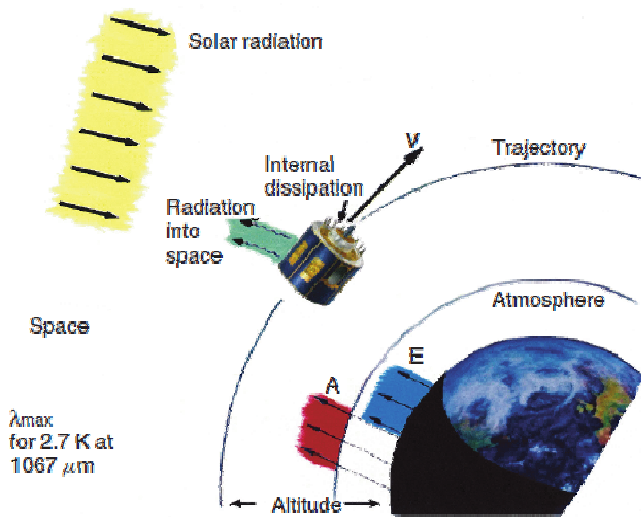


# محیط حرارتی ماهواره‌ها

- ❖ نور مستقیم خورشید
- ❖ ضریب آلبدو
- ❖ شار حرارتی زمین
- ❖ گرمایش مولکول‌های آزاد
- ❖ گرمایش ناشی از ذرات باردار



## محیط حرارتی ماهواره‌ها

- ❖ کنترل حرارت ماهواره: مدیریت انرژی در محیط‌هایی که انرژی‌های حرارتی نقش اساسی در آن ایفاء می‌نماید
- ❖ بالانس انرژی میان انرژی دریافتی از محیط، انرژی اتلافی داخل ماهواره، و انرژی ساطع شده به فضا
- ❖ اصلی‌ترین منابع انرژی عبارتند از:

- نور مستقیم خورشید

- نور منعکس شده خورشید از زمین (Albedo)

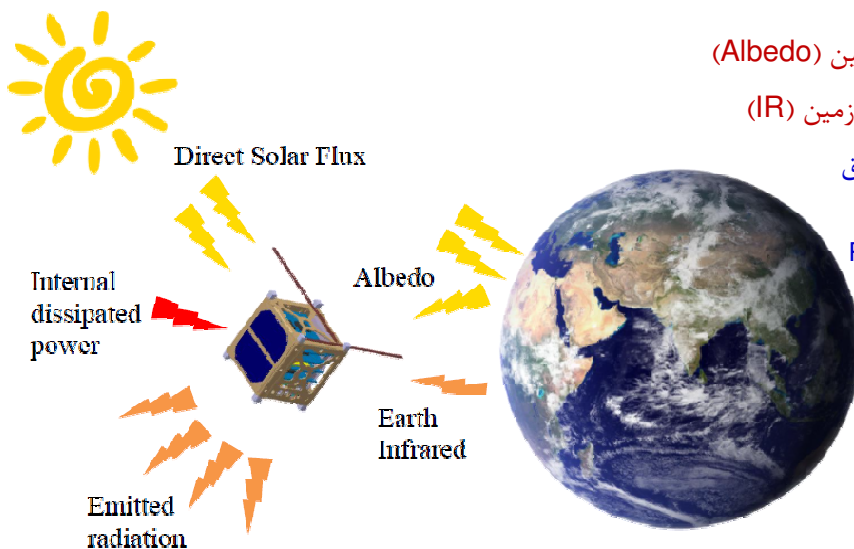
- انرژی مادون قرمز ساطع شده از زمین (IR)

- گرمایش ملکولی در اتمسفر رقیق

Free Molecular Heating in Rarefied Upper Atmosphere

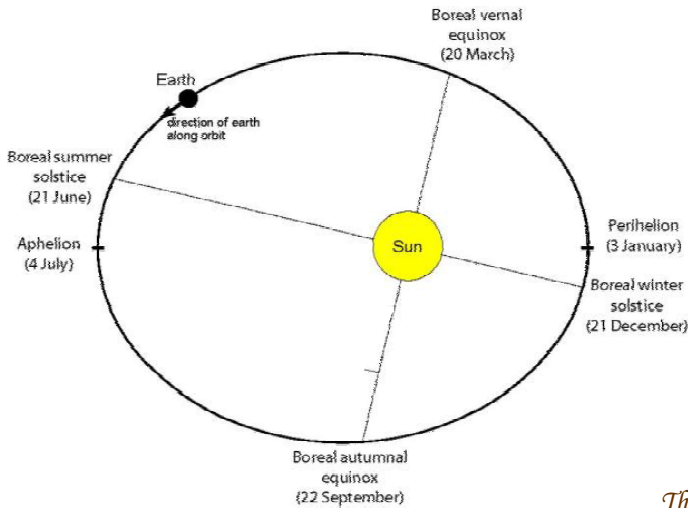
- گرمایش ناشی از ذرات باردار

Charged Particle Heating



## نور مستقیم خورشید

- ❖ بزرگترین و اصلی ترین منبع حرارتی (Direct Solar)
- ❖ تشعشع نسبتاً ثابت و تغییرات حداکثر ۱ درصدی در سیکل های ۱۱ ساله خورشیدی (فعل و انفعالات داخل خورشید)
- ❖ تغییرات شدت تابش خورشید در حدود  $\pm 3.5\%$  درصد به علت مدار بیضوی زمین به دور خورشید
- ❖ در نیم کره شمالی:



- در نقطه اعتدال تابستانی، زمین در دورترین فاصله خود از خورشید قرار دارد. شدت نور خورشید در حداقل مقدار خود برابر با 1322 W/m<sup>2</sup>
- در نقطه اعتدال زمستانی، شدت نور خورشید در بیشترین مقدار خود برابر با 1414 W/m<sup>2</sup>
- شدت نور خورشید در فاصله متوسط زمین از خورشید برابر با 1367 W/m<sup>2</sup>
- دقت مقادیر در محدود 0.4 درصد

