

رصد و محاسبه دوره تناوب دورانی سیاره عطارد از طریق ارسال امواج رادیویی

سحر اکرم - چکامه تقی زاده

دبیرستان فرزاتگان تهران

چکیده

اندازگیری سرعت دورانی و دوره تناوب چرخشی سیاره عطارد، از طریق ارسال و دریافت امواج رادیویی، توسط تلسکوپ رادیویی شبیه سازی شده CLEA انجام شده است. این رصد در تاریخ های 2/19، 3/19، 4/19 و 5/19 2003 میلادی صورت گرفته و طیف امواج الکترومغناطیسی بازگشتی از سطح این سیاره که به خاطر حرکت دورانی آن، به دلیل اثر دوپلر، تغییر کرده، مورد مطالعه قرار گرفته است. این تغییرات، که به دلیل کروی بودن سیاره و چرخش دورانی، به صورت انتقال به قرمز و انتقال به آبی در دو لبه مقابل از دید ناظر می باشد، با اندازه گیری محل برخورد موج ارسالی از روی زمان بازگشت موج و مقایسه آن با طول موج ارسالی، محاسبه و از روی آن، دوره تناوب چرخشی عطارد 59/6 روز بدست آمد.

مقدمه

به دلیل کوچک بودن سیاره عطارد، نور کمتری از سطح آن به ما می رسد و بدلیل نزدیکی بودن به خورشید موقعیت کمتری برای دیدن آن در شب وجود دارد.

اندازه گیری سرعت آن فقط با رصد دیدگانی از روی زمین، مشکل است. اولین کار، به کار گرفتن تلسکوپ رادیویی برای فرستادن امواج الکترومغناطیسی با فرکانس مشخص به طرف سیاره عطارد است و سپس ثبت طیف بازگشتی. با توجه به فاصله و موقعیت زمین و عطارد نسبت به هم، موج فرستاده شده می تواند بین 10 الی 30 دقیقه مسیر رفت و برگشت از زمین تا عطارد را طی کند. هنگامی که امواج فرستاده شده به عطارد می رسند با تمام سطح آن برخورد می کنند.

کوتاهترین فاصله بین سطح این دو سیاره، مرکز قرص مشاهده ای عطارد است که خط واصل مرکز زمین و عطارد از آن می گذرد و اولین موج در این نقطه به عطارد برخورد می کند. امواج با فاصله زمانی کوتاهی (در حد چند میکروثانیه) به قسمت های دیگر سطح عطارد که به لبه های کره نزدیک تر است برخورد می کند.

فرکانس امواج فرستاده شده با فرکانس امواج دریافت شده متفاوت است. این تفاوت ناشی از برخورد امواج به سطح متحرک سیاره عطارد است. به این ترتیب اثر دوپلر مشاهده می شود.

دوپلر، ریاضی دان چک، (در سال 1842 میلادی) دریافت که طول موج نور در اثر حرکت تغییر می کند. اگر منبع موج در حال نزدیک شدن به ما باشد، ما طول موج آن را کوتاه تر می بینیم و تمام خطوط (جذب یا نشری) موجود در طیف آن نیز به سمت آبی طیف با طول موج کوتاه تر منتقل می شود که به این اثر، انتقال به آبی گویند. حال اگر امواج در حال دور شدن از ما باشد طول موج آنها بیشتر شده و از این رو طیف آن به سمت قرمز انتقال می یابد. به این اثر انتقال به قرمز می گویند.

در این جا فرکانس های بدست آمده متناسب با سرعت چرخش عطارد است. البته در این محاسبات حرکت مداری عطارد هم دخیل است اما چون این حرکت همزمان برای تمام قسمتهای آن روی می دهد، می توان از آن صرف نظر کرد.

رصد

این رصد در تاریخ های 2/19، 3/19، 4/19 و 5/19 2003 میلادی و توسط تلسکوپ رادیویی شبیه سازی شده CLEA صورت گرفته است. با توجه به این که عطارد، سیاره است و سیاره ها دارای بعد و میل متفاوت در زمان های مختلف هستند، باید برای هر تاریخ بعد و میل عطارد را پیدا کنیم. این مقادیر را به همراه فاصله عطارد در زمان رصد، از روی تقویم های نجومی بدست آوردیم. فاصله عطارد در زمان رصد، مدت زمان لازم برای رفت و برگشت موج رادیویی تا سیاره را برای ما مشخص می کند.

