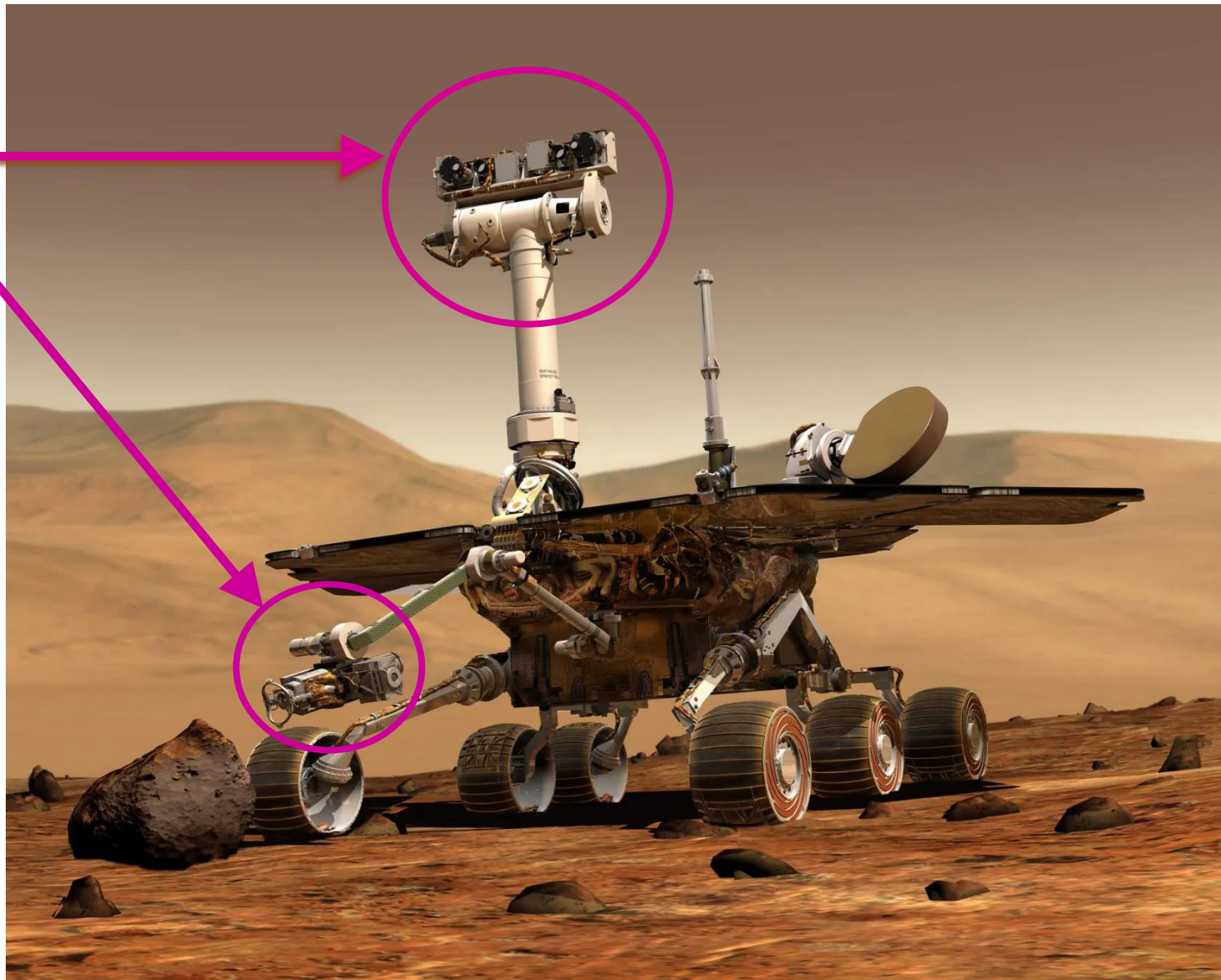


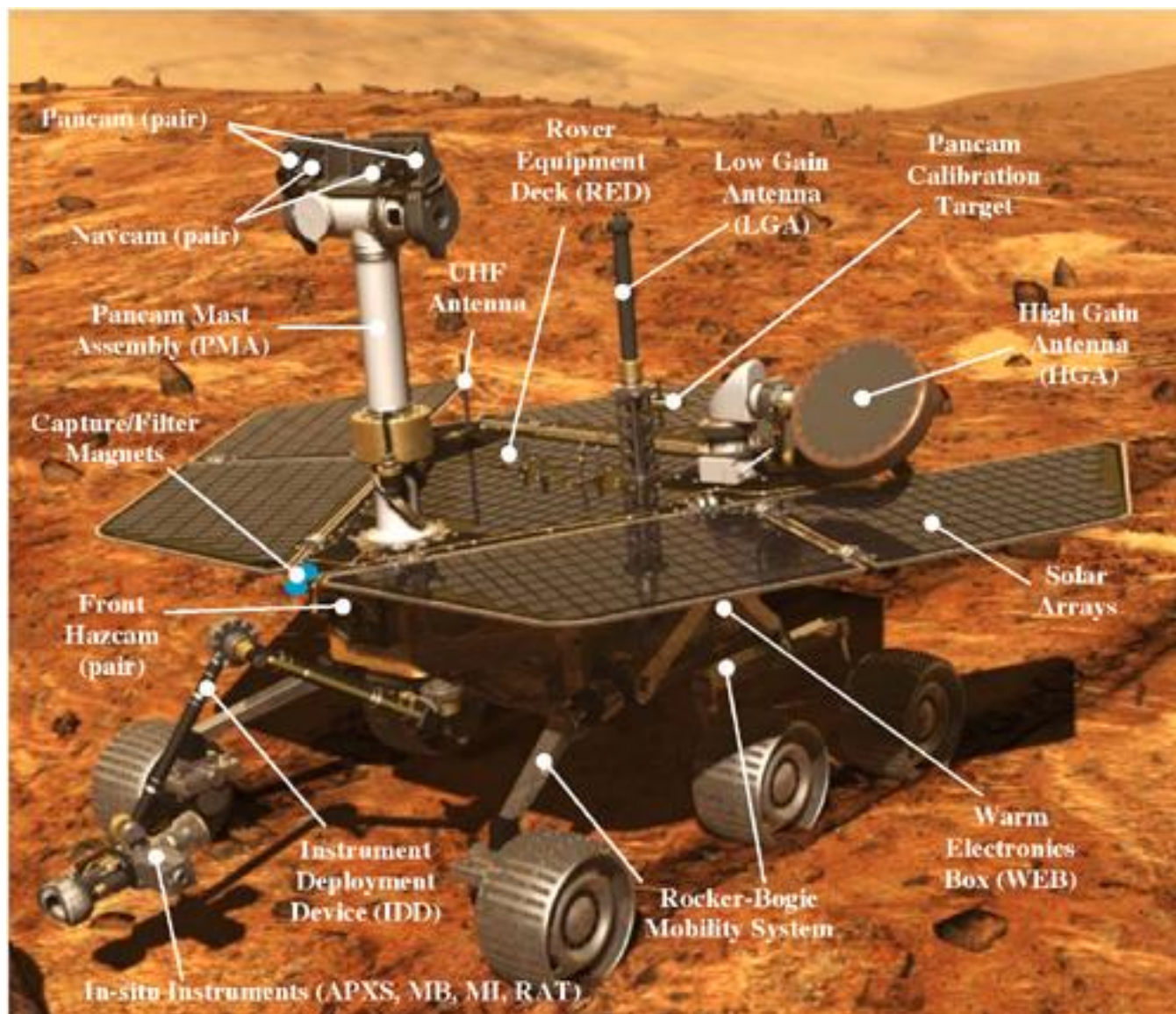
طیف سنجی
در
مریخ نورد
آپورچیونیتی
(فرصت)



«روشن‌های طیف‌سنجی در مریخ نورد آپوچیونیتی و نقش آن‌ها در کشف تاریخچه آب و کانی‌های مریخ»



ارائه دهنده : روح الله دادخواه



معرفی کوتاه

آپورچیونیتی یک مریخ‌نورد بود که توسط ناسا به مریخ فرستاده شد.

هدف اصلی: بررسی خاک و سنگ‌ها و پیدا کردن شواهد آب در گذشته مریخ.

معرفی ابزار اصلی مریخ نورد



S P I R I T



تاریخچه مأموریت

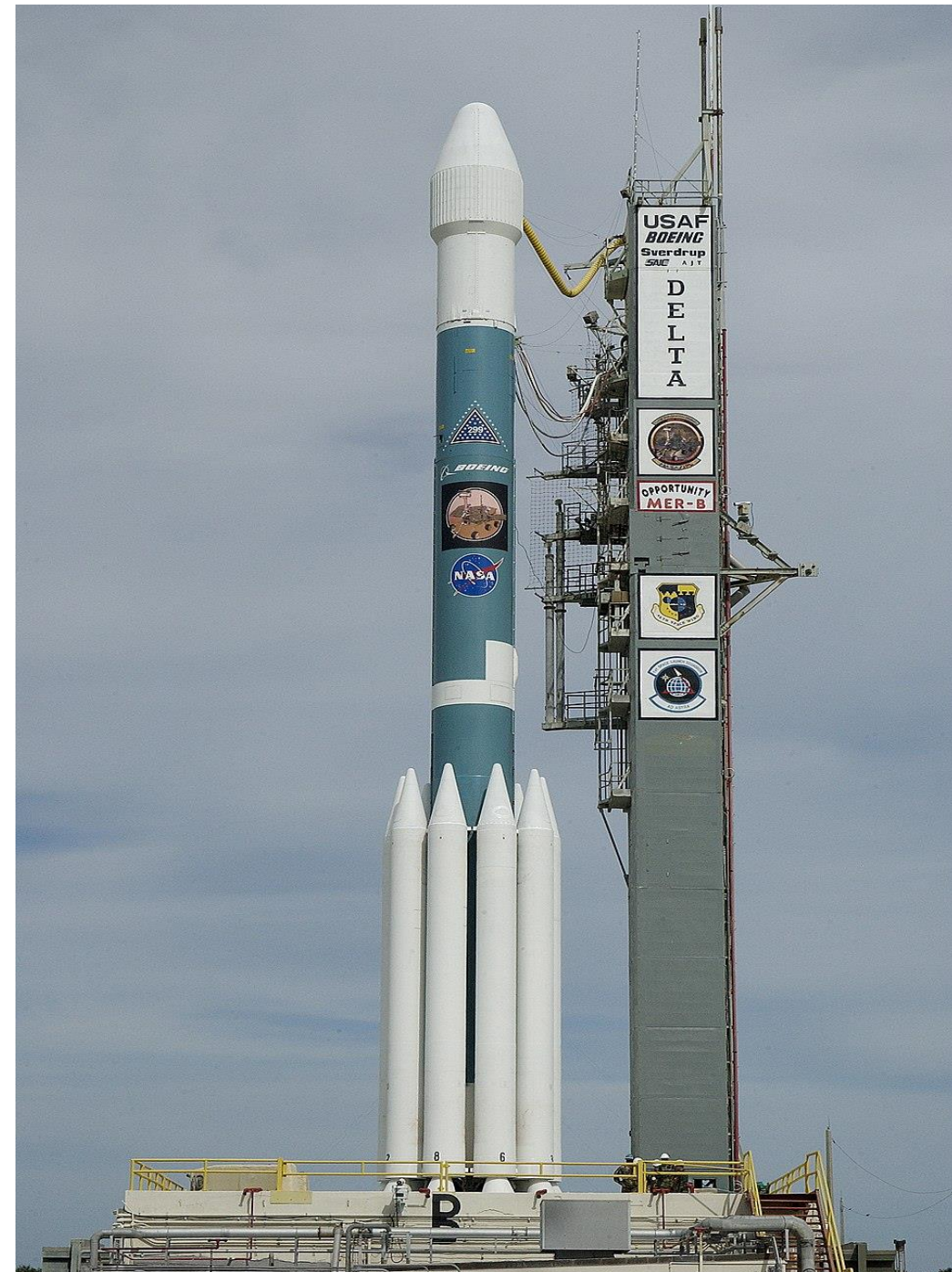
تاریخ پرتاب : 7 ژوئیه 2003 یا 16 تیر 1382

تاریخ فرود : 25 ژانویه 2004 یا 5 بهمن 1382

مأموریت برنامه‌ریزی شده: ۹۰ روز مریخی

**مأموریت واقعی: بیش از ۱۴ سال، تا ۲۰۱۸
فعال بود.**

**پرتاب مریخ نورد توسط موشک دلتا 2 انجام شد
و سفر حدود 6 ماه طول کشید.**



کاربرد و توضیح	نام اصلی (انگلیسی)	نام فارسی ابزار
گرفتن عکس‌های رنگی و سه‌بعدی با وضوح بالا از محیط اطراف برای شناسایی ویژگی‌های سنگ و خاک.	Panoramic Camera (Pancam)	دوربین پیمایش پانوراما
گرفتن تصاویر سیاه‌وسفید برای کمک به ناوبری و حرکت ایمن مریخ‌نورد.	Navigation Cameras (Navcams)	دوربین ناوبری
ثبت تصاویر نزدیک به زمین برای تشخیص موانع و جلوگیری از گیر افتادن.	Hazard Avoidance Cameras (Hazcams)	دوربین خطرسنج جلو و عقب
اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و خاک.	Alpha Particle X-ray Spectrometer (APXS)	طیف‌سنج گاما، پرتو ایکس و آلفا
شناسایی انواع کانی‌های آهن‌دار و بررسی فرآیندهای زمین‌شناسی.	Mössbauer Spectrometer	Mössbauer طیف‌سنج
ثبت تصاویر بسیار نزدیک و دقیق از بافت و ساختار سطح سنگ‌ها و خاک.	Microscopic Imager	میکروسکوپ تصویربردار
تراشیدن لایه سطحی سنگ‌ها برای آشکار کردن بخش تازه زیر آن جهت مطالعه دقیق‌تر.	Rock Abrasion Tool (RAT)	ابزار سنگ‌ساب (مته ساینده)
اندازه‌گیری دمای سطح و طیف مادون قرمز برای شناسایی ترکیب مواد معدنی از فاصله دور.	Miniature Thermal Emission Spectrometer (Mini-TES)	طیف‌سنج مادون قرمز حرارتی

