



الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم

2023-2024

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة



الصف

11

Mc
Graw
Hill

McGraw-Hill Education

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة

للسف 11 العام

مجلد 1



صورة الغلاف: Oleksandr Kostiuchenko/Shutterstock.com

mheducation.com/prek-12



جميع الحقوق محفوظة © للعام 2020 لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز إعادة إنتاج أي جزء من هذا المنشور أو توزيعه في أي صورة أو بأي وسيلة كانت أو تخزينه في قاعدة بيانات أو نظام استرداد من دون موافقة خطية مسبقة من McGraw-Hill Education. بما في ذلك، على سبيل المثال لا الحصر، التخزين على الشبكة أو الإرسال عبرها أو البث لأغراض التعليم عن بُعد.

الحقوق الحصرية للتصنيع والتصدير عائدة لمؤسسة McGraw-Hill Education. لا يمكن إعادة تصدير هذا الكتاب من البلد الذي باعت له McGraw-Hill Education. هذه النسخة الإقليمية غير مباحة خارج أوروبا والشرق الأوسط وإفريقيا.

النسخة الإلكترونية

طُبِعَ في دولة الإمارات العربية المتحدة.

رقم النشر الدولي، 978-1-44-701297-9 (نسخة الطالب)
MHID، 1-44-701297-6 (نسخة الطالب)
رقم النشر الدولي، 978-1-44-701299-3 (نسخة المعلم)
MHID، 1-44-701299-2 (نسخة المعلم)

رقم النشر الدولي، 978-1-44-709402-9 (نسخة الطالب)
MHID، 1-44-709402-6 (نسخة الطالب)

12 3 4 5 6 7 8 9 XXX 22 21 20 19 18 17

- 1 الحركة في بُعدين
- 2 الجاذبية
- 3 الحركة الدورانية
- 4 الشغل والطاقة والآلات
- 5 الزخم وحفظه
- 6 الطاقة وحفظها
- 7 الطاقة الحرارية
- 8 حالات المادة
- 9 الاهتزازات والموجات

موارد الطالب

يتم تعريف المحتوى على تطبيق التعلم الذكي



لماذا A²؟

تحقيق الدقة أمر أساسي في التزامات ماجروهيل لتحقيق نتائج عالية الجودة موجّهة للمتعلمين ومرتبطة بالحياة اليومية وخالية من الأخطاء. ومن العناصر الأساسية لعملية التطوير A² التزامنا بجعل الكتاب المدرسي ميسورًا ويسهل استيعابه لكل من الطلاب والمعلمين. ومن خلال التعاون بين المؤلفين ومحرري المحتوى والمستشارين الأكاديميين والمعلمين، تقدم عملية التطوير A² فرضًا للتحسين المستمر عن طريق التغذية الراجعة من العملاء وعن طريق مراجعة المحتوى.

تبدأ عملية التطوير A² بمراجعة الطباعات السابقة والتطلع إلى تلبية المعايير الحكومية والوطنية. يجمع مؤلفو كتاب الفيزياء: المبادئ والمشكلات بين الخبرة في تدريب المعلمين والتعليم إلى جانب إتقان المعرفة بمحتوى الفيزياء. وأثناء عملية إنشاء المخطوطة وتحريرها، يراجع المستشارون دقة المحتوى بينما يقوم أعضاء المجلس الاستشاري للمعلمين لدينا بفحص البرنامج التعليمي من منظور كل من المعلم والطلاب. ومن ثمّ تُراجع تجارب الطلاب وموارد التكنولوجيا والعروض التوضيحية للمعلمين من حيث دقة المحتوى والسلامة. وعند تطبيق عناصر التصميم، يُراجع النص مرة أخرى وكذلك الصور والمخططات.

وخلال البرنامج التعليمي، تواصل ماجروهيل استكشاف المشكلات وإصلاحها وإضافة التحسينات. فهدفنا أن تقدم لك برنامجًا دراسيًا تم إنشاؤه وتنقيحه واختباره وتحقيقه ليكون أداة ناجحة تفيدك في تحصيلك الأكاديمي المستمر.



المؤلفون

استخدم مؤلفو كتاب الفيزياء: المبادئ والمشكلات ومعرفتهم بمحتوى مادة الفيزياء وخبراتهم في التدريس لابتكار مخطوط سهل فهمه ويتسم بالدقة ويركز على تحصيل الطلاب.

بول دبليو زيزيفيتز، المؤلف الرئيس

أستاذ متقاعد مختص في الفيزياء وتعليم العلوم بجامعة ميشيغان - ديربورن. حصل على درجة البكالوريوس في الفيزياء من جامعة كارلتون ثم حصل على درجة الماجستير والدكتوراه في الفيزياء من جامعة هارفارد. وعمل الدكتور زيزيفيتز في تدريس الفيزياء لطلبة البكالوريوس في جامعة ميشيغان - ديربورن لمدة 36 عامًا. ونشر أكثر من 50 ورقة بحثية تخدم تجارب في مجال الفيزياء الذرية. وحصل على زمالة الجمعية الفيزيائية الأمريكية لمساهماته في مجال الفيزياء وتعليم العلوم لمعلمي المدارس الثانوية والمدارس الإعدادية وطلابها. وهو الآن يشغل منصب أمين الجمعية الأمريكية لمعلمي الفيزياء وكان رئيسًا لفرع الجمعية بميشيغان ورئيسًا للمنتدى التعليمي للجمعية الفيزيائية الأمريكية.