بعد از تنظیم تلسکوپ بر روی مختصات مورد نظر (مختصات عطارد)، موج ارسالی را با فرکانس 430000 مگاهرتز، به سمت سیاره می فرستیم. بعد از گذشت مدت زمان لازم برای رفت و برگشت موج ارسالی، که با توجه به زمان رصدی بین 10 تا 30 دقیقه ممکن است طول بکشد، اولین طیف موجی که دریافت می کنیم مربوط به مرکز قرص عطارد است و طیف امواجی که به دلیل کروی بودن سطح عطارد با تأخیر از نواحی دیگر سطح سیاره بازمی گردند در 4 بازه زمانی با مدت زمان تأخیری 120، 210، 300 و 390 میکروثانیه نسبت به موج بازگشتی از مرکز قرص سیاره، ثبت می شوند.

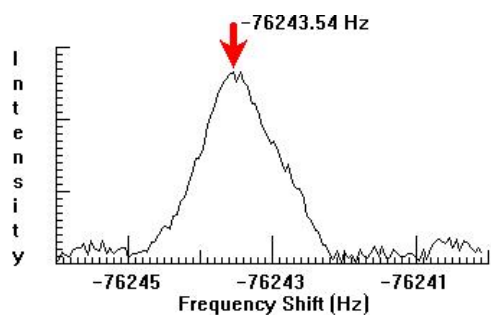
طیف موج های دریافتی که فرکانس بر حسب شدت را نشان می دهند، دارای قله و یا قله های مشخصی در کنار دیگر نوسانات موج در دیگر فرکانس ها هستند که مربوط به برخورد موج به یک نقطه بخصوصی بر سطح سیاره است. اولین طیف موج که از مرکز قرص برگشته دارای یک قله و بقیه طیف موج های برگشتی غیر از قله مرکزی دارای دو قله در سمت چپ و راست قله مرکزی هستند که مربوط به موج های برخوردی با نواحی بین مرکز تا لبه های قرص، در سمت چپ و راست مرکز، می باشند. فرکانس قله های چپ و راست به دلیل اثر دوپلر، نسبت به موج ارسالی دارای کاهش و افزایش هستند.

این اندازه گیری ها 4 بار و به فاصله زمانی یک ماه برای هر اندازه گیری، انجام شد، تا با اندازه گیری تغییرات طول موج در موقعیت های مختلف عطارد، خطای محاسبه دوره تناوب این سیاره تا حد امکان، کاهش یابد.

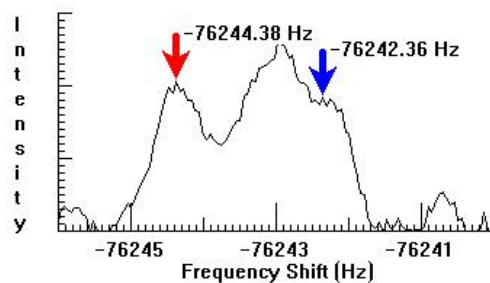
با توجه به رصد های انجام شده در ماه فوریه، نمودارهای 1 تا 5، طیف موج بازگشتی از سطح عطارد را، به ترتیب از نقطه مرکزی قرص سیاره و به فاصله 120، 210، 300 و 390 میکروثانیه بعد از آن را نشان می دهند. فرکانس های جابجا شده در اثر دوپلر که مربوط به دو طرف سیاره (یکی در حال دور شدن و دیگری در حال نزدیک شدن) است، بر روی این نمودارها مشخص شده اند. زمان ارسال موج توسط تلسکوپ و موقعیت سیاره عطارد در این لحظه نیز، در کنار این نمودارها آورده شده است.

نمودارهای 6 تا 10، 11 تا 15 و 16 تا 20 نیز موارد فوق را برای ماه های مارس، آوریل و مه میلادی نشان می دهند. همچنین، جدول های 1 تا 4، فرکانس های جابجا شده را که از روی این نمودارهای طیفی بدست آمده، مشخص کرده اند. در این جداول، لحظه بازگشت موج از مرکز قرص سیاره، صفر، و زمان رسیدن بقیه موج های بازگشتی از سطوح بین مرکز تا لبه قرص سیاره، از این زمان صفر (به عنوان مبداء) بر حسب میکروثانیه، محاسبه شده اند.