ابزارها و انواع طیف‌سنجی آپورچونیتی

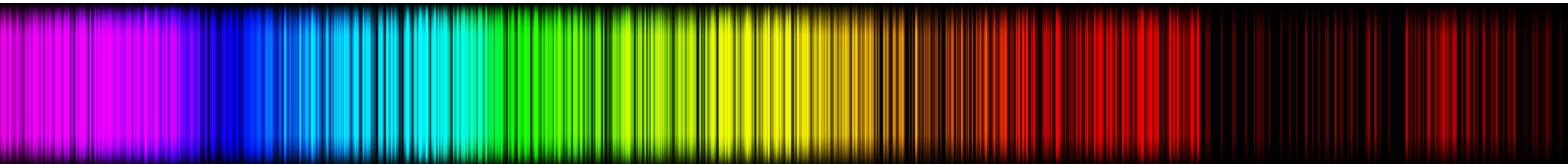
1. APXS : طیف‌سنج آلفا-پرتوی ایکس (عنصرسنجی تماسی)

2. Mössbauer (MIMOS II) : طیف‌سنج موسباور (شناسایی فازهای آهن)

3. Mini-TES : طیف‌سنج حرارتی فروسرخ میانی (از دور، روی دکل)

4. Pancam : دوربین چندطیفی بازتابی (مرئی و نزدیک فروسرخ)

5. Microscopic Imager : میکروسکوپ تصویری بردار



در ابتدا مریخ نورد توسط ابزار تراش خود سنگ را به عمق 0.5 سانتیمتر و قطر 4.5 سانتیمتر تراش می دهد تا از آلودگی ها و هوازدگی ها پاک شود و سپس ابزار طیف سنجی که روی بازوی او و روی دکل روی سقفش هست کار طیف سنجی و شناسایی عناصر و فراوانی آن عناصر را انجام می دهد.



Sol 27B Pre-RAT, Hole 2



Sol 35B Post-RAT, Hole 2

طيفسنج آلفا-پرتوى ايكس (عنصرسنجى تماسى)

Alpha Particle X-ray Spectrometer

APXS

APXS — طیف‌سنج آلفا-پرتوی ایکس (Alpha Particle X-ray Spectrometer)

هدف دستگاه

- شناسایی نوع و مقدار عناصر شیمیایی در خاک و سنگ‌های مریخ.
- کمک به درک ترکیب شیمیایی سطح مریخ و سرنخ‌هایی درباره شرایط گذشته (آب، آتشفشان، هوازدگی و ...).

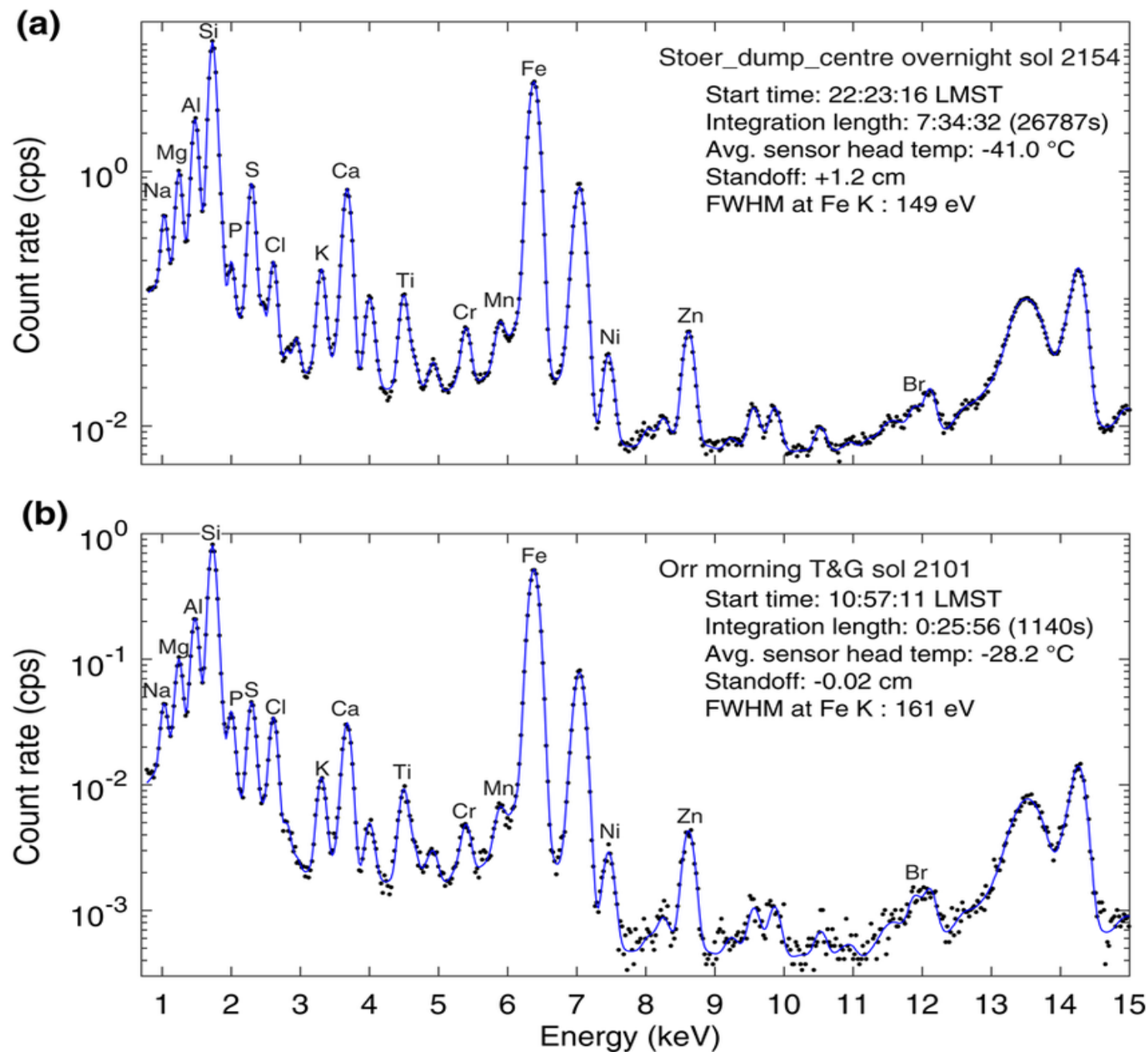
اجزای اصلی

1. منبع پرتوزا (^{244}Cm):
 - ذرات آلفا (α) و پرتوهای ایکس اولیه گسیل می‌کند.
 - این پرتوها به سنگ برخورد می‌کنند و باعث برانگیخته شدن اتم‌های آن می‌شوند.
2. سامانه مکانیکی تماس:
 - APXS در نوک بازوی رباتیک قرار داشت و برای اندازه‌گیری، مستقیماً روی سطح سنگ یا خاک قرار می‌گرفت.
3. آشکارساز پرتو ایکس برگشتی (Silicon Drift Detector) ↓
 - پرتوهای ایکسی را که از اتم‌های برانگیخته شده ساطع می‌شود، دریافت و اندازه‌گیری می‌کرد.

اصل علمی کار (مکانیزم طیف سنجی)

1. منبع APXS ذرات آلفا را به سنگ می فرستد.
2. ذرات آلفا، الکترون های لایه درونی اتم های سنگ را بیرون می اندازند.
3. وقتی الکترون های لایه های بیرونی به جای خالی در لایه های درونی می افتند، پرتو ایکس با انرژی مشخصه ساطع می شود.
4. هر عنصر انرژی ایکس مخصوص خود را دارد (مثلاً S، Mg، Si، Fe هر کدام خطوط انرژی منحصر به فرد دارند).
5. آشکارساز این خطوط را اندازه می گیرد و طیف انرژی می سازد.
6. دانشمندان با تطبیق خطوط طیفی با جدول انرژی عناصر، نوع و مقدار هر عنصر را تعیین می کنند.

این یک نمونه از
طیف
APXS
می باشد.



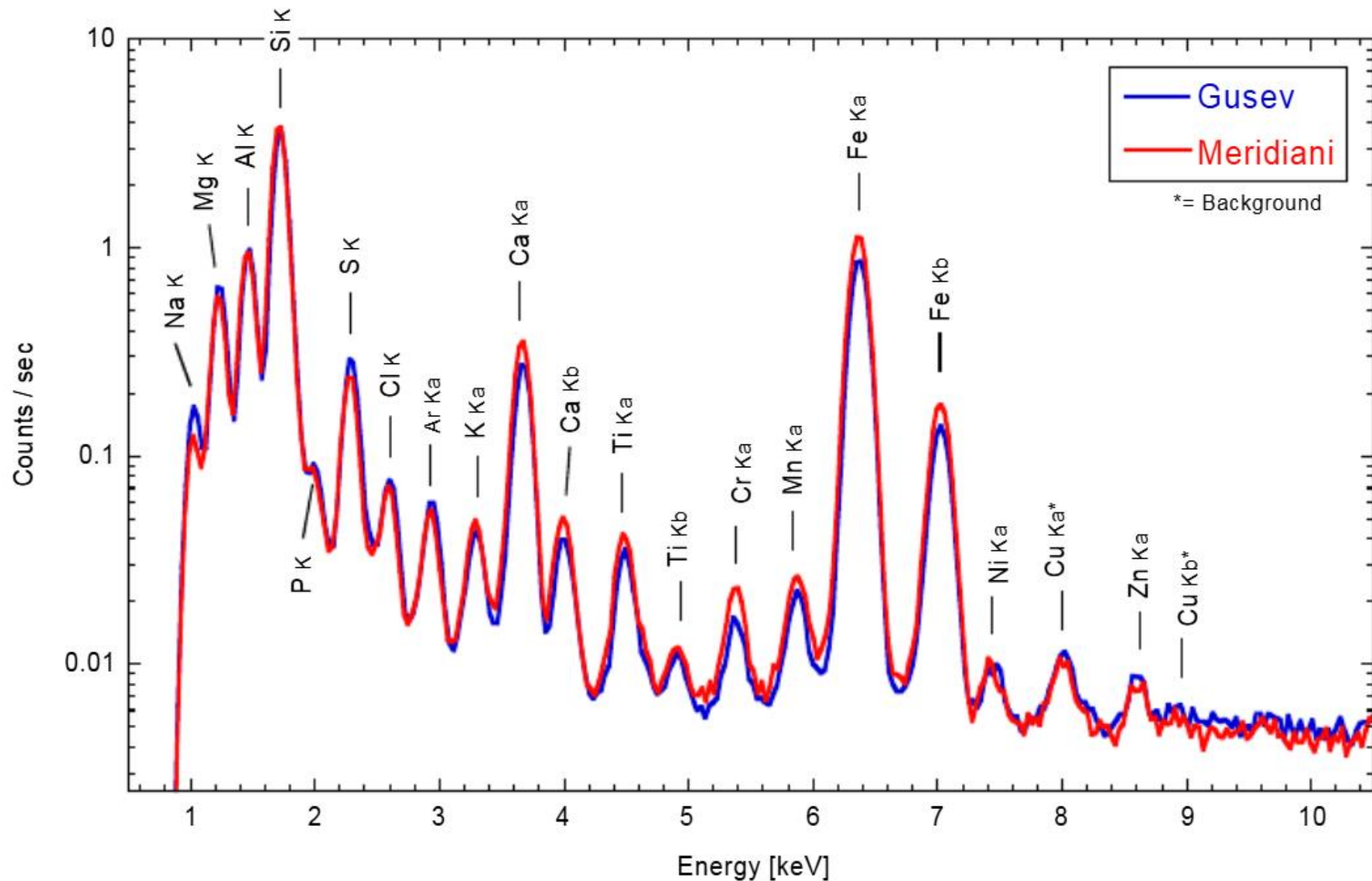


Fig. 1 APXS X-ray spectra of Martian soils measured at Gusev Crater (blue) and Meridiani Planum (red).

توضیح نمودار آبی رنگ - فراوانی عناصر

محور افقی (X-axis) انرژی پرتو ایکس بر حسب کیلو-الکترون ولت (keV) — هر عنصر یک یا تعداد خطوط مشخصه در انرژی دارد.

محور عمودی (Y-axis) شدت شمارش‌ها — نشان می‌دهد چند بار آشکارساز یک خط انرژی خاص را دریافت کرده است.

نقاط داده‌ها (Data Points) مقادیر واقعی ثبت شده توسط ابزار — ترکیبی از نویز + خط‌های مشخصه عناصر.

خط برازش (Fit Line) مدل نظری که مؤلفه‌های مختلف عنصرها را فرض کرده، با داده تطبیق داده شده تا مشخص شود کدام عناصر چه مقدار سهم دارند. خطوط پیک نشان‌دهنده انرژی‌های مشخصه‌ی عناصر مهم هستند.