كاثلين أ. هاربر

عضو مساعد في هيئة التدريس بمرکز الابتكارات في مجال التعليم الهندسي بجامعة ولاية أوهايو. حصلت على ماجستير العلوم في الفيزياء وبكالوريوس العلوم في الهندسة الكهربائية والفيزياء التطبيقية من جامعة كيس وسترن ريسرف وحصلت على الدكتوراه في الفيزياء من جامعة ولاية أوهايو. وقد دُرست برامج الفيزياء التمهيدية وعلم الفلك والهندسة لطلبة البكالوريوس لمدة 20 عامًا تقريبًا. كما ساعدت على تقديم ورش عمل لنمذجة التدريس لمعلمي المدارس الثانوية في أوهايو وفي جميع أنحاء البلاد. وتتضمن اهتماماتها البحثية تدريس وتعلم مهارات حل المسائل وابتكار صيغ بديلة لها. كما أنها عضو في الجمعية الأمريكية لمعلمي الفيزياء، على المستويين المحلي والوطني، وغالبًا ما تقدم مناقشات وورش عمل حول تدريس حل المسائل. بالإضافة إلى أنها محرر مشارك لمجموعة مختارة من البطاقات المتوفرة من خلال البوابة المشتركة للجمعية الأمريكية لمعلمي الفيزياء. تحت عنوان "مدخل إلى بحوث تعليم الفيزياء".



د. ج. هاس

أستاذ فيزياء متميز لطلاب البكالوريوس بجامعة ولاية كارولينا الشمالية. حصل على درجة البكالوريوس في الفيزياء والرياضيات في جامعة رايس وحصل على درجة الماجستير والدكتوراه في الفيزياء من جامعة ديوك ضمن برنامج الزمالة. من مؤسسة جيمس ديوك. وقد كان باحثًا نشطًا في الفيزياء التجريبية عند درجات الحرارة المنخفضة وفي الفيزياء النووية. ويدرس برنامج الفيزياء لطلبة البكالوريوس والدراسات العليا كما عمل لسنوات عديدة في تدريب معلمي الصفوف من الحضانة إلى الصف الثالث الثانوي. وكان المدير المؤسس لبيت العلوم في ولاية كارولينا الشمالية، وهو مركز لتعليم العلوم والرياضة يقود عملية تدريب المعلمين والبرامج الخاصة بالطلاب في جميع أنحاء كارولينا الشمالية. إلى جانب ذلك، شارك في تأليف ما يزيد عن 100 ورقة بحثية في الفيزياء التجريبية وتعليم العلوم. إضافة إلى أنه زميل للجمعية الفيزيائية الأمريكية. كما تلقى ميدالية ألكسندر هولاداي للتميز من جامعة ولاية كارولينا الشمالية، وتنج ميدالية بيغرام للتميز في تدريس العلوم واختاره مجلس تطوير ودعم التعليم (CASE) في عام 1990 لجائزة أستاذ العام في ولاية كارولينا الشمالية.



المجلس الاستشاري للمعلمين

قدم المجلس الاستشاري للمعلمين تفضية راجعة إلى هيئة التحرير وفريق التصميم بشأن محتوى وتصميم كتاب الطالب وأساسيات المعلم. وقد كانت مفيدة في تقديم مساهمة WWW وتتقدم بخالص الشكر لهؤلاء المعلمين على عملهم الدؤوب واقتراحاتهم البناءة.

Don Pata

Physics Teacher
Grosse Pointe North
High School
Grosse Pointe Woods,
MI

Charles Payne

Physics Teacher
Northern High School
Durham, NC

Nikki Malatin

Physics Teacher
West Caldwell High
School
Lenoir, NC

Jennifer McDonnell

Coordinator of Math and
Science
46-School District U
Elgin, IL

Jeremy Paschke

Physics Teacher
York High School
Elmhurst, IL

Ryan Hall

Physics Teacher
Palatine High School
Palatine, IL

Stan Hutto

Physics Teacher
Alamo Heights High
School
San Antonio, TX

Richard A. Lines, Jr

Physics Teacher
Garland High School
Garland, TX

Janet Adams

Physics Teacher
Mars Area High School
Mars, PA

Craig Dowler

Physics Teacher
West Genesee High
School
Camillus, NY

C. Foust, M.S

Physics Teacher
Hermitage High School
Richmond, VA

مستشارو المحتوى

راجع مستشارو المحتوى وحدات محددة من كتاب الفيزياء: المبادئ والمشكلات للتحقق من دقة المحتوى ووضوحه.

Charles Ruggiero

Visiting Assistant Professor
Allegheny College
Meadeville, PA

Toni Sauncy

Associate Professor of Physics
Angelo State University
San Angelo, TX

Sally Seidel

Professor of Physics
University of New Mexico
Albuquerque, NM

Dr. Monika Kress

Associate Professor
Department of Physics &
Astronomy
San Jose State University
San Jose, CA

Jorge Lopez

Professor
University of Texas at El Paso
El Paso, TX

Dr. Ramon E. Lopez

Department of Physics
University of Texas at Arlington
Arlington, TX

Dr. Solomon Bililign, PhD

Professor of Physics
Director: NOAA-ISET Center
North Carolina A&T State University
Greensboro, NC

Ruth Howes

Professor Emerita of Physics and Astronomy
Ball State University
Muncie, IN

Dr. Keith H. Jackson

Professor and Chair of Department of Physics
Morgan State University
Baltimore, MD

Albert J. Osei

Professor of Physics
Oakwood University
Huntsville, AL

Kathleen Johnston

Associate Professor of Physics
Louisiana Tech University
Ruston, LA

مؤلفون مساهمون

مؤلفون آخرون في العلوم أضافوا محتوى مميزًا ومواد خاصة بالمعلم وتقنيات وتحقيقات مختبرية.

Steve Whitt
Columbus, OH

Molly Wetterschneider
Austin, TX

Kenneth Russell Roy, PhD
Director of Science and Safety
Glastonbury Public Schools
Glastonbury, CT

مستشار السلامة

راجع مستشار السلامة التجارب ومواد التجارب
للتأكد من السلامة والتطبيق.

مراجعات المعلمين

راجع كل معلم وحدات محددة من كتاب الفيزياء، المبادئ والمشكلات والتغذية الراجعة المقدمة والاقتراحات بشأن
فعالية التدريس.

