

كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة بابل

علم الفلك

د. انتهاء الجبوري



drphysics990@gmail.com

المصادر References

الكتب المنهجية:

1. فيزياء الجو والفضاء : (الجزء الاول) علم الفلك، تأليف: حميد مجول النعيمي و فياض النجم، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي العراقية، 1981.
2. فيزياء الجو والفضاء: (الجزء الثاني) علم الفلك، تأليف: حميد مجول النعيمي و فياض النجم، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي العراقية، 1981.
3. مقدمة للمجموعتين الشمسية والنجمية ، تأليف: محمد صالح النواوي و أيمن سعيد كردي وحسين علي الطرابلسي، 2008.
4. الفلك، تأليف: محمد صالح النواوي ، مطبوعات جامعة الإمارات العربية المتحدة، 1997.

References

المصادر الخارجية

1. Andrew Fraknoi, David Morrison, Sidney C. Wolff. "Astronomy". OpenStax Publishers. Rice University 2018.
2. Barbara Ryden. "Introduction to Cosmology". Cambridge University Press 2017.
3. Hannu Karttunen. Pekka Kroger. Heikki Oja. Markku Poutanen. Karl Johan Donner. "Fundamental Astronomy". Springer. 2017.
4. Thomas T Arny & Stephen E. Schneider. “ Explorations An Introduction To Astronomy”. Mac Graw Hill, Education. 2017.
5. Charles Keeton. "Principles of Astrophysics". Springer. 2014.
6. Dan Maoz. “Astrophysics in a Nutshell: AKA Basic Astrophysics”. Princeton University Press 2007.

Lecture 1

المقدمة Introduction

علم الفلك

يطلق على **حقل المعرفة الذي يهتم بدراسة الأجرام السماوية السابحة في الكون والظواهر المرتبطة به بعلم الفلك (Astronomy)** وهو مصطلح مأخوذ من العبارة الإغريقية (astronomia)، التي تتألف من جزئين هما (nomos + astron) وتعني حرفياً " قانون النجوم". يختص علم الفلك بدراسة الأجرام في الفضاء خارج الأرض كالنجوم، والكواكب، والنيازك، والشهب، ولا ترتبط الدراسات الفلكية بالأجرام السماوية فقط، بل إنها تقدم معلومات جوهرية حول نشأة الكون، وكيفية تطوره حيث تسعى النظريات الفلكية إلى تفسير الظواهر المرتبطة بالكون. يعالج علم الفلك جميع العلوم السماوية بفروعها المختلفة، فهو يجابو على الكثير من الأسئلة التي حيرت الإنسان ومنها كيف بدأ الكون وكيف ينتهي وهل له بداية ونهاية، وما موقع الإنسان في الكون، وهل الإنسان هو الكائن الوحيد أم إن هناك مخلوقات أخرى في هذا الكون.

موقع ووظائف علم فيزياء الفلك بين العلوم والموضوعات التي يدرسها

علم الفلك في وادي الرافدين

كان البابليون أول من اهتم بعلم الفلك، حيث كان الدافع لذلك هو قيامهم بعبادة الأجرام السماوية، وقد توصلوا إلى نتائج جديرة بالاهتمام والذكر، حيث أنهم أول من طبق علم المثلثات في تفسير دورة القمر وجعلوا محيط الدائرة 360 درجة، وكذلك قسموا السنة إلى 365 يوماً واليوم إلى 24 ساعة والساعة إلى 60 دقيقة والدقيقة إلى 60 ثانية، ثم جعلوا أيام الأسبوع 7 أيام، وعُد أول يوم يبدأ به الشهر هو أول أيام الأسبوع ولهذا كان الشهر عندهم يعادل أربعة أسابيع. أما الآلات التي استعملها البابليون فهي الساعة الشمسية والساعة المائية لقياس الوقت ليلاً والساعة الكروية التي تصور قبة السماء بشكل معكوس وبعض الآلات البسيطة الأخرى. لقد أبدع البابليون في رصد الكواكب والنجوم وكذلك تنبؤا بظاهرتي الكسوف والخسوف مكتشفين دورة الساروس (Saros) وغير ذلك من الاكتشافات الفلكية التي تدل على دقة أرصادهم بالرغم من عدم توفر أجهزة الأرصاد الدقيقة التي لم تتطور إلا بعد ما يقارب الثلاثة آلاف سنة. أما الكلدانيون فقد أبدعوا بعلم الفلك بعدما ورثوا حضارة العراق وأقاموا دولتهم في بابل سنة 625 ق. م.، فربطوا أيام الأسبوع بالشمس والقمر والكواكب السيارة، ثم حسبوا أوقات الخسوف والكسوف وبينوا إن طول السنة هو 365 يوماً و6 ساعات و15 دقيقة و41 ثانية أي أكثر من طول السنة الحقيقية بـ 26 دقيقة 55 ثانية.

