

فصل ۲ عطارد

ویرایش مهرماه ۹۷

پیشینه. عطارد از کواکب سبعة بوده و معنای آن **نافذ در امور** است و آن را دبیر و کاتب نیز نامیدند و از نامه‌های آن تیر، زادوس یا زاودش است. ستاره‌ای است از ستاره‌های خنس در آسمان دوم و آن را دبیرفلک و تیرفلک نیز می‌گفتند و علم و عقل را به آن نسبت می‌دادند. عطارد پس از فلک قمر و در فلک دوم بوده و شرف او در سنبله و وپال او در قوس است. خانه و بیت او دو برج جوزا و سنبله است و شرف آن در پانزدهمین درجه سنبله است. آن را دوجسدین نیز نامند و بلاد روم بدان منسوب است و در علم احکام نجوم، رب روز چهارشنبه است. عطارد را حداقل از سه هزار سال قبل می‌شناختند و از قدیم پرستش می‌شده است. رومیان به آن **مرکوری**^۱ می‌گفتند و نام مرکوری از یکی از خدایان رُم باستان به نام خدای کسب و کار و حرفه گرفته شده است. معبد تپه آونتیل **آونتین**^۲ نیز از آن در روم ساخته شده که از سال ۴۹۵ ق.م. وجود دارد و مرکوری قاصد آسمانها و خدائی است که همواره معاون علم و تجارت بوده چنانکه نقش این پیام‌رسان بر روی برخی سکه‌ها نیز دیده می‌شود. **هراکلیوس**^۳ رومی عقیده داشت که عطارد و زهره حول خورشید می‌گردند. در افسانه‌های یونانی عطارد نسخه رومی خدا، **هرمس**^۴ بود. عطارد به موجب افسانه‌های یونانی پیامبر یا قاصد خدایان و حامی قاصدان و بازرگانان بوده است و در اساطیر یونان سریعترین سیاره در حال حرکت بشمار می‌رفت که برای خدایان دیگر پیغام می‌برده است و این به خاطر حرکت سریع عطارد در فضا در مقایسه با ستاره‌های دیگر نامیده شده است. بعلاوه وی حافظ سفرها و تجارت بوده و در نزد یونانیان رب‌النوع سخنوری و بازرگانی نامیده می‌شد. یونانیان آن را به عنوان ستاره شامگاهی **هرمس**، یعنی مفسر اراده خدایان می‌نامیدند و بعنوان ستاره صبح از آن به **آپولو**^۵ یاد می‌کردند (که ظاهراً بعنوان یک ستاره تلقی می‌شده و نه دو ستاره). در ادب فارسی، عطارد **حشمت** به معنای دارنده حشمت و جاه و جلال بسیار بوده و **عطارد ضمیر** به شخص تیزفهم اطلاق می‌شده است. ■

^۱ Mercury (Mercurius)

^۲ Aventine Hill in Rome → <https://www.britannica.com/topic/Mercury-Roman-god>.

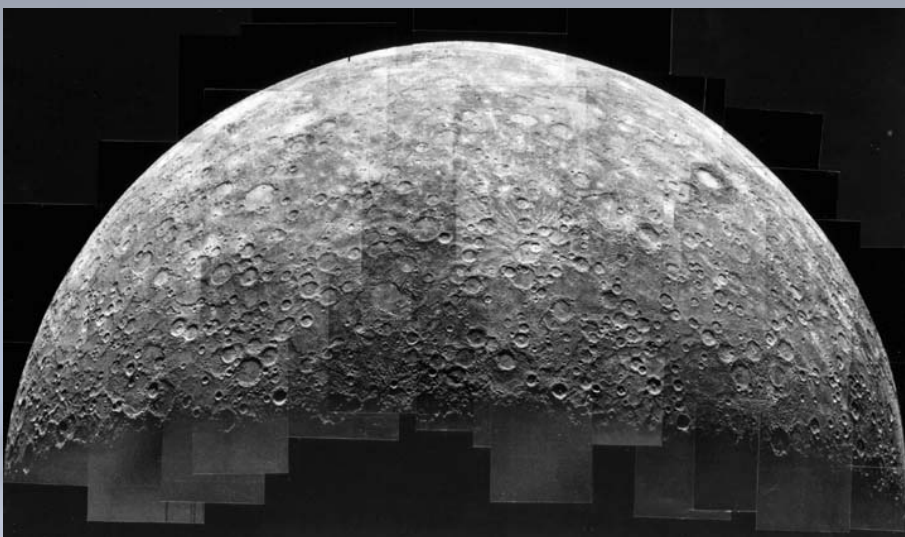
^۳ Heraclius

^۴ Hermes

^۵ Apollo

۱.۲ عطارد

عطارد^۶ یا تیر، اولین سیاره خاکی منظومه شمسی، نزدیکترین سیاره به خورشید و بعد از پلوتو دومین سیاره کوچک منظومه شمسی است و کمی از ماه بزرگتر می باشد. عطارد در فاصله ۵۸ میلیون کیلومتری از خورشید قرار دارد. تا قبل از سفر **مارینر ۱۰^۷** به عطارد در ۱۹۷۴ م، جزئیات زیادی از آن در دسترس نبود. هسته آهنی درشت آن، موجب شده تا از هر سیاره دیگری در منظومه شمسی بجز زمین دارای چگالی بیشتری باشد. قطر عطارد برابر ۴۸۷۸ کیلومتر که ۰/۴ قطر زمین است، حجمش یک هفدهم حجم زمین، مساحت آن یک هفتم مساحت زمین و جرمش در حدود جرم ماه است. از طرفی دیگر تنها از دو قمر در منظومه شمسی یعنی **گانیمید^۸** (قمر مشتری) و **تیتان^۹** (قمر زحل) کوچکتر ولی دو برابر سنگینتر از آنها است.



شکل ۱.۲: تصویر موزائیکی از عطارد حاصل ۱۸ تصویر مارینر ۱۰ که در هنگام نزدیک شدن به سیاره از فاصله ۲۳۲۰۰۰ کیلومتری گرفته شد. اختلاف بین زمان عکسبرداری تصاویر ۴۲ ثانیه است که ۱۳ دقیقه بطول انجامیده و ۶ ساعت قبل از نزدیکی کامل به عطارد برداشته شده است. دو سوم تصویر جنوب عطارد را نشان می دهد. دهانه های پتارک و لرمونتوف در این تصویر دیده می شوند (ناسا، ۱۹۷۸). $m10_{om18}$

از آنجا که عطارد جزء چهار سیاره خاکی است، شناخت آن و عوارضش به شناخت سیارات خاکی دیگر کمک می کند. اما شناخت این سیاره بعلت کوچک بودن آن و نیز نزدیک بودنش به خورشید حتی با تلسکوپ مشکل است. عطارد سیاره ای است که بیش از ۲۰۰ سال مورد مطالعه دانشمندان بوده است و در ابتدا دانشمندان تصور می کردند که عطارد مانند زمین چرخشی ۲۴ ساعته دارد. مشاهدات رادیویی درباره این سیاره جزئیات مهمی آشکار نمود از جمله اینکه مقدار چرخش سیاره را ۵۵ روز برآورد نمود و داده های مارینر ۱۰ نیز نشان داد که چرخش عطارد بسیار کند است. روز عطاردی

^۶ Mercury (French Mercure Latin Mercurius)

^۷ Mariner 10

^۸ Ganymed

^۹ Titan

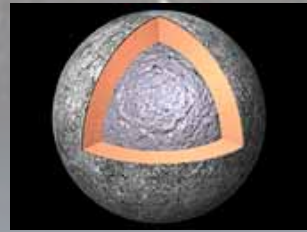
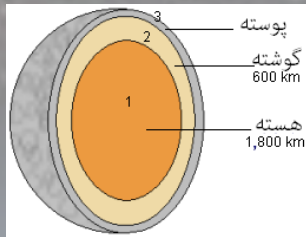
۵۸ روز زمینی و سال آن ۸۸ روز زمینی است. حرارت سطح آن در روز به ۴۵° درجه سانتیگراد و در شب به -۱۸° درجه سانتیگراد بالغ می شود. گرما و سرمای شدید سطح عطارد باعث می شود تا وجود هرگونه حیات روی آن منتفی شود. مشخصات این سیاره در جدول زیر ذکر می شود، این مشخصات را می توان با زمین نیز مقایسه کرد:

جدول ۱.۲: مشخصات فیزیکی عطارد

مشخصه	عطارد	عطارد در مقایسه با زمین (زمین=۱)
جرم (کیلوگرم)	۳.۳۰۲×۱۰^{۲۲}	۰.۰۵۵
شعاع استوائی (کیلومتر)	۲۴۳۹.۷	۰.۳۸۳
شعاع قطبی (کیلومتر)	۲۴۳۹.۷	۰.۳۸۴
شعاع متوسط حجمی (کیلومتر)	۲۴۳۹.۷	۰.۳۸۳
پخی (بیضیت)	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
حجم ($\text{km}^3 \times ۱۰^{۱۰}$)	۶۰۸۳	۰.۰۵۶
چگالی متوسط ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)	۵.۴۲۸	۰.۹۸۴
جاذبه سطح (استوا) $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	۳.۷۰۱	۰.۳۷۸
شتاب سطح (قطبی) $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	۳.۷۰۱	۰.۳۷۸
سرعت فرار $\frac{\text{km}}{\text{s}}$	۴.۲۵	۰.۳۸۰
$GM (\frac{\text{km}^3}{\text{s}^2})$	۲.۲۰۳×۱۰^4	۰.۵۵
اندازه اینرسی ($\frac{I}{MR^2}$)	۰.۳۳	۰.۹۹۸

تاریخچه ی شکل گیری عطارد مانند تاریخچه شکل گیری زمین است، از این جهت که این سیاره نیز مانند زمین باقیمانده ابر اولیه منظومه در ۴.۵ میلیارد سال پیش بوده و طی این زمان که عطارد بتدریج سرد می شده، هدف برخورد شهابسنگ ها و خرده سنگها قرار گرفته و در عین اینکه هسته چگال عطارد شکل گرفت، کانی های سیلیکاتی در سطح آن باقی ماندند. تاریخچه سطحی آن نشان می دهد که سیاره در یک دوره بمباران شدید قرار گرفته، و طی این زمان جریانهای گدازه ای در سراسر سطح عطارد جاری شده است و دهانه های قدیمی تر یا قسمتی از آنها را پوشانده است و بعد از آن دوره های بمباران خفیف تری آغاز شده که طی آن سطوح ناهموار بوجود آمده است. سپس عطارد سردتر شد و هسته آن منقبض گشت و بدین ترتیب قسمتی از پوسته در برخی نواحی شکسته شد و بریدگیهای زائده ای مرتفعی را تشکیل دادند. طی مرحله سوم جریان گدازه ها، سطوح صاف را بوجود آورد و طی مرحله چهارم بمباران دیگری از سنگها سطحی خشن از عطارد ساختند، که آنرا **سنگپوش^{۱۰}** می نامیم. هرچند شهابسنگ های بزرگتر طی گذشت زمان،

^{۱۰} Regolith



شکل ۲.۲: تصویری احتمالی از ساختار درونی عطار. شکل ۳.۲: عمده‌ی درون سیاره عطار از آهن و احتمالاً نیکل پر شده است (تصویر از ویکی‌پدیا).

دهانه‌های دیگری نیز ساختند ولی طی میلیون‌ها سال بعد، عطار دارای تغییرات سطحی چندانی نبوده و لذا سطحی غیر فعال داشته و تغییرات دوره‌های قبل بر سطح آن بوضوح باقی مانده‌اند.