J. S. Bonanno
Physics Teacher
Red Creek Central School
Red Creek, NY

Beverly Trina Cannon
Physics Teacher
Highland Park High School
Dallas TX

Katharine Chole
Physics Teacher
Villa Duchesne School
St. Louis, MO

Cheryl Rawlins Cowley
Lead Physics Teacher
Sherman High School
Sherman, TX

B. Wayne Davis
(Physics Teacher (retired
Henrico County Public
Schools
Richmond, VA

Nina Morley Daye
Physics Teacher
Orange High School
Hillsborough, NC

D. Eberst
Physics Teacher
Bishop Watterson High
School
Columbus, OH

Terry Elmer
Physics Teacher
Red Creek Central School
Red Creek, NY

Michael Fetsko
Physics Teacher
Mills E. Godwin High
School
Henrico, VA

.C. Foust, M.S.
Physics Teacher
Hermitage High School
Richmond, VA

Elaine Gwinn
Physics Teacher
Shenandoah High School
Middletown, IN

Janie Head
Physics Teacher
Foster High School
Richmond, TX

Stan Hutto
Physics Teacher
Alamo Heights High
School
San Antonio, TX

Emily James
Physics Teacher
Brewster Academy
Wolfeboro, NH

Dr. C. D. Jones
School of Applied and
Engineering Physics
Cornell University
Ithaca, NY

**Dr. Mike
Papadimitriou**
Headmaster
Academy for Science
and Health Professions
Conroe, TX

Julia Quaintance
Physics Teacher
Morgan Local High
School
McConnelsville, OH

Stephen Rea
University of Michigan,
Dearborn
Plymouth, MI

Patricia Rollison
Physics Teacher
St. Gertrude High School
Richmond, VA

Patrick Slattery
Physics Teacher
South Elgin High School
South Elgin, IL

James Stankevitz
Physics Teacher
Wheaton
Warrenville South
High School
Wheaton, IL

Jason Sterlace
Physics Teacher
J.R. Tucker High
School
Henrico, VA

C. White
Physics Teacher
Seneca High School
Seneca, SC

**Michael Young,
MS**
ACT, Inc
Iowa City, IA

Tom Young
Physics Teacher
Whitehouse High
School
Whitehouse, TX

تبدأ كل وحدة بتجربة استهلالية، وهي تحقيق مختبري تمهيدي مصمّم لتقديم المفاهيم التي تشتمل عليها تلك الوحدة. التجارب المصغرة تحقيقات قصيرة يمكنها تحسين فهمك لمحتوى الفيزياء. وستجد أيضًا مختبر فيزياء أو أكثر في كل وحدة يوفر فرصًا للمزيد من التحقيقات المتعمقة.

الوحدة 1

الحركة في بُعدين

2	القسم 1 حركة المذوف
4	القسم 2 الحركة الدائرية
11	القسم 3 السرعة المتجهة النسبية
16	أثناء العمل
20	سائق سيارة سباق

تجربة استهلالية حركة المذوف
تجارب مصغرة كتلة المذوف
مسار المذوف
مختبرات الفيزياء إجراء تحقيق
بلوغ الهدف
قوة الجذب المركزي
مناطق الإسناد المتحرك

الوحدة

2

28		الجاذبية
30		القسم 1 حركة الكواكب والجاذبية
38		القسم 2 استخدام قانون الجذب العام
46		نظرة عن كذب لا شيء يستطيع الإفلات

تجربة استهلالية تمثيل حركة عطارد
تجارب مصفوفة ماء عديم الوزن
الوزن في السقوط الحر
مختبرات الفيزياء نموذج المدارات
كيف يمكنك قياس الكتلة؟
كتلة القصور وكتلة الجاذبية

الوحدة

3

54		الحركة الدورانية
56		القسم 1 وصف الحركة الدورانية
60		القسم 2 ديناميكا الحركة الدورانية
71		القسم 3 الاتزان
78		أجهزة الطرد المركزي آلة العمل

تجربة استهلالية الأجسام المتدحرجة
تجارب مصفوفة إتران العزم
الدوامة
مختبرات الفيزياء الرفع بالعتلة
العزم
الاتزان



مجلد الفيزياء والتأليف © مجموعة لسانج مؤسسة Education 1911

86	الشغل والطاقة والآلات
88	القسم 1 الشغل والطاقة
98	القسم 2 الآلات
106	الأطراف الاصطناعية

الوحدة 4

تجربة استهلاكية الطاقة والسقوط
تجارب مصفرة قوة مبدولة عند زاوية ما
العجلة والمحور
مختبرات الفيزياء صعود السلالم والقدرة
الرفع باستخدام البكرات

114	الزخم وحفظه
116	القسم 1 الدفع والزخم
124	القسم 2 حفظ الزخم
134	حريق في السماء

الوحدة 5

تجربة استهلاكية الأجسام المتصادمة
تجارب مصفرة ارتفاع الارتداد
الزخم
مختبرات الفيزياء التصادمات الملتحمة
تصادم العريبات
دوران العجلة



الوحدة 6

الطاقة وحفظها 142

القسم 1 الأشكال المتعددة للطاقة 144

القسم 2 حفظ الطاقة 153

162 الحدود في الفيزياء ما هي الطاقة البديلة؟

تجربة استهلاكية طاقة الكرة المرتدة
تجارب مصفوفة تبادل الطاقة
توقف البندول
مختبرات الفيزياء حفظ الطاقة
هل الطاقة محفوظة؟

الوحدة 7

الطاقة الحرارية 170

القسم 1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية 172

القسم 2 تغيرات الحالة والديناميكا الحرارية 182

192 الآثار العملية النماذج الفيزيائية وديناميكية المشاة

تجربة استهلاكية انتقال الطاقة الحرارية
تجارب مصفوفة الانصهار
تحويل الطاقة
مختبرات الفيزياء أجهزة تجميع الطاقة الشمسية
التسخين والتبريد
كم عدد السرعات الحرارية الموجودة؟
حرارة الانصهار

198	حالات المادة
200	القسم 1 خصائص الموائع
208	القسم 2 القوى داخل السوائل
211	القسم 3 الموائع في حالات السكون والحركة
219	القسم 4 الأجسام الصلبة
224	المسار المتحني للقواعد! أبداً تعمل!