علم الفلك في وادي النيل

وكان للفراعنة في وادي النيل شأن كبير في علم الفلك والتنجيم، حيث كانوا يتخذون من الشمس والقمر وبعض الكواكب السيارة آلهة يقدسونها. فقد اشتغل المصريون في علم الفلك منذ بدء تاريخهم في الألف الثالث قبل الميلاد نتيجة لحاجتهم للسيطرة على فيضان مياه نهر النيل، عن طريق معرفة مدة ابتداء هذا الفيضان، وذلك عندما أدركوا إن الفيضان مرتبط بالشمس (الفصول) وليس بالقمر، كما عرف المصريون المزولة الشمسية وكيفية قراءتها وكذلك قسموا السنة إلى 365 يوماً، ثم أضافوا لها خمسة أيام أسموها بالأيام السماوية المقدسة وجعلوها أعياد يحتفلون بها. كما أضافوا سنة واحدة إلى كل 1460 سنة عندما وجدوا أن السنة تزيد بمقدار ربع يوم على الأيام البسيطة وعرفوا سر هذا نتيجة لرصدهم النجم الذي يتفق ظهوره مع فيضان نهر النيل والمعروف بالشَّعْرَى اليمانية (Sirius).

علم الفلك والحضارة العربية

لقد اهتم العرب بهذا العلم اهتماماً كبيراً مما أدى إلى معرفة المواقع الجغرافية للبلدان وحركة الشمس في البروج الشفق الأساسية وذلك لتعيين أوقات الصلاة من بلد إلى بلد ومن يوم إلى آخر، إضافة إلى أنهم وضعوا الشروط الخاصة لرؤية الهلال فوضعوا حسابات وطرق جديدة لم يتطرق إليها احد قبلهم لأجل معرفة أحكام الصوم التي تستند على رؤية الهلال، كذلك قام العرب بقياس المسافة بين الكواكب والأرض باستعمال ظاهرة اختلاف المنظر والتي لازالت تستعمل في الوقت الحاضر، بالرغم من اختلاف الأجهزة، واكتشف العرب كروية الأرض، كما ضبطوا حركة الشمس وتداخل مدارها مع مدارات أخرى ورصدوا الاعتدالين الربيعي والخريفي.

الآلات الفلكية عند العرب (للاطلاع)

إن أهم الآلات والأجهزة الفلكية التي استعملها العرب هي:

1- الأسطرلاب Astrolabe

يتركب الإسطرلاب من قرص معدني مُقسم إلى درجات، ويدور على هذا القرص عداد ذي ثقبين في طرفه، وعند استعماله يعلق شاقولياً بحيث يوجه العداد نحو الجرم السماوي، فمتى ما مرت الأشعة من الثقبين قيس ارتفاع ذلك الجرم من الحد الذي وقف العداد عليه، ولقد جرت العادة في ذلك الوقت أن يقسم الفلكي العربي الدقيقة إلى اثنتي عشر جزءاً يمثل كل قسم خمس ثوان. ولقد استعمل الإسطرلاب لأغراض كثيرة منها: معرفة البرج الذي تكون فيه الشمس وعدد الدرجات التي قطعتها منه وكذلك قياس ارتفاع الأجرام السماوية ومعرفة نوع الكوكب الذي يتم رصده من خلال شبكة الإسطرلاب، وتحديد أوقات الصلاة، ومعرفة مغيب الشفق، وطلوع الفجر، ومعرفة القبلة في الليل والنهار، والإسطرلاب على أنواع عديدة منها الكروي والهلالي والزورقي.