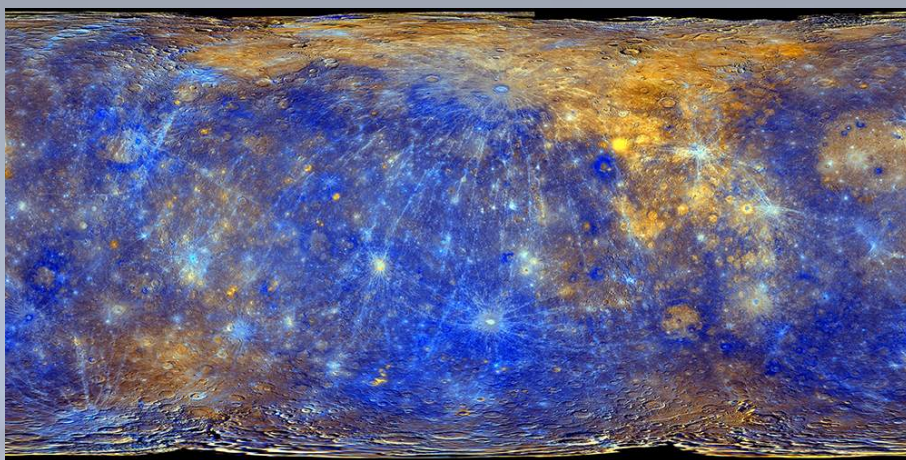
۲.۲ درون عطار

ترکیب درونی و ساختار درونی عطار را می‌توان با شناسایی ترکیبات سطحی و چگالی آن شناخت. جرم آن $M_E = 0.55 M_{\oplus}$ است که از اختلالات گرانشی بر مسیر فضایی مارینر ۱۰ طی پروازهای آن در ۱۹۷۴ م. و ۱۹۷۵ م. حول عطار بدست آمده و $\frac{1}{18}$ جرم زمین محاسبه شده است. بنابراین روی عطار وزن خود را کمتر احساس می‌کنید در واقع وزن جسم ۱۰۰ کیلوگرمی روی زمین در آنجا تنها ۳۸ کیلوگرم خواهد بود. سرعت فرار از سطح آن $4.25 \frac{km}{s}$ است (زمین که $11.2 \frac{km}{s}$) و چگالی متوسط آن 5.42 گرم بر سانتیمتر مکعب است که نظیر سیارات خاکی است. با این فشردگی، عطار دومین سیاره چگال منظومه بعد از زمین (با چگالی 5.52) است، پس باید فشردگی آن کمتر از زمین بوده و همچنین باید دارای مواد چگالی مانند آهن بیشتری باشد، عبارتی عطار دو برابر پر آهن تر از هر سیاره‌ای دیگر است. با این جزئیات، درون عطار دارای گوشته‌ای سنگی و هسته‌ای بزرگ فلزی احتمالاً نیکل-آهن است که این هسته به نسبت، از هسته زمین بزرگتر خواهد بود.

از طرف دیگر وجود میدان مغناطیسی عطار نیز بر وجود هسته‌ای سنگین فلزی دلالت دارد. در حالت غیرفشرده چگالی عطار می‌بایست $5/5$ و زمین می‌بایست $5/4$ باشد این چگالی نشان می‌دهد که ۶۰ تا ۷۰ درصد وزن سیاره فلز بوده و ۴۰ تا ۳۰ درصد وزن آن حاوی سیلیکات‌هاست، در نتیجه شعاع هسته حدوداً ۷۵ درصد شعاع سیاره، یعنی بین ۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلومتر است. از آنجا که این سیاره کوچک سریع‌آگرم را از دست می‌دهد بایستی هسته آن سرد باشد ولی احتمالاً بطور جزئی مذاب و مایع است و در اثر سرما قسمتهایی از هسته مجاله شده است و این مجاله شدن روی پوسته نیز اثر گذاشته و چین خوردگی‌های وسیعی را روی آن ایجاد نموده است. از دلایل سرمایش هسته وجود فعالیتهای آتشفشانی قدیمی در سطح عطار می‌باشد که داده‌های ارسالی از مارینر ۱۰ آن را تأیید نموده‌اند. این سیاره چروکیده دارای گوشته‌ای سنگی سیلیکاتی است که بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلومتر ضخامت دارد و پوسته‌ای سیلیکاتی نازک که تنها ۱۰۰ کیلومتر است.

۳.۲ سطح عطارد

اولین عکس های سطح عطارد توسط ستاره شناسی به نام **آنتونیادی**^{۱۱} در ۱۹۲۰ م. گرفته شد، که تنها مناطق تاریک و روشنی را نشان می داد. سپس سیاره چروکیده توسط تلسکوپها و رادیوتلسکوپها و بعد از آن فضاپیمای مارینر ۱۰ کاوش شد. طی سالهای ۱۹۷۴ م. و ۱۹۷۵ م. که فضاپیمای مارینر ۱۰ از فاصله چند صد کیلومتری عطارد گذشت، تصاویری را از این سیاره به زمین ارسال نمود و ۴۵ درصد سطح عطارد را بررسی نمود. تصاویر مارینر ۱۰ از سطح عطارد ۵۰۰۰ بار از تصاویر زمینی کیفیتشان بهتر بود. آنچه در ابتدا بچشم می خورد این بود که سطح سیاره پر از دهانه های برخوردی حاصل برخورد شهابسنگ ها و دنباله دارهاست که از دوران جوانی منظومه شمسی بجا مانده اند. در زیر تصویری سراسری از مسنجر نمایش داده شده است^{۱۲}.



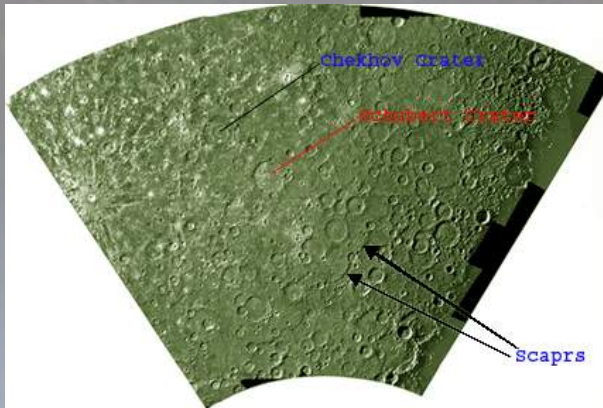
شکل ۴.۲: این تصویر مسنجر از عطارد که در رنگ تقویت شده، تصویری موزائیکی از داده های ماهواره بوده و سطح تمام سیاره را بخوبی و با وضوح بالا نشان می دهد. تقویت رنگ برای تفکیک مناطق سطحی و تحلیل ریاضی آنهاست و سیاره در واقع اینگونه بنظر نمی رسد (ناسا، ۲۰۱۷).

با پرتاب مارینر ۱۰ و رسیدن آن به عطارد در ۱۹۷۴، خواص سطحی عطارد اعم از ترکیب مواد خاکی و سطح آن را از رصدهای اپتیکی، گرمائی و رادیوئی بدست آمد، زیرا چنین رصدهائی درباره ماه نیز انجام شده بود و نتیجه چنین بود که بازتاب نور خورشید از زوایای مختلف نشاندهنده سطحی خشن و سخت است که در برخی نقاط نازک و صخره مانند می شوند. این سطح خشن مانند سطح ماه، شامل گودی هایی با لبه های برجسته و سطوحی چهارگوش بوده که نمودی واضح از برخورد اجرام آسمانی بحساب می آید. البته این مشاهدات، قبل از سفر فضاپیمای مارینر به عطارد نیز تا حدودی حاصل شده بود. رصدهای راداری نیز نشاندهنده نقاط پراکنده نامشخصی، بخصوص در کلاهدک های قطبی بود که با یخ تفسیر می شدند. از طرفی دیگر میزان اشعه خورشید که به سطح عطارد می رسد تقریباً ۷ برابر قوی تر از اشعه ای است که به زمین می رسد و آلبدوی سطحی عطارد برابر ۰/۱۰۶ بوده، که دلالت بر سطح خاکی و تیره ی عطارد

^{۱۱} Antoniadi

^{۱۲} GlobalColor2017_equi64ppd.PC2.PC1.430over1000.10percent.png → <http://messenger.jhuapl.edu/Explore/Images.html>

<http://messenger.jhuapl.edu/Explore/Images.html>



شکل ۵.۲: تصویری چهارگوش از عطار که توسط ماریز ۱۰ طی اولین و دومین نزدیکی به سیاره گرفته شده است. دهانه شوبرت به قطر ۱۶۰ کیلومتر و همچنین دهانه دوتائی چخوف نیز دیده می شود. در پائین تصویر نیز می توان دو پرتگاه را روی سطح مشاهده نمود. (اطلس عطار تصویر ۱۱-A)

دارد زیرا تنها ۱۱ درصد نوری که از خورشید به سطح آن می رسد را باز می تاباند. البته نواحی روشنی نیز در سطح عطار وجود دارند که تا ۵۰ درصد نور را بازتاب می کنند. روشنائی متوسط سطح عطار، ترکیبات معدنی فاقد تیتانیوم و آهن را که در دریاچه های قمری وجود دارند را مشخص می کند که البته بیشتر شبیه سطوح کلسیم دار است. مشاهدات گرمائی مادون قرمز ماریز ۱۰ هم نشاندهنده آن بود که عطار با لایه ای به ضخامت ۱۰ سانتیمتر از غبار سیلیکات و شن پوشیده شده است. بالاخره اندازه گیری درجه حرارت با طول موج های مختلف مادون قرمز و میکروموجی در زوایای مختلف، مواد گوناگونی را در سطح آن آشکار نمود بعلاوه مشاهدات **چند طیفی^{۱۳}** در نورمرئی و مادون قرمز یک سطح مشابه سطوح قمری را مشخص نموده که دارای ترکیبات آهنی است و جذب یک میکرومتری سطح، نشاندهنده سطحی آغشته به حداکثر ۵ درصد ترکیبات دارای اکسیدهای آهن است.

نکته آخر اینکه ظاهراً عطار تکتونیک صفحه ای ندارد ولی حرکات جزئی و محسوسی نزدیک سطح آن به چشم می خورد.

۱.۳.۲ چهره سطحی عطار

نمود ظاهری عطار نشاندهنده تاریخچه گذشته سیاره است. سطح عطار مانند سطح ماه به علت نداشتن جو قابل توجه دچار تحول نمی شود، بعلاوه فعالیت های آتشفشانی و تکتونیک در آن اثبات نشده بنابراین برای مدت زیادی تقریباً دست نخورده باقی مانده است. سطح سیاره پوشیده است از کوه ها، دهانه ها و شیارهایی که سطحی شبیه سطح ماه را نمایش می دهد. ساختارها و عوارض سطحی این سیاره را می توان به چند ناحیه تقسیم بندی نمود: **دهانه های آتشفشانی^{۱۴}**، **دهانه های برخوردی^{۱۵}**، **پرتگاه و خندق^{۱۶}** ها و **جلگه و دشت^{۱۷}** ها که شامل دشتهای **هموار^{۱۸}** با تل و تپه ها بوده و نواحی **دشتهای درون دهانه^{۱۹}** ای اند.

اکثر مناظر سطحی عطار را دهانه ها تشکیل می دهند که بر سطح دیگر اجرام خاکی منظومه نیز دیده می شود. دهانه های سطح عطار مختلف و دارای اندازه و شکلهای مختلفند و تقریباً شبیه دهانه های ماه می باشند و اگرچه سطوح

^{۱۳} Multispectral

^{۱۴} crater

^{۱۵} Impact Craters

^{۱۶} Scarps

^{۱۷} Plains

^{۱۸} Smooth plains

^{۱۹} Intercrater plains



شکل ۶.۲: ناحیه زردرنگ
وسیعی که در تصویر مسنجر
(۲۰۰۸) دیده می شود حوضچه
کالوریس نامیده می شود.