الوحدة

8

تجربة استهلاكية قياس الطفوئية
تجارب مصفرة الضغط
القنارات
مختبرات الفيزياء التبريد بالتبخير
تحت الضغط
قوة الطفو للماء
أول عالم في الطب الشرعي

232 الاهتزازات والموجات

234	القسم 1 الحركة الدورية
240	القسم 2 خصائص الموجات
246	القسم 3 سلوك الموجات
252	المباني المقاومة للزلازل أبداً تعمل!

الوحدة

9

تجربة استهلاكية تفاعل الموجات
تجارب مصفرة انعكاس الموجة
تفاعل الموجات
مختبرات الفيزياء اهتزازات البندول
التداخل والحيود
الانعكاس والانكسار

R-1

الجدول المرجعية

R-1	دليل الألوان
R-1	رموز دائرة كهربائية
R-2	الوحدات الأساسية للنظام الدولي للوحدات
R-2	الوحدات المشتقة في النظام الدولي للوحدات
R-2	تحويلات مفيدة
R-3	ثوابت فيزيائية
R-3	بادئات النظام الدولي للوحدات
R-3	عزم القصور الذاتي لأجسام مختلفة
R-4	كثافة بعض المواد الشائعة
R-4	درجات الانصهار والغليان
R-4	الحرارة النوعية
R-4	الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر
R-5	معاملات التمدد الحراري عند 20°C
R-5	سرعة الصوت في أوساط متنوعة
R-5	الطول الموجي للضوء المرئي
R-5	ثابت العزل الكهربائي، K (20°C)
R-6	بيانات النظام الشمسي
R-6	القمر
R-6	الشمس
R-7	الجدول الدوري للعناصر
R-8	العناصر
R-9	رموز السلامة

الفيزياء في الحياة اليومية

الفيزياء: المبادئ والمشكلات يجعل الفيزياء أمراً واقعياً. ستجد في أجزاء متفرقة من الكتاب روابط شخصية للفيزياء وأمثلة مذهشة على الفيزياء في الحياة العملية وكيف يشارك علماء الفيزياء في الأبحاث العلمية الحديثة.

الفيزياء في حياتك

في بداية كل قسم، يخبرك هذا العنوان عن كيفية ارتباط الفيزياء التي ستدرسها بحياتك.

القوة والحركة

القسم 1

الفيزياء من أجلك...

لنكي تبدأ ركوب لوح التزلج على سطح مائل الأرخسية بإحدى قدميك. إذا كان لوح التزلج فتصديك المتأدية إلى أسفل المنحدر. ولا غير المتوازنة حركة لوح التزلج.

القوة

تقبل كتاباً مستقراً على الطاولة. إذا أردت تحريكه، يمكنك أن والي علم الفيزياء، يُسمى الدفع أو السحب **قوة**. إذا دفعت جسمًا فقد أثرت في الجسم بقوة أكبر. بمعنى آخر، لقد زدت مقدار القوة أيضًا الاتجاه الذي تؤثر فيه القوة. أي أنك إذا دفعت الكتاب البست الكتاب في التمرير إلى اليمين. وإذا دفعت الكتاب إلى اليسار، فله اليسار. لأن القوى لديها مقدار واتجاه. أي أن القوى متجهية. يمثل F يمثل مقدار واتجاه القوة. في حين لا يمثل الرمز F إلا مقدار القوة بوحدة نيوطن (ND).

القوى غير المتوازنة تغير الحركة فأنظر أن رسومات الحركة الأجسام على فترات زمنية متساوية. على سبيل المثال، يوضح رسم الشكل 1 زيادة المسافة بين النقاط. مما يعني أن سرعة الكتاب $0 = F$. يكون الكتاب مستقرًا، ولكن بعد ثلثتين، يتحرك بسرعة 0 في السرعة يعني أنه يتسارع. ما سبب هذا التسارع؟ كان الكتاب



الفكرة الرئيسية

تكون القوة إما دفقا أو سحبًا

الأسئلة المهمة

- ما الجسم بالذات؟
- ما العلاقة بين القوة والتسارع؟

© 2010 Pearson Education, Inc. All rights reserved.

في أجزاء متفرقة من الكتاب، يوضح قسم

الفيزياء في الحياة اليومية

كيف تنطبق الفيزياء التي تدرسها على العالم من حولك.

الفيزياء من الحياة اليومية



الفيزياء

من الحياة اليومية

استنتاج: إذا كانت سرعة القطار 100 ميلاً في الساعة، فسيكون التسارع 100 ميلاً في الساعة في الثانية. هذا التسارع هو التسارع الذي يغير سرعة القطار. إذا كان القطار يتحرك بسرعة 100 ميلاً في الساعة، فسيكون التسارع 100 ميلاً في الساعة في الثانية. هذا التسارع هو التسارع الذي يغير سرعة القطار. إذا كان القطار يتحرك بسرعة 100 ميلاً في الساعة، فسيكون التسارع 100 ميلاً في الساعة في الثانية. هذا التسارع هو التسارع الذي يغير سرعة القطار.

سرعة على مسافات متساوية: عندما يتحرك جسم ما بسرعة ثابتة، فإن مسافته في كل ثانية تكون متساوية. على سبيل المثال، إذا كان القطار يتحرك بسرعة 100 ميلاً في الساعة، فسيكون التسارع 100 ميلاً في الساعة في الثانية. هذا التسارع هو التسارع الذي يغير سرعة القطار. إذا كان القطار يتحرك بسرعة 100 ميلاً في الساعة، فسيكون التسارع 100 ميلاً في الساعة في الثانية. هذا التسارع هو التسارع الذي يغير سرعة القطار.