نتیجه‌ای که از چنین طیفی می‌توان گرفت

- با دیدن یک پیک پر قدرت در مثلاً ~ 6.4 keV می‌توان حدس زد که عنصر آهن (Fe) وجود دارد (پیک $K\alpha$ آهن).
- اگر پیک در ~ 2.6 keV باشد، ممکن است گوگرد (S) باشد؛ یا اگر در ~ 1.5 keV باشد جنس آلومینیوم (Al) باشد، و ...
- اگر شدت پیک Fe نسبت به Si یا Mg بالا باشد، سنگ ترکیب آهنی بیشتری دارد — ممکن است سنگ آتشفشانی با کانی‌های آهنی.



26 Fe آهن



16 S گوگرد



13 Al آلومینیوم

نتایج بدست آمده از طیف سنجی APXS

طیف سنجی APXS روی مریخ‌نورد آپورتچونیتی برای شناسایی ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و خاک‌های مریخ به کار رفت و توانست حضور عناصر اصلی مانند Si، Fe، Mg، Al، Ca، S و Cl را مشخص کند. این داده‌ها نشان دادند که در منطقه Meridiani Planum سنگ‌ها غنی از سولفات‌ها و هماتیت هستند که شواهدی از وجود گذشته آب مایع و فرایندهای تبخیری است، درحالی‌که نمونه‌هایی مثل Bounce Rock ترکیب بازالتی و غنی از پیروکسن و آهن داشتند و منشأ آتشفشانی را نشان می‌دادند؛ بنابراین APXS کمک کرد تا هم سنگ‌های آبی منشأ (سولفات‌ها) و هم سنگ‌های آتشفشانی خشک شناسایی شوند.

سنگ هماتیت + خاک رس + بازالت آتشفشانی + سنگ آهن سولفات‌ها = مریخ

خروجی علمی

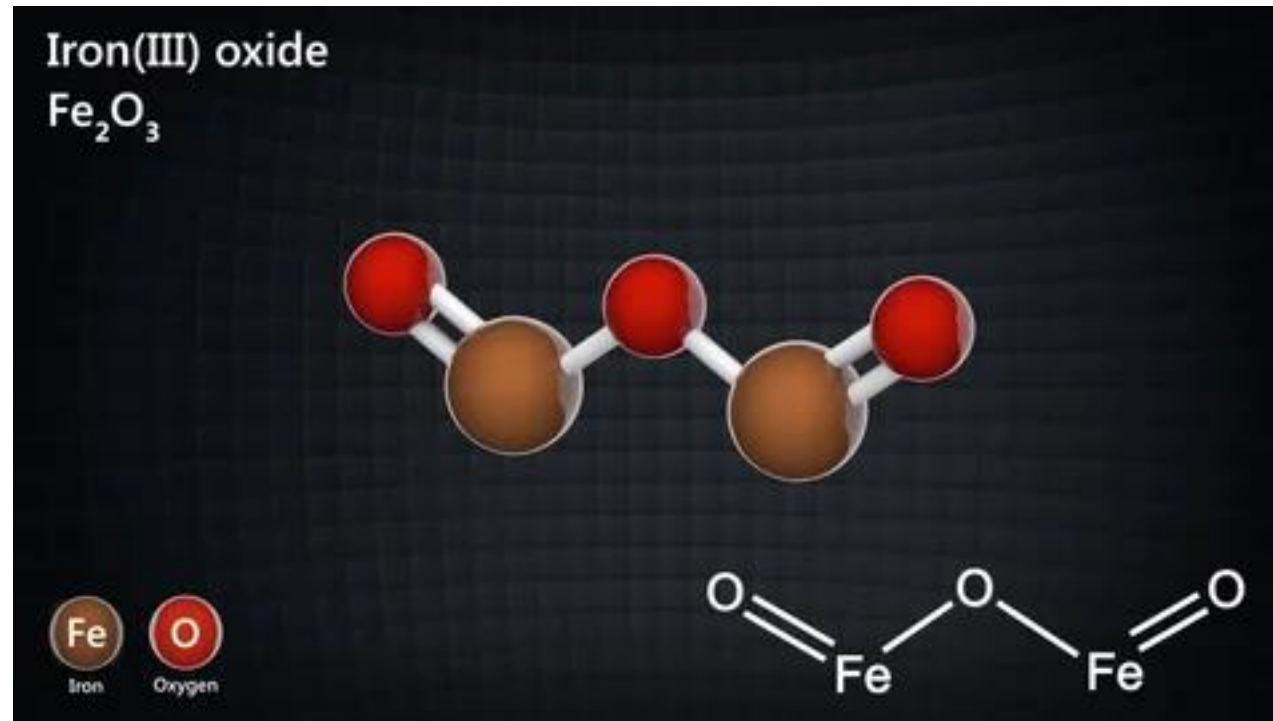
- نمودار خروجی APXS یک طیف انرژی پرتو ایکس است.
 - از ارتفاع پیک ها (شدت) مقدار هر عنصر، و از محل پیک ها (انرژی) نوع عنصر را می فهمند.
 - این داده ها ترکیب عنصری (Elemental Composition) سنگ را مشخص می کند.
-

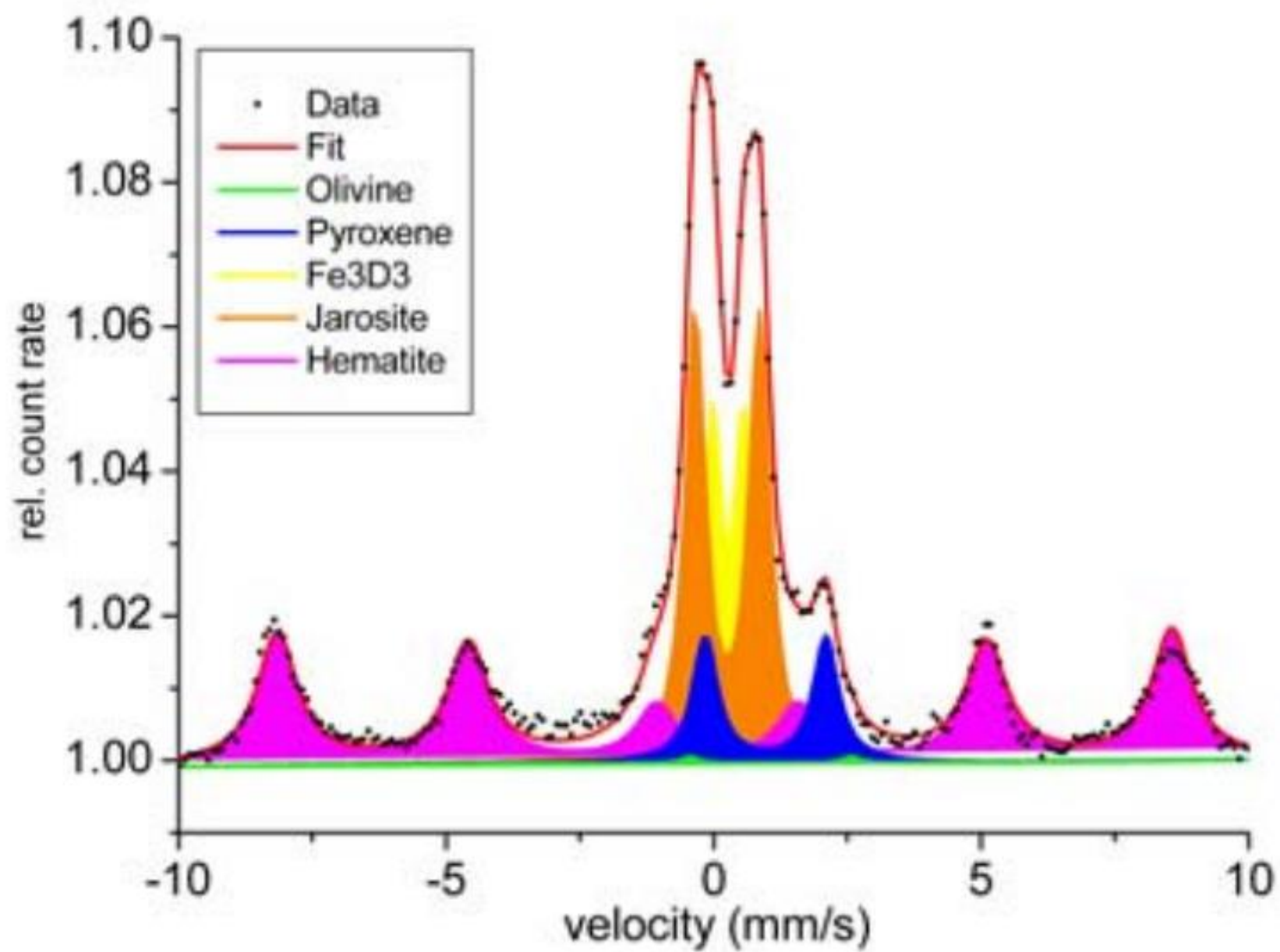
اهمیت کشف ها

- APXS در آپورچونیتی نشان داد بعضی سنگ ها مقدار زیادی گوگرد (S)، کلر (Cl) و برم (Br) دارند → نشانه حضور آب تبخیری در گذشته.
- همچنین نسبت های Si، Al، Mg و Fe را برای طبقه بندی سنگ ها استفاده کردند.

طیف‌سنج موسباور (شناسایی فازهای آهن)

Mössbauer Spectrometer





توضیح نمودار موسباور

در طیف‌سنجی موسباور، منظور از velocity (سرعت) همان سرعت حرکت منبع پرتوزا به جلو و عقب است که باعث تغییر دوپلری انرژی پرتو گاما می‌شود.

این تغییر انرژی خیلی خیلی کوچک است و فقط با همین حرکت دقیق منبع قابل ایجاد و اندازه‌گیری است.

یعنی در محور افقی طیف موسباور که velocity (mm/s) نوشته می‌شود، در واقع دارد اختلاف انرژی جذب در سرعت‌های مختلف منبع را نشان می‌دهد.

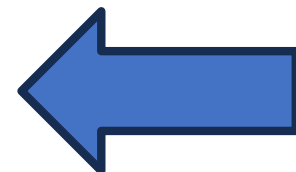
در طیف‌سنجی موسباور (و به طور کلی در آشکارسازهای پرتویی)، **count rate** یعنی:

تعداد پرتوهای گامای ثبت شده توسط آشکارساز در واحد زمان (مثلاً بر حسب «شمارش در ثانیه» یا counts/s).

- هرچه جذب بیشتر باشد → شمارش کمتر می‌شود چون فوتون‌ها جذب شده‌اند.
- هرچه جذب کمتر باشد → شمارش بیشتر می‌شود چون فوتون‌ها از نمونه عبور کرده‌اند.

velocity (محور افقی) = سرعت منبع (تغییر انرژی)

count rate (محور عمودی) = تعداد فوتون‌های ثبت شده در ثانیه



هدف دستگاه (Mössbauer Spectrometer)

هدف اصلی این دستگاه، بررسی حالت‌های شیمیایی و معدنی آهن (Fe) در سنگ‌ها و خاک مریخ است. چون آهن در بیشتر سنگ‌های مریخی وجود دارد، بررسی دقیق آن به درک تاریخچه زمین‌شناسی و محیط‌های آبی گذشته مریخ کمک می‌کند.

اجزای اصلی

- منبع پرتوزای کبالت- ^{57}Co : گسیل‌کننده پرتو گاما برای تاباندن به نمونه
- سیستم ارتعاش‌دهنده (درایو سرعت): برای حرکت دادن منبع با سرعت‌های دقیق و ایجاد تغییر دوپلری در پرتو
- آشکارساز پرتو گاما: برای ثبت شدت پرتوهای عبوری یا بازتابی از نمونه
- واحد کنترل و پردازش داده‌ها: برای ساخت طیف موسباور از داده‌های دریافتی

اصل علمی کار

- پرتوهای گاما از منبع ^{57}Co به نمونه حاوی آهن تابیده می شود.
- هسته های آهن در نمونه در اثر پدیده جذب تشدیدي موسباور پرتو را جذب می کنند.
- تغییرات ظریف در انرژی جذب بر اثر محیط شیمیایی و مغناطیسی باعث تغییر در طیف جذب می شود.
- این تغییرات به ما می گویند آهن در چه کانی هایی (هماتیت، مگنتیت، الیوین و ...) وجود دارد و در چه حالت اکسیداسیونی است (Fe^{2+} یا Fe^{3+}).