تاریک روی عطارد به تاریکی سطوح ماه نیستند، اما می توان سطح عطارد را با سطح ماه مقایسه کرد. در واقع دهانه های عطارد کمی کوچکترند ولی از لحاظ تعداد تقریباً به تعداد دهانه های ماه هستند. از لحاظ شکل ظاهری، دهانه ها دارای لبه های برآمده اند که مواد از کنارشان بیرون ریخته شده و خیلی از دهانه ها دارای دیواره های صاف هستند و یا توسط دهانه های دیگر تسخیر شده اند. درون برخی دهانه های بزرگتر، دهانه های کوچکی نیز به چشم می خورند که حاصل بمبارانهای بعدی هستند و نشان می دهند که دهانه های خارجی مسن ترند. سن دهانه ها نیز متفاوت بوده و برخی قدیمی ترند که این تفاوت سنی در دهانه ها بوضوح توجیه مشخصی ندارد و در مقایسه با سن عطارد، دهانه ها می بایست ۳ تا ۴ میلیارد سال سن داشته باشند. برخی نواحی بشدت دهانه دار نیز که شامل دهانه های گروهی با قطر بیش از ۳۰ کیلومتر هستند نیز بر سطح دیده می شود. اکثراً دهانه ها حاصل برخورد اجرام سماوی و سنگهای آسمانی بر سطح بوده و اگرچه منابع فعالیت های آتشفشانی در سطح عطارد تأیید نشده و مسلم و قطعی نیست، اما بنظر می رسد برخی از دهانه ها حاصل فعالیتهای آتشفشانی طی ۴ میلیون سال گذشته باشند. با وجود اینکه می توان لبه های کناری بعضی از دهانه ها را کوه نامید ولی فرایند کوهزائی مانند فرایند کوهزائی روی زمین - که در اثر فشار و لغزش پوسته ها با هم و یا جریان حرارت درونی به بیرون است - در عطارد دیده نشده است. از تفاوتهای حفره های سطح ماه با حفره های عطارد اینست که در سطح عطارد حفره ها کوچکتر بوده و تنها برخی از حفره ها با قطری بیش از ۲۰۰ کیلومتر در حدود حفره های سطح ماه اند. **کوپلی**^{۲۰} بزرگترین دهانه عطارد ۶۰ کیلومتر عرض دارد و دهانه **کوپلی**^{۲۱} با قطر ۳۰ کیلومتر، دارای اشعه های روشنی است که ۴۰۰ کیلومتر گسترده شده اند.

بزرگترین عارضه سطح عطارد که توسط مارینر ۱۰ مشاهده شد، حوضچه **کالوریس**^{۲۲} نام گرفته که ۱۳۵۰ کیلومتر پهنا و ۲ کیلومتر عمق دارد و در مرکز نیمکره شمالی عطارد واقع است. سبب ایجاد آن، احتمالاً برخورد یک سیارک با قطری بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر بوده که امواج شوک حاصله رشته کوهی با قله های بیش از ۲۰۰۰ متر ساخته است و بعد از برخورد جرم سماوی توسط جریانهای گدازه ای بطور جزئی پر شده است. مشابه این عارضه در ماه دریای **اورینتال**^{۲۳}

^{۲۰} Kuiper

^{۲۱} Copley

^{۲۲} Caloris Basin

^{۲۳} Mare Orientale

و ناحیهء **والهالا**^{۲۴} در کالیستو قمر مشتری است. حوضچه کالوریس ناحیهء خیلی گرمی است زیرا نزدیک نقطهء تحت الشمسی^{۲۵} واقع است که از سایر نقاط روی عطارد به خورشید نزدیکتر است و بدین علت نیز اینچنین نامیده شده است - در عرض جغرافیائی گرم واقع شده و به لاتین آنرا **کالور**^{۲۶} نامند- و در زمان حضيض رو به خورشید قرار می گیرد. درون حوضچهء مسطح بوده و در کناره ها لبه دار و شکسته بوده و درای الگونی متحدالمركز است و مواد از دهانه بیرون ریخته اند. لبه حوضچه شامل يك حلقه نامنظم قطعات کوه تا ۲ کیلومتر بلندی و ۵۰ کیلومتر مربع، است.

از چهره های بارز دیگر روی سیارهء کوچک، نواحی ترکیده و یا تورفتگی های عمیقی است که در آنسوی سیاره دقیقاً در جهت خلاف کالوریس واقعند. آنسوی سیاره و دقیقاً مخالف با حوضچه کالوریس ناحیه ای از تپه ها و گودیهایی وجود دارد که تپه های چند وجهی با ۵ تا ۱۰ کیلومتر عرض و تا ۵/۱ کیلومتر ارتفاع دارند (رک. **اطلس عطارد**^{۲۷}، شکل ۹.۲). بنظر می رسد امواج شوک حاصل از برخورد جرم آسمانی در ناحیه کالوریس پس از عبور از درون سیاره به سطح مخالف رسیده و این ناحیه را پدید آورده باشند. در این ناحیه لبه دهانه ها به تپه های دیگری شکسته شده که عوارض دیگری را پدید آورده است. هر چند برخی از دهانه ها کف صافی دارند و شکستگی ندارند و این فکر را تداعی می کند که می بایست آنرا مواد دیگری بعداً پراکنده باشند. بعد از حوضچهء کالوریس، دهانه بتهونو با ۶۲۵ کیلومتر قطر بزرگترین عارضه عطارد است. هرچند عطارد دارای صفحاتی نظیر **تیر و ادین**^{۲۸} است، دارای عوارض تپه ای در طرف سیاره مخالف حوضچه کالوریس است.

پرنگاه^{۲۹} ها (خندق ها یا سرایشی ها، صخره های منحنی یا سرایشی های شیبدار) از بارزترین مناظر سطحی عطاردند که طول برخی به بیش از صدها کیلومتر و ارتفاع بیش از ۳ کیلومتر بالغ می گردد. پیدایش خندق ها از عوارض مچاله شدن سطح عطارد و در نتیجه کم شدن شعاع سیاره به میزان يك یا دو کیلومتر است. از آنجا که عطارد تحت کشش شدید خورشید قرار دارد، این کشش باعث کندی حرکت وضعی آن شده و البته تأثیراتی درون عطارد داشته که باعث سرد شدن هسته عطارد شده است که در نتیجه باعث مچاله شدن پوسته سیاره شده که سرایشی ها را بوجود آورده است. اکثر پرنگاه ها نسبتاً مسن هستند و تنها چند پرنگاه کوچک جوانتر بوده و در اثر تغییر شکل های موضعی بعدی تشکیل شده اند. برخی نیز وجود پرنگاه را از عوارض تکتونیک صفحه ای عطارد دانسته اند. طول اغلب پرنگاه های عطارد از ۲۰ تا ۵۰۰ کیلومتر و ارتفاع آنها از چند صد متر تا ۲ کیلومتر تغییر می کند. بزرگترین پرنگاه آن **رویز**^{۳۰} با ۵۵۰ کیلومتر طول است.

قسمتی از سطح عطارد را سطوح هموار و صاف می پوشانند که اکثراً مسن و وسیعند و در مناطقی از عطارد دیده می شوند. این زمینهای فلاتی مسطح را می توان در دو دسته قرار داد: **سطوح درون دهانه ای**^{۳۱} و سطوح صاف بیرونی. هرچند سطوح صاف درون دهانه ای کمتری اند ولی مناطق هموار بیشماری را می توان را حول دهانه ها یافت. سه نوع برآمدگی، تپه و تل روی عطارد به چشم می خورد. نوع اول تپه های نسبتاً باریک و متقاطع که اکثراً در لبه ها و در کناره های دهانه های بزرگ و وسیع (حوضچه ها) به چشم می خورند و معمولاً با دخالت دره ها وجود دارند. نوع دوم تپه و تل های خوش شکل تر که در زمینهای صاف و مسطح دیده می شوند و احتمالاً برای تعادل در قرارگیری وزن صخره ها در فلاتها شکل گرفته اند و بالاخره تل و تپه های بزرگ (با طول بیش از چند صد کیلومتر) که در دهانه های سنگین و در نواحی مداری میانه که تا حدود خندق ها ادامه می یابد و احتمالاً نتیجهء مواد آتشفشانی در تاریخ عطارد پیشین است. دره ها روی عطارد نسبتاً کم یاب هستند و عمدتاً در شکل گیری دهانه های اصابت شده تشکیل شده اند.

^{۲۴} Valhalla Region

^{۲۵} Sub-Solar Point

^{۲۶} Calor

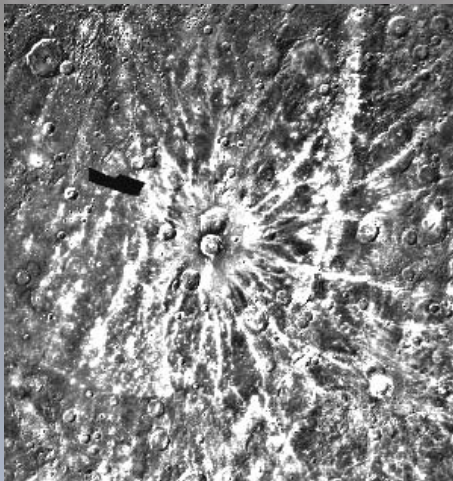
^{۲۷} Mariner 10 Atlas of Mercury Fig. 11-20.

^{۲۸} Tir and Odin

^{۲۹} Escarpments

^{۳۰} Discovery Rupes

^{۳۱} Inter crater Plains



شکل ۷.۲: تصویر موزائیکی از دهانه اشعه مانند دگاس با ۴ کیلومتر قطر که طی اولین و سومین نزدیکی مارینر ۱۰ به عطارد تصویربرداری شده است. در این تصور بوضوح می توان دهانه های برخوردی را تشخیص داد که حاصل بمبارانهای بعدی بر سطح عطاردند و دهانه های قبلی را محو کرده اند.



شکل ۸.۲: ناحیه مخالف حوضچه کالوریس در آنسوی سیاره.

همه دهانه های عطارد با نام هنرمندان مشهور جهان نامگذاری شده اند، نظیر **موزارت**^{۳۲}، **ویوالدی**^{۳۳}، **بارتوک**^{۳۴}، **لیریکال**^{۳۵}، **مونیت**^{۳۶}، **رنوار**^{۳۷}، **روبنز**^{۳۸}، **شکسپیر**^{۳۹}، **هاینه**^{۴۰}، خندق ها و سراسیمه ها را با نام کشتی هائی که در اکتشافات زمینی بوده اند نامگذاری کرده اند و **لبه**^{۴۱} ها و برآمدگی ها را با نام ستاره شناسان و **دره**^{۴۲} ها را با نام رصدخانه

- ^{۳۲} Mozart
- ^{۳۳} Vivaldi
- ^{۳۴} Bartok
- ^{۳۵} Lyrical
- ^{۳۶} Monet
- ^{۳۷} Renoir
- ^{۳۸} Rubens
- ^{۳۹} Shakespear
- ^{۴۰} Heine
- ^{۴۱} Ridge
- ^{۴۲} Valley

های رادیویی نامگذاری نمودند. نام زمین های صاف یا سطوح هموار یا جلگه ها را نیز از نام ستارگان یا خدای عطارد در زبان های مختلف گرفته اند.