*The values recommended by World Radiation Center in Davos, Switzerland*

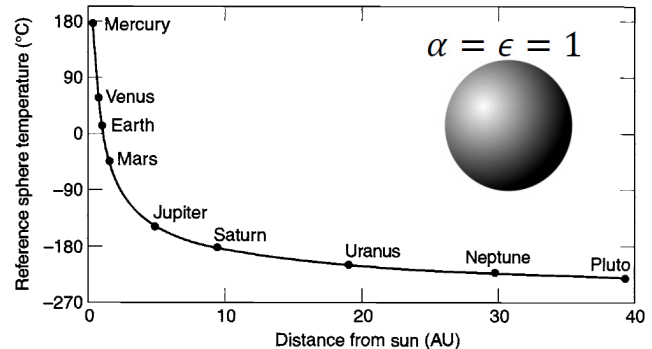
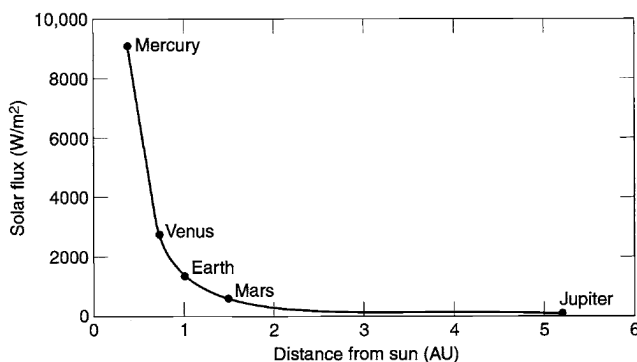
## نور مستقیم خورشید

- ❖ نسبت معکوس شار حرارتی خورشید با مربع فاصله از آن
- ❖ شدت نور خورشید در فاصله متوسط زمین از خورشید (1AU) برابر با 1367 W/m<sup>2</sup>

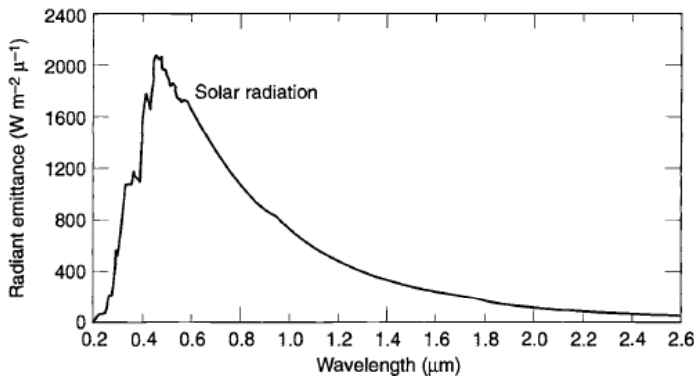
$$q_{Sun} = \frac{1367}{d_{[AU]}^2}$$

Solar Constant = 1 AU → 1367 W/m<sup>2</sup>

Solar Orbiter perihelion: 0.28AU → 17500 W/m<sup>2</sup>



## نور مستقیم خورشید



### ❖ تغییر شدت نور خورشید با طول موج

- ۷ درصد در محدود ماوراء بنفش
- ۴۶ درصد قابل رویت
- ۴۷ درصد نزدیک مادون قرمز موج کوتاه (تشعشع مادون قرمز خورشید در موج کوتاه تر نسبت به انرژی ساتع شده از جسم داغ، در محدوده دمای اتاق)

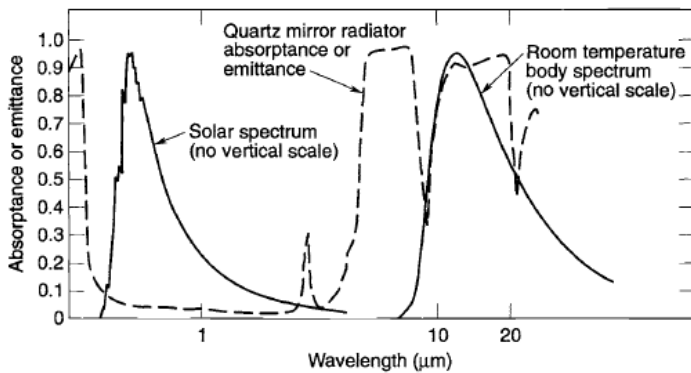
### ❖ انتخاب پوشش‌ها و رنگ‌های سطوح بر

#### اساس طول موج نور خورشید

- رفتار انعکاسی در طول موج خورشیدی و رفتار کاملا انعکاسی در طول موج بلند

### ❖ شار خورشیدی جذب شده توسط صفحه تخت

$$\dot{Q}_{Sun} = \alpha G_s A \cos \theta$$



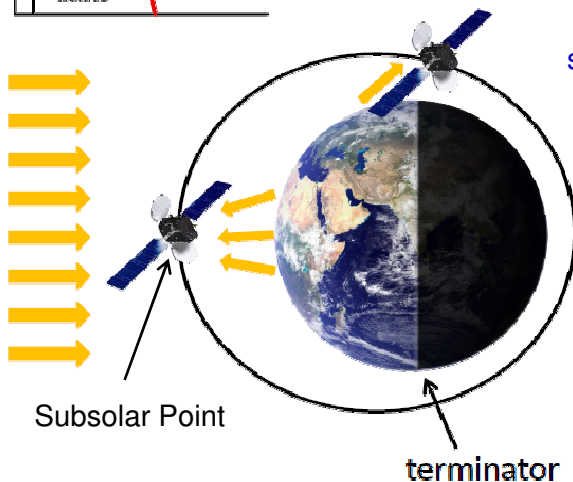
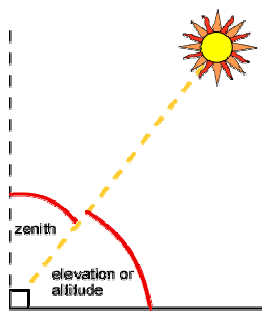
## ضریب آلبدو

### ❖ تعریف آلبدو (Albedo): نور منعکس شده خورشید از روی یک سیاره یا ماه

### ❖ آلبدوی زمین: درصدی از نور مستقیم منعکس شده خورشید از روی زمین

### ❖ میزان آلبدو: وابسته به خواص سطح بازتابنده نور خورشید

- فرض عدم جذب برخی از طول موج‌های نور خورشید توسط زمین و انعکاس کل طیف
- بالاتر بودن میزان انعکاس در مناطق قاره‌ای نسبت به نواحی اقیانوسی
- افزایش ضریب آلبدو با افزایش پوشش یخ و برف
- افزایش ضریب آلبدو با کاهش sun-elevation angle
- افزایش ضریب آلبدو با افزایش پوشش ابرها
- افزایش ضریب آلبدو با افزایش عرض جغرافیایی
- کاهش شار آلبدو با دور شدن از Sub-solar point