پرتو گاما

30EHZ – 300EHZ

1PM – 10PM

نتایج و خروجی علمی

- شناسایی دقیق کانی‌های آهن‌دار مانند هماتیت (نشانه محیط آبدار)، مگنتیت، الیوین، پیروکسن و ...
- تعیین درصد نسبی Fe^{2+} و Fe^{3+} برای درک میزان اکسایش محیط
- تعیین سابقه آب و تغییرات دمایی و شیمیایی سنگ‌ها



سنگ هماتیت قرمز زمینی

اهمیت علمی و کشفیات

- ارائه شواهد قوی از وجود هماتیت و محیط‌های آبی در گذشته مریخ
- کمک به تعیین اینکه سنگ‌ها در شرایط خشک یا مرطوب شکل گرفته‌اند
- تکمیل اطلاعات به دست آمده از ابزارهای دیگر (مثل APXS) برای بازسازی تاریخ زمین‌شناسی مریخ



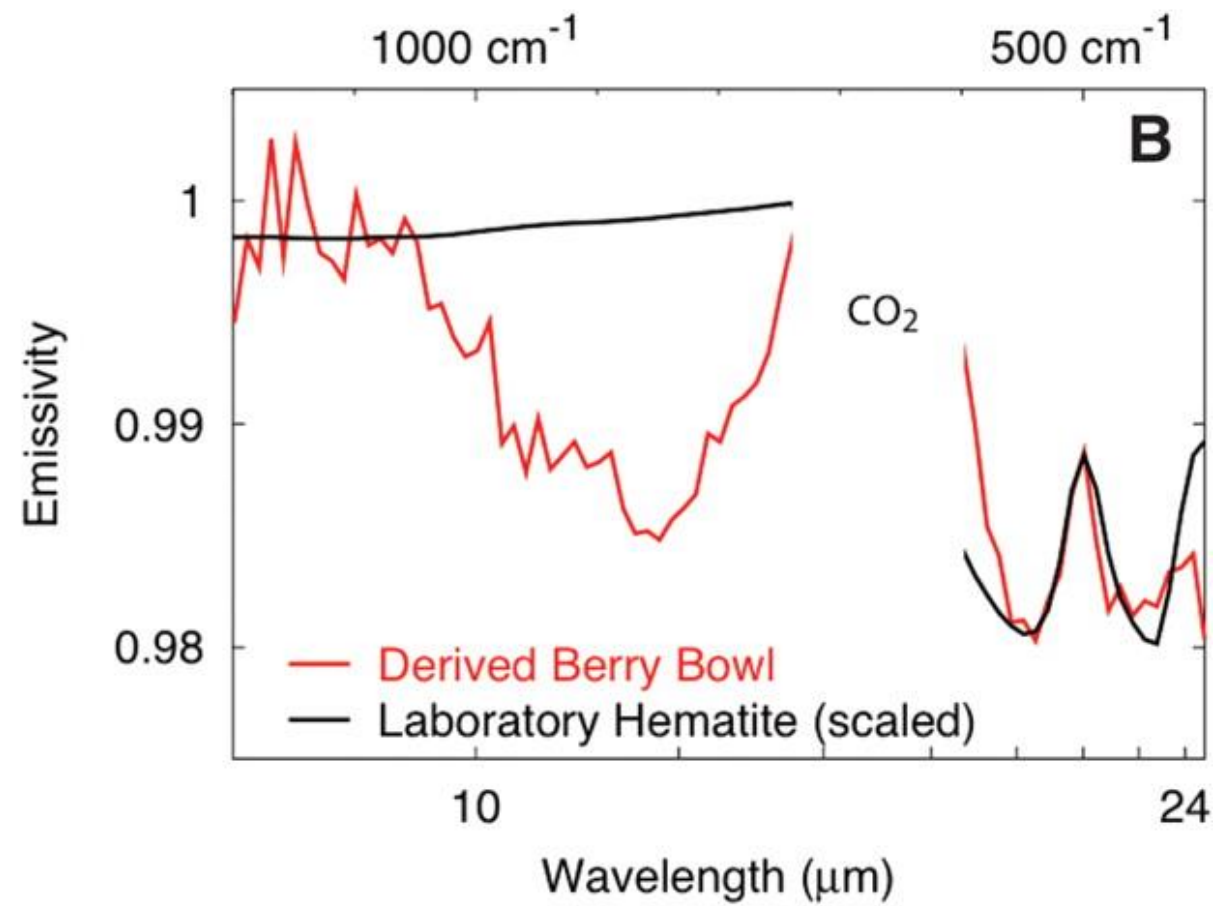
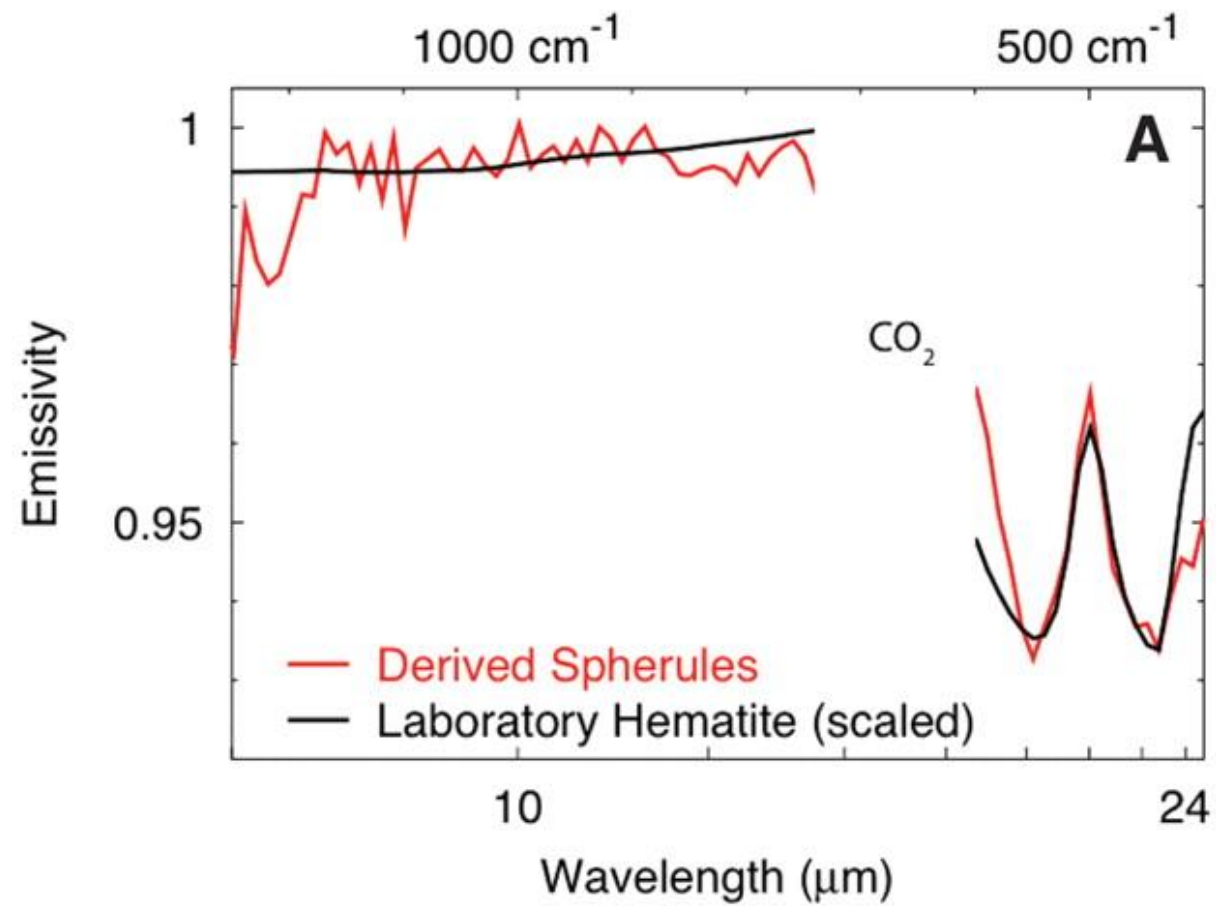
سنگ هماتیت سیاه زمینی
(نگین انگشتری)

هماتیت رنگین کمانی
طبیعی از برزیل



طیف‌سنج حرارتی فروسرخ میانی (از دور، روی دکل)

**Miniature Thermal Emission
Spectrometer (Mini-TES)**



توضیح شکل

- این نمودار شدت تابش (یا تابناکی / emissivity) را بر حسب طول موج فروسرخ نشان می‌دهد.
- محور افقی: طول موج یا عدد موج (wavelength / wavenumber) در محدوده فروسرخ — معمولاً بین ~ 5 تا ~ 30 میکرون (یا همان ~ 340 تا $\sim 2000\text{ cm}^{-1}$).
- محور عمودی: مقدار تابناکی / شدت تابش — که نشان می‌دهد هر ماده در آن طول موج چه مقدار تابش گرمایی از خود ارسال می‌کند.

چه چیزی می‌توان با این طیف تشخیص داد؟

- وجود پیک‌هایی در نواحی خاص طول موج می‌تواند نشان‌دهندهٔ کانی‌های خاص باشد؛ مثلاً همتایت، کانی‌های رسی (clay minerals)، سیلیکات‌ها، و یا ترکیباتی که تحت تأثیر آب بوده‌اند.
- به‌عنوان مثال، اگر یک باند جذب یا انتشار قوی در حدود عدد موجی خاص وجود داشته باشد — آن عدد به کتابخانهٔ طیفی آزمایشگاهی مقایسه می‌شود تا تأیید شود آن کانی خاص چیست.

1. هدف دستگاه

- شناسایی و آنالیز مواد معدنی سطح مریخ از فاصله دور.
- تعیین ترکیب سنگ ها و خاک مریخ.
- کمک به انتخاب اهداف نمونه برداری برای دیگر ابزارهای مریخ نورد.
- بررسی فرآیندهای زمین شناسی مریخ و شواهد وجود آب در گذشته.



وجود ماده معدنی تردیمیت در سطح مریخ
دی اکسید سیلیکون (سیلیکا) که در فشار پایین
و دمای بالا 800 درجه سانتیگراد که از در
حالت آتشفشانی سیلیس دار شکل می گیرد.
البته آب روان در تولید این ماده لازم است.

2. اجزای اصلی

1. اپتیک و لنزها:

- جمع‌آوری نور فروسرخ از سطح مریخ.
- تمرکز بر روی نمونه‌های هدف از فاصله چند متری تا چند ده متری.

2. اسپکتروفتومتر فروسرخ:

- تجزیه نور جمع‌آوری شده به طول موج‌های مختلف (میانگین طیف فروسرخ ۵-۲۵۰ میکرومتر).

3. چشمه سرد (Cold Detector):

- حسگر حساس به انرژی فروسرخ که تغییرات دما و تابش مواد را ثبت می‌کند.

4. مکانیزم هدف‌گیری:

- توانایی چرخش و نشانه‌گیری دقیق روی دکل مریخ‌نورد.

5. الکترونیک و پردازشگر داده‌ها:

- تبدیل سیگنال‌های فروسرخ به طیف‌های قابل تحلیل.
- ذخیره‌سازی و ارسال داده‌ها به زمین.

3. اصل علمی کار

- تشعشع حرارتی فروسرخ:
- هر جسمی با دمای بالاتر از صفر مطلق، انرژی را به صورت تابش فروسرخ منتشر می‌کند.
- طیف‌سنجی فروسرخ میانی (Mid-IR Spectroscopy):
- مواد معدنی دارای امواج جذبی منحصر به فرد در محدوده فروسرخ هستند.
- Mini-TES تابش سطح مریخ را اندازه‌گیری کرده و طیف جذبی هر ماده را ثبت می‌کند.
- تحلیل طیف:
- مقایسه طیف دریافت شده با داده‌های آزمایشگاهی روی زمین برای شناسایی مواد معدنی.

4. نتایج و خروجی علمی

- طیف‌های فروسرخ از سطح و سنگ‌ها و خاک مریخ.
 - شناسایی سیلیکات‌ها، کربنات‌ها، سولفات‌ها و مواد معدنی آذرین.
 - نقشه‌برداری توزیع مواد معدنی مختلف در مسیر مریخ‌نورد.
 - ارائه داده‌های دمای سطح سنگ‌ها و خاک.
-

5. اهمیت علمی

- کمک به درک تاریخچه آب و شرایط اقلیمی گذشته مریخ.
- شناخت فرآیندهای زمین‌شناسی و آتشفشانی.
- تعیین نقاط دارای اهمیت برای کاوش بیشتر و نمونه‌برداری.
- ایجاد پایه داده‌ای برای مقایسه با سایر مریخ‌نوردها و مأموریت‌های آینده.

6. کشف‌ها و دستاوردهای مهم

- شناسایی سنگ‌های آذرین و رسوبی در دهانه مرجانی مریخ.
- شواهد فعالیت‌های آبی در گذشته مریخ از طریق مواد سولفاتی و کربناتی.
- تشخیص تفاوت‌های معدنی بین مناطق مختلف مریخ.
- کمک به تعیین مناطق احتمالی برای زندگی گذشته یا آب مایع.



سنگ شپیست

یک نمونه سنگ دگرگونی در مریخ
که ساختار پیچیده زمین شناسی مریخ
را بیان می‌کند.
این سنگ در نتیجه تغییرات دما و
فشار در سنگ‌های دیگر بوجود
می‌آید.