۲.۳.۲ حرارت سطح عطارد

عطارد مستقیماً توسط خورشید گرم می شود و حرارت سطحی آن بین $^{\circ}\text{C} 450 +$ در ظهر (روبروی خورشید) تا $^{\circ}\text{C} 180 -$ در طرف تاریک آن متغیر است که بطور متوسط حدود 150°C درجه سانتیگراد است. این تغییرات حرارت 600°C درجه ای در هیچ یک از سیارات منظومه شمسی دیده نمی شود. عطارد در روز به علت نزدیکی به خورشید بسیار سطح گرمی دارد و بعلت نداشتن جو و حرکت کندش گرما را از دست داده و در شب بسیار سرد می شود. حرکت مداری ۸۸ روزه و چرخش ۵۸ روزه آن حول محورش باعث اثرات نامعمول حرارت روی سطح آنست، زیرا خروج از مرکز آن 0.2 است و با این مدار بیضوی سطحی که توسط خورشید گرم می شود طی ۵۸ روز در همان مکان قبلی نخواهد بود، بنابراین **روز خورشیدی**^{۲۳} روی عطارد ۱۷۶ روز زمینی است که دقیقاً برابر ۲ سال عطاردی است. طی این زمان خروج از مرکز زیاد مداری باعث می شود که حرارت سطح عطارد تا 50°C درصد تغییر کند. این تغییر اندازه زاویه ای ظاهری خورشید از $1/8$ درجه در اوج تا $1/7$ درجه در حضیض (در قیاس با 5°C درجه مشاهده شده از زمین) باعث می شود تا نور خورشید در حضیض بیش از دو برابر آن در اوج به سطح عطارد برسد. بدین ترتیب زمان ظهر در حضیض عطارد، سطح آن دو برابر گرمتر از زمان ظهر در اوج آن خواهد بود.

۳.۳.۲ وجود یخ در عطارد

در ۱۹۳۳م. دانشمندان در کالیفرنیا آنتنی نصب کردند و بازتاب امواج فرستاده شده به قطب های عطارد را بررسی نمودند و وجود احتمالی یخ را در آن مناطق مشاهده نمودند. در ۱۹۹۱م. دانشمندان سیاره شناس به همراه **مولن**^{۲۴} و **باتلر**^{۲۵} از آزمایشگاه **جی. پی. ال. ۲۶** از طریق سیستم تلسکوپ رادیویی **آرسیبو**^{۲۷} و آنتن 70° متری **گلدستون**^{۲۸} و **مجموعه تلسکوپ های رادیویی**^{۲۹} (VLA) عطارد را مورد کاوش قرار دادند و وجود یخ را در قطبین عطارد اثبات نمودند.^{۵۰} آنها از طریق آنتن گلدستون که با فرستنده نیم میلیون واتی ساپورت می شد، با ارسال امواج راداری **قطبیده**^{۵۱} 851 گیگاهرتزی 460 کیلوواتی بطرف قطب های عطارد و دریافت امواج ارسالی توسط 26 آنتن VLA تصاویری راداری مناطقی از عطارد را تهیه نمودند که توسط ماریتر^{۱۰} رصد نشده بود. بررسی و درجه بندی و پردازش این داده ها، نواحی روشن (انعکاس راداری بالا) با علائم فاقد قطبیدگی در قطب شمال را نشان می داد. آزمایش مجددی از طریق آرسیبو با ارسال امواج باند S (420 کیلووات و 2.4 گیگاهرتز) و دریافت امواج بازگشتی انجام شد و سپس با **صاف کردن**^{۵۲} و پردازش اطلاعات بازگشتی، یک نقشه راداری از سطح عطارد با تفکیک تقریبی 15 کیلومتر از سطح عطارد بدست آمد که حدود 20° ناحیه با انعکاس بالا **ناقطبیده**^{۵۳} در قطب شمال و جنوب عطارد را نشان می داد. در ۱۹۹۴م. بررسی دیگری با VLA نشان داد که انعکاس های راداری مشابهی در قطب جنوب عطارد وجود دارد.

^{۲۳} Solar day

^{۲۴} Duane Muhleman

^{۲۵} Bryan Butler

^{۲۶} Jet Propulsion Laboratory

^{۲۷} Arecibo

^{۲۸} Goldstone

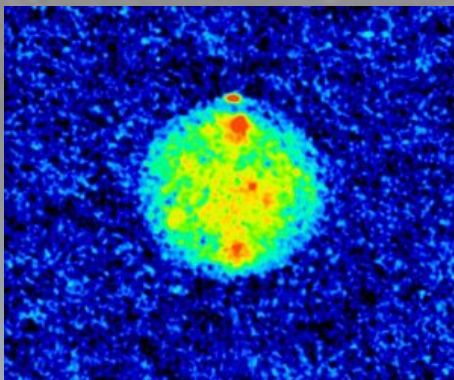
^{۲۹} Very Large Array

^{۵۰} www.nrao.edu/PR/2000/VLA20/background/mercuryice/index.html

^{۵۱} Polarized

^{۵۲} Filtering

^{۵۳} Depolarized



شکل ۹.۲: تصویر راداری VLA از عطارد. در این تصویر رنگ قرمز نشان‌دهنده انعکاس شدید و زرد و سبز و آبی بترتیب نشان از انعکاس ضعیف امواج است. نقاط قرمز بالائی نشان از وجود یخ در قطب شمال است.

این نواحی روشن با بازتاب راداری زیاد که ناقطبیده است، شواهدی از وجود یخ را در قطب‌ها نشان می‌دهد. در مقایسه با صخره‌های سیلیکاتی که قسمت بیشتری از سطح عطارد را می‌پوشاند، یخ دارای بازتاب راداری بالا و قطبیدگی کم است - این مقدار بازتابیده مانند یخ موجود در اروپا، گانیمد و کالیستو آتقدر دارای انعکاس زیاد نیست - با این وجود طبیعت ناقطبیده، مشخصه یخ آب است که در عطارد مشاهده شد. نتایج آرسیبو نشان داد که این مناطق با بازتاب راداری بالا، در نواحی دهانه‌ها قرار دارند. در قطب جنوب محل بزرگترین ناحیه با دهانه بزرگ **چانومنگ فو**^{۵۲} است و نواحی کوچکتر بر دهانه‌های دیگر منطبقند. در قطب شمال نواحی روشن قطبی واضح نبوده و قابل تطبیق با دهانه‌ها نیستند، ولی می‌توان گفت که بطور کلی از هر دو قطب، نواحی روشن تا حدودی بر دهانه‌ها تطبیق دارند.

توجیه چنین پدیده‌ای می‌تواند چنین باشد که چون تمایل محور سیاره نسبت به مدارش صفر است، بنابراین دهانه‌های نزدیک قطب‌ها تقریباً همیشگی و دائمی بوده و بعلت افقی بودن تابش خورشید در آن مناطق، درون دهانه‌ها از دسترسی نور خورشید بدورند. بدین ترتیب تصور می‌شود که سایه دهانه‌ها و کناره‌ها جای خوبی برای حفظ یخ یا ایجاد یخ هستند. از طرفی دیگر امواج بازگشتی نشان می‌دهد که لایه‌های یخ با پوششی از غبار و یا خاک پوشیده شده‌اند، بنابراین در مجموع شواهد وجود یخ در قطبها، بخصوص در سایه دهانه‌ها را تایید کرده و در مقابل این شواهد می‌تواند با احتمال خیلی کمی دلیلی بر وجود سولفیدهای فلزی یا دیگر مواد هم چگال یا یونهای سدیم رسوبی نیز باشد.

اما منبع یخ در این سیاره داغ چیست؟ چون عطارد یخ ساز نیست، پس این مناطق یخی دو منبع احتمالی دارند. یکی بمباران‌های شهابی از اجرام سماوی و ستارگان دنباله‌داری که حاوی مقداری یخ آب هستند و منبع دوم که احتمال کمتری دارد وجود آب در درون خود عطارد است که در سایه دیوار دهانه‌ها از دسترس نور خورشید بدور مانده‌اند. هرچند دمای سطح سیاره ۴۵۰ درجه سانتیگراد در ظهر است و مانع وجود یخ بر روی سطح عطارد می‌شود اما حرکت کند عطارد بدور خودش طی ۱۷۶ روز زمینی باعث باقیماندن یخ‌ها می‌شود. از طرف دیگر چون عطارد اتمسفر کلی ندارد لذا یخ می‌بایست فرار بوده و در حلاء تبخیر شود مگر اینکه طی تمام مدت سرد باقی بماند. پس طرف مقابل خورشید دارای یخ نبوده و وجود آن منحصر به کناره‌های عمیقی است که از دسترس نور محفوظ است. با اینکه وجود چنین دهانه‌هایی در عطارد خود یک مساله است، ولی تصاویر مایر۱۰ نشان می‌دهد که در نواحی قطبی، دهانه‌ها می‌بایست حرارتی مابین ۱۰۲ تا ۱۶۷ کلوین دارا باشند و برخی محاسبات دیگر نیز نشان می‌دهد که عمر یخ‌های موجود در قطب‌ها هم سن عمر منظومه شمسی است.

نکته آخر اینکه یخ معمولی در سطح زمین امواج رادیویی را جذب می‌کند، اما در حرارت خیلی پائین یخ انعکاس خیلی خوبی از امواج رادیویی دارد. بازتاب امواج بر سطح عطارد بیش از مقداری است که بتوان گفت درخشش ناگهانی

حاصل از لبه های دهانه های آن سیاره است. همچنین محاسبات انجام شده مانند علائم وجود یخ در مریخ و اقمار یخی مشتری است. نداشتن اتمسفر در عطارد و گرمای شدید سطحی آن باعث می شود که آب در هر شکلی روی آن باقی نماند و این یخ موجود نیز در سطح عطارد و یا در زیر سطح در قطبین در حرارت حداکثر ۱۶۱- سانتیگراد باقی مانده است و تنها راه ممکن برای بررسی دقیق وجود یخ ارسال فضاپیما به عطارد و طیف نگاری از سطح آن است.

۴.۲ اتمسفر

عطارد دارای اتمسفر خیلی ضعیفی است، در واقع اتمسفر این سیاره آنقدر ناچیز است که تمام جرم آن به ۱۰۰۰ کیلوگرم نمی رسد. دلیل این جو ناچیز جرم کم سیاره است، که قادر به نگهداری گازهای اطراف خود نمی باشد. از آنجائیکه جرم سیاره کم و جاذبه سیاره ضعیف و روز خورشیدی عطارد گرم است و از طرفی سرعت فرار آن ۴٫۲۵ کیلومتر بر ثانیه است، بنابراین تنها مولکول های خیلی سنگین قادر به فرار از آن نخواهند بود و این وجود جوی کلی را در عطارد غیرممکن می سازد. آزمایشات فضاپیمای مارینر ۱۰ فشار اتمسفری کلی برابر 10^{-12} بار را نشان داد که یک پانصد میلیارد فشار اتمسفری زمین است (زمین 10^3 کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب)، بنابراین جو عطارد تقریباً شبیه خلاء است و مولکولهای سبک بر سطح عطارد دوام نمی آورند، آسمان تیره و تار است و ستارگان طی روز بوضوح مشخصند.

