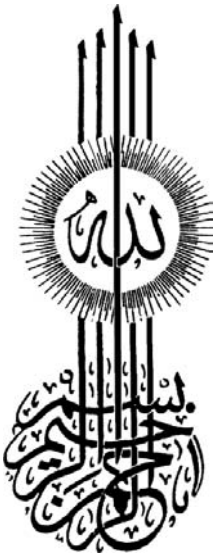
بسم الله الرحمن الرحيم

الفلك النجمي

الأستاذ الدكتور محمد عادل شرف

قسم العلوم الفلكية- كلية العلوم

جامعة الملك عبد العزيز

مركز النشر العلمي
جامعة الملك عبد العزيز
ص ب: ٨٠٢٠٠ - جدة: ٢١٥٨٩
المملكة العربية السعودية

© جامعة الملك عبدالعزيز ١٤٣١هـ (٢٠١٠م)
جميع حقوق الطبع محفوظة.
الطبعة الأولى : ١٤٣١هـ (٢٠١٠م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

شرف ، محمد عادل
الفلك النجمي. / محمد عادل شرف – جدة ، ١٤٣١هـ
٥٢٠ ص ؛ .. سم
ردمك: ٦-٥٤٩-٠٦-٩٩٦٠-٩٧٨

١- الفلك الطبيعي ٢- النجوم أ. العنوان
ديوي ٥٢٣,٨ ١٤٣١/٦٣٥٤

رقم الإيداع: ١٤٣١/٦٣٥٤
ردمك: ٦-٥٤٩-٠٦-٩٩٦٠-٩٨٧

مطابع جامعة الملك عبدالعزيز

شكر وتقدير

الحمد لله، له العزة والجبروت، الحمد لله الذي علَّم بالقلم، علم الإنسان مالم يعلم، والصلاة والسلام الأتمان على سيد العرب والعجم نبينا محمد ﷺ وبعد:

أحمد الله حمدًا كثيرًا طيبًا مباركًا فيه، أن يسر لي تأليف هذا الكتاب وأدعو الله أن ينتفع به. وفي هذا السياق لا يفوتني أن أشكر الذين كانوا لي خير مساعد في إخراج هذا العمل على الوجه المطلوب.

كما أتوجه بالشكر الخاص وجزيل الامتنان لسعادة الأستاذ الدكتور حسن باصرة، رئيس قسم العلوم الفلكية بجامعة الملك عبد العزيز لما أبداه سعادته من نصح خالص لم يبخل به سعادته في أي وقت طوال فترة إعداد هذا الكتاب، مع تسخير كافة إمكانات القسم وتسهيل الحصول عليها من أجل إتمام هذا العمل على أكمل وجه بفضل الله تعالى.

كما لا يفوتني أن أتقدم بكل الشكر والامتنان إلى الدكتورة عائشة الشاعري المدرس المساعد بقسم الرياضيات جامعة الملك عبد العزيز فرع كلية البنات – جدة ــ على المجهود المضني والمخلص في المراجعة الدقيقة التي كان لها أثر إيجابي في إخراج الكتاب في صورته الحالية.

كما أرجو أن ينتفع بهذا الكتاب أبنائي وبناتي المتخصصون في الفلك الفيزيائي، وأخيرًا أتمنى من الله أن يعينني على إتمام هذه السلسلة من الكتب بهدف تسهيل المعرفة، فهو ولي ذلك والقادر عليه.

محمد عادل شرف

المقدمة

إن الناظر إلى السماء ليلا والمحقق فيها لأول وهلة سيتأثر بما يرى من النجوم باختلاف ألوانها وأحجامها وتوزيعها المتباين، وقد تبدو ساكنة وهادئة بشكل مهيب. لقد كانت السماء مسرحا لظهور العديد من النجوم الجديدة (المستسعرات والمستسعرات العظمى كما تسمى) التي لم تكن مشاهدة من قبل، والتي كان ظهورها مفاجئا وغير متوقع. ولقد تمت ملاحظة ورصد العديد من المستسعرات العظمى والتي ظهرت ظهورا مفاجئا في السماء وبسطوع كبير، بعضها في مجرتنا وبعضها الآخر في مجرات أخرى. وقد استمر بعض هذه المستسعرات مضيئا في السماء لأكثر من سنتين، ومنها ما تمت مشاهدته حتى في وضح النهار.