## ضرب آبدو

Surface	Albedo (a)
Snow	0.8 – 0.9
Clouds	0.4 -0.8
Deserts	0.25 – 0.30
Forests	0.05 – 0.10
Oceans	0.04 – 0.05

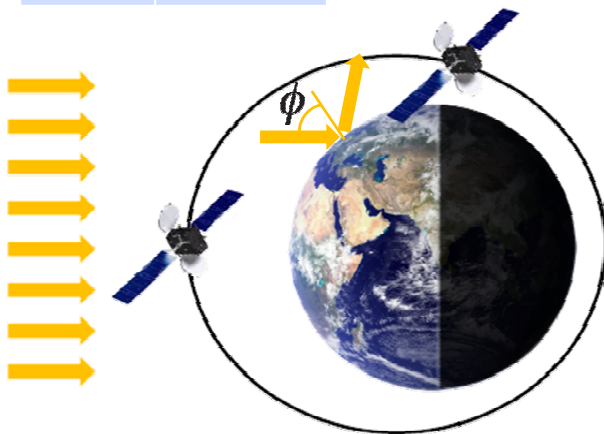
- ❖ مقادیر متفاوت ضرب آبدو برای نواحی مختلف سطح زمین
- ❖ مقدار متوسط ضرب آبدو به عنوان تقریب اولیه 0.3، معادل  $410 \text{ W/m}^2$  (ECSS-E-ST-10-04C, 2008)

- ❖ شار آبدو جذب شده توسط صفحه تخت

$$\dot{Q}_{alb} = a G_s A F_{SC-P} \cos \phi$$

$$-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$$

$\phi$ : Solar zenith angle



- ❖ اثرات تغییر فصول نیز قابل اعمال است ECSS
- ❖ اثرات هندسی توسط کدهای تحلیلی دیده شده و تحلیل گر تنها ضرب آبدو را باید تعیین کند

## تشنه مادون قرمز زمین

- ❖ انرژی ساعت شده از زمین در دمای تعادل آن، حاصل بالانس انرژی دریافتی از خورشید و انرژی ساعت شده از آن در طول موج بلند مادون قرمز

- ❖ تغییر میزان انرژی ساعت شده از زمین (Earth emitted IR) با زمان و مکان

- ❖ پارامترهای موثر در میزان IR زمین

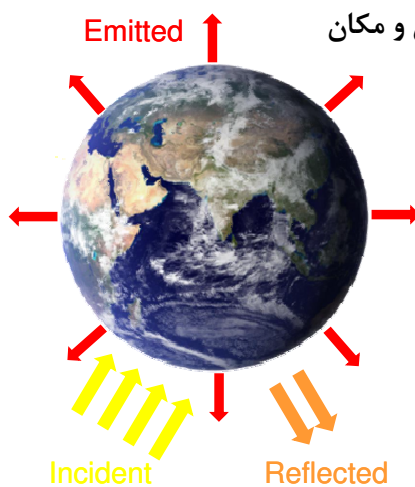
- دمای سطح زمین (بیشترین میزان IR مربوط به نواحی گرمسیری و استوایی)

- دمای هوا

- میزان رطوبت اتمسفر

- میزان پوشش ابرها (بلوکه شدن تشنه زمین توسط پوشش ابری سردتر از زمین)

- کاهش IR با افزایش عرض جغرافیای با توجه به افزایش پوشش ابرها



$$T = \sqrt[4]{\frac{q_{Sun}(1-a)}{4\epsilon\sigma}}$$

$$T_{Earth} \cong 255 \text{ K}$$

Albedo coefficient (a) = 0.3

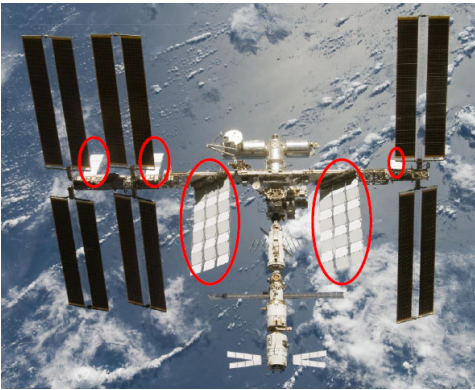
Planet emittance ( $\epsilon$ ) ~ 1

با توجه به طول موج IR زمین، این منبع حرارتی نقشی اساسی در طراحی حرارتی ماهواره‌های ارتفاع پایین ایفاء می‌نماید

## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلودگی و شار مادون قرمز

- ❖ استفاده از داده‌های جمع آوری شده توسط سنسورهای ماهواره‌های ویژه، برای ضریب آلودگی و شار زمین
- ❖ مقادیر ضریب آلودگی و شار زمین مراجع قدیمی براساس مقادیر متوسط ماهانه
- ❖ عدم کارایی مقادیر متوسط ماهانه برای سخت افزارهای حرارتی با ثابت زمانی حرارتی کوچک (Thermal Time Constant)

• دهه ۹۰ میلادی سخت افزارهای حرارتی به کار رفته در برنامه ایستگاه فضایی بین المللی ISS مانند رادیاتورهای بازشونده (Deployable Radiators)



- ❖ اجرای برنامه‌ای توسط NASA در MSFC برای محیط حرارتی مدار LEO برای استفاده در ایستگاه فضایی و برنامه‌های مشابه
- ❖ ماهواره‌های تجربی ERBE، در مدارهایی با شیب مداری کم و ارتفاع 610 km و ماهواره‌هایی با شیب مداری بالا و ارتفاع 815~849 km
- ❖ به‌روزرسانی نتایج پژوهش در سال 2001