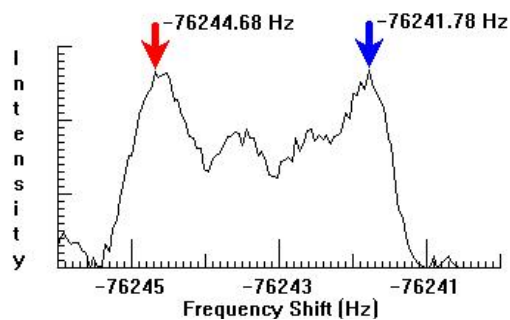
نمودار 1



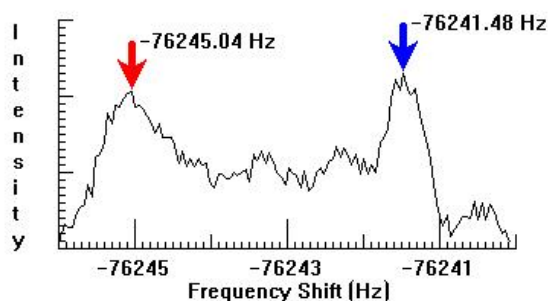
نمودار 2



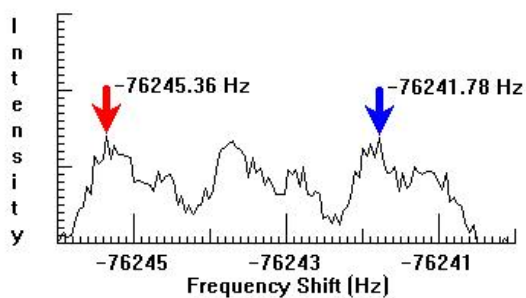
نمودار 3



نمودار 4



نمودار 5



February 19, 2003 UT: 16 Hrs, 54 Min, 38.0 Sec

Julian Date: 2452690.204607

Geocentric Position of Mercury:

Right Ascension: 20 Hrs, 47 Min, 57.3 Sec

Declination: -19 Deg, 15 Min, 28 Sec

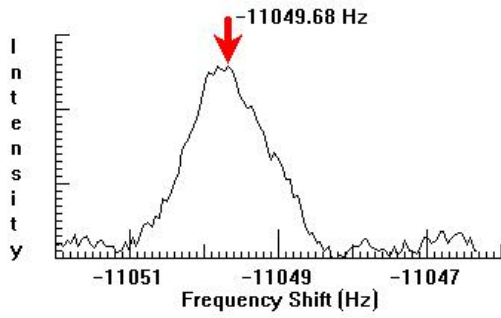
Distance: 1.213872 AU (10.095 Light Minutes)

Ecliptic Longitude: 309 Deg, 10 Min, 39 Sec

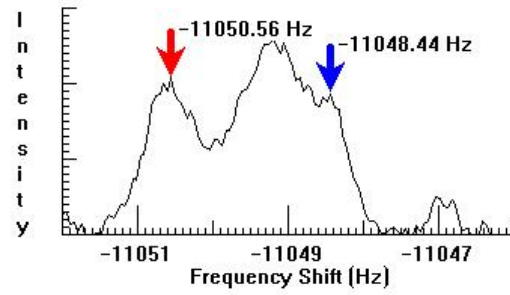
Ecliptic Latitude: -1 Deg, 20 Min, 46 Sec