مارینر ۱۰ که طیف سنج ماوراء بنفش را با خود به همراه داشت، وجود جو خیلی رقیقی از اکسیژن، هلیوم و هیدروژن را آشکار نمود. به احتمال زیاد عطارد این مقدار هلیوم و هیدروژن ناچیز را از بادهای خورشیدی کسب نموده که توسط میدان مغناطیسی سیاره جذب شده اند، زیرا باد خورشیدی حدوداً حاوی ۱۰٪ هلیوم است و احتمال دیگر اینکه مقدار هلیوم موجود حاصل آزادسازی سنگ های رادیواکتیو مانند اورانیوم^{۵۵} یا تورم^{۵۶} در سیاره است. احتمال دیگر اینکه این گازها حاصل تبخیر شهابسنگ ها، خرده سیارکها و اجرامی دیگری است که بر سطح عطارد سقوط کرده اند. آزمایشات تلسکوپی زمینی مقادیری سدیم، پتاسیم و کلسیم را آشکار نمود. ظاهراً اکسیژن، سدیم، پتاسیم و کلسیم حاصل بیرون راندن از درون عطارد است. ردپای عناصر دیگری نیز در اتمسفر مشاهده شده لیکن برخی از عناصر فرار بود و در جو باقی نمی ماند، مانند هیدروژن که در برخی از نمونه ها تا ۲۲٪ از جو را تشکیل می دهد. در کل اتمسفر عطارد شامل ۵۲٪ اکسیژن، ۳۹٪ سدیم، ۷٪ هلیوم، حدود ۱٪ پتاسیم و هیدروژن و مقادیری کلسیم، آب، نیتروژن، متان و گازهای نجیب است. این اتمسفر بسیار رقیق که در کرانه ها نازکتر می شود تا حدودی باعث گرم شدن عطارد در روز و سرد شدن سطح آن در شب می شود. بعلاوه این جو ناچیزی که عطارد مانند ماه آنرا حفظ کرده، باعث تابش اشعه مادون قرمز در خلال شب می شود و با توجه به اینکه ماه و عطارد تقریباً یک آلبدو دارند، دلیل نزدیکی ۲٫۵ برابری عطارد به خورشید نسبت به ماه، باعث می گردد تا شار خورشیدی آن ۶٫۲۵ برابر ماه باشد.

۵.۲ میدان مغناطیسی عطارد

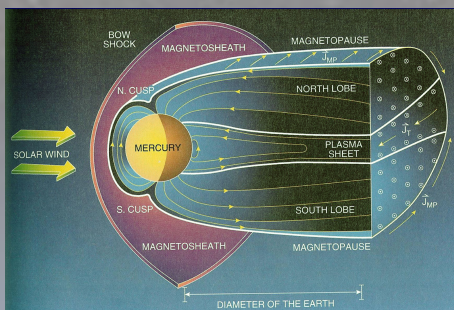
عطارد دارای میدانی مغناطیسی یکپارچه است و داده های ارسالی مارینر ۱۰ نشان داد که شدت میدان دوقطبی عطارد ۳۳ میلی گaus^{۵۷} می باشد که یکصدبار ضعیفتر از میدان مغناطیسی زمین است^{۵۸}. مبدا این میدان مغناطیسی نامشخص است و دانش ما از میدان مغناطیسی زمین به شناخت میدان مغناطیسی عطارد نیز کمک خواهد کرد. مطابق اثر دینامو، اگر میدان عطارد نیز مشابه زمین باشد، می بایست بخشی از هسته آهن-نیکلی عطارد بصورت گرم و فعال باشد که تا حدودی شواهد سطحی عطارد این را نشان می دهد و علت ضعیف بودن این میدان را می توان چرخش آهسته این سیاره دانست. نظریه دیگری اینست که این میدان ضعیف در عطارد جزء ذاتی آن نبوده و باقیمانده میدان

^{۵۵} Uranium

^{۵۶} Thorium

^{۵۷} Gauss-Rh3 (Rh is radius of mercury ~ ۲۲۳۹ km)

^{۵۸} https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury's_magnetic_field & Slavin James A., Mercury's magnetosphere, Advances in Space Research ۳۳ (11):1859-1874, December 2004.



شکل ۱۰.۲: طرحی از مغناطیس سپهر عطارد.

اولیه ای است که توسط میدان مغناطیسی خورشید از قبل در عطارد القاء شده است. با وجود میدان ضعیف سیاره، این میدان برای قطع **مغناطیس سپهر^{۵۹}** در برابر بادهای خورشیدی کافی بوده و می تواند ذرات باردار (عموماً پروتونها) را از بادهای خورشیدی اطراف سیاره منحرف سازد. مارینر ۱۰ طی اولین مواجهه خود با سیاره، میزان انحراف میدان را در طول جغرافیائی ۲۸۵ درجه و در مواجهه سوم، کجی آن را در طول جغرافیائی ۱۱۵ درجه مشخص نمود. بطورکلی محور میدان دوقطبی مغناطیسی عطارد با محور چرخشی آن زاویه ای ۱۶۹ درجه می سازد.

۶.۲ اقمار عطارد

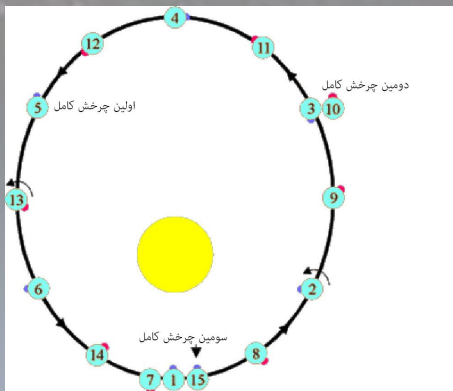
عطارد دارای قمر طبیعی نیست و مانند برخی سیارات منظومه دارای حلقه نمی باشد.

۷.۲ حرکت عطارد در فضا

در نیمه دوم قرن نوزدهم دانشمندان دوره ای ۲۴ ساعته مانند زمین برای چرخش آن اعلام نمودند. سپس يك دوره ۸۸ روزه همانند سال آن روز عطاردی محسوب شد. یعنی به عنوان يك سیاره با چرخشی همزمان، که در این صورت همیشه یکطرف سیاره به سوی خورشید خواهد بود، نظیر ماه که همزمان با زمین می چرخد. بدین ترتیب تصور می شد که دوره تناوب چرخش عطارد حول محورش برابر دوره گردش آن بدور خورشید ۸۸ روز است یعنی روز عطاردی همان طول سال آنست و این نظر برای عطارد قریب به ۸۰ سال وجود داشت. پیش از دهه ۱۹۶۰ مشاهدات رادیویی پا به عرصه وجود گذاشته بود و در یک بحث علمی چنین مطرح شد که مقدار انرژی منتشر شده از یک سیاره، وابسته به حرارت آنست لذا از آنجا که طرف تاریک عطارد در صورت چرخش همزمان با خورشید می بایست سردتر از مقدار موجود باشد دانشمندان را متقاعد کرد که این چرخش عطارد، چرخشی همزمان نیست. بررسی دیگری از علائم راداری روی عطارد و تغییرات اثر دوپلری روی فرکانس علائم، نشان داد که مقدار چرخش سیاره ۵۵ روز است، اما رصدهای مختلف و مارینر ۱۰ در سال ۱۹۶۵ م. نشان دادند که چرخش عطارد بسیار کند است.

عطارد در فاصله بین ۰.۳۱ AU و ۰.۴۶ AU بدور خورشید می گردد. مدار آن با خروج از مرکز ۰.۲۰۵۶ در مقایسه با سیارات دیگر کاملاً بیضوی است، چنانکه در حضیض ۴۶ میلیون کیلومتر و در اوج ۷۰ میلیون کیلومتر تا خورشید فاصله می گیرد. عطارد بعلة نزدیکی به خورشید، دارای بیشترین سرعت مداری حول خورشید - که سریعتر از دیگر سیارات - بطور متوسط برابر ۴۸ کیلومتر بر ثانیه است و باعث می شود تا در مدت ۵۸ روز و ۱۵ دقیقه یکبار به دور خورشید بگردد، در عوض سرعت چرخشی سیاره حول خودش بسیار کند بوده و در مدت ۵۸ روز و ۱۵ دقیقه یکبار به دور خود می چرخد، بدین ترتیب ۳ ماه طول می کشد تا خورشید از یک افق به افق دیگر برود. احتمالاً عطارد بعد از پیدایش، بسیار سریعتر می چرخیده (حدود ۸ ساعت) و کشش خورشید باعث کندی حرکت آن شده است، مانند زمین که بگونه

^{۵۹} Magnetosphere



شکل ۱۲.۲: نمایشی کامل از چرخش عطارد بدور خود و همزمان بدور خورشید.



شکل ۱۱.۲: طرحی اغراق آمیز از پیشروی حضیض عطارد.

ای ماه را به طرف خود کشیده که یکطرف ماه همیشه رو به زمین است. در سال ۱۹۶۵م. رالف **دایس**^{۶۰} و گوردون **پتنگیل**^{۶۱} تفاوت بسامد پالس های رادارای امواج بازتابیده، که از رصدخانه ۳۰ متری آرسیبو در پورتوریکو^{۶۲} به کناره های عطارد گسیل شده بود را بدقت اندازه گرفتند. آنها نتیجه گرفتند که چرخش عطارد بدور خود ۵۸/۶۵۴ روز در جهت مستقیم و موازی با صفحه مدار طول می کشد که دو سوم دوره تناوب ۸۸ روزه سال عطاردی است. لذا عطارد در یک **تشدید کشندی اسپین-مدار**^{۶۳} ۳:۲ حول خورشید است. این بدین معناست که کشش خورشید بر روی عطارد شرایطی را باعث می شود تا عطارد سه بار حول محور خود بچرخد، در مدتی که دوبار حول خورشید چرخیده است. این اندازه گیری ها با مشاهدات راداری و تصاویر ارسالی مارینر ۱۰ تأیید گردید. در ۱۹۷۱م. **گلداشتین**^{۶۴} مقدار چرخش را تصفیه نمود و برابر 58.65 ± 0.05 بدست آورد و از طرفی با رصدهای راداری و نیز اطلاعات مارینر ۱۰ برابر 58.646 ± 0.005 بدست آمد، و با محاسبات دقیق تر دوره تناوب چرخشی نجومی آن ۵۸/۶۴۶۲۷ شبانروز برآورد شد که دو سوم دوره تناوب مداری نجومی آن است. دوره تناوبهای قبلی احتمالاً اشتباه بوده اند، چون اشکال سطحی در عطارد معمولاً تنها در بزرگترین زاویه کشیدگی می توانند مشاهده شوند که در دوره تناوب هلالی ۱۱۵/۸۸ شبانروز اتفاق می افتد که ضرورتاً دو برابر دوره تناوب چرخش نجومی است^{۶۵}.

عطارد طی ۸۷۹۶۹۴ روز یکبار بدور خورشید می چرخد. یک روز خورشیدی (از یک طلوع خورشید تا طلوع بعدی خورشید روی عطارد) ۱۷۶ روز زمینی بطول می انجامد. حرکت عطارد بدور خودش آهسته تر از سیارگان دیگر منظومه (بجز زهره) بود و در هر ۱۱۶ روز یکبار از مقابل زمین عبور می کند. صفحه استوای عطارد منطبق بر صفحه مداری آنست و کجی آن تقریباً صفر است، لذا فصول روی عطارد مانند فصول زمینی معنی ندارد هرچند که بیضویت مدار آن، تغییرات حرارتی شدید را دنبال دارد. تمایل مداری ۷/۰۰۴ درجه نسبت به دایره البروج از همه سیارات بیشتر است.