علم الفلك النجمي (Stellar astronomy) هو دراسة النجوم والظواهر المرتبطة بهذه النجوم و مراحل تطورها المختلفة .في المعنى الشائع فإن النجم هو كل جسم سماوي غير القمر يرى في السماء أثناء الليل، ويشمل ذلك أيضا الكواكب (التي لا تشع بذاتها)؛ أما في العلوم الفلكية فيدل النجم على كرة غازية مضيئة وذات درجة حرارة عالية. والشمس تعتبر نجما، والنجوم مختلفة الأحجام والكتل، ففي الكون توجد نجوم أصغر من الشمس وأخرى أكبر منها بكثير، وما شمسنا إلا نجم من بين البلايين من النجوم في المجرة والكون بكامله.

النجم أو النجوم ورد ذكرها في القرآن الكريم، في(١٣) موضعًا، أربع مرات بصيغة المفرد (نجم)، وتسع مرات بصيغة الجمع (النجوم) وهي كالتالي:

- مرتين في سورة النحل، في الآية رقم (١٢)، والآية رقم (١٦).

- ♦ مرة واحدة في سورة الأنعام، في الآية رقم (٩٧).
- ♦ في سورة الأعراف، في الآية رقم (٥٤).
- ♦ في سورة الحج، في الآية رقم (١٨).
- ♦ في سورة الصافات، الآية رقم (٨٨).
- ♦ في سورة الطور، في الآية رقم (٤٩).
- ♦ في سورة النجم، في الآية رقم (١).
- ♦ في سورة الرحمن، الآية رقم(٦).
- ♦ في سورة الواقعة، في الآية رقم(٧٥).
- ♦ في سورة المرسلات، في الآية رقم (٨).
- ♦ في سورة التكوير، في الآية رقم (٢).
- ♦ في سورة الطارق، في الآية رقم (٣).

خلت المكتبة العربية من كتاب مرجعي باللغة العربية يعرض النواحي المختلفة لعلم الفلك النجمي بشيء من العمق والتحليل الرياضي. وقد حاولنا في كتابنا هذا سد هذا النقص.

صمم الكتاب لطلبة المستوى الثاني (علوم الفلكية) وقد قُسم إلى ثمانية أبواب وبعض الملاحق، ويحتوي الكتاب على قائمتين من المصطلحات (انجليزي– عربي، عربي– انجليزي) وكشاف. ولتحقيق أهداف الكتاب بطريقة شاملة فقد عُولج تحليليًا وحسابيًا على النحو الآتي:

- **تحليليًا** :أثبتت جميع مواضيع الكتاب رياضيًا.

- **حسابيًا:** ووضع لكل مسألة نظام حسابي مع تقديم بعض الأمثلة العددية، وقد أعطيت الخطوات الحسابية للنظام على صورة متتابعة حسابية، وذلك لتسهيل تطويع النظام بأي لغة على الحاسب الآلي.
- **تمارين:** للمراجعة مع بحوث ومشاريع تطبيقية .

وفيما يلي عرض لمحتويات الكتاب:

الباب الأول: إحداثيات النجوم

يختص هذا الباب بدراسة أساسيات الهندسة الكروية وذلك لتكوين ودراسة بعض نظم الإحداثيات الهامة، والتي تستخدم في تعيين مواقع وسرعات النجوم في الفضاء، وكذلك علاقات التحويل بين هذه النظم. وهذه الإحداثيات هي: الإحداثيات الأفقية- الإحداثيات الاستوائية- الإحداثيات الاستوائية المعدلة – الإحداثيات الكسوفية – الإحداثيات المجرية.

ويشتمل هذا الباب أيضًا على استنتاج الصيغ الرياضية والحسابية للتحويلات بين هذه الإحداثيات المختلفة. ويشتمل على كيفية حساب الإزاحة لنجم على الكرة السماوية، وحساب معدل التغير في البعد السمتي والزاوية الأفقية لنجم، وأخيرًا حساب المسافة الزاوية بين نجمتين.