طرح روئایی از مریخ با دو قمر و کلونی های زندگی مهاجران



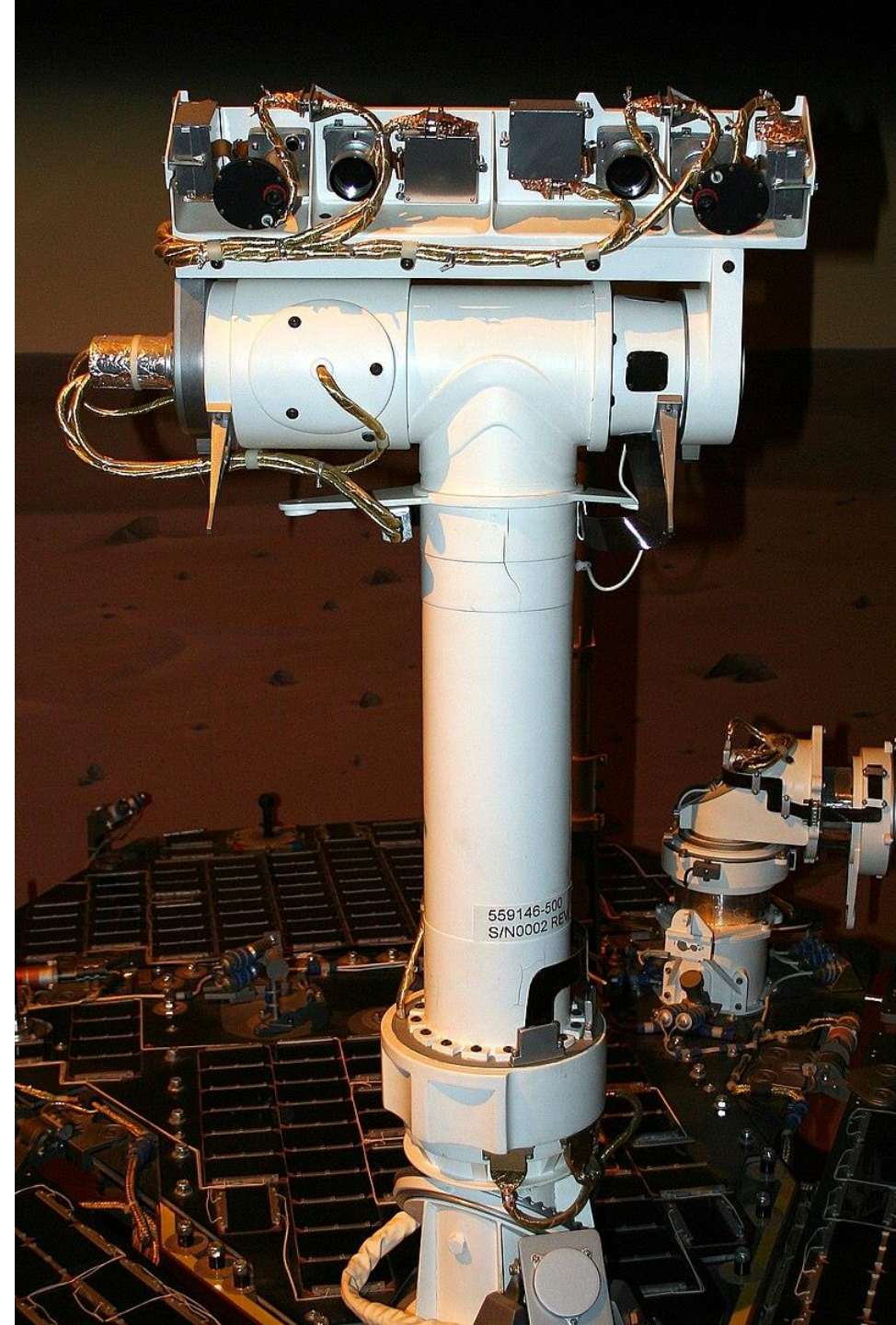
دوربین چندطیفی بازتابی (مرئی و نزدیک فروسرخ)

Pancam



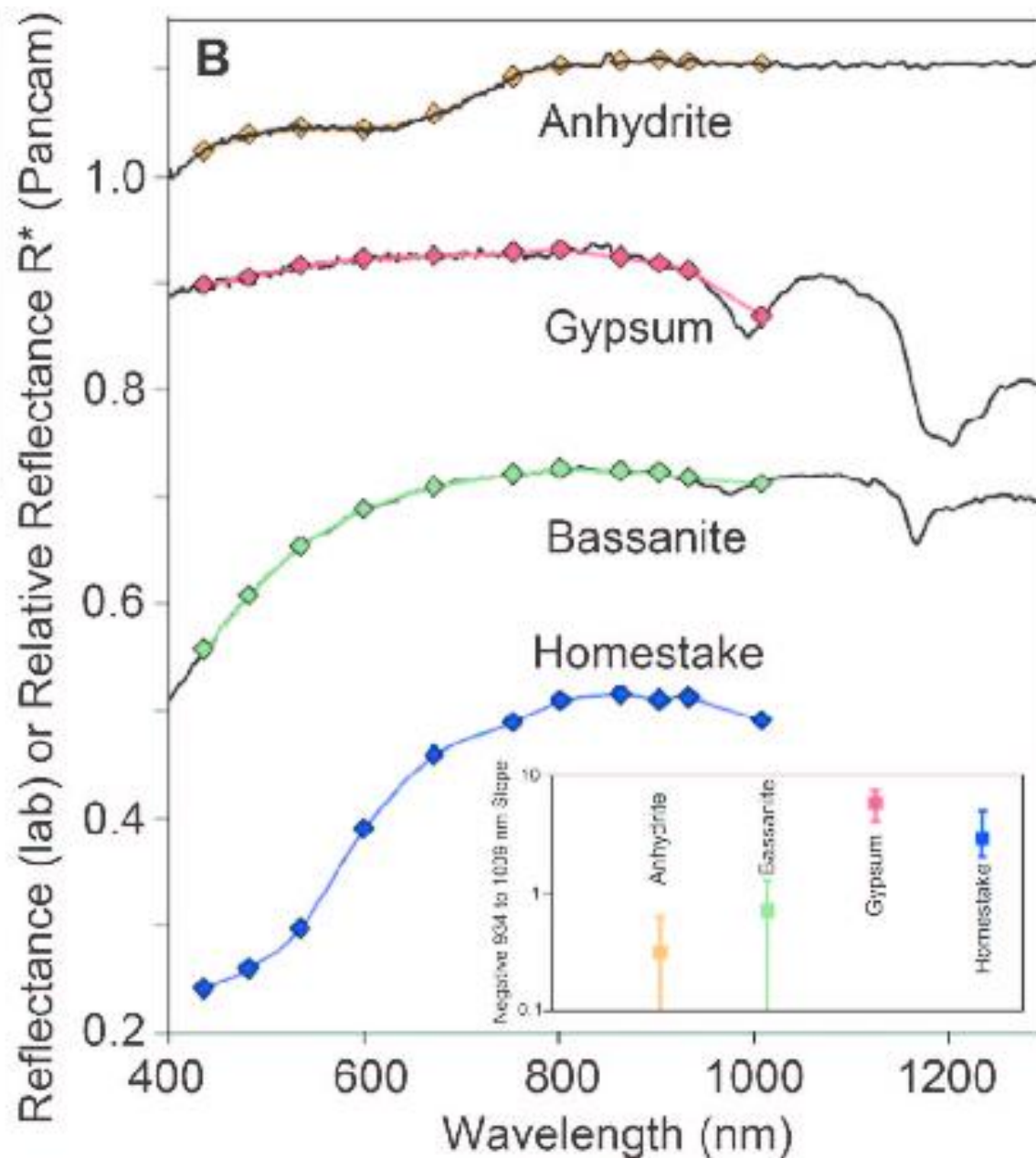
**An image taken by the
Mars rover
Opportunity's
PANCAM camera.**

دوربین های پان کم دو عدد در طرفین روی دکل هست.
این دوربین ها دارای چندین فیلتر برای عکسبرداری در
طیف های گوناگون مرئی و یک موتور چرخان برای
تغییر فیلترها. هر دوربین فیلتر هایی با عدد طیفی جدا
گانه دارد. قدرت این دوربین 3 برابر چشم انسان است.





spectra of Homestake to laboratory reflectance spectra (42) rent levels of hydration. Solid lines are full-resolution lab values convolved to Pancam bandpasses. The anhydrite, at by +0.2, 0.0, and -0.2 reflectance units, respectively. The negative 934- to 1009-nm spectral slope values for these the minimum, average, and maximum Pancam Homestake ted 1σ uncertainties on the laboratory and Pancam ratio 10^{-4} nm^{-1} .



توضیح شکل

- محور افقی: طول موج (در ناحیه نزدیک فروسرخ / NIR) – مثلاً ~900-1000 نانومتر
- محور عمودی: بازتاب یا نسبت بازتاب (Reflectance or Relative Reflectance)
- چند خط/نقطه داده که نشان می‌دهد بازتاب چگونه با طول موج تغییر می‌کند، مخصوصاً در طول موج‌های بلند (نزدیک 1000 نانومتر) تغییراتی دیده می‌شود که نشان‌دهنده جذب نور ناشی از آب یا طیف OH- است.

چه چیزی از این طیف Pancam قابل استنتاج است؟

- بخش مهمی از شکل، «کاهش شیب بازتابی بین فیلترهای ~934 nm و ~1009 nm» است — این کاهش به عنوان نشانه هیدراسیون (presence of water/OH) تعبیر شده است.
- مقایسه این طیف با طیف‌های آزمایشگاهی کانی‌های سولفات مانند جپ‌سوم (gypsum) نشان داده که علامت هیدراسیون در Pancam با جپ‌سوم مطابقت دارد.
- این یعنی سنگ یا ماده‌ای که Pancam به آن نگاه کرده است ممکن است شامل سولفات‌های هیدراته یا مواد مربوط به آب باشد.

1. هدف دستگاه

- تصویربرداری سطح مریخ در طیف مرئی و نزدیک فروسرخ.
- شناسایی مواد معدنی و ترکیبات سطحی از طریق بازتاب نور.
- نقشه برداری زمین شناسی و تعیین ویژگی های سطحی مانند سنگ ها، خاک و رسوبات.
- کمک به انتخاب اهداف نمونه برداری برای ابزارهای دیگر.

2. اجزای اصلی

1. لنز و سیستم اپتیک:

- جمع‌آوری نور مرئی و نزدیک فروسرخ از سطح مریخ.
- امکان بزرگنمایی و تمرکز بر روی اهداف خاص.

2. فیلترهای چندطیفی:

- امکان ثبت تصاویر در طول موج‌های مختلف (مثلاً ۴-۱۳ فیلتر مختلف).
- هر فیلتر مربوط به یک محدوده طول موج برای تحلیل ترکیب مواد است.

3. حسگر CCD یا CMOS:

- ثبت تصاویر دیجیتال با حساسیت بالا در بازه‌های طیفی تعیین شده.

4. مکانیزم چرخش و نشانه‌گیری:

- قابلیت هدف‌گیری دقیق روی سنگ‌ها و خاک‌ها از فاصله چند متری تا چند ده متری.

5. الکترونیک و پردازشگر داده‌ها:

- پردازش تصاویر، ذخیره‌سازی و ارسال به زمین.
- تولید تصاویر ترکیبی چندطیفی برای تحلیل مواد معدنی.

3. اصل علمی کار

- بازتاب نور: هر ماده دارای الگوی بازتابی خاص در طول موج‌های مختلف نور است.
- طیف‌سنجی تصویری چندطیفی (Multispectral Imaging):
- ثبت میزان بازتاب در چند طول موج مشخص.
- مقایسه بازتاب‌های ثبت شده با نمونه‌های زمینی برای شناسایی مواد معدنی (مانند اکسیدهای آهن، کانی‌های رسی، سولفات‌ها).
- تحلیل ترکیبی: ترکیب تصاویر چندطیفی برای تولید نقشه‌های معدنی و رنگ واقعی سطح مریخ.



یافتن خاک رس توسط مریخ‌نورد نشانگر وجود آب در گذشته مریخ است چون خاک رس فقط در همجواری کانی‌ها با آب شکل می‌گیرد و رنگ و ترکیب‌های مختلف دارد.

4. نتایج و خروجی علمی

- تصاویر چندطیفی از سنگ‌ها، خاک و رسوبات سطح مریخ.
 - نقشه ترکیب معدنی مناطق مختلف.
 - شناسایی مناطق با مواد سولفاتی، اکسیدی یا رسی.
 - کمک به شناسایی تفاوت‌های زمین‌شناسی و تغییرات سطحی.
-

5. اهمیت علمی

- درک تاریخچه زمین‌شناسی و آب‌شناسی مریخ.
- شناسایی مکان‌های احتمالی برای زندگی گذشته یا فعالیت‌های آبی.
- انتخاب اهداف مناسب برای کاوش دقیق‌تر توسط ابزارهای نزدیک‌تر.
- ارائه داده برای مقایسه با سایر مریخ‌نوردها و مأموریت‌های آینده.