سرعة على مسافات متساوية: عندما يتحرك جسم ما بسرعة ثابتة، فإن مسافته في كل ثانية تكون متساوية. على سبيل المثال، إذا كان القطار يتحرك بسرعة 100 ميلاً في الساعة، فسيكون التسارع 100 ميلاً في الساعة في الثانية. هذا التسارع هو التسارع الذي يغير سرعة القطار. إذا كان القطار يتحرك بسرعة 100 ميلاً في الساعة، فسيكون التسارع 100 ميلاً في الساعة في الثانية. هذا التسارع هو التسارع الذي يغير سرعة القطار.

الأجزاء الموجودة في نهاية الوحدة تلقي الضوء على الفيزياء في المهن المختلفة وكيف ترتبط بالحياة وما يقوم به علماء الفيزياء اليوم من أجل معرفة المزيد عن عالمنا.

الفيزياء إنه شيء ممتع!

كيف تُستخدم الفيزياء في الترفيه؟ قد تدهشك الإجابة! استكشف فيزياء وراء التأثيرات الخاصة والأفلام ثلاثية الأبعاد والصوتيات في المسرح وغير ذلك الكثير!



نظرة عن ك...

ألقِ "نظرة عن كتب" على عدد من موضوعات الفيزياء واكتشف القصة وراء بعض تطبيقات الفيزياء المهمة!

أثناء العمل

ربما تحتاجاً عندما تكتشف الفيزياء المستخدمة في العديد من المهن المختلفة. استكشف الوظائف التي لا تتوقع أنها تقوم على فهم الفيزياء.



الحدود في الفيزياء

ما الذي تكتشفه أبحاث الفيزياء اليوم؟ استكشف ما يقوم به علماء الفيزياء اليوم.

آلية العمل

استكشف الفيزياء في الأجسام أو الظواهر الطبيعية التي نشاهدها كل يوم عن طريق اكتشاف "طريقة حدوثها".



في بداية كل وحدة، ستشاهد **الفكرة الرئيسية** التي تساعدك على فهم كيف أن ما توشك على دراسته يمثل جزءًا من الصورة الكبيرة للعلم.



الفكرة الرئيسية هي محور التركيز الذي تدور حوله الوحدة. من خلال قراءة النص وإجراء التجارب والإجابة عن المسائل التدريبية ومراجعات الأقسام وتقويمات الوحدات، ستكوّن فهماً جيداً لهذه الفكرة.



في تقويم الوحدة، يوجد سؤال أو مسألة تساعدك على تقييم مدى فهمك **للفكرة الرئيسية**.

في بداية كل قسم، يوجد تمهيد للقراءة يلخص ما ستتعلمه أثناء استكشاف القسم.

الوزن والقوة المعيقة

الفيزياء
في
حياتك

إذا كان قد سبق لك ركوب قطار الألعاب، فمن المحتمل أن لاحظت الشعور بالعدم وإنياء عندما تمر فوق تلك والتي في قوة الجاذبية الأرضية في أعلى تلك قوة الجاذبية الأرضية أسفل تلك الفرضية. فليكن لنا نعلم بالعدم الوزن؟

الوزن

من الشان الثاني لبيوتن إذا كانت الكرة في الشكل 10 تسارع. هذا يعني وجود قوة غير متزنة تؤثر في الكرة. نشال قوة الجاذبية الأرضية القوة الوحيدة التي تؤثر في الكرة بسبب كتلة الأرض. **وزن** الجسم قوة الجاذبية التي يولدها لها تلك الجسم. وهذه قوة الجاذبية هذه قوة مجال يناسب قدرها طردياً مع كتلة الجسم الذي يؤثر بالقوة. في حيلة معادلة، يمكن كتلة قوة الجاذبية التي تسوي الوزن ككتلي mg و g حيث كتلة الجسم m ويسمى **مجال الجاذبية** وهو كمية متجهة تربط بين كتلة الجسم وقوة الجاذبية التي يولدها لها في مكان محدد. بالقرب من سطح الأرض، تكون $g = 9.8 \text{ N/kg}$ أو 9.8 N/kg تجاه مركز الأرض. تتلخص الأجسام القريبة من سطح الأرض لقوة قدرها 9.8 N لكل كيلوجرام من الكتلة.

الموازنة عندما تطف على ميزان كذا هو موضح في الصورة اليسرى من الشكل 10. يؤثر الوزن هناك بقوة إلى أعلى. ونظراً لذلك لا تسارع. يجب أن تسوي القوة الصاعدة التي تؤثر هناك صغراً ومن ثم يجب أن يكون مقدار قوة الدفع إلى أعلى التي تؤثر بها الميزان F_{spring} مساوية لمقدار قوة السحب إلى أسفل التي تؤثر هناك mg . داخل الميزان، تؤثر الترسبات القوة إلى أعلى القارعة لعمل القوة الصاعدة تساوي صغراً. ثم معادلة الميزان لتسوي هذه الترسبات إلى وزن. يتم التأثير في قياس الميزان بمجال الجاذبية على سطح الأرض. إذا كنت فوق كوكب مختلف له جاذبية g مختلفة، فسيؤثر الميزان بقوة مختلفة ليحافظ على توازنه. وبمختلف قراءة الميزان. ونظراً لأن الوزن قوة، فإن الوحدة الأساسية المستخدمة في قياس الوزن هي النيوتن.

القسم 2



الفكرة الرئيسية

يشرح استخدام القانون الثاني لنيوتن لتوضيح حركة الأجسام المساقطة.

الأسئلة الرئيسية

- ما التلازم بين وزن الجسم وكتلته؟
- ما أوجه اختلاف الوزن الحقيقي من الوزن الظاهري؟
- ما تأثير الهواء على الأجسام أثناء سقوطها؟

مراجعة المفردات

اللزوجة viscosity مقاومة السائل

مفردات جديدة

weight	الوزن
gravitational field	مجال الجاذبية
apparent weight	الوزن الظاهري
weightlessness	العدم الوزن
drag force	القوة المعيقة
terminal velocity	السرعة المحددة

الفكرة الرئيسية

المفهوم الأساسي الذي يتناوله القسم. والأفكار الأساسية لكافة الأقسام الواردة في الوحدة تدعم الفكرة الرئيسية لها.