MSFC: Marshal Space Flight Center  
ERBE: Earth Radiation Budget Experiment

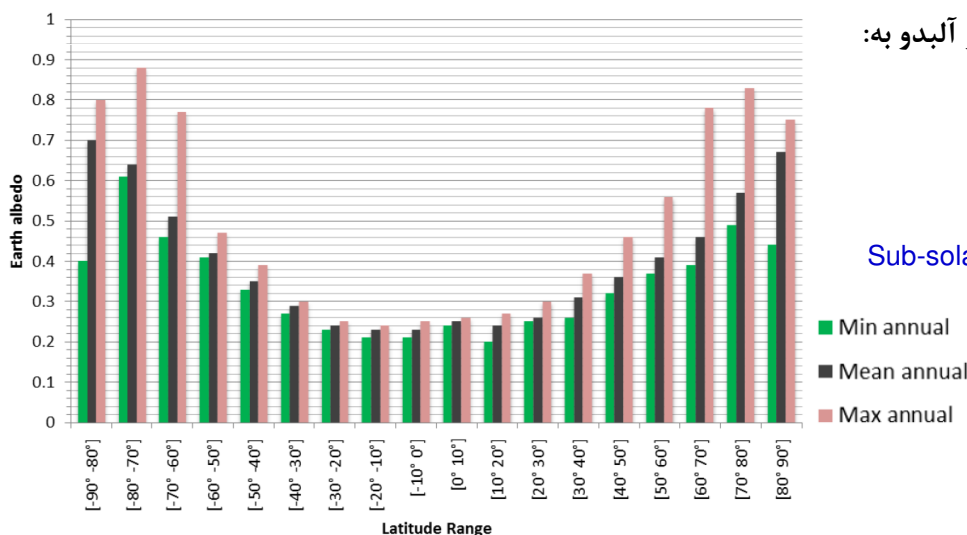
## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلودگی و شار مادون قرمز

### ❖ تحلیل‌های آماری بر روی داده‌های ERBE در مرکز MSFC

- انتخاب گستره وسیعی از پریودهای زمانی بر اساس ثوابت زمانی سخت افزارهای حرارتی مختلف ماهواره‌ها
- استخراج حداکثر و حداقل مقدار آلودگی و IR برای پریودهای زمانی ۱۶ ثانیه تا ۲۴ ساعت
- عدم تغییر چشمگیر مقادیر آلودگی و IR برای پریودهای زمانی بزرگتر از ۲۴ ساعت
- ارائه درصد زمانی که انتظار می‌رود مقادیر حرارتی از مقادیر ارائه شده تجاوز نماید

### ❖ وابستگی مقادیر IR و آلودگی به:

- پریود زمانی
- شیب مداری
- زاویه  $\beta$
- زاویه از Sub-solar point

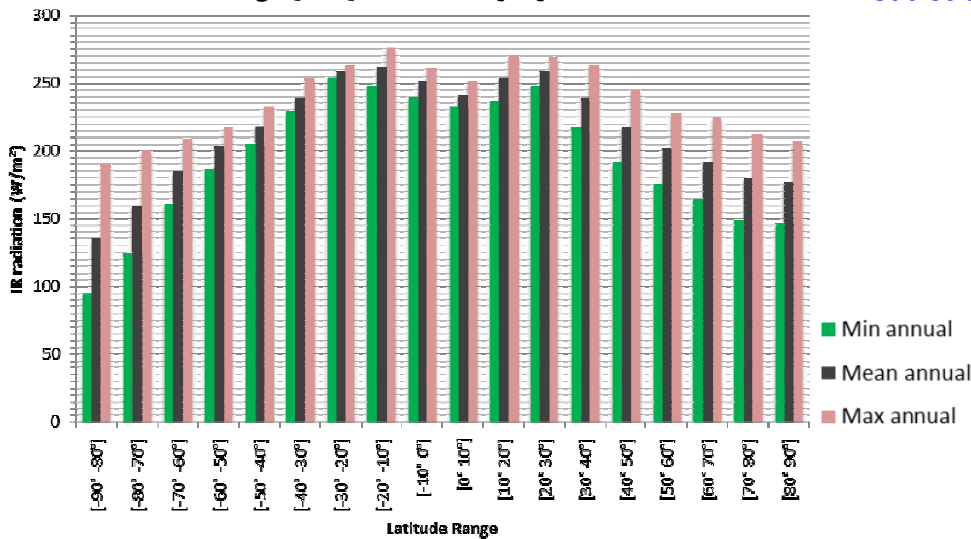


## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلودگی و شمارا دون قرمز

❖ وابستگی مقادیر IR به:

- پرپود زمانی
- شیب مدارى
- زاویه  $\beta$
- زاویه از Sub-solar point

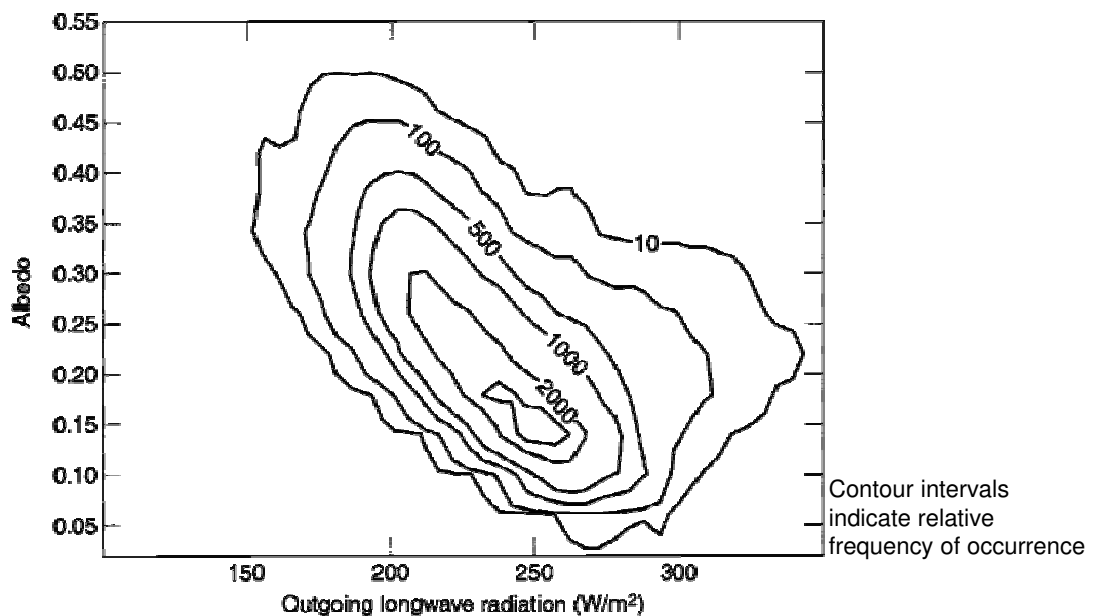
مقادیر متوسط سالانه شار IR زمین



## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلودگی و شمارا دون قرمز

❖ ارتباط مقادیر شار حرارتی IR و ضریب آلودگی

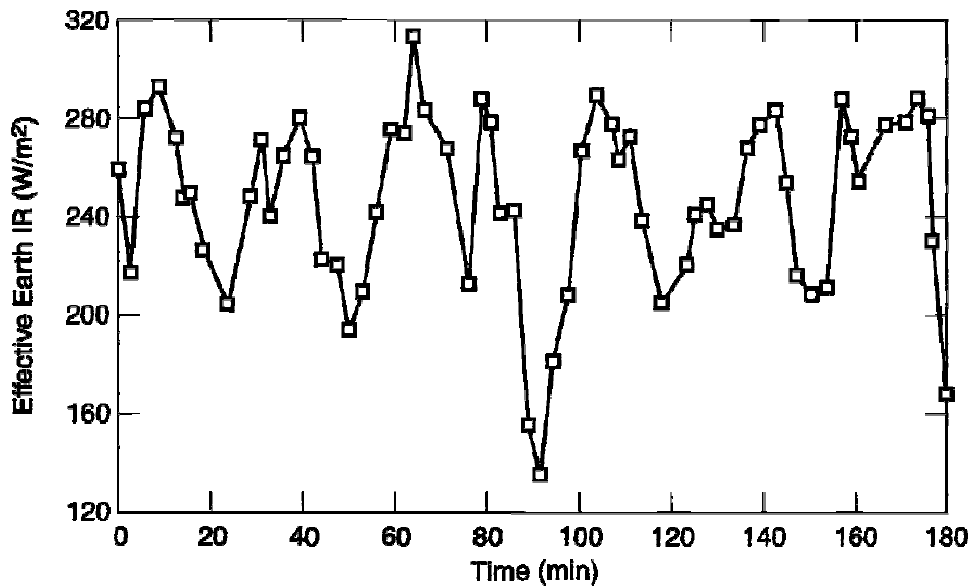
- در اکثر مناطق با ضریب آلودگی بالا، دمای محلی زمین پایین و شار حرارتی ساتع شده نیز نسبتاً پایین است
- داده‌های ارائه شده توسط MSFC بر اساس پرپود زمانی ۱۲۸ ثانیه و شیب‌های مدارى متوسط



## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلبدو و شار مادون قرمز

❖ تغییرات شدید شار حرارتی مادون قرمز زمین در پریودهای زمانی کوچک

• در طول سه ساعت برای ماهواره‌ای در مدار LEO



خروج دمایی جسمی با جرم پایین، خواص تشعشعی بالا، و کوپلینگ حرارتی بالا با محیط، از مرزهای مجاز دمایی

## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلبدو و شار مادون قرمز

❖ مقادیر پیشنهادی محافظه کارانه برای ضریب

آلبدو و IR ( $3.3\text{-}\sigma$ )

❖ حداقل مقدار ضریب آلبدو و شار IR (حالت

سرد)

❖ تنها در 0.04 درصد از زمان‌ها ممکن است

مقادیر آلبدو و IR از مقادیر پیشنهادی تجاوز

نماید

Table 2.1. Earth IR and Albedo<sup>a</sup>, 3.3- $\sigma$  Values<sup>b</sup>  
Cold Case

Surface Sensitivity	Time Period	Inclination (deg)					
		0-30		30-60		60-90	
		Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )
Albedo	16 sec	0.06	273	0.06	273	0.06	273
	128 sec	0.06	273	0.06	273	0.06	273
	896 sec	0.07	265	0.08	262	0.09	264
	30 min	0.08	261	0.12	246	0.13	246
	90 min	0.11	258	0.16	239	0.16	231
	6 h	0.14	245	0.18	238	0.18	231
	24 h	0.16	240	0.19	233	0.18	231
	IR	16 sec	0.40	150	0.40	151	0.40
128 sec		0.38	154	0.38	155	0.38	111
896 sec		0.33	173	0.34	163	0.33	148
30 min		0.30	188	0.27	176	0.31	175
90 min		0.25	206	0.30	200	0.26	193
6 h		0.19	224	0.31	207	0.27	202
24 h		0.18	230	0.25	210	0.24	205
Both albedo and IR		16 sec	0.13	225	0.15	213	0.16
	128 sec	0.13	226	0.15	213	0.16	212
	896 sec	0.14	227	0.17	217	0.17	218
	30 min	0.14	228	0.18	217	0.18	218
	90 min	0.14	228	0.19	218	0.19	218
	6 h	0.16	232	0.19	221	0.20	224
	24 h	0.16	235	0.20	223	0.20	224

Short-Term Albedo Correction		Orbit-Average Albedo Correction	
Position from Subsolar Point (deg)	Add Correction	Orbit $\beta$ angle (deg)	Add Correction
0	none	0	0.04
20	0.02	20	0.05
40	0.04	40	0.07
50	0.05	50	0.09
60	0.08	60	0.12
70	0.13	70	0.16
80	0.20	80	0.22
90	0.31	90	0.31

## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلبدو و شار مادون قرمز

❖ مقادیر پیشنهادی محافظه کارانه برای ضریب آلبدو و IR ( $3.3\sigma$ )

❖ حداکثر مقدار ضریب آلبدو و شار IR (حالت گرم)

❖ تنها در 0.04 درصد از زمان‌ها ممکن است مقادیر آلبدو و IR از مقادیر پیشنهادی تجاوز نماید

Table 2.2. Earth IR and Albedo<sup>a</sup>, 3.3- $\sigma$  Values<sup>b</sup>  
Hot Case