نمودارهای طیفی حاصل از رصد و طیف سنجی در تاریخ 2003 / 2 / 19 میلادی

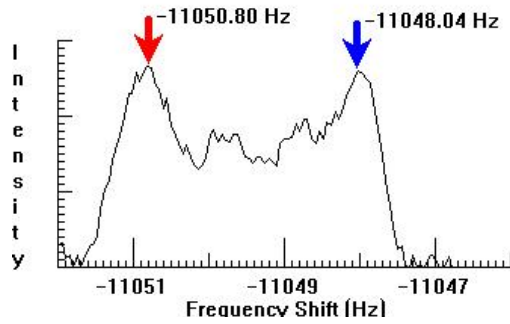
نمودار 6



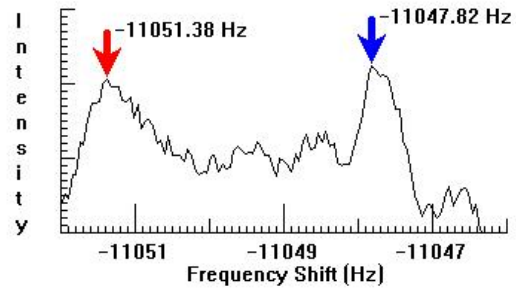
نمودار 7



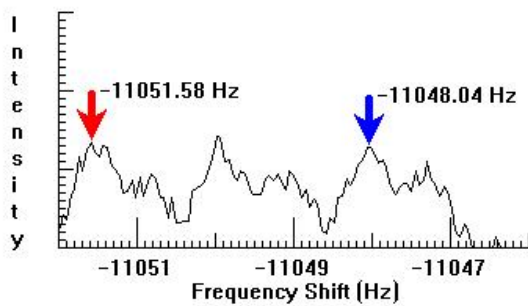
نمودار 8



نمودار 9



نمودار 10



March 19, 2003 UT: 16 Hrs, 22 Min, 38.3 Sec

Julian Date: 2452718.182388

Geocentric Position of Mercury:

Right Ascension: 23 Hrs, 49 Min, 27.4 Sec

Declination: -2 Deg, 53 Min, 31 Sec

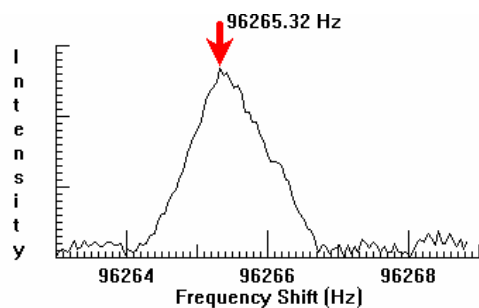
Distance: 1.358633 AU (11.299 Light Minutes)

Ecliptic Longitude: 356 Deg, 25 Min, 55 Sec

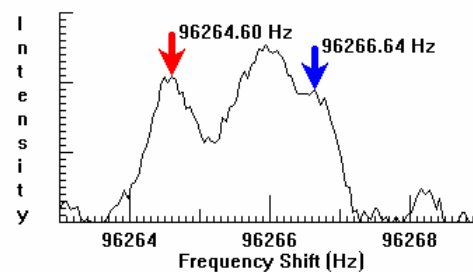
Ecliptic Latitude: -1 Deg, 36 Min, 20 Sec

نمودارهای طیفی حاصل از رصد و طیف سنجی در تاریخ 19 / 3 / 2003 میلادی

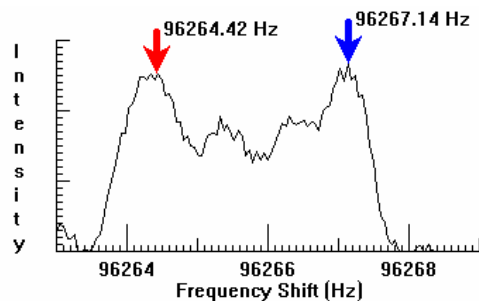
نمودار 11



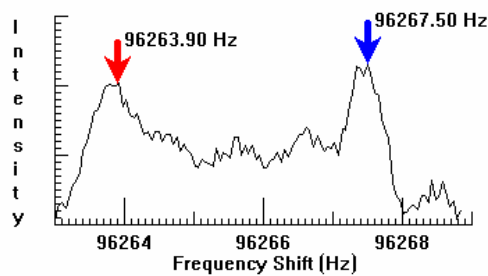
نمودار 12



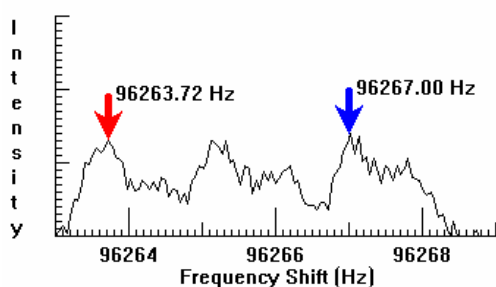
نمودار 13



نمودار 14



نمودار 15



April 19, 2003 UT: 16 Hrs, 49 Min, 29.7 Sec

Julian Date: 2452749.201038

Geocentric Position of Mercury:

Right Ascension: 3 Hrs, 00 Min, 00.6 Sec

Declination: 20 Deg, 04 Min, 29 Sec

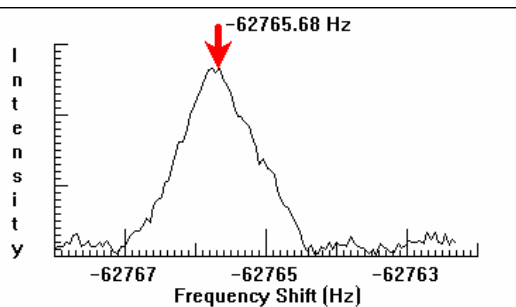
Distance: 0.795447 AU (6.616 Light Minutes)

Ecliptic Longitude: 48 Deg, 19 Min, 11 Sec

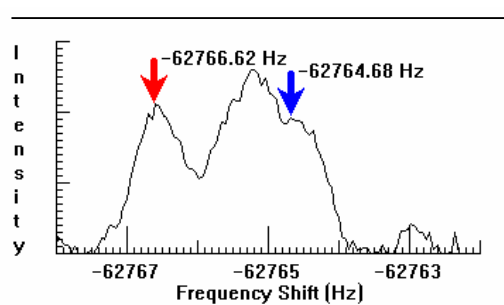
Ecliptic Latitude: 2 Deg, 54 Min, 29 Sec

نمودارهای طیفی حاصل از رصد و طیف سنجی در تاریخ 19 / 4 / 2003 میلادی

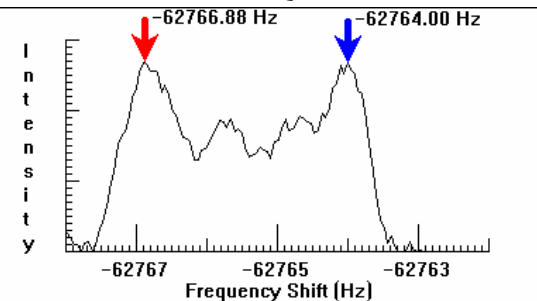
نمودار 16



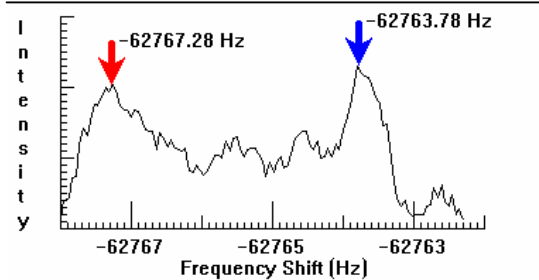
نمودار 17



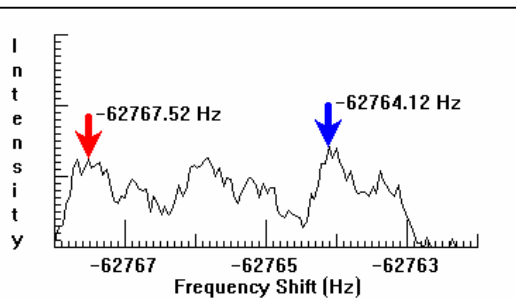
نمودار 18



نمودار 19



نمودار 20



May 19, 2003 UT: 16 Hrs, 06 Min, 21.6 Sec

Julian Date: 2452779.171083

Geocentric Position of Mercury:

Right Ascension: 2 Hrs, 38 Min, 33.9 Sec

Declination: 12 Deg, 25 Min, 03 Sec

Distance: 0.610192 AU (5.075 Light Minutes)