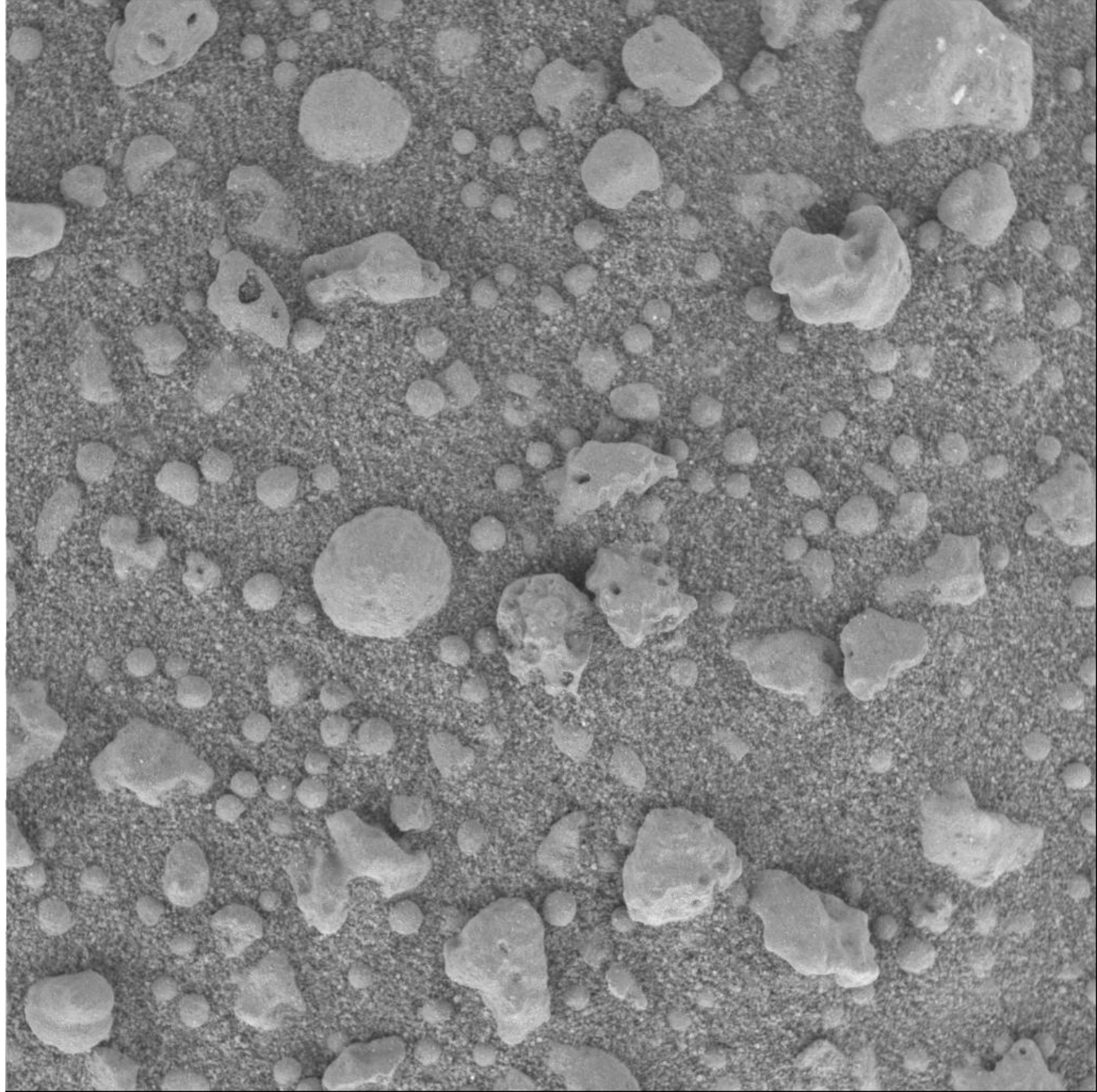


6. کشف‌ها و دستاوردهای مهم

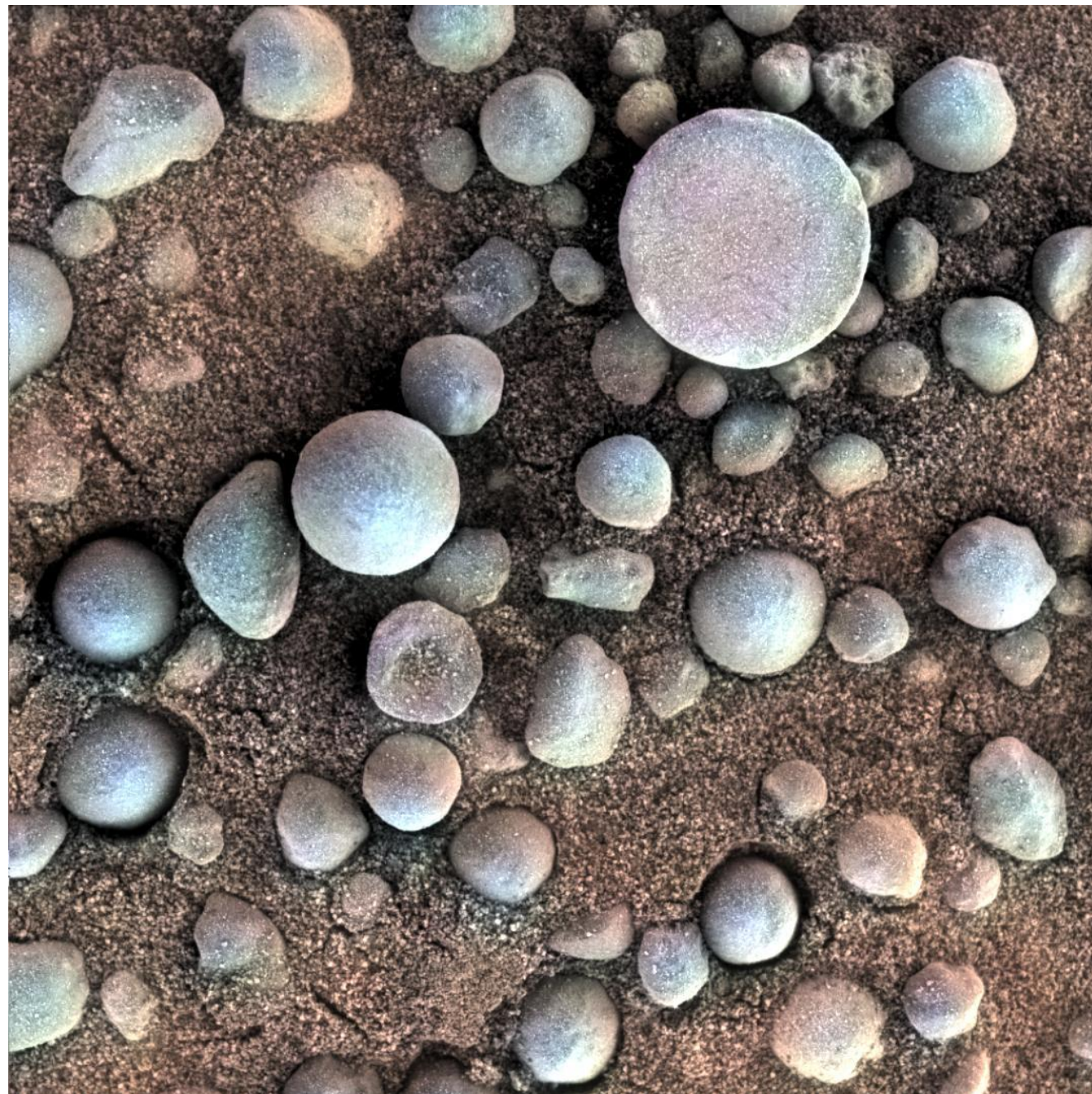
- شناسایی اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی که نشان‌دهنده حضور آب در گذشته هستند.
- تشخیص لایه‌بندی رسوبی و تغییرات مواد معدنی در سطح دهانه مریخی.
- ارائه تصاویر با کیفیت بالا برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی و فرسایش سطح.
- کمک به تحلیل محیط‌های قدیمی مریخ و تغییرات اقلیمی تاریخی.

میکروسکوپ
تصویر بردار

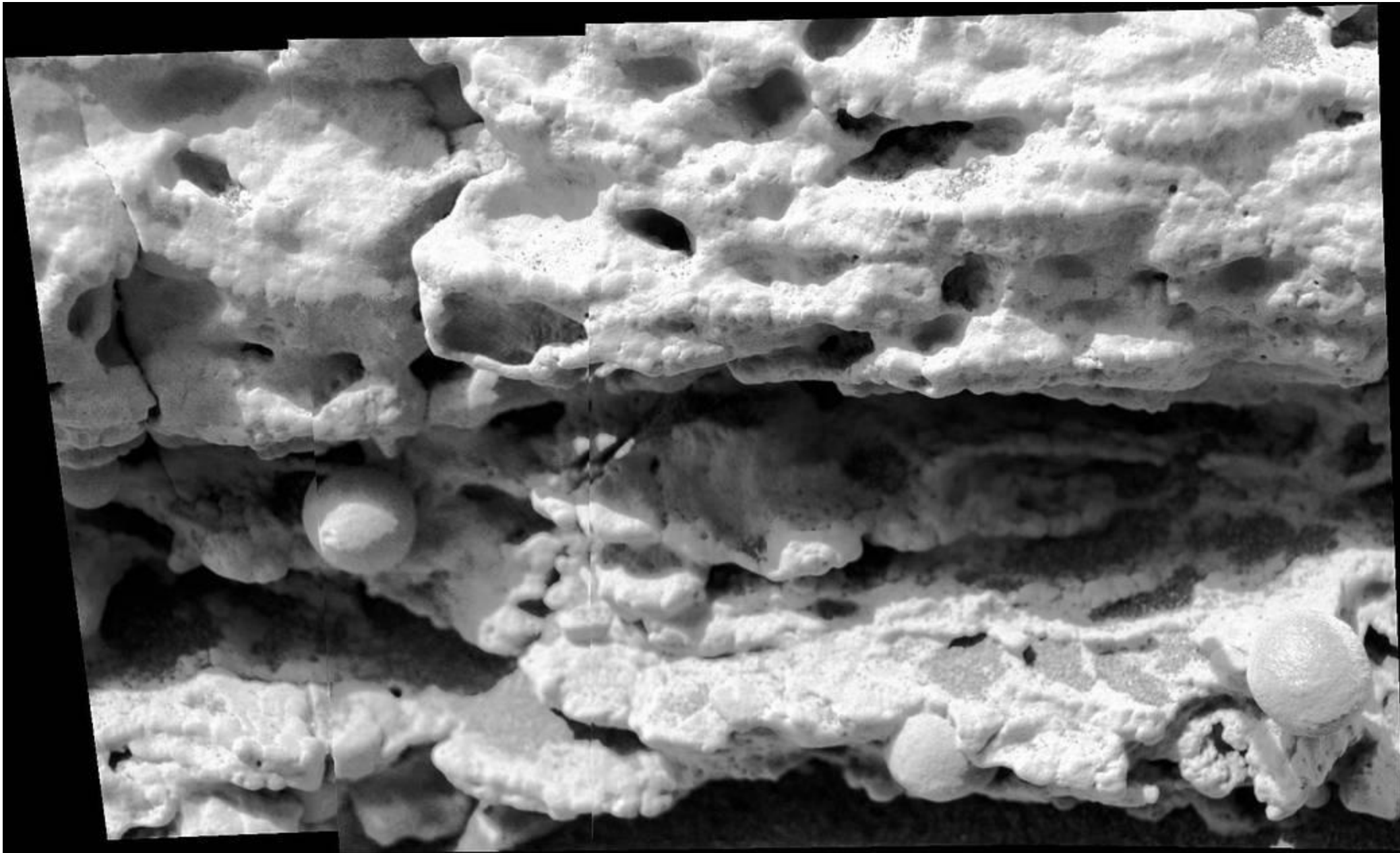
**Microscopic
Imager**



نمونه‌ای از تجمع گویچه‌ها
روی سطح سنگ است که
با میکروسکوپ نزدیک
گرفته شده؛ قطر گویچه‌ها
معمولاً چند میلی‌متر است.



این تصویر
هم بافت
سنگ و
ترکیب داخلی
و سطحی آن
را نشان
می‌دهد.
شکاف‌ها،
تخلخل‌ها، و
ذرات کوچک
سنگی
به‌خوبی دیده
می‌شوند.



1. هدف دستگاه

- تصویربرداری دقیق سطح سنگ‌ها و خاک مریخ در مقیاس میکروسکوپی.
- بررسی ساختار بافتی، دانه‌بندی و جزئیات سطح مواد معدنی.
- کمک به تحلیل زمین‌شناسی و تعیین فرآیندهای تشکیل سنگ‌ها و رسوبات.
- پشتیبانی از تحلیل‌های دیگر ابزارها مانند APXS و Mini-TES.

2. اجزای اصلی

1. لنز ماکرو/میکروسکوپی:

- بزرگنمایی حدود ۳۰-۷۰ برابر برای مشاهده جزئیات سطحی کوچک.

2. حسگر CCD:

- ثبت تصاویر دیجیتال با وضوح بالا.

3. منبع نور LED داخلی:

- روشنایی نمونه برای تصویربرداری دقیق حتی در نور کم.

4. مکانیزم هدف‌گیری و تثبیت تصویر:

- نزدیک کردن لنز به نمونه‌ها تا فاصله چند میلی‌متری بدون تماس فیزیکی.

5. الکترونیک و پردازشگر داده‌ها:

- پردازش و ارسال تصاویر به زمین برای تحلیل دقیق.

3. اصل علمی کار

- تصویربرداری نزدیک و بزرگ‌نمایی: با تابش نور بر سطح نمونه و جمع‌آوری بازتاب توسط لنز میکروسکوپی، جزئیات ریز سنگ‌ها و خاک ثبت می‌شود.
 - تحلیل تصاویر برای شناسایی ساختار دانه‌ها، رسوبات، ترک‌ها و بافت‌های معدنی.
 - مقایسه با نمونه‌های زمینی برای شناسایی فرآیندهای زمین‌شناسی و رسوبی.
-

4. نتایج و خروجی علمی

- تصاویر با وضوح بالا از سطح سنگ‌ها و خاک‌ها در مقیاس میلی‌متری.
- شناسایی ساختار دانه‌ها، رسوبات ریز و ترکیبات معدنی کوچک.
- ارائه شواهد فرآیندهای فرسایشی، رسوبی و آتشفشانی.
- امکان ترکیب با داده‌های APXS و Mini-TES برای تفسیر دقیق ترکیب شیمیایی و معدنی.