الباب الثاني: الخواص العامة للنجوم

اختص هذا الباب بدراسة الخصائص الفيزيائية العامة للنجوم وذلك من الناحيتين النظرية والعملية.

اشتملت هذه الدراسة على كيفية تعيين أبعاد النجوم وطرق تصحيحها، والأقدار النجمية المختلفة و طريقة حساب الطول الموجي المتوسط لكل من هذه الأقدار، والتصنيف الطيفي للنجوم، والضياء النسبي للنجوم، ودرجات الحرارة

النجمية، وتعيين كتل وأنصاف أقطار النجوم. ويحتوي الباب أيضًا على دراسة للحركة النجمية في الفضاء وذلك بدراسة الحركة القطرية، ومركبات الحركة الذاتية في الإحداثيات الاستوائية وعلاقاتها بمركبات الحركة الذاتية في الإحداثيات المجرية، وكذلك تم إيجاد العلاقات بين مركبات السرعة الفضائية لنجم في نظام الإحداثيات ثلاثية السطوح مع كل من مركبات الحركة الذاتية في الإحداثيات الاستوائية والإحداثيات الشمس استوائية، ويشتمل الباب أيضًا على طريقة تعيين الحركة الذاتية عمليًا.

أما بالنسبة للدراسة الوصفية للنجوم فقد اشتمل الباب على خصائص بعض النجوم القريبة وبعض النجوم اللامعة، ومخطط هيرتزبرانج ــ راسل، والجمهرات النجمية. وأخيرًا اشتمل الباب على دراسة عامة لبعض الأنواع النجمية منها: النجوم الأساسية والنجوم المتغيرة والمتغيرات النابضة والنجوم الأقزام، وبعض النجوم المحيرة، والنوابض، ونجوم النيوترون، وأشباه النجوم الراديوية (الكوازرت)، والثقوب السوداء، والمتوهجات، وبعض متفرقات نجمية، وأجنة النجوم (النجوم الجنينية) ،ونجوم الراديو، ونجوم الكربون، والنجوم الشرودية الزرقاء، والنجوم المختلطة ونجوم ولف – رايت، والنجوم المغناطيسية.

الباب الثالث: تعيين موضع مستوى الاستواء المجرّي

تم في هذا الباب تشييد طريقة تحليلية عامة اعتمدت على تقنية التصغير المقيد، وذلك لتعيين الإحداثيات الاستوائية لقطب المجرة وذلك لأي حقبة .

الباب الرابع: باطن النجوم

اختص هذا الباب بدراسة بعض المواضيع الهامة لدراسة باطن النجوم وهي: مصدر الطاقة للنجم خلال فترة الاستقرار، والاندماج النووي داخل

النجم، والمقاييس الزمنية لتطور النجوم، ومعادلات الاتزان داخل النجم، ومعادلة اتصال الكتلة، والطاقة الحرارية وطاقة التثاقل والاتزان الحراري داخل النجم ونظرية ڤريل ونتائجها.

الباب الخامس: النظريات التكاملية لاتزان نجم

اختص هذا الباب بالنظريات التكاملية لاتزان نجم، فقد تم فيه إثبات جميع النظريات بكل التفصيل (ربما لأول مرة)، وقد أعطينا أيضًا المعاني الفيزيائية للنظريات التكاملية وبعض التطبيقات العددية.

الباب السادس: انكسار الضوء النجمي

اختص هذا الباب بدراسة بعض المواضيع الهامة لدراسة انكسار الضوء النجمي وهي:

قوانين انكسار الضوء، وانكسار الضوء في جو الأرض، والنظرية العامة لانكسار الضوء في جو الأرض، تأثير الضغط الجوى ودرجة الحرارة على الانكسار، التطبيقات العملية لصيغ الانكسار، وتأثير الانكسار على وقت غروب الشمس، وتأثير الانكسار على المطلع المستقيم والميل لنجم، وتأثير الانكسار على البعد الظاهري لنجمين متقاربين، وعلى زاوية الوضع بينهما، وتأثير الانكسار على قرص الشمس عند الغروب، وأخيرًا اشتمل الباب على تجربة عملية وهى حساب مقدار التفلطح الظاهري لقرص الشمس قرب الأفق.