Ecliptic Longitude: 41 Deg, 08 Min, 56 Sec

Ecliptic Latitude: -2 Deg, 53 Min, 49 Sec

نمودارهای طیفی حاصل از رصد و طیف سنجی در تاریخ 19 / 5 / 2003 میلادی

جدول 1 - فرکانس های جابجا شده
مربوط به تاریخ رصدی 2003/2/19

Delta f (Hz)	
t = 0	-76243.54
t = 120 L	-76244.38
R	-76242.36
t = 210 L	-76244.68
R	-76241.78
t = 300 L	-76245.04
R	-76241.48
t = 390 L	-76245.36
R	-76241.78

جدول 2 - فرکانس های جابجا شده
مربوط به تاریخ رصدی 2003/3/19

Delta f (Hz)	
t = 0	-11049.68
t = 120 L	-11050.56
R	-11048.44
t = 210 L	-11050.80
R	-11048.04
t = 300 L	-11051.38
R	-11047.82
t = 390 L	-11051.58
R	-11048.04

جدول 3 - فرکانس های جابجا شده
مربوط به تاریخ رصدی 2003/4/19

Delta f (Hz)	
t = 0	96265.32
t = 120 L	96264.60
R	96266.64
t = 210 L	96264.42
R	96267.14
t = 300 L	96263.90
R	96267.50
t = 390 L	96263.72
R	96267.00

جدول 4 - فرکانس های جابجا شده
مربوط به تاریخ رصدی 2003/5/19

Delta f (Hz)	
t = 0	-62765.68
t = 120 L	-62766.62
R	-62764.68
t = 210 L	-62766.88
R	-62764.00
t = 300 L	-62767.28
R	-62763.78
t = 390 L	-62767.52
R	-62764.12

تحلیل

ابتدا تمام داده‌ها را بر واحدهای مناسب (سیستم متریک) تبدیل کرده و فرکانس امواج برخوردی با سطح عطارد را در 4 مرحله زمانی متفاوت بعد از برخورد اندازه گیری کردیم (390 و 300 و 210 و 120 میکرو ثانیه). برای محاسبه دوره تناوب دورانی عطارد، مراحل زیر را به ترتیب انجام داده ایم. ابتدا لازم است تا موقعیت برخورد امواج 4 طیفی را که به فاصله های زمانی فوق ثبت کرده ایم، بر روی سطح عطارد، مشخص کنیم.

مرحله اول: به دست آوردن اختلاف مسافتی که در هنگام رفت موج فرستاده شده نسبت به مرکز قرص سیاره دارد. این اختلاف مسیر به خاطر کروی بودن سطح سیاره بوده و سبب تأخیرهای زمانی فوق در رسیدن امواج برگشتی می شود. چون مدت زمان تأخیر مربوط به رفت و برگشت است، حاصلضرب سرعت موج (برابر سرعت نور) در زمان تأخیر دریافت موج را نسبت به مرکز قرص سیاره، تقسیم بر 2 می کنیم.

$$d = \frac{(c \cdot \Delta t)}{2}$$

در رابطه فوق، Δt زمان تأخیر دریافت موج نسبت به مرکز قرص سیاره، c سرعت نور و d اختلاف مسیر است.

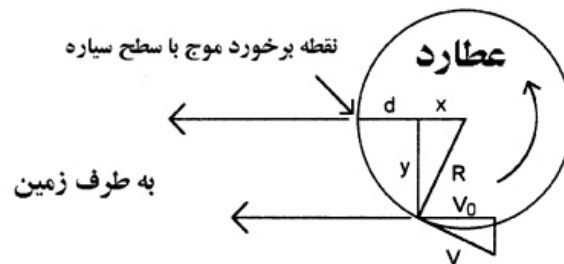
مرحله دوم: محاسبه فاصله ایست، که موازی محور دید ما با مرکز عطارد، تا آن نقطه‌ای که موج فرستاده شده از آن برمی گردد. این در واقع، شعاع عطارد منهای فاصله‌ای که در قسمت قبل محاسبه شد، است. در نتیجه:

$$x = R_{\text{عطارد}} - d, \quad R_{\text{mercury}} = 2/42 \times 10^6 \text{ m}$$

مرحله سوم: را با استفاده از داده‌های قبلی به روش فیثاغورس به دست می آوریم و در واقع همان میزان تغییر مکان نقطه برخورد موج فرستاده شده بر روی قرص عطارد از نظر ناظر زمینی است.

$$y = \sqrt{(R_{\text{mercury}}^2 - x^2)}$$

این پارامترها در شکل زیر (از نمای بالا) نشان داده شده اند.