^{۶۰} Rolf B. Dyce

^{۶۱} Gordon H. Pettengill

^{۶۲} Puertorico

^{۶۳} Spin-Orbit tidal resonance

^{۶۴} Goldstein

^{۶۵} https://en.wikipedia.org/wiki/Tests_of_general_relativity#Perihelion_precession_of_Mercury

بعلت گشتاور سیارات از خورشید و اثرات متقابل سیارات بر همدیگر، محور اصلی سیارات حول خورشید بطور جزئی با خود سیاره می چرخد. این مقدار پیشروی حضيض در عطارد بیشتر از بقیه سیارات بوده و مقدار آن در هر قرن ۴۳ ثانیه قوسی است و این اختلالات بیش از ۲۰۰ سال است که شناخته شده است. از آنجائیکه مکانیک نیوتنی قادر به توضیح این مسئله نبود، دانشمندان با دادن لقب **آشفشان^{۶۶}** به سیاره، فعالیتهای درونی را باعث این اختلالات دانستند. در ۱۹۱۵ م. آلبرت اینشتین با ارائه نسبیت عام، توضیح داد که این اختلالات جزئی را می توان حاصل اثر جاذبه خورشید دانست، بعلاوه خود عطارد در توضیح اثر گرانشی خورشید بر مدار سیارات موثر بوده و وقتی عطارد در مقارنه بالا قرار می گرفت سیگنالهای فرستاده شده به سطح آن می بایست از کنار خورشید عبور کنند بنابراین از آنجا که نظریه نسبیت عام پیش بینی کرده بود که این سیگنالهای الکترومغناطیسی تحت اثر جاذبه منحرف می شوند این انحرافات بعنوان تابعی از حرکت عطارد حول خورشید نظریه نسبیت را تأیید می نمود ^{۶۷}. در ۱۹۶۷ **دیک^{۶۸}** و سپس هنری **هیل^{۶۹}** بیان نمودند که مقادیر جزئی پیشروی حضيض عطاردی ممکن است حاصل مقدار ناچیز فشردگی خورشید در قطب ها باشد ^{۷۰}.

جدول ۲۰۲: مشخصات مداری عطارد

مشخصه	عطارد	عطارد در مقایسه با زمین (زمین=۱)
فاصله متوسط از خورشید (میلیون کیلومتر)	۵۷۹۰۹	۰٫۳۸۷ AU
فاصله در حضيض (میلیون کیلومتر)	۴۶٫۰۰	۰٫۳۱۲ AU
فاصله در اوج (میلیون کیلومتر)	۶۹٫۸۲	۰٫۴۵۹ AU
دوره تناوب مداری نجومی (P)	۸۷٫۹۶۹۴ روز	۰٫۲۴۰۸۴ سال زمینی
دوره تناوب مداری استوائی	۸۷٫۹۶۸۶ روز	۰٫۲۴۰۸۵ سال زمینی
دوره تناوب قمری (S)	۱۱۵٫۸۸ روز	—
دوره گردش نجومی	۱۴۰٫۷۶ ساعت	۵۸٫۶۴۶۲۷ روز
روز شمسی متوسط	۴۲۲۲٫۶ ساعت	۱۷۵٫۹۴۲۱ روز
سرعت مداری متوسط (کیلومتر بر ثانیه)	۴۷٫۸۷	۱٫۶۰
سرعت مداری حداقل (کیلومتر بر ثانیه)	۳۸٫۸۶	۱٫۳۳
سرعت مداری حداکثر (کیلومتر بر ثانیه)	۵۸٫۹۸	۱٫۹۵
سرعت مداری زاویه ای روزانه (درجه)	۴٫۰۸۹	—

^{۶۶} Volcano^{۶۷} <https://physics.stackexchange.com/questions/26408> & → Wells James D., *When effective theories predict: the inevitability of Mercury's anomalous perihelion precession*, 2011.^{۶۸} Dicke^{۶۹} Henry Allen Hill also of the United States^{۷۰} Peebles P. J. E., *Robert Dicke and the naissance of experimental gravity physics, 1957-1967*, The European Physical Journal H → <https://arxiv.org/pdf/1603.06474.pdf>

کجی-تمایل استوا به مدار- (درجه)	۰/۰۱	۰/۰۰۰۴۳
---------------------------------	------	---------

مختصات قطب شمال چرخش عطارد با بعد $T = ۰/۰۰۳ - ۲۸۱/۰۱$ و میل $T = ۰/۰۰۵ - ۶۱/۴۵$ می باشند که T قرن ژولینی از تاریخ مرجع ($JD ۲۴۵۱۵۴۵/۰$) می باشد.^{۷۱} دوره چرخش عطارد ۸۷ روز و ۲۳ ساعت و ۱۵/۷ دقیقه و سرعت مداری زاویه ای روزانه عطارد برابر $۴/۰۸۹$ درجه یا $۲۴۵/۳۴$ دقیقه است.

جدول ۳.۲: مشخصات صفحه مداری ($J۲۰۰۰$)

نیم محور اصلی (AU)	۰/۳۸۷۰۹۸۹۳
تمایل مداری (درجه)	۷/۰۰۴۸۷
خروج از مرکز مداری (e)	۰/۲۰۵۶۳۰۶۹
طول جغرافیائی گره صعودی Ω (درجه)	۴۸۳۳۱۶۷
طول جغرافیائی حضیض ϖ (درجه)	۷۷/۴۵۶۴۵
طول جغرافیائی متوسط L (درجه)	۲۵۲/۲۵۰۸۴

۸.۲ رصد عطارد

از آنجائیکه مدار عطارد درون مدار زمین قرار می گیرد، بنابراین از دید ما عطارد از خورشید زیاد دور نخواهد شد و هیچگاه بیش از ۲۷ درجه و ۴۵ دقیقه از خورشید فاصله نمی گیرد، پس تنها برای زمان های کوتاهی قابل رویت است و برای تمام شب قابل رویت نخواهد بود. بدین ترتیب وقتی عطارد در کشیدگی غربی^{۷۲} قرار دارد بعنوان يك ستاره صبحگاهی^{۷۳}، هنگام صبح درست قبل از طلوع خورشید در طرف راست و سمت غربی آن دیده می شود و وقتی در کشیدگی شرقی^{۷۴} است بصورت يك ستاره شامگاهی^{۷۵} بعد از غروب خورشید در طرف چپ آن ظاهر می گردد.^{۷۶} در واقع زاویه کشیدگی این سیاره که از زمین مشاهده می شود بین ۱۸° تا $۲۷/۷۵^\circ$ قرار دارد و در حداکثر کشیدگی، این فاصله بیش از زاویه بین نوك انگشت شست تا انگشت کوچک نخواهد بود. بهرحال برای رصد این سیاره کوچک، در بهترین حالات ممکن، شما بیش از دو ساعت فرصت نخواهید داشت، هرچند همیشه هم قابل رویت نخواهد بود. عطارد هر سال ۳ بار بعنوان ستاره شامگاهی و ۳ مرتبه نیز بعنوان ستاره صبحگاهی ظاهر می شود. کشیدگی های عطارد طی سالهای ۸۵ تا ۹۰ در جدول ذیل ذکر می شود.

^{۷۱} 12:00 UT 1 Jan 2000 (JD2451545.0)

^{۷۲} Western Elongation

^{۷۳} Morning star

^{۷۴} Eastern Elongation

^{۷۵} Evening star

^{۷۶} [https://en.wikipedia.org/wiki/Elongation_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Elongation_(astronomy))

جدول ۴۰۲: کشیدگی های عطارد از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ شمسی

سال	کشیدگی های شرقی	کشیدگی غربی
۱۳۸۵	۲۰ فروردین، ۱۶ مرداد، ۴ آذر	۲۹ خرداد، ۲۷ مهر، ۱۸ بهمن
۱۳۸۶	۲ فروردین، ۳۰ تیر، ۱۷ آبان، ۱۲ اسفند	۱۱ خرداد، ۹ مهر، ۱ بهمن
۱۳۸۷	۱۳ تیر، ۱ آبان، ۲۴ بهمن	۲۴ اردیبهشت، ۲۲ شهریور، ۱۵ دی
۱۳۸۸	۲۵ خرداد، ۱۴ مهر، ۵ بهمن	۵ اردیبهشت، ۳ شهریور، ۲۸ آذر
۱۳۸۹	۶ خرداد، ۲۸ شهریور، ۱۸ دی	۱۹ فروردین، ۱۵ مرداد، ۱۱ آذر
۱۳۹۰	۱۹ اردیبهشت، ۱۲ شهریور، ۱ دی	۲ فروردین، ۲۸ تیر، ۲۴ آبان، ۱۴ اسفند

عطارد به علت نزدیکی زیاد به خورشید بسختی از زمین قابل رویت است و تنها زمانی که می توان آنرا با چشم غیرمسلح دید، هنگام غروب یا طلوع خورشید در افق است. این سیاره پیش از تاریخ شناخته شده بود و اولین رصد از آن توسط **تیموچاریس**^{۷۷} در ۲۶۵ ق.م. انجام شد^{۷۸}. از جمله منجمانی که عطارد را مطالعه کردند **زوپوس**^{۷۹} است که مدار آن را حدود ۴۰۰ سال پیش مطالعه کرده است^{۸۰}. قدر بصری عطارد برابر ۱٫۸ – است لذا با چشم غیرمسلح و دوچشمی قابل رصد بوده، ولی بصورت کره خیلی کوچک رویت می شود. این سیاره در مقارنهء علیا وقتی پشت خورشید واقع می شود، کاملاً قابل رویت خواهد شد و بصورت قرص کامل دیده می شود و وقتی سیاره از بین زمین و خورشید عبور کند (مقارنهء سفلی) بصورت هلال باریکی دیده می شود، لذا عطارد در قرص خورشید به اندازه نقطهء کوچکی دیده خواهد شد. ما این پدیده را در فصول بعدی مطالعه خواهیم نمود. این سیاره در حداکثر کشیدگی تقریباً بصورت قرص و در مقارنه بالا وقتی در آنسوی خورشید قرار می گیرد هلالی دیده می شود و این ناشی از حرکت مداری آنست. حداکثر قطر زاویه ای عطارد از زمین تنها ۱۳ ثانیه قوسی ($\frac{1}{180}$ قرص ماه) و حداقل قطر زاویه ای آن ۴٫۵ ثانیه قوسی ($\frac{1}{380}$ قرص ماه) رویت می شود. عطارد در برخی مواقع، در درخشندگی شبیه زحل می شود که معمولاً بواسطه درخشش خورشید دیده نخواهد شد. وقتی عطارد در افق دیده می شود چون نورش از اتمسفر می گذرد روشنائی آن ۱۰ برابر ضعیفتر از زمانی است که بالای سر ناظر قرار دارد، همچنین بطور متوسط ۵۰۰ ثانیه طول می کشد تا نور از زمین به سیاره برسد و برگردد.

جدول ۵۰۲: مشخصات رصدی عطارد

۹۱٫۶	فاصله تا زمین در مقارنهء سفلی (میلیون کیلومتر)
۲۰۷٫۴	فاصله تا زمین در مقارنهء علیا (میلیون کیلومتر)

^{۷۷} Timocharis

^{۷۸} <https://en.wikipedia.org/wiki/Timocharis>

^{۷۹} Giovanni Battista Zupi or Zupus (c.1590-1650)

^{۸۰} https://en.wikipedia.org/wiki/Giovanni_Battista_Zupi

^{۸۱} گذشتن عطارد از جلوی خورشید – از دید ناظر زمینی – را عبور گوئیم.