5. اهمیت علمی

- درک بهتر فرآیندهای زمین‌شناسی سطح مریخ.
 - تشخیص ذرات ریز و ساختارهای رسوبی که نشان‌دهنده حضور آب در گذشته هستند.
 - کمک به تعیین تاریخچه محیط‌های قدیمی مریخ.
 - پشتیبانی از تحلیل ترکیبی داده‌ها با دیگر ابزارهای طیف‌سنج برای ایجاد تصویر کامل از مواد سطحی.
-

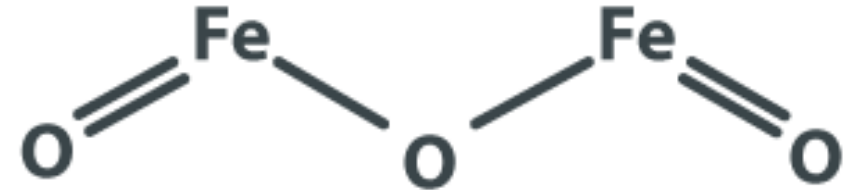
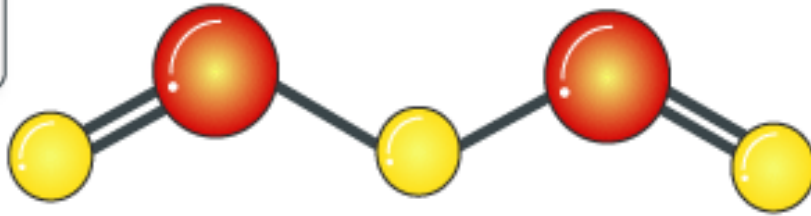
6. کشف‌ها و دستاوردهای مهم

- شناسایی دانه‌بندی‌های ریز و رسوبات سولفاتی و رسی که نشانه آب در گذشته هستند.
- تشخیص ترک‌ها، خطوط لایه‌ای و ساختارهای فرسایشی سطح سنگ‌ها.
- ارائه تصاویر دقیق از جزئیات سنگ‌ها و خاک‌های مریخی که پایه‌ای برای تحلیل زمین‌شناسی فراهم کرد.
- کمک به انتخاب نمونه‌ها و اهداف مناسب برای ابزارهای تحلیلی دیگر.

حاصل همکاری پنج ابزار آپورچیونیتی

مریخ‌نورد آپورچیونیتی با بهره‌گیری از پنج ابزار طیف‌سنج و تصویربرداری علمی شامل طیف‌سنج حرارتی فروسرخ میانی (Mini-TES)، دوربین چندطیفی بازتابی (Pancam)، میکروسکوپ تصویربردار (MI)، طیف‌سنج ذرات آلفا-پرتو ایکس (APXS) و طیف‌سنج موسباوئر (Mössbauer) توانست تصویری جامع از ترکیب معدنی، بافت، و تاریخچه زمین‌شناسی مریخ ارائه دهد؛ این ابزارها با شناسایی سنگ‌های آذرین، رسوبی، سولفاتی، کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن و کربنات‌ها، ارائه شواهد قوی از وجود آب مایع در گذشته مریخ، بررسی فرآیندهای رسوبی و فرسایشی، و ترسیم نقشه‌های ترکیب شیمیایی و معدنی مناطق مختلف نقش مهمی در درک تغییرات اقلیمی باستانی مریخ ایفا کردند و پایه‌ای علمی برای انتخاب مکان‌های کاوش آینده و ارزیابی امکان زیست‌پذیری گذشته مریخ فراهم ساختند.

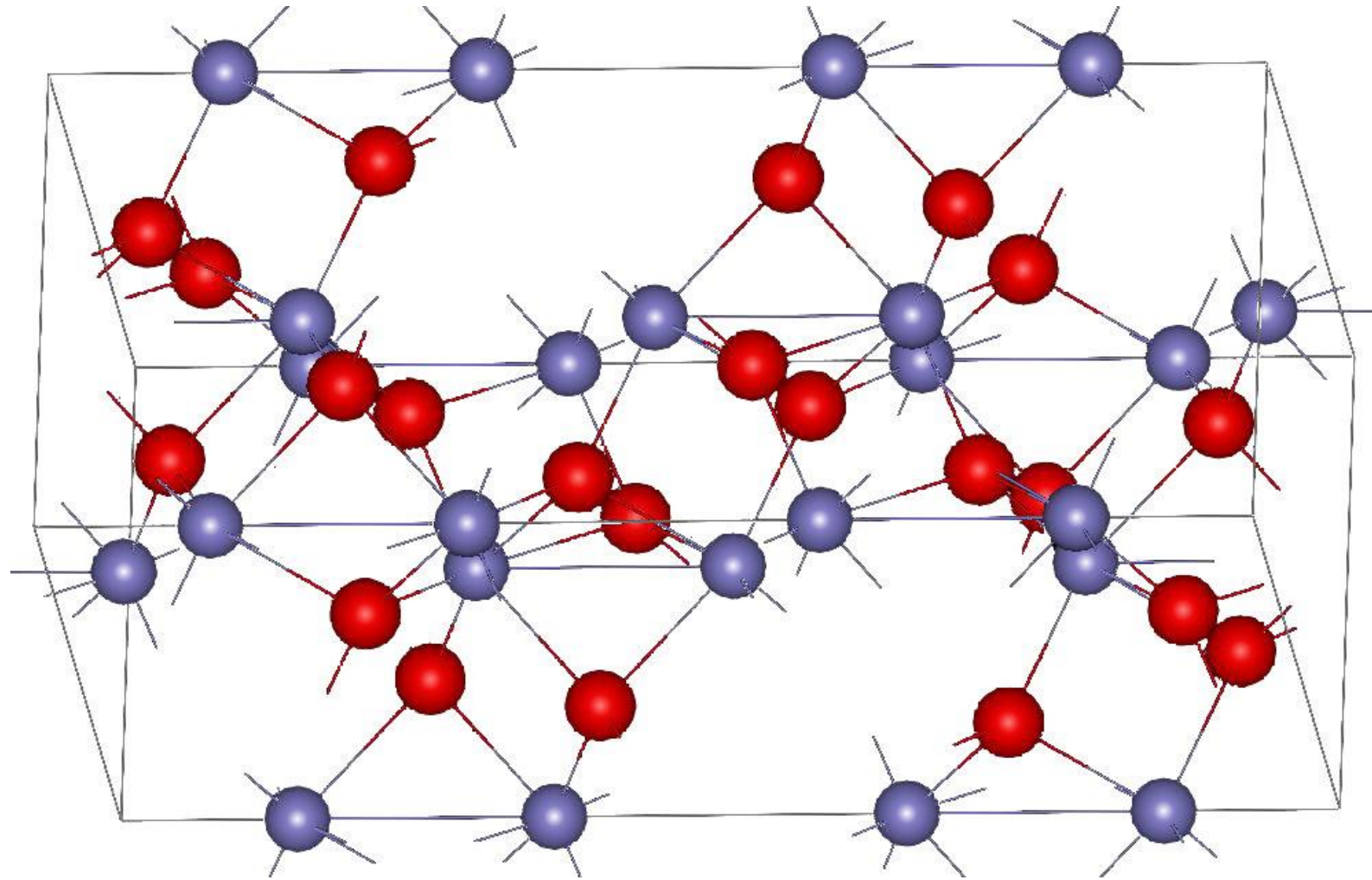
IRON OXIDE STRUCTURE



کشف توسط طیف سنجی مریخ نورد

مولکول اکسید آهن 3 (هماتیت)

شاهدی بر وجود آب روان در گذشته مریخ



شکل بلوری هماتیت

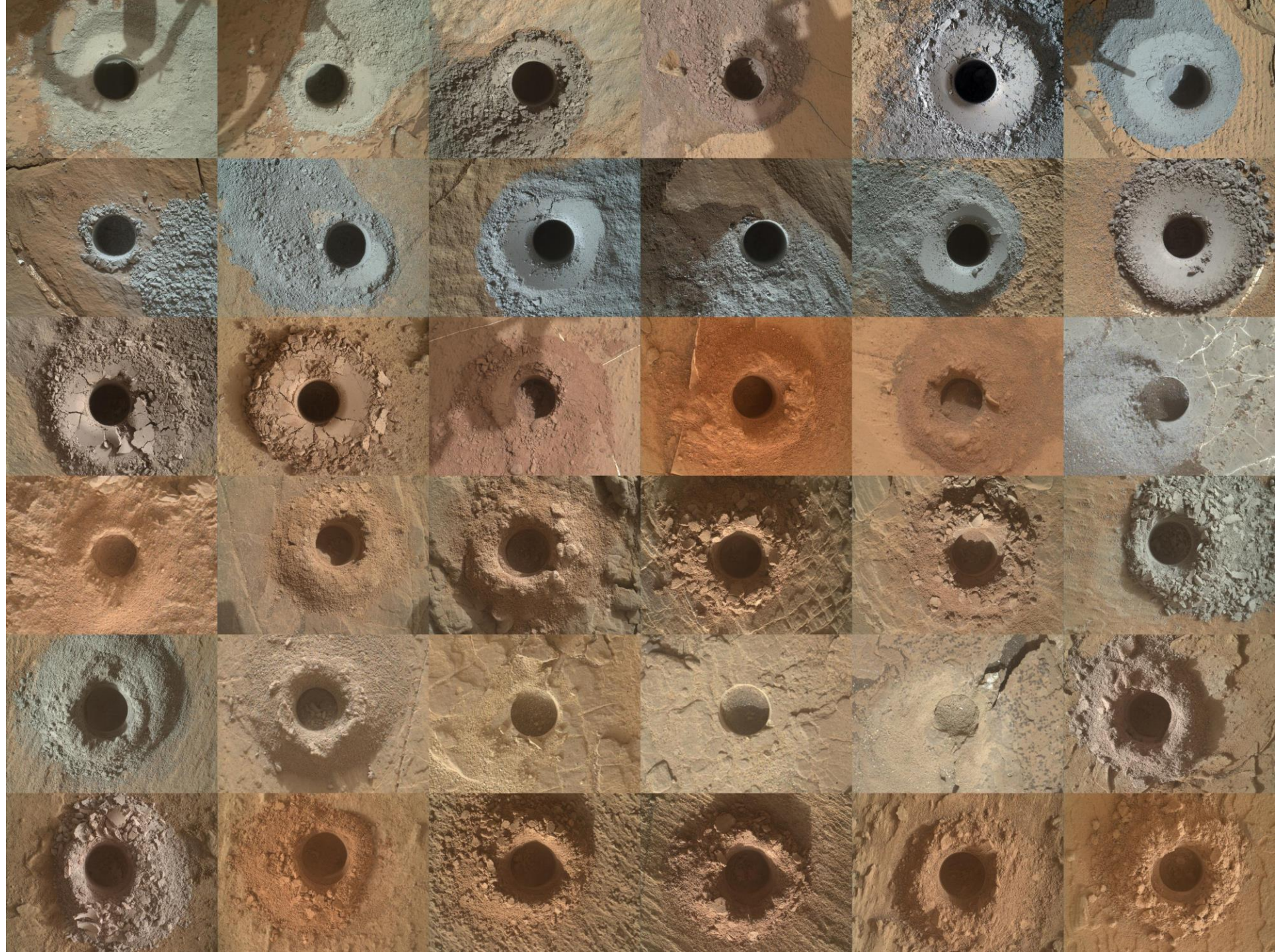
کشف مولکول‌های آلی بلند در مریخ

در مارس ۲۰۲۵، مریخ‌نورد Curiosity ناسا موفق به شناسایی بزرگ‌ترین مولکول‌های آلی کشف‌شده در مریخ شد. این مولکول‌ها شامل دکان ($C_{10}H_{22}$)، آندکان ($C_{11}H_{24}$) و دودکان ($C_{12}H_{26}$) هستند که به ترتیب دارای ۱۰، ۱۱ و ۱۲ اتم کربن می‌باشند. این ترکیبات، که به‌عنوان آلکان‌های بلند شناخته می‌شوند، احتمالاً از تجزیه اسیدهای چرب حاصل شده‌اند. در زمین، چنین ترکیباتی به‌طور معمول در غشای سلولی موجودات زنده یافت می‌شوند. اگرچه این مولکول‌ها می‌توانند به‌صورت غیرزیستی نیز تشکیل شوند، وجود آن‌ها در مریخ احتمال حیات باستانی را تقویت می‌کند. این یافته‌ها در نمونه‌ای به نام "Cumberland" که از یک سنگ ۳.۷ میلیارد ساله در حوضه Yellowknife Bay در دهانه Gale جمع‌آوری شده بود، شناسایی شدند.

روش شناسایی

برای شناسایی این مولکول‌ها، از ابزار «تحلیل نمونه در مریخ» (SAM) موجود در مریخ‌نورد کنجکاوی استفاده شد. در این روش، نمونه‌های سنگی ابتدا به‌طور مکانیکی خرد شده و سپس در دمای بالا گرم می‌شوند تا مولکول‌های آلی آزاد شوند. این مولکول‌ها سپس با استفاده از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی و طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) تجزیه و تحلیل می‌شوند. این روش امکان شناسایی و تعیین ساختار مولکول‌های آلی پیچیده را فراهم می‌کند.