حال، از روی نمودارهای طیفی حاصل از رصد، تغییرات دوپلری فرکانس را برای هر طیف به طور جداگانه محاسبه و سرعت دورانی عطارد را بدست می آوریم. سپس از مقادیر بدست آمده میانگین می گیریم.

مرحله چهارم: فرکانس‌های برخورد به دو طرف سیاره که به هنگام چرخش به دور خود، با یک سرعت (مساوی) یکی از ما دور شده و یکی به ما نزدیک می شود و در نتیجه اختلاف تغییرات فرکانس در دو طرف فرکانس مرکزی (ارسالی) دو برابر تغییرات فرکانس است که سرعت چرخش عطارد موجب آن است.

$$\Delta f_{\text{total}} = \frac{(\Delta f_{\text{right}} - \Delta f_{\text{left}})}{2}$$

مرحله پنجم: به دلیل این که عطارد هم چرخش دارد و هم حرکتی که کل سیاره نسبت به ما دور و یا نزدیک می شود، تغییرات فرکانس ناشی از چرخش نصف مقدار محاسبه شده در مرحله قبل است. بنابراین:

$$\Delta f_c = \frac{\Delta f_{\text{total}}}{2}$$

مرحله ششم: محاسبه مؤلفه ی سرعت دورانی سیاره عطارد که مربوط به دور و با نزدیک شدن نقاطی بر روی سطح سیاره است که موج در اثر برخورد با آن نقطه، بازگشته است. این مقدار با توجه به رابطه حاکم بر تعریف قرمزگرایی بدست می آید.

$$V_0 = \frac{c \cdot \Delta f_c}{f}$$

که در رابطه بالا، f فرکانس جابجا نشده است. (فرکانس موج فرستاده شده)

مرحله هفتم: سرعت چرخشی سیاره عطارد از روی مؤلفه آن که در مرحله قبل بدست آمد و تنها سرعت راستای دیدمان را داشت، با فاکتور تصحیح کننده هندسی زیر، بدست می آید. محاسبه سرعت نهایی سیاره به سرعت آن در راستای دید و مقدار جابجایی نقطه ای که روی سطح عطارد موجود است در فاصله زمانی مشخص و شعاع آن بستگی دارد.

$$V = V_0 \frac{R_{mercury}}{y}$$

مرحله هشتم: دوره تناوب عطارد را می توان با تقسیم محیط عطارد بر سرعت آن به دست آورد. و با تقسیم آن بر تعداد ثانیه های یک روز می توان مقدار آن را به روز محاسبه کرد.

$$P_{دورانی} = \frac{2\pi R_{mercury}}{V} \quad (\text{بر حسب ثانیه})$$

نتایج

با توجه به روشهای محاسباتی که در قسمت تحلیل توضیح دادیم، تمامی پارامترهای لازم برای محاسبه سرعت دورانی و دوره تناوب دورانی عطارد و در نتیجه خود این دو کمیت را در هر 4 بازه زمانی تأخیری به طور جداگانه محاسبه و مقادیر سرعت دورانی و دوره تناوب چرخشی را از میانگین این 4 مقدار، بدست آوردیم. تمامی محاسبات فوق 4 بار و به فاصله یک ماه از یکدیگر انجام گرفت. جدول های 1 تا 4، این کمیت ها را که از روی داده های رصدی در ماه های فوریه تا مه سال 2003 میلادی بدست آمده، نشان می دهند.