Surface Sensitivity	Time Period	Inclination (deg)					
		0-30		30-60		60-90	
		Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )
Albedo	16 sec	0.43	182	0.48	180	0.50	180
	128 sec	0.42	181	0.47	180	0.49	184
	896 sec	0.37	219	0.36	192	0.35	202
	30 min	0.33	219	0.34	205	0.33	204
	90 min	0.28	237	0.31	204	0.28	214
	6 h	0.23	248	0.31	212	0.27	218
	24 h	0.22	251	0.28	224	0.24	224
	IR	16 sec	0.22	331	0.21	332	0.22
128 sec		0.22	326	0.22	331	0.22	331
896 sec		0.22	318	0.22	297	0.20	294
30 min		0.17	297	0.21	282	0.20	284
90 min		0.20	285	0.22	274	0.22	250
6 h		0.19	269	0.21	249	0.22	221 <sup>c</sup>
24 h		0.19	262	0.21	245	0.20	217 <sup>c</sup>
Both albedo and IR		16 sec	0.30	298	0.31	267	0.32
	128 sec	0.29	295	0.30	265	0.31	262
	896 sec	0.28	291	0.28	258	0.28	259
	30 min	0.26	284	0.28	261	0.27	260
	90 min	0.24	275	0.26	257	0.26	244
	6 h	0.21	264	0.24	248	0.24	233
	24 h	0.20	260	0.24	247	0.23	232

Short-Term Albedo Correction		Orbit-Average Albedo Correction	
Position from Subsolar Point (deg)	Add Correction	Orbit $\beta$ angle (deg)	Add Correction
0	none	0	0.04
20	0.02	20	0.05
40	0.04	40	0.07
50	0.05	50	0.09
60	0.08	60	0.12
70	0.13	70	0.16
80	0.20	80	0.22
90	0.31	90	0.31

## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلبدو و شار مادون قرمز

❖ مقادیر پیشنهادی محافظه کارانه برای ضریب آلبدو و IR ( $2\sigma$ )

❖ حداقل مقدار ضریب آلبدو و شار IR (حالت سرد)

❖ تنها در 5.0 درصد از زمان‌ها ممکن است مقادیر آلبدو و IR از مقادیر پیشنهادی تجاوز نماید

Table 2.3. Earth IR and Albedo<sup>a</sup>, 2- $\sigma$  Values<sup>b</sup>  
Cold Case

Surface Sensitivity	Time Period	Inclination (deg)					
		30		60		90	
		Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )
Albedo	16 sec	0.09	270	0.10	267	0.10	267
	128 sec	0.09	267	0.10	265	0.10	265
	896 sec	0.10	261	0.13	252	0.14	252
	30 min	0.12	257	0.16	242	0.17	244
	90 min	0.13	249	0.18	238	0.18	230
	6 h	0.15	241	0.19	233	0.19	230
	24 h	0.16	240	0.19	235	0.19	230
	IR	16 sec	0.30	195	0.33	183	0.35
128 sec		0.29	198	0.33	184	0.34	164
896 sec		0.26	209	0.28	189	0.27	172
30 min		0.23	216	0.25	200	0.25	190
90 min		0.20	225	0.23	209	0.24	202
6 h		0.18	231	0.23	212	0.23	205
24 h		0.17	233	0.23	212	0.23	207
Both albedo and IR		16 sec	0.15	236	0.19	227	0.20
	128 sec	0.16	237	0.19	227	0.20	225
	896 sec	0.16	237	0.20	226	0.20	227
	30 min	0.16	237	0.20	225	0.20	226
	90 min	0.16	237	0.20	225	0.21	224
	6 h	0.17	237	0.20	226	0.21	226
	24 h	0.17	236	0.20	226	0.20	225

Short-Term Albedo Correction		Orbit-Average Albedo Correction	
Position from Subsolar Point (deg)	Add Correction	Orbit $\beta$ angle (deg)	Add Correction
0	none	0	0.04
20	0.02	20	0.05
40	0.04	40	0.07
50	0.05	50	0.09
60	0.08	60	0.12
70	0.13	70	0.16
80	0.20	80	0.22
90	0.31	90	0.31



## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلبدو و شار مادون قرمز

❖ مقادیر پیشنهادی محافظه کارانه برای ضریب آلبدو و IR (2-σ)

❖ حداقل مقدار ضریب آلبدو و شار IR (حالت گرم)

❖ تنها در 5.0 درصد از زمانها ممکن است مقادیر آلبدو و IR از مقادیر پیشنهادی تجاوز نماید

Table 2.4. Earth IR and Albedo<sup>a</sup>, 2-σ Values<sup>b</sup>  
Hot Case

Surface Sensitivity	Time Period	Inclination (deg)					
		30		60		90	
		Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	IR (W/m <sup>2</sup> )
Albedo	16 sec	0.29	205	0.36	201	0.38	197
	128 sec	0.29	211	0.35	202	0.37	199
	896 sec	0.26	225	0.29	213	0.28	213
	30 min	0.24	234	0.27	223	0.26	223
	90 min	0.22	246	0.26	229	0.24	219
	6 h	0.20	252	0.25	231	0.23	224
	24 h	0.20	252	0.25	232	0.23	224
	IR	16 sec	0.17	285	0.17	280	0.17
128 sec		0.17	284	0.17	279	0.17	279
896 sec		0.18	279	0.18	264	0.18	263
30 min		0.18	274	0.20	258	0.20	258
90 min		0.19	268	0.21	254	0.21	242
6 h		0.19	261	0.21	242	0.21	216 <sup>c</sup>
24 h		0.18	258	0.21	241	0.21	215 <sup>c</sup>
Both albedo and IR		16 sec	0.21	260	0.23	240	0.24
	128 sec	0.21	260	0.23	240	0.24	238
	896 sec	0.21	261	0.23	241	0.23	240
	30 min	0.21	258	0.23	240	0.23	242
	90 min	0.20	258	0.23	241	0.23	232
	6 h	0.19	255	0.23	242	0.22	230
	24 h	0.19	257	0.23	241	0.23	230

Short-Term Albedo Correction		Orbit-Average Albedo Correction	
Position from Subsolar Point (deg)	Add Correction	Orbit β angle (deg)	Add Correction
0	none	0	0.04
20	0.02	20	0.05
40	0.04	40	0.07
50	0.05	50	0.09
60	0.08	60	0.12
70	0.13	70	0.16
80	0.20	80	0.22
90	0.31	90	0.31