2- المزولة الشمسية Sundial

تُعد المزولة من أروع منجزات العرب في علم الفلك من حيث حساب الوقت في النهار بصورة دقيقة بواسطة ظل الشمس، ولقد عُرفت المزولة منذ أزمان قديمة جداً إلا أنها لم تكن دقيقة ولا تقوم بتأشير الوقت بصورة صحيحة لمختلف ساعات النهار وفي مختلف فصول السنة. أما العرب فلقد صححوا المزولة وجعلوها دقيقة لحساب الوقت، والمزولة على نوعين هما الثابتة والمتحركة.

3 - ذات السمت والارتفاع

وهي إحدى الآلات التي اخترعها المسلمون وتكون على هيئة نصف حلقة قطرها يكون سطحاً من سطوح اسطوانة متوازية السطوح ويقاس بها السمت وارتفاعه. ولقد اشتهر علماء العرب بعمل الجداول الفلكية والتي أطلق عليها اسم الأزياج وهي قياسات حسابية تعتمد على قوانين عددية تخص الكواكب السيارة عند حركتها في السماء بحيث يُعرف بها الكواكب في مداراتها في أي وقت. ولقد ظهر الكثير من العلماء العرب الذين تركوا أثراً جليلاً ومؤلفات قيمة في علم الفلك ومنهم محمد بن جابر بن سنان المعروف بالبتاني 929م، الذي اشتهر بدقة الأرصاد، وقياس البعد بين الشمس والأرض، ووضع نظرية لتحديد شروط رؤية القمر الوليد، كذلك أعطى حلولاً رائعة لمسائل المثلثات الكروية بواسطة المسقط التقريبي، وقد ظهر بعد البتاني العديد من العلماء ممن لايسع المجال لذكرهم أبرزهم البيروني والخوارزمي وموسى بن شاكر.

المرصد الفلكية عند العرب

كان هناك الكثير من المراصد الفلكية من أبرزها:

1- في بغداد

أ- مرصد المأمون في الشماسية (منطقة الصليخ، شرق بغداد).

ب- مرصد موسى بن شاكر.

ج- مرصد سامراء.

د- المرصد الشرقي.

هـ- مرصد بني الأعلم.

2- في البلاد الأخرى

بنى الخليفان الفاطميان، العزيز والحاكم بأمر الله مراصد عديدة في القاهرة، كما بنى السلاجقة في نيسابور شرقي إيران مرصد ملك شاه، ومن أشهر المراصد وأكبرها مرصد (مراغه) الذي بناه نصير الدين الطوسي في زمن هولاء وأصبح معهداً للأبحاث الفلكية وزوده بالآلات رفعت مكانة المرصد، ثم نقل إلى مكتبته أربع مائة ألف مجلد كانت قد سرقت من مكتبات بغداد وبلاد بابل. كما أن هناك الكثير من المراصد الأخرى الخاصة والعامّة في مصر والأندلس وغيرها كمرصد ابن الشاطر ومرصد البتاني في الشام ومرصد الدينوري في أصفهان.

علم الفلك في عصر النهضة

لقد بزغت شمس الحضارة العربية على الغرب من الأندلس والمشرق العربي من خلال التجارة والحروب الصليبية، ففي الوقت الذي أفلت حضارة العرب بتأثيرات الغزوات الأجنبية بدأت الحضارة الغربية تزدهر بتأثير التراث العلمي العربي الذي نقله الغربيون ومن أثار ذلك على علم الفلك هو ظهور علماء لامعين في عصر النهضة أمثال كوبرنيكوس وبراخي وكبلر ونيوتن وغاليليو. لقد وضع الحجر الأول في بنيان علم الفلك الحديث العالم نيكولاس كوبرنيكوس فلقد:

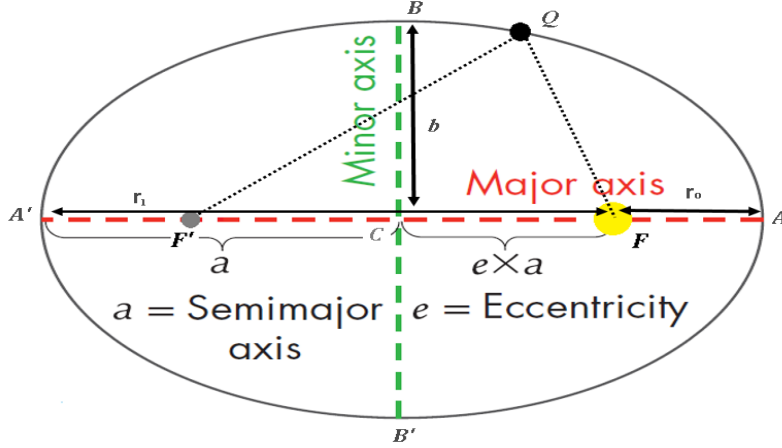
- احيا نظرية الكواكب السيارة.
- ووضع نظامه الفلكي المبتكر الذي غير نظرة الانسان الى الكون.
- لقد اقترح نظرية تركز الشمس التي تدور الارض حولها كما تفعل الكواكب السيارة الاخرى والتي استخدمها بطريقة صحيحة لتفسير الشروق والغروب اليومي .