الأسئلة الرئيسية

تعرض أهمية الأهداف التي ينطوي عليها القسم. ويؤدي فهم هذه الأسئلة بدوره إلى فهم الفكرة الرئيسية للقسم.

القسم 2 مراجعة

في مراجعة القسم، يوجد سؤال يساعدك على تقويم مدى فهمك للفكرة الرئيسية.

25. الوزن الظاهري: شغل مصعداً سريعاً إلى أعلى تسارعه للزوال. في أي فترة من استغلال المصعد الظاهري مع وزنه الحقيقي؟ في أي فترات من ذلك سيكون وزنه الظاهري أقل من وزنه الحقيقي؟ في أي المصعد؟ اشرح مسطحة الجسم الحر لدعم إجابتك.

26. التصارع: يطف خالد الذي تبلغ كتلته 65.0 kg في على التلج. يؤثر صديقه فيه بقوة قدرها 9.0 N لثباته؟

27. التكسير النافذ: تعمل في وظيفة في مستودع لم يخبرون إلى الشاحنات لشحنه إلى متاجر التجار. حد الوزن قدره $10,000 \text{ N}$ لتحميل دفع كل ح سمر متحرك بمسحط الشاحنة إلى الميزان وانه الشاحنة. وذلك ليك بعد أن وزنت مسطحة وزنه 4 N الميزان. صف طريقة يمكنك بها تطبيق قوانين نيو التفرعية للمصاديق البشعة.

28. الكرة الرقمية: يستخدم لاعب القفز المرن في الشكل 13 بسرعة ثابتة في وهو الممر يصبح بعد فتح البطانة مباشرة. هل يتسارع لاعب أكثر الممر؟ إذا كان الأمر كذلك، فليكن أي اتجاه يتسارع اللاعب؟ اشرح إجابتك باستخدام قوانين نيوتن.



الشكل 13

29. جاذبية القمر: قرّن بين القوة القارعة لعمل صغرة كتلتها 10.0 kg والقوة القارعة لحيلها على القمر. علماً بأن مجال الجاذبية على القمر 1.6 N/kg .

30. حركة المصعد: شغل مصعد وأنت تحمل ميزاناً زهرياً وتعلق به جسم كتلته 1 kg . نشال إلى الميزان وتري أنه يقرأ 9.3 N ما الترم الذي يتلخص استنتاجه من حركة المصعد في ذلك الوقت. إن وجهه؟

تقوم الأسئلة الأخرى مدى فهمك للأسئلة الرئيسية

القسم 2 • الوزن وال

الحركة في بُعدين

الفكرة الرئيسية يمكنك استخدام المتجهات وقوانين نيوتن لوصف حركة المقذوفات والحركة الدائرية.

الأقسام

1 حركة المقذوف

2 الحركة الدائرية

3 السرعة المتجهة النسبية

التجربة الاستهلالية

حركة المقذوف

كيف يبدو شكل مسار المقذوف، على سبيل المثال مسار الكرة في الهواء؟



McGraw-Hill Education, Customized for the University of Jordan



McGraw-Hill Education is a leading provider of educational resources.

Full Chapters from *Gravitation Principles & Problems - Student Edition 2020*

حركة المقذوف

القسم 1



الفيزياء في حياتك

عندما تقذف الكرة المطاطية أو كرة القدم، فإنها تقطع المسافة في شكل قوس. تُعد هذه الكرات المتحركة من المقذوفات. كلمة مقذوف مشتقة من البادئة اللاتينية *pro-* ومعناها "الأمام"، والجذر اللاتيني *ject* ومعناه "إلقاء".

مسار المقذوف

يتحرك كل من الضفدع الخافز وكرة الثلج المقذوفة والسهم المنطلق من القوس في مسارات مماثلة. يرتفع كل مسار ويهبط. ودائماً ما يكون هبوطاً مائلاً في مسار على شكل قطع مكافئ. يُعرف الجسم المنطلق في الهواء باسم **المقذوف**. يمكنك إعداد مخطط الجسم الحر لمقذوف منطلق وتحديد القوى المؤثرة فيه. إذا تجاهلت مقاومة الهواء، بعدما ينطلق المقذوف بقوة ابتدائية، فإن الجاذبية ستكون القوة الوحيدة التي تؤثر فيه أثناء تحركه في الهواء. تتسبب الجاذبية في أن يهبط الجسم هبوطاً مائلاً. يُعرف مساره في الفراغ باسم **مسار المقذوف**. يمكنك تحديد مسار المقذوف إذا كنت تعرف سرعته الابتدائية. في هذه الوحدة، سنتناول نوعين من حركة المقذوفات. يوضح الجزء العلوي من الشكل 1 الماء المنطلق انطلاقاً أفقياً في شكل مقذوف. بينما يوضح الجزء السفلي من الشكل الماء المنطلق كمقذوف بزاوية. في كلتا الحالتين، تجعل الجاذبية مسار الهبوط منحنياً للأسفل في شكل قطع مكافئ.

الشكل 1 يميل المقذوف المنطلق انطلاقاً أفقياً مباشرة عند هبوطه، لكن إذا أطلق لأعلى بزاوية، فإنه سيرتفع ويهبط بعد ذلك، ودائماً ما يكون الهبوط في بشكل منحنى.



الفكرة الرئيسية

الحركة الأفقية للمقذوف مستقلة عن حركته الرأسية.

الأسئلة الرئيسية

- إلى أي مدى ترتبط الحركات الرأسية بالحركات الأفقية للمقذوف؟
- ما العلاقات بين ارتفاع المقذوف والزمن الذي يستغرقه في الهواء وسرعته الابتدائية والمسافة الأفقية التي يقطعها؟

مراجعة المفردات

مخطط الحركة motion diagram
عبارة عن مجموعة من الصور الموضحة لمواقع جسم متحرك والمتقطعة على مدار فترات زمنية منتظمة.