الباب السابع: الحشود النجمية المتحركة

أختص هذا الباب من الكتاب بدراسة غاية في الأهمية في الفلك النجمي وهي الحشود النجمية المتحركة. فقد تمت هذه الدراسة خلال النقاط الآتية: تعيين إحداثيات نقطة تقارب الحشد المتحرك، والتصحيح التفاوتي للإحداثيات

الاستوائية لنقطة التقارب، وتعيين كل من سرعة الحشد المتحرك وزوايا اختلاف المنظر لنجوم الحشد المتحرك، والأقدار المطلقة لنجوم الحشد المتحرك وتعيين مركز الحشد المتحرك ومسافة الحشد. وقد تم أيضًا تشييد بعض معايير الانتماء للحشد المتحرك، وكذلك تقدير الأخطاء لبارامترات الحشد المتحرك.

الباب الثامن: وسط مابين النجوم وتكوين النجوم

اختص هذا الباب من الكتاب بدراسة وسط مابين النجوم وتكوين النجوم. أما بالنسبة لوسط مابين النجوم فقد تمت دراسته من خلال السحب الجزيئية العملاقة، وتقدير عدد النجوم التي لها كتلة مثل كتلة الشمس والتي تتكون من سحابة جزيئية عملاقة، ومناطق (HII)، والغاز المنتشر بين النجوم، والغبار بين النجوم، والسدم المظلمة، والسدم الانعكاسية، والسدم الانبعاثية، والغبار بين النجوم، والغبار المنتشر بين النجوم. أما بالنسبة لتكوين النجوم فقد تمت دراسته من خلال أجنة النجوم، وانهيار السحب، وتبخير كريات الغازية، والعديد من الأمور خلال مرحلة تكوين النجم الجنين منها المواد التي تقع على النجم الجنين وزيادة درجة الحرارة والضغط والريح ،وحساب فترة الدوران التي تأخذها مجموعة لتنهار إلى حيز معين، وحساب ما إذا كانت المجموعة يمكن أن تكون نجمًا أم لا.

الباب التاسع: التطور النجمي

اختص هذا الباب الأخير من الكتاب بدراسة: التطور النجمي من خلال إنتاج الطاقة، واندماج الهيدروجين، واندماج عناصر أثقل، والانكماش والانهيار، ومعدل هروب الطاقة، وضغط الغاز المثالي، وضغط الغاز المنحل، والتطور خلال التتابع الرئيسي، وما بعد تطور التتابع الرئيسي، وفرع العملاقة، وميض

الهليوم، والفرع الأفقي، وفرع العملاق المقارب، والسوبرنوفا، ومخلفات السوبر نوفا، وأسر النيوترونات.

واشتمل الكتاب على بعض الملاحق وهي:

ملحق (A) للنظم الحسابية المساعدة

١ – إيجاد القيمة التقريبية لجذر المعادلة $f(x)=0$ بطريقة نيوتن التكرارية

٢ - حساب الدالة المثلثية العكسية $Q=\tan^{-1}(Y/X)$ بالتقدير الدائري

٣– حساب القيمتين S_1,S_2 بالتقدير الدائري للدالة المثلثية العكسية $\sin^{-1}(X)$

٤– حساب القيمتين C_1,C_2 بالتقدير الدائري للدالة المثلثية العكسية $\cos^{-1}(X)$

٥– اختزال الزاوية X بالتقدير الدائري إلى المدى $[0,2\pi[$

٦– حساب معامل الارتباط بين متغيرين

٧– حساب قيمة y المقابلة لقيمةx من بين قيم جدولية، عددها N وذلك باستخدام طريقة لاجرانج للاستكمال من الداخل