ولقد بعثت اراء كوبرنيكوس نشاط جديدا في علم الفلك .وبعده جاء الفلكي نيكو براهي الذي قضى حوالي عشرون عام في مراقبة الآف النجوم وتسجيل كل ما يلاحظه عنها في جداول تعتبر لدقتها الى يومنا هذا مرجعا قيما يرجع اليه علماء الفيزياء والفلك. لقد كان موهوبا في استنباط الالات والوسائل التي تساعد في قياساته وتجاربه. وبعده جاء تلميذه كبلر الذي كان موهوبا بالرياضيات ولايميل الى القياسات والتجارب بل اعتمد على جداول استاذة براهي وحلل الجداول الطويلة من ارصاد براهي بالاضافة الى بعض القياسات التي اجراها بنفسه حتى اصبح احد علماء الفيزياء والفلك. فلقد امضى سنين طويلة في محاولة معرفة النظام الذي تسلكه الكواكب بدورانها حول الشمس ونتيجة لابعائه خرج بثلاثة قوانين مشهورة بأسمه يصف فيها حركة الكواكب السيارة حول الشمس.

قوانين كبلر Kepler's Laws

1- القانون الأول (قانون المدارات) First Law (The law of orbits)

ينص هذا القانون على أن جميع الكواكب السيارة تدور حول الشمس في مدارات قطع ناقص (اهليلجية) (Ellipse) بحيث تقع الشمس في إحدى بؤرتيه، كما في الشكل (1).



الشكل (1) يمثل دوران كوكب حول الشمس (F) حيث نشاهد الكوكب في أقرب نقطة (A) من الشمس تدعى (حضيض الكوكب)، وعندما يكون الكوكب في أبعد نقطة (A') عن الشمس فتدعى (أوج الكوكب).

القطع الناقص (أو المدار الاهليلجي) من الأشكال الهندسية المعروفة ولعل أبسط تعريف له بأنه المسار الذي ترسمه نقطة بحيث يكون مجموع بعدها عن نقطتين ثابتتين يساوي كمية ثابتة. في الشكل (1) لو فرضنا نقطتين ثابتتين F, F' وفرضنا نقطة Q تتحرك بحيث يكون مجموع بعدها عن F, F' مساويا كمية ثابتة فإن النقطة Q ترسم قطعاً ناقصاً. والنقطتان F, F' تعرفان ببؤرتي القطع الناقص، والكمية الثابتة ($QF + QF'$) تعرف بطول المحور الأكبر وهو المسافة AA' في الرسم، أما المحور الأصغر فهو المسافة BB' ونصف المحور الأكبر للقطع الناقص نرمز له بالرمز a ، والنقطة C التي تنصف المحور الأكبر والتي تسمى بمركز القطع الناقص.

من خلال حركة جسم حول الشمس في مدار قطع ناقص حيث تقع الشمس في إحدى بؤرتي القطع الناقص؛ فإن بعد الجسم عن الشمس يتغير من وقت لآخر أثناء دورته حول الشمس. إذا فرضنا أن الشمس تقع في البؤرة F فإن موقع الجسم حينما يكون أقرب ما يمكن من الشمس يسمى بالبعد الحضيضي (Perihelion Distance) r_0 ، بينما يسمى موقع الجسم حينما يكون أبعد ما يمكن من الشمس بالبعد الأوجي (Aphelion Distance) r_1 . من الشكل (1) يمكن ملاحظة أن:

$$r_0 = FA$$

$$= CA - CF$$

$$= a - ae = a(1 - e) \quad (\text{اثبت هذه العلاقة})$$

وبالمثل

$$r_1 = a(1 + e) \quad (\text{اثبت هذه العلاقة})$$

ويمكن الملاحظة وبسهولة أنه كلما صغرت المسافة FF' كلما اقترب شكل القطع من شكل الدائرة بينما كلما زادت المسافة FF' كلما زادت ببيضاوية القطع. يطلق على ببيضاوية القطع كلمة اهليلجية القطع أو لامركزية القطع. وعادة يستعمل الرمز e لتعريف اهليلجية المدار ويسمى بالشذوذ المركزي (Eccentricity)، وهي النسبة بين بعد البؤرة F عن المركز C إلى نصف المحور الكبير أو CA ، وتعطى كالتالي :

$$e = \frac{CF}{CA} \Rightarrow e = \frac{CF}{a}$$

OR

$$e = \frac{CF}{CA'} \Rightarrow e = \frac{CF}{a}$$

OR

OR

$$e = \frac{CF'}{CA'} \Rightarrow e = \frac{CF'}{a}$$

OR

$$e = \frac{CF'}{CA} \Rightarrow e = \frac{CF'}{a}$$

OR

$$e = \frac{r_1 - r_o}{r_1 + r_o} \Rightarrow e = \frac{CF'}{a}$$

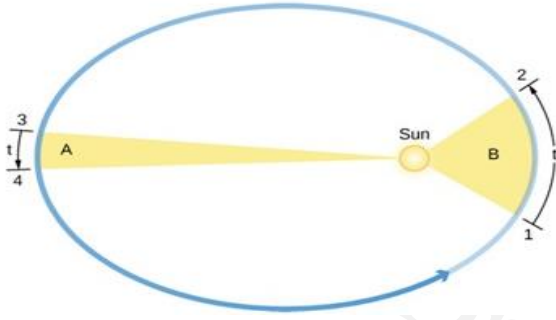
(1)

من علاقة (1) يتضح أن قيمة e للقطع الناقص دائماً أقل من 1 (لماذا؟). كما نلاحظ أن الدائرة حالة خاصة من حالات القطع الناقص والتي فيها $e = 0$ حيث تنطبق بؤرتي القطع على مركزه ويكون حينئذ نصف المحور الأكبر للقطع مساوياً لنصف قطر الدائرة. ومن الجدير بالذكر أن مدارات الكواكب - باستثناء أقربها (عطارد) وأبعدها (بلوتو سابقاً) من الشمس- شبه دائرية؛ أي قيمة e صغيرة جداً قريبة من الصفر كما مبين في الجدول (1):

الجدول (1) يبين قيم e للكواكب

الكوكب	الشذوذ
عطارد	0.206
الزهرة	0.007
الأرض	0.017
المريخ	0.093
المشتري	0.048
زحل	0.056

2. القانون الثاني (قانون المساحات) Second Law (The law of areas)



الشكل (2) يوضح قانون كبلر الثاني

المستقيم الوهمي الواصل بين مركزي كل من أي كوكب والشمس يمسح أثناء دورانه في الفضاء مساحات متساوية في أزمنة متساوية الشكل (2). أي أن سرعة الكوكب حول الشمس متغيرة.

ويمكن منه إثبات أن سرعة الكوكب تتناسب عكسياً مع بعده عن الشمس كالآتي:

نفرض أن كوكباً يتحرك حول الشمس (الموقع s) الشكل (3)، وأن

($p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, \dots$) هي مواقع مختلفة للكوكب في مداره حول الشمس بحيث أن:

$$\text{المساحة } sp_1p_2 = \text{المساحة } sp_3p_4 = \text{المساحة } sp_5p_6 = \dots$$

بما أن قانون كبلر الثاني يشير إلى أن الزمن من

$$p_1 \text{ إلى } p_2 = \text{الزمن من } p_2 \text{ إلى } p_3 = \text{الزمن من } p_3 \text{ إلى } p_4 = \dots = \text{الزمن من } p_5 \text{ إلى } p_6 = \dots$$