المفردات الجديدة

المقذوف projectile
مسار المقذوف trajectory



حرية الحركة في بُعدين

فكّر في قيام لاعبين لعبة الكرة المبطاطية بالإحماء للعب إحدى المباريات، حيث يذفان الكرات عاليًا ذهانيًا وإيانيًا. ما شكل المسار الذي تتخذه الكرة وهي في الهواء؟ نظرًا لاعتبار الكرة من المذفوقات، تأخذ مسارًا على شكل قطع مكافئ. تخيل أنك تجلس خلف أحد اللاعبين مباشرة وتراقب الكرة المبطاطية أثناء قذفها. ما الشكل الذي تتخذه حركة الكرة؟ ستراها ترتفع لأعلى وتهبط لأسفل، مثلها مثل أي جسم يُذف رأسًا لأعلى في الهواء. إذا كنت قد شاهدت الكرة المبطاطية من منطاد أعلى الملعب مباشرة، فما الحركة التي شاهدتها آنذاك؟ ستشاهد الكرة تتحرك من أحد اللاعبين إلى اللاعب الآخر بسرعة ثابتة، مثلها مثل أي جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية. كقرص الهوكي الذي يُذف على الجليد، تُعد حركة المذفوقات مزيجًا من هاتين الحركتين.

لماذا تتصرف المذفوقات بهذه الطريقة؟ بعدما تخرج الكرة المبطاطية من يد اللاعب، ما القوى المؤثرة في الكرة؟ إذا تجاهلت مقاومة الهواء، فلن تكون هناك قوى تلامس مؤثرة في الكرة. لن تكون هناك سوى قوة مجال الجاذبية التي تؤثر في اتجاه الهبوط. ما مدى تأثير هذا في حركة الكرة؟ الجاذبية تكسب الكرة تسارعًا انجافه للأسفل.

مقارنة مخططات الحركة تعرض الشكل 2

مسارات الكرتين. سقطت الكرة الحمراء، وانطلقت الكرة الزرقاء بسرعة أفقية ابتدائية. ما أوجه الشبه بين المسارين؟ ألق نظرة على مواقعها الرأسية. تشير الخطوط الأفقية إلى المسافات الرأسية المتساوية. كان ارتفاع الكرتين نفسه في كل لحظة التقطت فيها صورة. ولأن التغير في الموقع الرأسية هو نفسه لكليهما، كان متوسط السرعات الرأسية خلال كل فترة زمنية هو نفسه كذلك. يبين معدل التزايد في المسافة الكبيرة التي تقطعها الكرات رأسيًا، من فترة زمنية لأخرى، أنها تتسارع عند الهبوط بسبب تأثير قوة الجاذبية.

لاحظ أن الحركة الأفقية للكرة المنطلقة لا تؤثر في حركتها الرأسية. المذفوف أفقيًا له سرعة أفقية ابتدائية، لكن ليس له أي سرعة رأسية ابتدائية. ومن ثم فحركته الرأسية مماثلة لجسم يسقط من موضع السكون. تمامًا مثل الكرة الحمراء، يكون للكرة الزرقاء سرعة هبوط تزداد بانتظام بسبب التسارع الذي تسببه الجاذبية.

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح لماذا يكون للجسم الساقط سرعة متجهة رأسية مماثلة للجسم المذفوف أفقيًا.

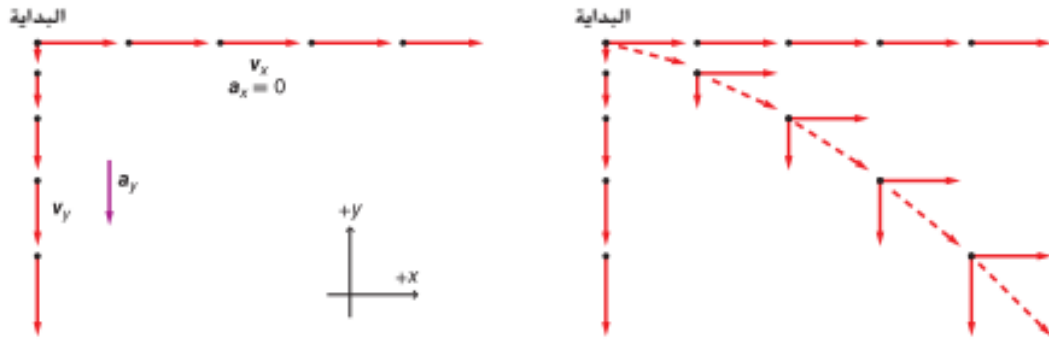
تجربة مصفوفة

كتلة المذفوف

هل تؤثر كتلة المذفوف في حركته ؟

مسار المذفوف

هل ترتبط الحركات الأفقية بالحركات الرأسية للمذفوف؟



المقذوفات التي أُطلقت أفقيًا

تخيل أن شخصًا يقف بالحرب من حافة جرف ويرمي حصاة رميًا أفقيًا. مثل كل المقذوفات المنطلقة أفقيًا، ستكون للحصاة سرعة أفقية ابتدائية، لكن لن يكون لها سرعة رأسية ابتدائية. ماذا سيحدث للحصاة وهي تسقط من الجرف؟

مخططات الحركة المنفصلة تذكر أن الحركة الأفقية للمقذوف لا تؤثر في حركته الرأسية. لذلك يسهل تحليل الحركة الأفقية والحركة الرأسية كل على حدة. تظهر مخططات الحركة المنفصلة لمركبات x و y لمتجهات السرعة للمقذوف المنطلق انطلاقًا أفقيًا. مثل الحصاة التي تُرمى من الجرف، على الجانب الأيسر في الشكل 3.

الحركة الأفقية لاحظ وجود المتجهات الأفقية في الرسم على الجانب الأيسر. كل متجه من متجهات السرعة له الطول نفسه، مما يشير إلى أن سرعة الجسم في الاتجاه الأفقي لا تتغير. لا تتسارع الحصاة في الاتجاه الأفقي. هذه السرعة الثابتة في الاتجاه الأفقي هي ما ينبغي توقعه بالضبط، لأنه بعد الرمية الابتدائية، لا توجد قوة أفقية تؤثر في الحصاة. (في الواقع، ستتناقص سرعة الحصاة تناقصًا طفيفًا بسبب مقاومة الهواء، لكن عليك تذكر أننا نتجاهل مقاومة الهواء في هذه الوحدة.)