ملحق (B) : بعض التعاريف والخواص الأساسية لطريقة أقل المربعات

ملحق (C) : الحلول التامة للمعادلة من الدرجة الثالثة

ملحق (D) : قيم الثوابت الفلكية والفيزيائية الهامة

المحتويات

الصفحة

شكر وتقدير ..... هـ

المقدمة ..... ز

الباب الأول: إحداثيات النجوم

١-١ الهندسة الكروية ٣

١-٢ الإحداثيات المختلفة لتحديد مواقع النجوم ٨

١-٣ بعض نظم الإحداثيات الهامة لتحديد مواقع وسرعات النجوم ١٥

١-٤ التحويلات بين الإحداثيات المختلفة ١٨

١-٥ العلاقات بين نظم الإحداثيات المختلفة ٣٦

١-٦ الإزاحات النجمية ٤٨

أسئلة مراجعة الباب الأول ٥٨

الباب الثاني: الخواص العامة للنجوم

٢-١ مقدمة ٦٣

٢-٢ بعض الخصائص الفيزيائية للنجوم ٦٥

٢-٣ بعض الأنواع النجمية ١٥٢

أسئلة مراجعة الباب الثاني ٢٠٤

الباب الثالث: تعيين موضع مستوى الاستواء المجري

٣-١ تعريف المسألة ٢١٧

٣-٢ المعادلات الأساسية للمسألة ٢١٩

٣-٣ حل المسألة ٢٢٤

٣-٤ النظام الحسابي ٣-١ ..... ٢٣١

٣-٥ بحث تطبيقي ٢٣٢

الصفحة

الباب الرابع: باطن النجوم

٤-١ مصدر الطاقة للنجم خلال فترة الاستقرار ٢٣٥
٤-٢ المقاييس الزمنية لتطور النجوم ٢٣٩
٤-٣ معادلات الاتزان داخل النجم ٢٤٥
٤-٤ الطاقة الحرارية وطاقة التثاقل للنجم ٢٥٢

الباب الخامس: النظريات التكاملية لاتزان نجم

٥-١ المعادلات الأساسية ٢٦٣
٥-٢ النظريات التكاملية ٢٦٩
٥-٣ المعاني الفيزيائية للنظريات التكاملية وبعض التطبيقات العددية ٣١٣

الباب السادس: انكسار الضوء النجمي

٦-١ قوانين انكسار الضوء ٣١٩
٦-٢ انكسار الضوء في جو الأرض ٣٢٣
٦-٣ النظرية العامة لانكسار الضوء في جو الأرض ٣٢٥
٦-٤ تعيين قيمتي الثابتين A,B في صيغة الانكسار العامة ٣٣٩
٦-٥ صيغ أخرى للانكسار ٣٤٥
٦-٦ تأثير الضغط الجوي ودرجة الحرارة على الانكسار ٣٤٦
٦-٧ التطبيقات العملية لصيغ الانكسار ٣٥٠
٦-٨ تأثير الانكسار على وقت غروب الشمس ٣٥٤
٦-٩ تأثير الانكسار على المطلع المستقيم والميل لنجم ٣٥٦
٦-١٠ تأثير الانكسار على البعد الظاهري لنجمين متقاربين، وعلى زاوية الوضع بينهما ٣٦٢
٦-١١ تأثير الانكسار على قرص الشمس عند الغروب ٣٦٦
٦-١٢ تجربة عملية: حساب مقدار التفلطح الظاهري لقرص الشمس قرب الأفق ٣٦٩