نمونه سوراخ کاری و
خرد کردن سنگ برای
نمونه برداری
طیف سنجی و
ذخیره برای آوردن به
آزمایشگاههای دقیق
زمین



توسط مریخ نورد

کیوریاستی

Curiosity

(کنجکاوی) در سال

2022

اهمیت این کشف

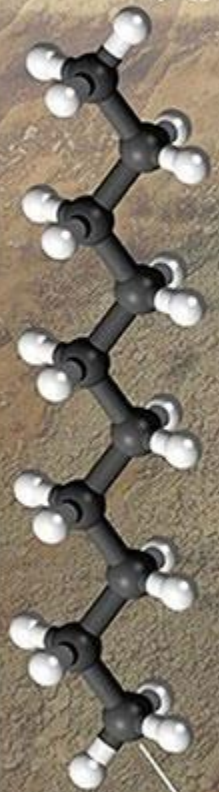
وجود این مولکول‌های آلی پیچیده در مریخ می‌تواند نشان‌دهنده شرایط مناسب برای حیات در گذشته باشد. اگرچه این شواهد به‌تنهایی اثبات‌کننده وجود حیات نیستند، اما آن‌ها احتمال وجود حیات میکروبی باستانی را در این سیاره افزایش می‌دهند. برای تأیید این فرضیه، نیاز به بازگرداندن نمونه‌ها به زمین و انجام آزمایش‌های پیشرفته‌تر وجود دارد.

نتیجه‌گیری

کشف مولکول‌های آلی پیچیده در مریخ، به‌ویژه در نمونه‌های قدیمی، گامی مهم در درک تاریخچه حیات در این سیاره است. این یافته‌ها می‌توانند به‌عنوان سرنخ‌هایی برای بررسی احتمال وجود حیات در گذشته مریخ و همچنین راهنمایی برای جستجوی حیات در سیارات دیگر باشند.

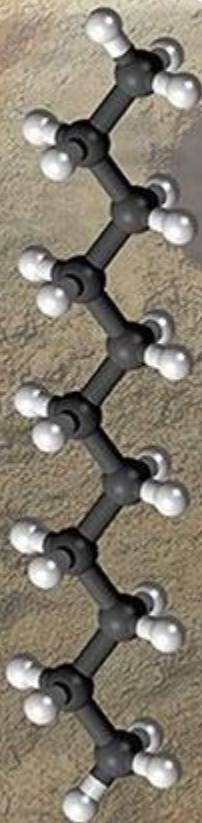
LONG-CHAIN HYDROCARBONS DISCOVERED ON MARS

Decane $C_{10}H_{22}$

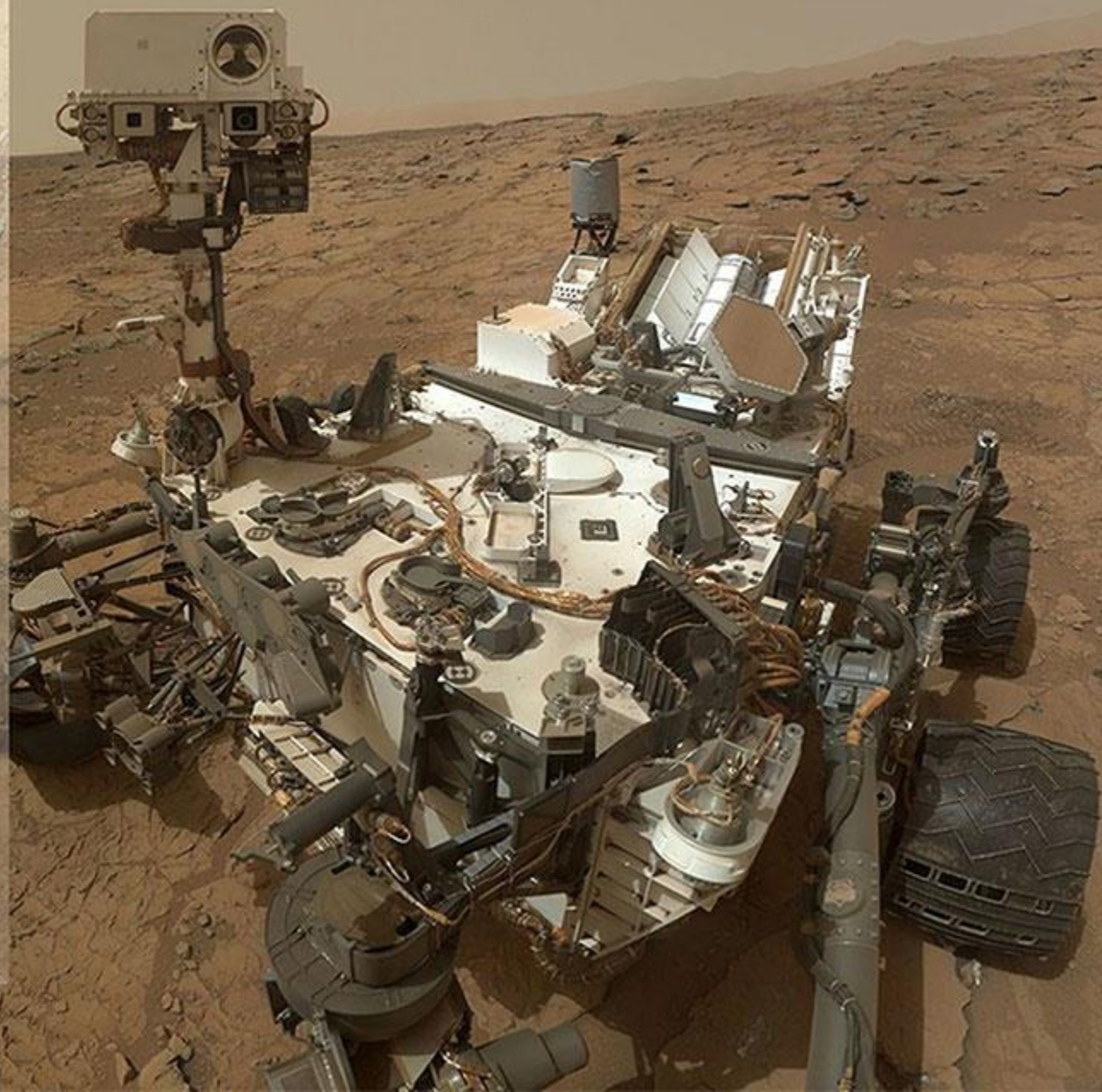


CARBON
HYDROGEN

Undecane $C_{11}H_{24}$



Dodecane $C_{12}H_{26}$

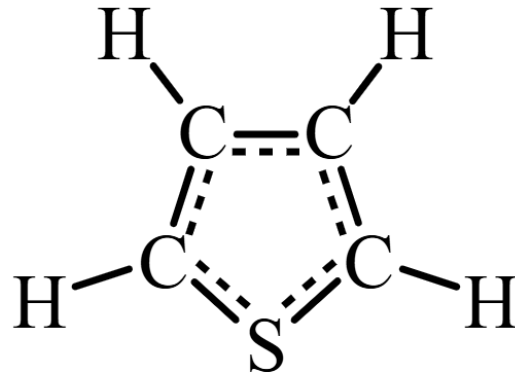
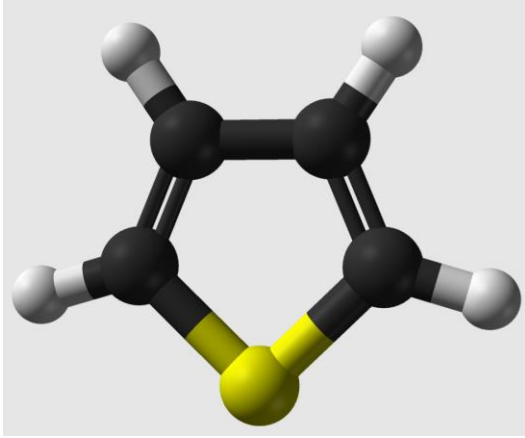


کشف بزرگترین مولکولهای آلی کربنی
در سنگ خرد شده مریخ بنام های :
دکان - اندکان - دودکان

این مولکول ها می تواند شواهدی بر
حیات میکروبی باستانی مریخ باشد
که می توانسته مقدمه ای برای شکل
گیری حیات های پیشرفته تر باشد.



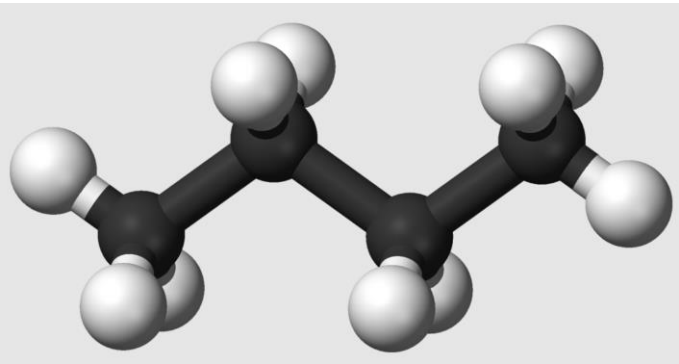
در خاک مریخ ترکیبات آلی پیچیده نیز یافت شده



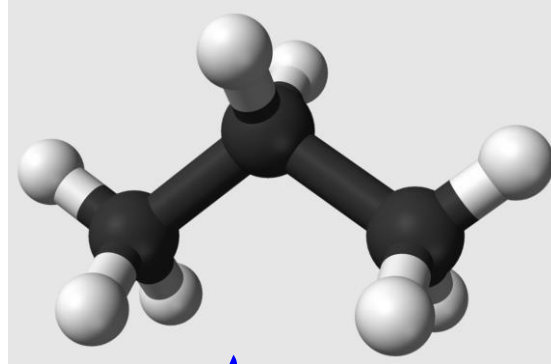
● تیوفن (Thiophene)

- فرمول شیمیایی: C_4H_4S
- ساختار: حلقه پنج‌تایی با یک اتم گوگرد
- شکل مولکولی:

- تیوفن یک هتروسیکلیک آروماتیک است و مشابه بنزن است اما یکی از اتم‌های کربن جای خود را به گوگرد داده است.



بوتان

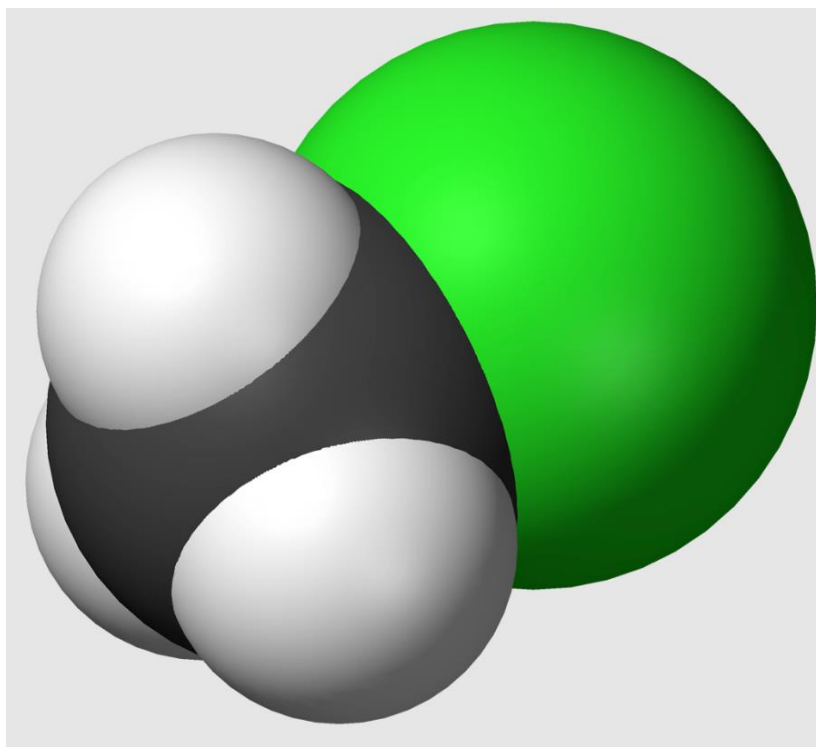
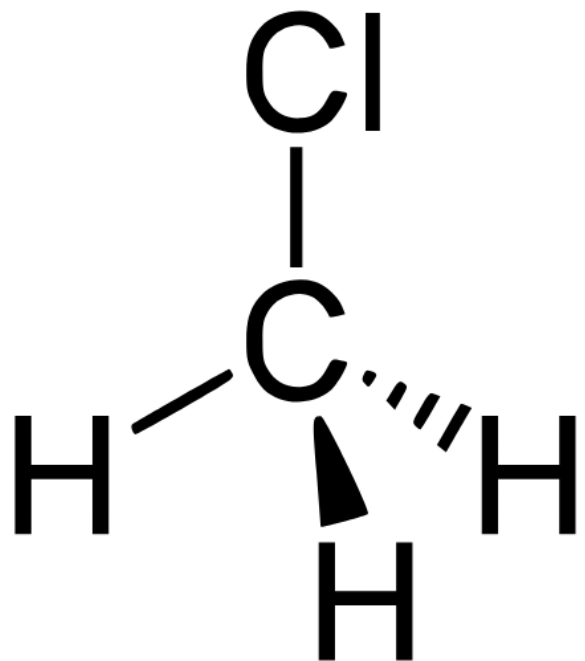


پروپان

● زنجیره‌های کربن کوچک (Small Carbon Chains)

- مثال: بوتان (C_4H_{10}) یا پروپان (C_3H_8)
- ساختار بوتان:

- این‌ها آلکان‌های ساده هستند که در خاک مریخ پیدا شده‌اند و نشان‌دهنده وجود هیدروکربن‌ها هستند.



● کلرومتان (Chloromethane)

• فرمول شیمیایی: CH_3Cl

• ساختار:

- کلرومتان یک هالوآلکان ساده است و وجود آن در مریخ ممکن است ناشی از واکنش شیمیایی بین کلر موجود در خاک و کربن باشد.

سایان