## مقادیر پیشنهادی برای ضریب آلبدو و شار مادون قرمز

❖ انتخاب استفاده از مقادیر جداول بر اساس

- تلورانسها و ریسکهای برنامه ریزی شده پروژه
- هزینه
- پیچیدگی طراحی

❖ عدم وجود اختلاف چشمگیر بین مقادیر جداول برای اجزای دارای ثابت زمانی حرارتی بالاتر از ۹۰ دقیقه

❖ پوشش عدم قطعیت‌های ناشی از بارهای حرارتی با استفاده از مارجین‌های  $\pm 10^\circ \text{C}$  در فرآیند طراحی

❖ انتخاب مقادیر آلبدو و IR برای حالت‌های گرم و سرد، با تعیین حساسیت اصلی و عمده سطوح در معرض نسبت به شار خورشیدی یا شار حرارتی زمین

- در اغلب ماهواره‌ها دارای سطوح رادیاتوری با ضریب جذب حدود 0.2 و ضریب صدور حدود 0.8 بوده و از اینرو به شار حرارتی زمین حساس‌ترند

حالت سرد: مقدار پایین IR و آلبد متوسط } برای سطوح حساس به IR  
حالت گرم: مقدار بالای IR و آلبد متوسط }

## گرمایش ملکولی

- ❖ گرمایش ملکولی (Free Molecular Heating) یکی دیگر از بارهای حرارتی شاخص در محیط فضا
- ❖ گرمایش ناشی از برخورد انفرادی ملکولها با سطح جسم در سطوح فوقانی اتمسفر
- ❖ در فاز پرتاب و جدایش فیرینگ (Fairing)
- ❖ نقطه جدایش فیرینگ
  - مصالحه بین صرفه جویی در وزن و محافظت محموله موشک از گرمایش ناشی از اتمسفر
  - جدایش فیرینگ در نقطه‌ای که گرمایش ناشی از جریان پیوسته گاز نبوده و تنها برخورد انفرادی ملکولها باشد (جو رقیق)

$$Q_{FMH} = \alpha \left( \frac{1}{2} \right) \rho V^3$$

Accommodation coefficient 0.6 to 0.8, (recommended value 1.0)

$$Q = Q_{FHM} A_c \cos(\mathbf{n}, \mathbf{v})$$

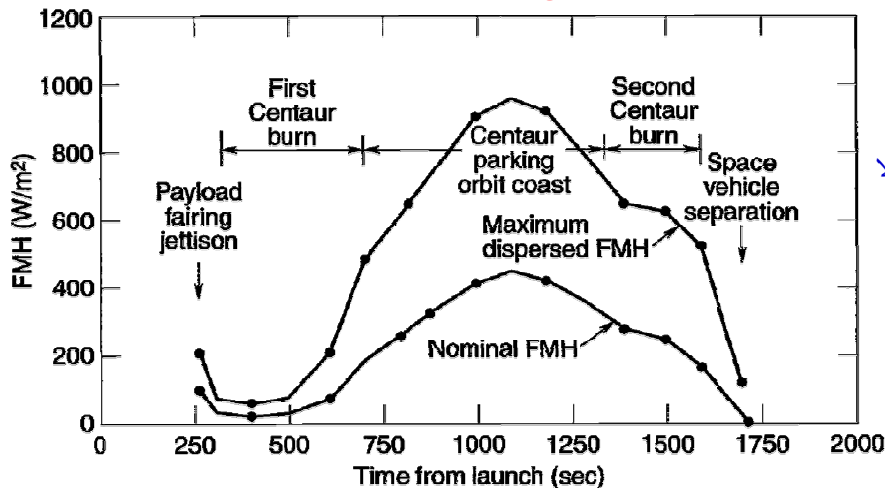
❖ وابستگی چگالی اتمسفر جو رقیق به:

- سطح فعالیت‌های الکترومغناطیسی خورشید
- میدان مغناطیسی زمین
- طول و عرض جغرافیای
- زمان محلی، ارتفاع، روز و سال

## گرمایش ملکولی

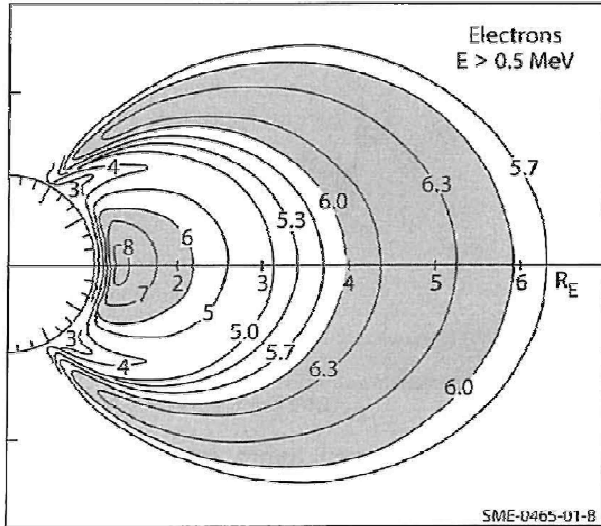
- ❖ اهمیت گرمایش ملکولی تنها در فاز پرتاب در اکثر ماهواره‌ها
- ❖ اهمیت گرمایش ملکولی برای مدارهایی که نقطه حضيض زیر 180 Km
- ❖ طراحی حرارتی براساس
  - مدل‌های اتمسفری
  - شبیه‌سازی مسیر حرکت
- ❖ عدم قطعیت‌ها
  - عملکرد راکت
  - دقت سیستم ناوبری
  - اثرات بادهای ارتفاعات بالا