الصفحة

أسئلة مراجعة الباب السادس ٣٧١

الباب السابع :الحشود النجمية المتحركة

٧-١ تعيين إحداثيات نقطة تقارب الحشد المتحرك ٣٧٥

٧-٢ بعض البارامترات التي تنتج من الإحداثيات الاستوائية (A,D) ٣٨٤

٧-٣ بعض معايير الانتماء للحشد ٣٨٧

٧-٤ تقدير الأخطاء لبارامترات الحشد المتحرك ٣٨٨

٧-٥ النظام الحسابي ٧-١ ..... ٣٩٥

٧-٦ بحث تطبيقي ٣٩٩

الباب الثامن : وسط مابين النجوم وتكوين النجوم

٨-١ وسط مابين النجوم ٤٠٣

٨-٢ تكوين نجم ٤١٧

أسئلة مراجعة الباب الثامن ٤٢٤

الباب التاسع : التطور النجمي

٩-١ لماذا تتطور النجوم؟ ٤٢٩

٩-٢ كيفية تطور النجوم ٤٣٢

٩-٣ من أين نأتي؟ ٤٤٣

أسئلة مراجعة الباب التاسع ٤٤٧

المراجـع ٤٥٠

الملاحـق ٤٥٣

ملحق (A) :النظم الحسابية المساعدة ٤٥٥

ملحق (B) : بعض التعاريف والخواص الأساسية لطريقة أقل المربعات ... ٤٧٣

ملحق (C) : الحلول التامة للمعادلة من الدرجة الثالثة ٤٧٦

ملحق (D) : قيم الثوابت الفلكية والفيزيائية الهامة ٤٩٢

الصفحة

ثبت المصطلحات .....

عربي – انجليزي..... ٤٩٧

انجليزي – عربي..... ٥٠١

كشاف الموضوعات ٥٠٥

قائمة الجداول

الصفحة

جدول (١-١) الإحداثيات الاستوائية لنجم للحقبة J2000.0 لبعض التواريخ .. ٥٨

جدول (١-٢) الإحداثيات المجرية (l,b) لبعض النجوم ٥٩

جدول (٢-١) دوال الاستجابة للأنظمة U,B,V,R ٨٠

جدول (٢-٢) علاقة اللون والدليل اللوني ودرجات الحرارة مع التصنيف الطيفي للنجوم ٨٩

جدول (٢-٣) الأرقام الكودية للأنواع الطيفية للنجوم ٩٠

جدول (٢-٤) العلاقة بين النوع الطيفي والقدر المطلق المرئي M_V لبعض نجوم التتابع ٩٢

جدول (٢-٥) نجوم الحالة الابتدائية من المتتابعة الرئيسية ١٠٢

جدول (٢-٦) دالة بلانك ١٠٦

جدول (٢-٧) المسافات الفاصلة بين النجمين B,A ومركز الكتل للنظام ١٥١

جدول (٢-٨) العلاقة بين النوع الطيفي ودرجة الحرارة الفعالة(K^o) T_{eff} لبعض النجوم ٢١١

جدول (٢-٩) المسافات الفاصلة بين النجمين X,S ومركز الكتل للنظام ٢١٤

جدول (٥-١) الحد الأقصى للضغط الاشعاعي في النجوم ٢٩٦

جدول (٥-٢) القيم الدنيا لـ $P_c, \overline{P}$ and $\overline{T}$ لباطن بعض النجوم ٣١٥

جدول (٦-١) القيم العددية للعامل Δ_P لبعض قيم الضغط P ٣٤٩

جدول (٦-٢) القيم العددية للعامل Δ_T لبعض قيم درجات الحرارة ٣٥٠

جدول (٦-٣) بعض قيم البعد السمتي الحقيقي ٣٧١

الصفحة

جدول (٦–٤) بعض قيم $P, T, \alpha, \delta, \varphi, LST$ ٣٧١

جدول (٦–٥) أرصاد ارتفاع الحافة السفلية لقرص الشمس لخمسة أيام من عام ٢٠٠٤م ٣٧٢

جدول (٧–١) إحداثيات نقطة التقارب للحشد Hyades ٤٠٠

جدول (٧–٢) مسافة وسرعة حشد Hyades ٤٠٠

جدول (٧–٣) مقياس المسافة للحشد Hyades ٤٠٠

جدول (٨–١) خواص مكونات وسط مابين النجوم ٤٠٤

جدول (A1) الحل التكراري للمعادلة $f(x) = x - 3^{-x}$ ٤٥٧

قائمة الأشكال

الصفحة

شكل ١-١ المثلث الكرويABC ٣

شكل ١-٢ الإحداثيات الأفقية للنجم X ٨

شكل ١-٣ الإحداثيات الاستوائية للنجم X ٩

شكل١-٤ الإحداثيات الاستوائية المعدلة للنجم X ١٠

شكل١-٥ الإحداثيات الكسوفية للنجم X ١٢

شكل١-٦ الإحداثيات المجرية ١٣

شكل١-٧ مواقع متجهات الوحدة $(\hat{\alpha},\hat{\delta},\hat{r}),(\hat{x},\hat{y},\hat{z})$ ١٦