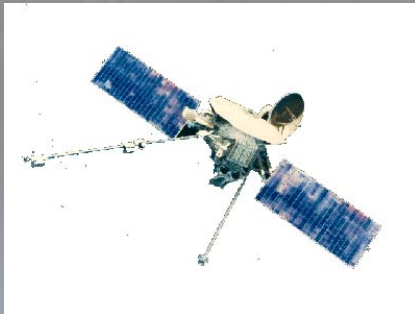
۴۵	حداقل قطر زاویه ای از زمین (ثانیه قوسی)
۱۳°	حداکثر قطر زاویه ای از زمین (ثانیه قوسی)
-۱۹	قدر بصری حداکثر
-۰٫۴۲	قدر بصری ($V_{1,0}$)
۱۱°	مقدار متوسط در مقارنهء سفلی با قطر ظاهری زمین (ثانیه قوسی)
۹۱٫۷°	مقدار متوسط در مقارنهء سفلی با فاصلهء زمین از زمین (۱۰۶ کیلومتر)
۰٫۱۰۶	آلبدو هندسی
۰٫۱۱۹	آلبدو رادیومتریک
۴۴۲٫۵	حرارت متعادل
۷۰۰ K - ۱۰۰	دمای مشاهده شده
۶۳۳ K	جسم سیاه تحت خورشیدی
۹۱۲۶/۶	تابش شمسی ($\frac{W}{m^2}$)

عطارد دارای اهله است که بدون تلسکوپ قابل دیدن نیست. تلسکوپ گالیله نیز هرچند اهلهء زهره را دید اما کوچکتر از آن بود که عطارد را ببیند. اگر با تلسکوپی قوی به عطارد نگاه کنیم شاید بتوانیم سطح آنرا تا حدودی ببینیم. با این حال در این سیاره کوچک و مناظر سطحی آن خیلی قابل تشخیص نبوده و مناظر لبه دار و حاشیه دار بنظر رسیده و لذا ممکن است تفکیک پذیری درستی از سطح آن نداشته باشیم. این بدان معناست که با رصدهای معمولی زمینی هیچ جزئیاتی از سطح آن قابل دید نخواهد بود.

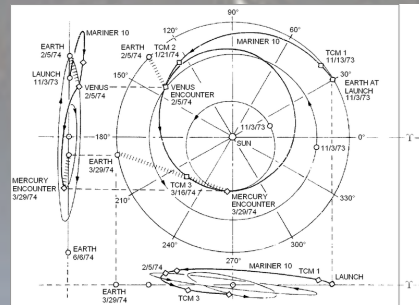
طی ۱۱۶ روز دوره هلالی و ۳۶ روز گذشته از دوره هلالی عطارد نیمی از آن را می توان دید. بعد از ۲۲ روز دیگر به همان طرف خورشید که زمین هست نزدیک می شود و تنها یک نور کم سوا از آن قابل رویت است. مقدار نور عطارد که می توان آن را از زمین دید بتدریج وقتی از جلوی خورشید عبور می کند، افزایش می یابد. وقتی عطارد در طرفی از خورشید قرار دارد که زمین هست، قابل رویت نمی باشد زیرا عطارد و زمین در جهت خلاف هم می گردند.

۹.۲ سفر به عطارد

متأسفانه بعثت نزدیکی عطارد به خورشید، رصدهای زمین قادر به کاوش دقیق سیاره نبوده و همچنین تلسکوپ فضائی هابل نیز قادر به تصویر برداری مطمئن و بی خطر از عطارد نیست، بنابراین تنها با ارسال کاوشگرهای فضائی می توان اطلاعات دقیقی از مشخصات سیاره بدست آورد. کاوشگر مارینر ۱۰ عطارد را به نوبه خود بررسی نمود، و هرچند تصاویر راداری بعدی نیز با اینکه دهانه هایی را روی سطح عطارد نشان می دهد ولی هیچگاه به خوبی و شفافیت تصاویر مارینر ۱۰ نبودند. مسنجر تصاویر بسیار واضحی از سیاره ارسال نموده و داده ها و اطلاعات قبلی ما را از این سیاره تایید و دقیقتر نموده است. در ذیل به جزئیاتی درباره سفاین ارسالی گذشته و آینده به عطارد می پردازیم.



شکل ۱۴.۲: مارینر ۱۰، اولین کاوشگر عطارد.



شکل ۱۳.۲: مسیر پرواز مارینر حول عطارد در مواجهه نخست.

۱.۹.۲ مارینر ۱۰

اولین و تنها سفینه ای که طی قرن بیستم از عطارد دیدن کرد، **مارینر ۱۰**^{۸۲} بود که پس از دیدار زهره در ۱۹۷۳ م. به دیدار عطارد رفت^{۸۳}. طی سالهای ۱۹۷۴ م. و ۱۹۷۵ م. این فضاپیما توانست با سه بار پرواز بر فراز عطارد اطلاعات قابل ملاحظه ای را از این سیاره بدست آورد و ۴۵ درصد از سطح عطارد را تصویربرداری کند. این کاوشگر توانست در ۳ نوامبر ۱۹۷۳ م. و در ۲۹ مارس ۱۹۷۴ م. در فاصله ۷۰۵ کیلومتری سطح عطارد قرار گیرد و در ۲۱ سپتامبر ۱۹۷۴ م. برای دومین مرتبه در مجاورت آن قرار گرفت و سپس در ۱۶ مارس ۱۹۷۵ م. برای سومین مرتبه از کنار عطارد از فاصله ۲۰۳ کیلومتری عبور کرد و طی این سه مرحله بیش از ۲۷۰۰ تصویر که ۴۵ درصد عطارد را می پوشاند، تهیه نمود. متأسفانه در هر سه گردش مارینر از یک نیمکره و از همان محل قبلی عکسبرداری کرد. مارینر ۱۰ در سفر خود از معاونت جاذبه زهره کمک گرفت تا مدار خود را عوض کند.

۲.۹.۲ مسنجر

مسنجر دومین کاوشگر عطارد بود. از آنجا که پروژه های اکتشافی ناسا بعد از چند دهه، در مقایسه با بازدهی شان بسیار پرهزینه شناخته شد لذا بر سه خصوصیت محوری شدیداً متمرکز، کم هزینه و سریع ساخت استوار شدند. در راستای این شعار ناسا در سال ۲۰۰۴ م. برنامه ای طرح ریزی کرد تا با ارسال کاوشگری مداری به عطارد، جزئیات و اطلاعات بیشتری را درباره این سیاره کسب نماید. این کاوشگر که **مسنجر**^{۸۴} نام داشت، در سال ۲۰۰۴ م. از پایگاه کپ کاناورال بطرف عطارد پرتاب شد. نام این فضاپیما مخففی از برنامه های پیش بینی شده برای آنست که عبارتند از کاوش سطح عطارد و محیط فضائی آن و ترکیبات شیمیائی سیاره و تغییرات آن^{۸۵}. برنامه مسنجر در واقع هفتمین برنامه اکتشافی کم هزینه ناسا در نوع خود بشمار می رفت که برای پرواز بر عطارد و کسب اطلاعات بیشتری از منظومه شمسی طراحی شده بود. این کاوشگر اولین فضاپیمائی بود که با هدف شناخت عطارد فرستاده شده است و در برنامه خود می بایست طی یک سال در مداری حول عطارد، اهداف سفر برآورده نماید. اهداف کلی سفر مسنجر عبارت بودند از:

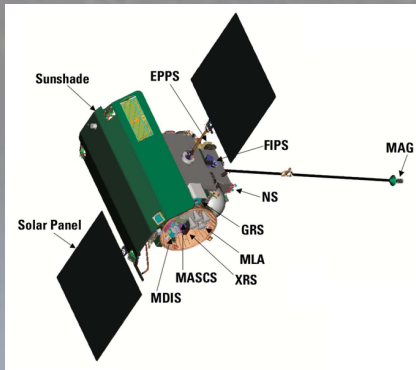
- تعیین ترکیبات سطحی عطارد.

^{۸۲} Mariner 10

^{۸۳} https://en.wikipedia.org/wiki/Mariner_10.

^{۸۴} MESSENGER Explorer

^{۸۵} MErcury Surface Space ENvironment GEOchemistry and Ranging. Refer to Dr. Michael D. Griffin head of the JHU APL Space Department.



شکل ۱۶.۲: تجهیزات علمی مسنجر. این فضاپیما مجهز به نه ماژول کاربردی بود که با یک کامپیوتر مرتبط می شدند.

شکل ۱۵.۲: پرتاب مسنجر در ۱۴ اوت ۲۰۰۴ از پایگاه کیپ کاناورال فلوریدا در ۳ اوت ۲۰۰۴ م. ساعت ۲:۱۵:۵۶ صبح. ناسا. تصویر از بن کوپر.

- تهیه تصاویر رنگی از سطح سیاره و از کل سیاره.
- تهیه نقشه ای از میدان مغاطیسی آن.
- اندازه گیری خصوصیات هسته و تعیین ماهیت اسرارآمیز قطب های یخی عطارد.
- تعیین خصوصیات و ترکیبات اتمسفر رقیق آن.
- تعیین ماهیت مغناطیس سپهر عطارد که شبیه زمین است.

البته برای سفر مسنجر اهداف جانبی دیگری نظیر بررسی تاریخچه تکتونیک صفحه ای عطارد و آتشفشانهای سطح آن و مبداء چگالی بالای زهره و بررسی ترکیب و ساختار پوسته عطارد نیز در نظر گرفته شده بود. این فضاپیمای دارای سپرهای حرارتی از سرامیک بوده که می بایست قادر به تحمل ۴۵۰ درجه سانتیگراد حرارت در کنار خورشید باشند. مسنجر مجهز به سیستم تصویربرداری، تجهیزات اشعه ایکس و فرابنفش، وسائل سنجش ذرات فعال الکتریکی و پلاسما، طیف نگار نوترونی و اشعه گاما، ارتفاع سنج لیزری، مغناطیس سنج و سنجش های علمی رادیوئی است.

کاوشگر مسنجر^{۸۶} در ۳ اوت ۲۰۰۴ م. از پایگاه کیپ کاناورال^{۸۷} واقع در فلوریدا، در ساعت ۲:۱۵:۵۶ صبح به سوی عطارد پرتاب شد. این فضاپیما که توسط **راکت دلتا ۲ بونینگ**^{۸۸} پرتاب گردید، ۱۱۰۰ کیلوگرم (۲۴۲۵ پوند) وزن داشت و توسط آزمایشگاه فیزیک کاربردی دانشگاه **جان هاپکینز**^{۸۹} طراحی و ساخته شده بود. بعد از ۵۷ دقیقه در مدار خورشیدی قرار گرفت و سپس بطور خودکار با قرار گرفتن در دو صفحه شمسی به ارسال اطلاعات پرداخت. اطلاعات داده های ارسالی از مسنجر توسط **ای. پی. ال.**^{۹۰} در هاوایی و کالیفرنیا دریافت گردیده که مدیریت آن به عهده دیوید

^{۸۶} <https://en.wikipedia.org/wiki/MESSENGER>

^{۸۷} Cape Canaveral Air Force Station Fla. Florida; pad 17-B at 2:15:56.537 a.m. EDT.

^{۸۸} EDT aboard a Boeing Delta II rocket

^{۸۹} Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory (APL) in Laurel Md.