گرمایش ملکولی در طول پرتاب یک فضاپیما



## گرمایش ناشی از ذرات باردار

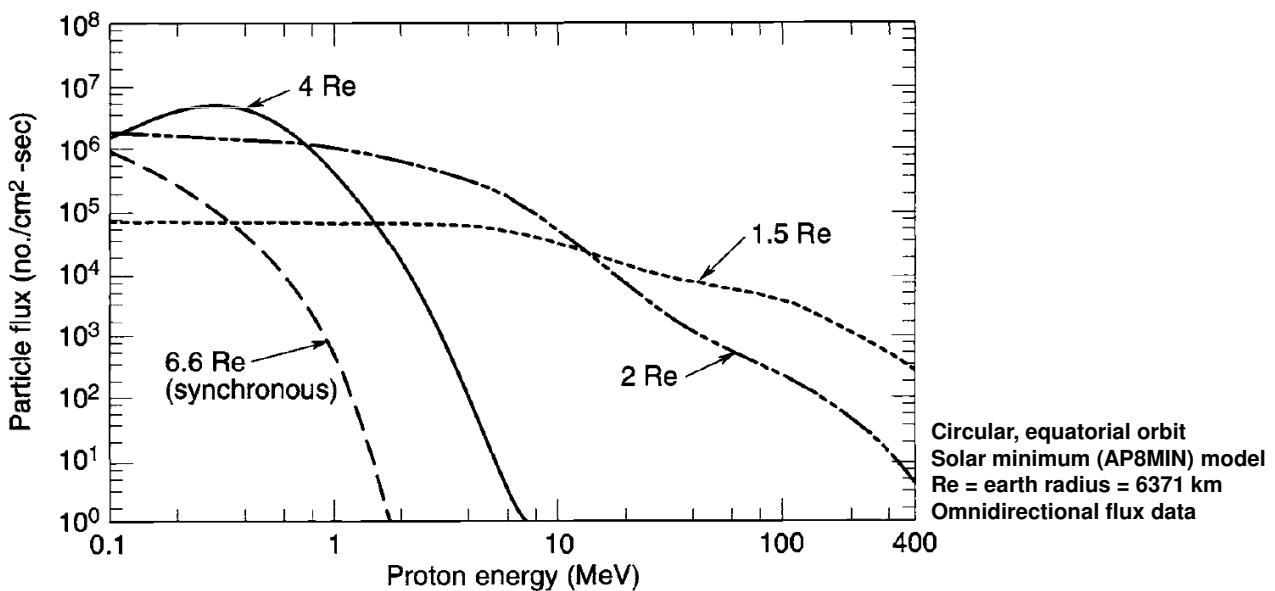
- ❖ ذرات باردار به دام افتاده در میدان مغناطیسی زمین که به کمربند ون آلن (Van Allen belt) معروف است، در برخورد با اجسام انرژی خود را انتقال می‌دهند.
- ❖ گرمایش ناشی از ذرات باردار در مقایس با سایر منابع حرارتی ناچیز است (در دمای اتاق)
- ❖ اهمیت این منبع حرارتی در دماهای برودتی (cryogenic)



- ❖ رفتار نامنظم، متغیر با زمان و متأثر از فعالیت‌های خورشیدی
- ❖ غلظت بیشتر پرتون‌های پرانرژی در کمربند داخلی
- ❖ غلظت به نسبت بیشتر الکترون‌های پرانرژی در کمربند خارجی
- ❖ پیش بینی رفتار طیفی ذرات براساس فعالیت‌های خورشیدی با استفاده از مدل‌های محیطی استاندارد

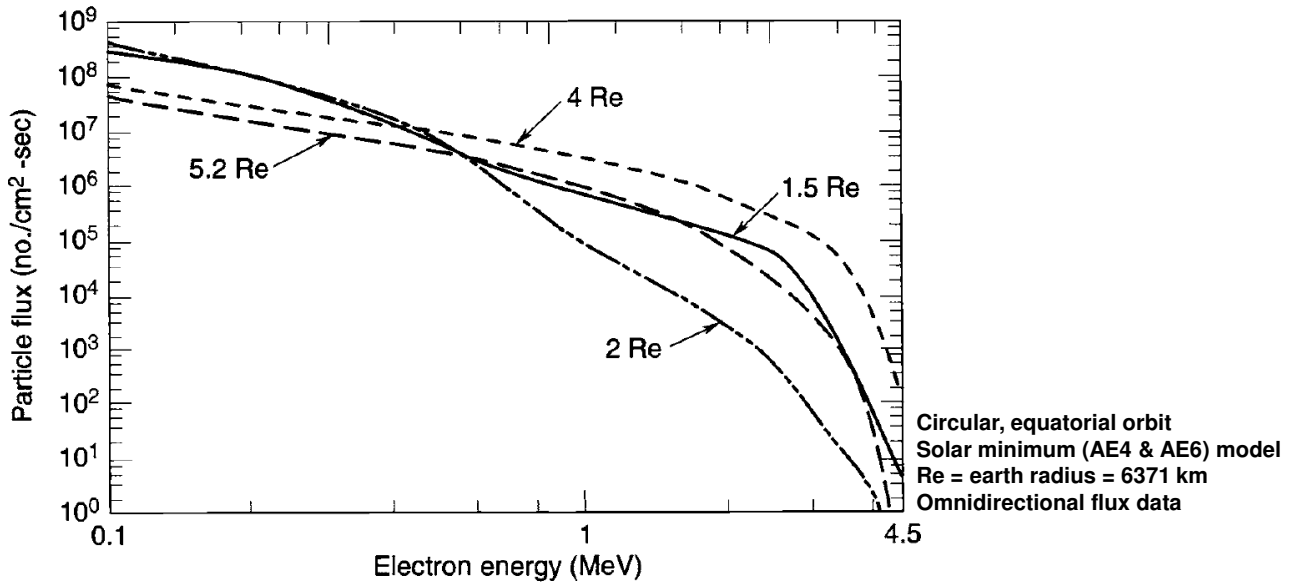
## گرمایش ناشی از ذرات باردار

- ❖ شارهای ذرات پروتون بر حسب انرژی ذرات در مدارهای دایروی استوایی در ارتفاعات مختلف از ارتفاع 3200 km تا 35800 km



## گرمایش ناشی از ذرات باردار

- ❖ شارهای ذرات الکترون بر حسب انرژی ذرات در مدارهای دایروی استوایی در ارتفاعات مختلف از ارتفاع 3200 km تا 35800 km



## گرمایش ناشی از ذرات باردار

- ❖ گرمایش حاصل از این ذرات در چند صدم سانی متری ضخامت ماده اتفاق می افتد
- ❖ عدم تأثیر گرمایش ناشی از ذرات در دمای محیط و تأثیر بالا بر رادیاتورهای بروندی
- ❖ افزایش دمای تعادل رادیاتور بروندی با دمای کارکردی 70 K