شكل١-٨ نظام الإحداثيات الشمس كسوفية ١٦

شكل١-٩ نظام الإحداثيات المجرية ١٧

شكل ١-١٠ الإحداثيات الاستوائية المعدلة والإحداثيات الكسوفية للنجمX ١٩

شكل١-١١ المثلث الكروي KPX ١٩

شكل١-١٢ المثلث الكروي GPX ٢٦

شكل١-١٣ الإحداثيات الأفقية و الإحداثيات الاستوائية للنجم X ٣٢

شكل ١-١٤ المثلث الكروي PZX ٣٢

شكل١-١٥ دائرة الاستواء المجري ودائرة الاستواء السماوي ٤٢

شكل١-١٦ الدوران الأول ٤٣

شكل١-١٧ الدوران الثاني ٤٣

شكل١-١٨ الدوران الثالث ٤٤

الصفحة

شكل١-١٩ التحويل بين نظم الإحداثيات الشمس استوائيه والإحداثيات الكسوفية ٤٧

شكل١-٢٠ الإزاحة لنجم على الكرة السماوية ٤٨

شكل١-٢١ المسافة الزاوية بين نجمتين S_2, S_1 ..... ٥٣

شكل ٢-١ زاوية اختلاف المنظر p لنجم ٦٥

شكل٢-٢ تغير موقع النجم x في السماء حينما يشاهد من الأرض عند فترتين تفصلهما مدة ٦ أشهر ٦٦

شكل ٢-٣ ..... ٦٧

شكل ٢-٤ ..... ٦٧

شكل ٢-٥ ..... ٦٧

شكل ٢-٦ الحركة القطرية والمماسية لنجم ١١١

شكل٢-٧ تسجيل إزاحة دوبلر مع طيف الخط الداكن ١١٤

شكل٢-٨ الصورة الطيفية النجمية ١١٤

شكل٢-٩ الصورة الطيفية لإزاحة دوبلر ١١٥

شكل٢ -١٠ الحركة الخاصة للنجوم ١١٩

شكل٢-١١ علاقة p و d و a ١٢٠

شكل٢-١٢ مركبة الحركة الذاتية μ_α ١٢٢

شكل ٢-١٣ مركبات الحركة الذاتية ١٢٣

شكل٢-١٤ زاوية الوضع φ للحركة الذاتية لنجم ١٢٥

شكل٢-١٥ مركبة السرعة v_r ١٢٨

شكل٢-١٦ مركبة السرعة v ١٢٨

الصفحة

شكل٢-١٧ متجهات الوحدة $(\hat{\alpha},\hat{\delta}),(\hat{l},\hat{b})$ ١٣٠

شكل٢-١٨ العلاقة بين حاصل الضرب القياسي لمتجهات الوحدة ١٣٠

شكل٢-١٩ مخطط هيرتزبرانج ــ راسل ويظهر عليه مناطق التتابع الرئيسي والعمالقة وما فوقها والأقزام البيضاء ١٣٩

شكل٢-٢٠ المراحل التطورية للنجوم ١٤٠

شكل٢-٢١ حركة مركبات النظام الجاثى 99 حول مركز الكتل ١٤٤

شكل٢-٢٢ حركات نظام مزدوج بصرى مابين 1915 إلى 1945 ..... ١٥٠

شكل٢-٢٣ تطور من الميلاد إلى القزم الأبيض ١٧٠

شكل٢-٢٤ كيفية تكوين أشباه النجوم ١٨١

شكل٢-٢٥ ميلاد ثقب أسود ١٨٦

شكل٢-٢٦ العلاقة بين الدليل اللوني والقدر المطلق الظاهري للنجوم الشرودية ١٩٩

شكل٣-١ زاويتي الاتجاه (Ω,I) ٢١٩

شكل٣-٢ الإحداثيات الشمس استوائية ٢٢٠

شكل٤-١ قوى الاتزان الهيدورستاتى ٢٤٦

شكل٤-٢ تقدير تقريبي للضغط عند مركز الشمس ودرجة الحرارة متوسطة للشمس ٢٤٨

شكل٤-٣ معادلة شرط اتصال الكتلة ٢٥١

شكل٤-٤ عنصر الكتلة $\Delta m = \rho 4\pi r^2 dr$ الساقط على امتداد الطريق s من مالا نهاية إلى لب النجم الذي له الكتلة $M(r)$ ونصف القطر r ٢٥٦