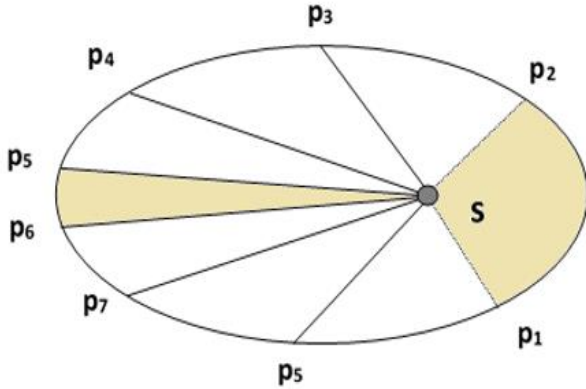
والمسافة بين $p_1p_2 <$ المسافة بين p_3p_4 ، والمسافة بين $p_3p_4 <$ المسافة بين p_5p_6

إذاً سرعة الكوكب بين $p_1p_2 <$ سرعة الكوكب بين p_3p_4 ،

وسرعة الكوكب بين $p_3p_4 <$ سرعة الكوكب بين $p_5p_6 \dots$

وهذا يعني أن سرعة الكوكب تتغير طبقاً لبعده من الشمس وتتناسب عكسياً مع بعده عنها. وتصل

السرعة أقصىها عند الحضيض وأدناها عند الأوج.



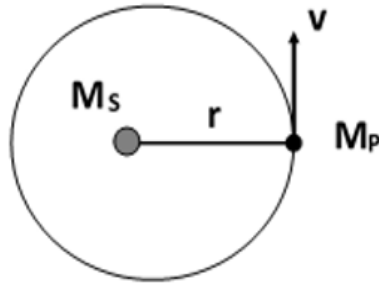
الشكل (3) يوضح مواقع مختلفة لكوكب في مداره حول الشمس حسب قانون كبلر الثاني

3. القانون الثالث (قانون الزمن) Third Law (The law of periods)

مربع زمن دوران كل كوكب حول الشمس يتناسب طردياً مع مكعب نصف المحور الكبير لمدار الكوكب.

على فرض إن كوكباً كتلته M_p يتحرك حول الشمس التي كتلتها M_s في مدار دائري، ويبعد عن الشمس مسافة قدرها r ، كما موضح في الشكل (4)، وبما إن قوة الجاذبية المسلطة من قبل الشمس على الكوكب هي القوة التي تحفظ مدار الكوكب ليبقى على شكل دائري، عندئذ يمكن القول إن القوة المركزية له يجب أن تكون مساوية لقوة الجاذبية، وبصورة رياضية:

$$G \frac{M_s M_p}{r^2} = \frac{M_p v^2}{r} \quad (2)$$



الشكل (4) يمثل دوران كوكب حول الشمس

فإذا كانت السرعة المدارية للكوكب v هي $\frac{2\pi r}{T}$ ، حيث T هي مدة الدورة للكوكب، لذا تتحول المعادلة (2) إلى الصيغة الآتية:

$$G \frac{M_S}{r^2} = \frac{(2\pi r/T)^2}{r} \quad (3)$$

$$T^2 = \left[\frac{4\pi^2}{GM_S} \right] r^3 = K_S r^2 \quad (4)$$

حيث أن K_S ثابت يعطى كالتالي:

$$K_S = \frac{4\pi^2}{GM_S} = 2.97 \times 10^{-19} \text{ s}^2/\text{m}^2$$

معادلة (4) تمثل قانون كبلر الثالث، ويمكن القول إن القانون صحيح أيضاً للمدار الأهليلجي عند استبدال r بنصف المحور الكبير a ، ولهذا تعتبر هذه المعادلة صحيحة لأي كوكب يدور حول الشمس.

مثال: احسب كتلة الشمس باستعمال حقيقة أن مدة دوران الأرض حول الشمس هي $(3.156 \times 10^7 \text{ s})$ ، والمسافة بين الشمس والأرض $(1.496 \times 10^{11} \text{ m})$ وان ثابت الجذب العام $(6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)$.

الحل:

باستخدام المعادلة (4) يمكن حساب كتلة الشمس كالآتي:

$$T^2 = \left[\frac{4\pi^2}{GM_S} \right] r^3$$

$$(3.156 \times 10^7)^2 = \left[\frac{4\pi^2}{(6.67 \times 10^{-11})M_S} \right] (1.496 \times 10^{11})^3$$

$$M_S = \frac{4\pi^2(1.496 \times 10^{11})^3}{(3.156 \times 10^7)^2(6.67 \times 10^{-11})}$$

$$M_S = 1.989 \times 10^{30} \text{ Kg}$$