^{۹۰} APL in Hawaii and California

گرانت^{۹۱} بود. مسنجر که پس از طی ۷ میلیارد کیلومتر قرار بود در ۲۰۱۱ به عطارد برسد، پس از خروج از زمین با ۱۵ بار گردش حول خورشید، یک بار حول زمین، ۲ بار حول زهره و ۳ بار حول عطارد سفر خود را پیش برد. ابتدا در اوت ۲۰۰۵ با گردش حول زمین، پس از طی ۸۸/۳ میلیارد مایل، در اکتبر ۲۰۰۶ م. و ژوئن ۲۰۰۷ م. دو بار حول زهره گردش کرد و طی این مراحل با استفاده از **معاونت جاذبه^{۹۲}** یعنی کشش زهره، سرعت کافی برای رسیدن به عطارد را کسب نمود. در ژانویه و اکتبر ۲۰۰۸ و سپس سپتامبر ۲۰۰۹ مسنجر سه بار حول عطارد چرخید تا سرعت و مکان مورد نظر برای ادامه ماموریت را در مارس ۲۰۱۱ یافت. طی یک سال گردش در مدار عطارد از مارس ۲۰۱۰ تا مارس ۲۰۱۱، اطلاعات ارسالی از مسنجر بطور مرتب دریافت و پردازش شد. بالاخره قرار بود تا سال ۲۰۱۱ م. آنقدر از سرعتش برگردد سیاره کاسته شود که پس از پروازهایی در ارتفاع کم حول عطارد، بر سطح آن فرود بیاید و این سفر ۹/۴ میلیون مایلی خاتمه یابد با این حال دو ماموریت اضافی بر آن تحمیل شد و تا ۲۰۱۵ ماموریت رباتی خود را ادامه داد. تکنولوژی بکار رفته در مسنجر حاصل ۳۰ سال تجربیات فضایی از ماینر تا مسنجر بود و بنابراین بسیار مجهیز رهسپار این سفر شد. مسنجر ۶۱ آمین فضاپیمایی بود که در **ای. پی. ال.^{۹۳}** ساخته شد و طراحان و سازندگان متعددی در تجهیز آن نقش داشتند.

جمع آوری اطلاعات ارسالی از آن بطور رسمی از ۴ آوریل ۲۰۱۱ آغاز شد و ماموریت نخست خود را در ۲۰۱۲ بطور کامل به پایان رساند. در این مرحله حدود صد هزار تصویر ارسال نمود. این کاوشگر تا شش مارس ۲۰۱۳ تمامی سطح سیاره را تصویربرداری کرده و در ماموریت توسیعی دومش، ارتفاع مداری اش را کاهش دادند و بدین ترتیب بعد از یک دهه سفر، با ارسال داده های ارزنده از فضا و سیاره عطارد، بالاخره در ۳۰ آوریل ۲۰۱۵ بر سطح سیاره سقوط کرد.

۳.۹.۲ بیپی کولومبو

آژانس فضایی اروپا^{۹۴} و **آژانس فضایی ژاپن^{۹۵}** و **موسسه فضایی و علوم ستاره شناسی^{۹۶}** با شرکت همدیگر یک جفت کاوشگر را تحت نام **بیپی کولومبو^{۹۷}** را برای کاوش عطارد طی چند سال دیگر به فضا خواهند فرستاد^{۹۸}. نام بیپی کولومبو از نام ریاضیدان و مهندس ایتالیایی پرفسور ژوزف **بیپی کولومبو^{۹۹}** از دانشگاه **پادوا^{۱۰۰}** گرفته شده است. وی محاسبات مسیر ماینر^{۱۰۱} را انجام داد که بکمک آنها ماینر^{۱۰۲} توانست از دو سیاره زهره و عطارد دیدن کند. کولومبو به ناسا نشان داد که چگونه از جاذبه زهره برای ازدیاد سرعت در این سفر می توان کمک گرفت. وی اولین کسی بود که فهمید تشدید برای چرخش عطارد حول محورش طی سه مرحله امکانپذیر است. به افتخار این دانشمند، این ماموریت عطارد بیپی کولومبو نام گرفت.

^{۹۱} Project Manager David G. Grant

^{۹۲} Gravity assist

^{۹۳} The countdown and launch was managed by the NASA Launch Services Program based at the John F. Kennedy Space Center Fla. The Delta II launch service was provided by Boeing Expendable Launch Systems Huntington Beach Calif. MESSENGER's science instruments were built by APL; NASA Goddard Space Flight Center Greenbelt Md.; University of Michigan Ann Arbor; and University of Colorado Boulder. GenCorp Aerojet Sacramento Calif. and Composite Optics Inc. San Diego provided MESSENGER's propulsion system and composite structure respectively. KinetX Inc. Simi Valley Calif. leads the navigation team. NASA's Jet Propulsion Laboratory Pasadena Calif. manages the Deep Space Network of antenna stations the team uses to communicate with MESSENGER.

^{۹۴} European Space Agency (ESA)

^{۹۵} Japan Space Exploration Agency (JAXA)

^{۹۶} Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)

^{۹۷} BepiColombo

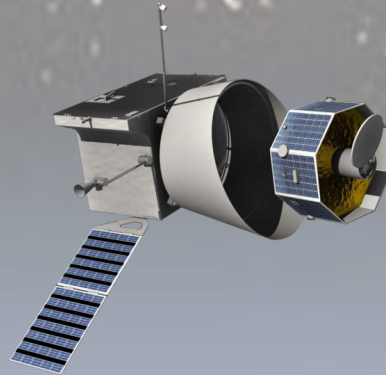
^{۹۸} <https://en.wikipedia.org/wiki/BepiColombo>

^{۹۹} Giuseppe "Bepi" Colombo (1920-1984)

^{۱۰۰} University of Padua Italy



شکل ۱۸.۲: ماژول MPO در ESTEC قبل از سوار شدن بر بپی کولومبو.



شکل ۱۷.۲: مدلی از فضاپیمای بپی کولومبو که قرار است همین ماه بسوی عطارد پرتاب شود.

بپی کولومبو قرار بود در سال ۲۰۱۱ یا ۲۰۱۲ هنگامی که مسنجر روی عطارد قرار دارد پرتاب شود و سفرش سه سال و نیم بطول انجامد و پیش بینی شد در ۲۰۱۵ حول عطارد گردش نماید. لیکن ماموریت به تعویق افتاد و ارسال آن در همین ماه جاری انجام می گیرد.

جدول ۶.۲: جدول زمانبندی ماموریت بپی کولومبو

تاریخ	رویداد	توضیح
۲۰ اکتبر ۲۰۱۸	پرتاب	
۶ آوریل ۲۰۲۰	پرواز حول زمین	یکسال و نیم بعد از پرتاب
۱۲ اکتبر ۲۰۲۰	پرواز نخست حول زهره	
۱۱ اگوست ۲۰۲۱	پرواز دوم حول زهره	۱,۳۵ سال زهره ای بعد از پرواز نخست
۲ اکتبر ۲۰۲۱	پرواز نخست حول عطارد	
۲۲ ژوئن ۲۰۲۲	پرواز دوم حول عطارد	۳ سال عطاردی بعد از پرواز نخست
۲۰ ژوئن ۲۰۲۳	پرواز سوم حول عطارد	بیش از ۴ سال عطاردی پس از دومین پرواز
۵ سپتامبر ۲۰۲۴	پرواز چهارم حول عطارد	پنج سال عطاردی بعد از پرواز سوم
۲ دسامبر ۲۰۲۴	پرواز پنجم حول عطارد	یکسال عطاردی پس از پرواز چهارم
۹ ژانویه ۲۰۲۵	پرواز ششم حول عطارد	کمتر از یکسال پس از پرواز پنجم

۵ دسامبر ۲۰۲۵	ورود به مدار سیاره	تفکیک فضاپیما، حدود ۴ سال پس از پرواز ششم
۱۴ مارس ۲۰۲۶	ورود MPO به مدار تعیین شده ی نهائی	بیش از یکسال از ورود ماهواره به مدار دلخواه
۱ می ۲۰۲۷	انتهای ماموریت تعیین شده	حدود ۶ سال پس از ورود ماهواره به مدار دلخواه
۱ می ۲۰۲۸	انتهای ماموریت فوق برنامه	ده سال عطاردی بعد از ورود ماهواره به مدار دلخواه

بپی کولومبو شامل دو فضاپیما است که سیاره و مغناطیس سپهر را بررسی خواهند نمود، اولی مدارگرد سیاره ای عطارد^{۱۰۱} (MPO) است که توسط ESA ساخته خواهد شد و ترکیبات سطحی و درونی عطارد را بررسی می کند و دومی مدارگرد مغناطیس عطارد^{۱۰۲} (MMO) که توسط ISAS ساخته خواهد شد و ناحیه حول عطارد را برای میدان مغناطیسی بررسی خواهد کرد. این دو فضاپیما در فضای ۵۰۰ درجه فارنهایت حرارت حول عطارد تصاویر و اطلاعات حاصله را برای بررسی به زمین ارسال خواهند نمود. یک ماه نشین^{۱۰۳} کوچک که عنصر سطح عطارد^{۱۰۴} (MSE) نامیده می شود، جزئی از عملیات بپی کولومبو است که می بایست ترکیبات شیمیائی و خواص فیزیکی سطح عطارد بخصوص مقدار آهن موجود در پوسته را اندازه بگیرد، زیرا در حالیکه سیاره هسته عظیمی از آهن دارد، در پوسته آهن دیده نشده است. در این عملیات پرهزینه بعد از پرواز دو فضاپیما برگرد عطارد، مدارگردهای قطبی سیاره را برای حداقل یک سال زمینی مورد بررسی قرار خواهند داد و طی اولین هفته ماه نشین بر عطارد فرود خواهد آمد. یک مدارگرد روی یک موشک سایوز فریگات^{۱۰۵} از پایگاه بایکونور^{۱۰۶} روسیه واقع در قزاقستان پرتاب خواهند شد و مدارگرد دیگر همراه با ماه نشین با یکی از موشکهای آریان۵ سازمان فضائی اروپا از کورور^{۱۰۷} در گویان فرانسه پرتاب خواهد شد.

بپی کولومبو برای جلوگیری از جاذبه خورشید، نیاز به ترمزهایی دارد که از حالت جدید ترمز با نام موتور پیشران^{۱۰۸} الکتریکی خورشیدی بهره می گیرد و در جاذبه ماه، زمین، عطارد و زهره استفاده می شود. بپی کولومبو اکنون در حال طراحی است و ممکن است در برخی جزئیات تغییراتی ایجاد شود. از آنجا که تکنولوژی اخیر می گوید بازگشت یک فضاپیما در آن اوج گرما غیرممکن است، لذا برای مقاوم بودن آن در برابر حرارت تجهیزاتی فراهم شده که در عین حال بتواند برای یخ نیز جستجو کند. مستجر از معاون جاذبه کمک می گیرد، اما بپی کولومبو علاوه بر استفاده از معاون جاذبه از پیشران^{۱۰۸} الکتریکی خورشیدی (SEP) نیز بهره می برد. موتور پیشران^{۱۰۸} الکتریکی خورشیدی یا موتور پیشران^{۱۰۸} یونی بدین صورت عمل می کند که وقتی الکترونهای تولید شده توسط صفحات خورشیدی، به باریکه ای از اتم های گزنون یک الکترونی برخورد می کنند، این اتمهای گزنون باردار مثبت طی یک جریان مداوم از یک محفظه بیرون رانده می شوند. قوانین بقای فیزیک تصریح می کنند که اگر یون ها در یک مسیر بیرون رانده شوند، فضاپیما از جهت دیگر حرکت خواهد نمود. با وجود اینکه قدرت این رانش هیچگاه قابل مقایسه با موشک های رانشی نیست اما در طی زمان پرواز یک فضاپیما، می توان با استفاده از آن سرعت فضاپیما را افزایش داد و از هزینه ها صرفه جویی نمود. بنابراین سفر بپی کولومبو به نصف مدت کاهش یافته و به ۵/۲ سال تقلیل می یابد. ESA سیستم پیشران^{۱۰۸} الکتریکی خورشیدی را روی

^{۱۰۱} Mercury Planetary Orbiter

^{۱۰۲} Mercury Magnetospheric Orbiter

^{۱۰۳} Lander

^{۱۰۴} Mercury Surface Element

^{۱۰۵} Soyuz-Fregat rocket

^{۱۰۶} Russia's Baikonur Cosmodrome in Kazakhstan

^{۱۰۷} ESA's Ariane 5 rockets from Kourou French Guiana

^{۱۰۸} Solar electric propulsion (SEP) engine