Delta t (Microsecond)	120	210	300	390
d(m)	18000	31500	45000	58500
x(m)	2402000	2388500	2375000	2361500
y(m)	294611.6	389188.6	464515.9	528883.5
Delta f_{total}(Hz)	1.01	1.45	1.78	1.79
Delta f_c(Hz)	0.50	0.72	0.89	0.89
V₀(m/s)	0.35	0.50	0.62	0.62
V(m/s)	2.89	3.14	3.23	2.85
P دورانی (روز)	60.80	56.01	54.45	61.71

سرعت دورانی میانگین (V) (m/s)	3.02	دورانی P میانگین (روز)	58.24 ± 3
--------------------------------------	-------------	-------------------------------	------------------

جدول 1 - نتایج حاصل از رصد 2003 / 2 / 19 میلادی

Delta t (Microsecond)	120	210	300	390
d(m)	18000	31500	45000	58500
x(m)	2402000	2388500	2375000	2361500
y(m)	294611.6	389188.6	464515.9	528883.5
Delta f_{total}(Hz)	1.06	1.38	1.78	1.77
Delta f_c(Hz)	0.53	0.69	0.89	0.88
V₀(m/s)	0.37	0.48	0.62	0.61
V(m/s)	3.03	2.90	3.23	2.80
P دورانی (روز)	58.05	60.6	54.45	62.82

سرعت دورانی میانگین (V) (m/s)	2.99	دورانی P میانگین (روز)	58.98 ± 4
--------------------------------------	-------------	-------------------------------	------------------

جدول 2 - نتایج حاصل از رصد 2003 / 3 / 19 میلادی

Delta t (Microsecond)	120	210	300	390
d(m)	18000	31500	45000	58500
x(m)	2402000	2388500	2375000	2361500
y(m)	294611.6	389188.6	464515.9	528883.5
Delta f_{total}(Hz)	1.02	1.29	1.80	1.64
Delta f_c(Hz)	0.51	0.64	0.90	0.82
V₀(m/s)	0.35	0.45	0.63	0.57
V(m/s)	2.91	2.79	3.27	2.62
P دورانی (روز)	60.45	63.04	53.79	67.21

سرعت دورانی میانگین (V) (m/s)	2.90	دورانی P میانگین (روز)	61.14 ± 7
--------------------------------------	-------------	-------------------------------	------------------

جدول 3 - نتایج حاصل از رصد 2003 / 4 / 19 میلادی

Delta t (Microsecond)	120	210	300	390
d(m)	18000	31500	45000	58500
x(m)	2402000	2388500	2375000	2361500
y(m)	294611.6	389188.6	464515.9	528883.5
Delta f_{total}(Hz)	0.97	1.44	1.75	1.70
Delta f_c(Hz)	0.48	0.72	0.87	0.85
V₀(m/s)	0.34	0.50	0.61	0.59
V(m/s)	2.77	3.12	3.17	2.71
P دورانی (روز)	63.50	56.36	55.49	64.91

سرعت دورانی میانگین (V) (m/s)	2.94	دورانی P میانگین (روز)	60.06 ± 4
--------------------------------------	-------------	-------------------------------	------------------

جدول 4 - نتایج حاصل از رصد 2003 / 5 / 19 میلادی

که در نهایت ، با گرفتن میانگین از سرعت های دورانی و دوره های تناوبی چرخشی سیاره عطارد که از 4 رصد جداگانه بدست آمده اند، این مقادیر بصورت زیر گزارش می شوند :

سرعت دورانی سیاره عطارد : 2.96 متر بر ثانیه

دوره تناوب دورانی سیاره عطارد : 59.6 ± 5 روز

مقایسه مقدار بدست آمده با مقادیر محاسبه شده قبلی آن توسط دیگران (هلین ، 2002) ، دقت بالای اندازه گیری ها را از طریق امواج رادار نشان می دهد.

قدردانی

در پایان، از مسئولین طرح CLEA که به ما امکان دسترسی به تلسکوپ را دادند و نیز از آقای شاهین جعفرزاده که ما را راهنمایی کردند و همچنین از مسئولین محترم دبیرستان فرزندگان که امکانات لازم را برای ما فراهم آوردند و ازدوست عزیزمان خانم ساغر اسدی ، نهایت تشکر و سپاسگزاری را داریم.

منابع

Marschall, L. A., Hofman, H. 2001, Student Manual of Mercury Rotation, CLEA
Jaramillo, B. J., Holdaway, R. 2003, Astronomical Almanac, The Stationery Office
Holin, I. V. 2002, 65th Annual Meteoritical Society Meeting, 1345+

مبانی نجوم و اخترفیزیک، ترجمه دکتر محمد تقی عدالتی
ساختار کهکشانها ، نوشته پاول هاج