شكل ٦-١ قوانين انكسار الضوء ٣١٩

الصفحة

شكل٦-٢ معامل الانكسار بين الوسط H_1 و الوسط H_2 ..... ٣٢٢

شكل٦-٣ انكسار ضوء نجم في جو الأرض ٣٢٤

شكل٦-٤ انكسار ضوء نجم فى جو الأرض ٣٢٦

شكل٦-٥ المثلث المستوىCQP ٣٢٧

شكل٦-٦ المثلث المستوىEQP ٣٣٠

شكل٦-٧ كتلة عمود من الهواء ٣٣٧

شكل٦-٨ تعيين قيمة الثابتين B,A فى صيغة الانكسار ٣٤٠

شكل٦-٩ تأثير الانكسار على المطلع المستقيم والميل لنجم ٣٥٧

شكل٦-١٠ المثلثات الكروية: PZX,PZX′ ٣٥٨

شكل٦-١١ تأثير الانكسار على البعد الظاهري لنجمين متقاربين وعلى زاويـــة الوضع بينهما ٣٦٢

شكل٦-١٢ تأثير الانكسار على قرص الشمس ٣٦٧

شكل٦-١٣ توضيح تأثير الانكسار على الأقواس الصغيرة الأفقية والرأسية ... ٣٦٧

شكل ٧-١ تعيين نقطة تقارب الحشد المتحرك ٣٧٦

شكل٧-٢ زاوية الموضع ومركبات الحركة الذاتية ٣٨١

شكل ٧-٣ المثلث الكروى Psc ٣٨٢

شكل ٧-٤ حركة عضو من أعضاء حشد متحرك ٣٨٤

شكل ٨-١ آلية احمرار مابين النجوم ٤٠٦

شكل ٨-٢ سديم الجبار في الضوء المرئي ٤٠٦

الصفحة

شكل ٨–٣ أطياف نظام ثنائي مع خطوط وسط مابين النجوم على مدى عــدة سنوات ٤١٠

شكل٨–٣–١ مشهد لدرب التبانة في ضوء الأشعة تحت الحمراء ٤١٣

شكل٨–٣–٢ مشهد لدرب التبانة في الضوء البصري ٤١٣

شكل ٨–٤ طيف سحابة نمطية من الغبار ٤١٤

شكل ٨–٥ سديم رأس الحصان ٤١٤

شكل ٨–٦ سديم رأس الساحرة (IC2118) ، يبعد حوالي ١٠٠٠ سنة ضــوئية من الأرض، ويُصاحب السديم النجم الساطع Rige فــي كوكبــة الجبار ٤١٥

شكل ٨–٧ الجسيمات المشحونة لا تستطيع عبور خطوط المجال المغناطيســي بسهولة ٤١٩

شكل ٩–١ متتال لمخطط H-R ٤٣٣

شكل ٩–٢ سديم حلقي ٤٣٩

شكل ٩–٣ تطور لنجم هائل الكتلة مع العناصر الثقيلة داخله ٤٤٠

شكل ٩–٤ سديم السرطان ٤٤٢

شكل ٩–٥ المخطط البياني للتطور ما بعد المتتابعة الرئيسية ٤٤٣

شكل ٩–٦ مخطط H – R لحشد كروي افتراضي ٤٤٨

شكل A1: إزالة الالتباس في حساب $\tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$ ٤٥٨

شكل A 2: علاقة خطية تامة ذات ارتباط موجب ٤٦٦

شكل A 3: علاقة خطية تامة ذات ارتباط سالب ٤٦٦

الصفحة

شكل4 A: عدم وجود ارتباط ٤٦٧

شكل5 A: بعض الارتباط ٤٦٧

شكل6 A: :القطع المكافئ $y = 2 - 2x - x^2$ ٤٦٨