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح السبب في كون الحركة الأفقية للمقذوف ثابتة.

الحركة الرأسية ألق نظرة الآن على متجهات السرعة الرأسية الموجودة في الرسم على الجانب الأيسر. يتجاوز طول كل متجه للسرعة طول المتجه الواقع فوقه بمقدار طفيف. يُظهر الطول المتغير أن سرعة الجسم تزداد وتتسارع نحو الأسفل. مرة أخرى، هذا ما ينبغي توقعه، لأن قوة الجاذبية في هذه الحالة تؤثر في الحصاة.

مسار القطع المكافئ عند التعامل مع مركبات x و y لحركة الجسم على حدة، يتخذ كل مسار خطًا مستقيمًا. يوضح الرسم الموجود على الجانب الأيمن في الشكل 3 مسار القطع المكافئ الفعلي. تضاف المركبات الأفقية والرأسية في كل لحظة لتكوين متجه السرعة الكلية في تلك اللحظة. يمكنك أن ترى كيف تنشئ مجموعة السرعة الأفقية الثابتة والتسارع الرأسية المنتظم مسارًا يتخذ شكل القطع المكافئ.

الشكل 3 لوصف حركة مقذوف أُطلق أفقيًا. يمكن التعامل مع مركبات x و y كل على حدة. تُبَيِّنُ محصلة متجهات السرعة للمقذوف عند كل نقطة مماس القطع المكافئ الذي يبَيِّنُ مسار المقذوف.

الاستنتاج أوجد قيمة a_y ؟

مختبر الفيزياء

إجراء تحقيق

المختبر الجانبي كيف يمكن للفيزياء إعادة بناء إطلاق قذيفة؟

بلوغ الهدف

صمم تجربتك بنفسك ما العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف؟

الحركة في بُعدين

عند حل مسائل المقذوفات، استخدم الاستراتيجيات التالية.

1. ارسم مخططاً للحركة يتضمن كميات متجهة للمقذوف عند الموقع الابتدائي والموقع النهائي له. إذا أطلق المقذوف بزاوية، فوضح أيضاً أقصى ارتفاع يصل إليه وزاوية الانبعاث.
2. قدر الحركة الرأسية والأفقية كل على حدة. أنشئ قائمة بالمتغيرات المعطاة والمطلوبة.
3. في الحركة الأفقية، التسارع يساوي $a_x = 0.0 \text{ m/s}^2$. أما إذا أطلق المقذوف بزاوية، فإن سرعته الرأسية الابتدائية وسرعته الرأسية عند سقوطه وعودته لنفس الارتفاع يكن لهما نفس المقدار ولكن باتجاهين مختلفين، $v_{yi} = -v_{yf}$.
4. في الحركة الرأسية، يكون $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$ (إذا اخترت الاتجاه لأعلى قيمة موجبة). إذا أطلق المقذوف بزاوية، فإن سرعته الرأسية عند أعلى نقطة يصل إليها تساوي صفراً، $v_{yf} = 0$ عند الانسحاب.
5. اختر معادلات الحركة التي تساعدك على إيجاد المتغيرات المجهولة. استخدمها في إيجاد الحركة الرأسية والأفقية كل على حدة. تذكر أن الزمن هو نفسه للحركة الأفقية والرأسية. يؤدي إيجاد الزمن في أحد البُعدين إلى معرفة زمن البُعد الآخر.
6. من المفيد أحياناً استخدام معادلات الحركة لإيجاد جزء من مسار المقذوف. يمكنك اختيار أي نقاط ابتدائية ونهاية لاستخدامها في المعادلات.

معادلات الحركة

أفقية (سرعة ثابتة)

$$x_f = v_{xi} t + x_i$$

رأسية (تسارع ثابت)

$$v_f = v_i + at$$

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} at^2$$

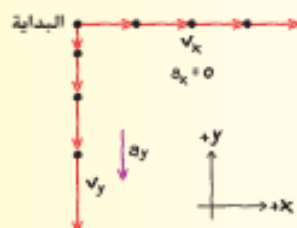
$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

مثال 1

الطبيب المُنزلق لنفترض أنك تحضر طعام الفطور وتدفع الطبق على طاولة المطبخ. لسوء الحظ، دفعته بسرعة كبيرة، حتى وصل إلى طرف طاولة المطبخ. إذا كانت طاولة المطبخ ترتفع عن الأرض ببعد 1.05 m وقد غادر حافة الطاولة الطاولة بسرعة 0.74 m/s ، فما البعد الذي يستغرقها حتى يستقر؟ وما بعد نقطة ارتطامه بالأرض عن حافة الطاولة.

1 تحليل المسألة

ارسم مخططات الحركة الأفقية والرأسية. اختر النظام الإحداثي بحيث تكون نقطة الأصل على الجزء العلوي من طاولة المطبخ. اختر اتجاه محور x الموجب في اتجاه السرعة الأفقية واتجاه محور y الموجب لأعلى.



المعلوم

$$\begin{array}{lll} x_i = y_i = 0 \text{ m} & a_x = 0 \text{ m/s}^2 & t = ? \\ v_{xi} = 0.75 \text{ m/s} & a_y = -9.8 \text{ m/s}^2 & x_f = ? \\ v_{yi} = 0 \text{ m/s} & y_f = -1.05 \text{ m} & \end{array}$$

المجهول

2 إيجاد المجهول

استخدم معادلة الحركة في اتجاه المحور y لإيجاد زمن السقوط

$$\begin{aligned} y_f &= y_i + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ t &= \sqrt{\frac{2(y_f - y_i)}{a_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2(-1.05 \text{ m} - 0 \text{ m})}{-9.8 \text{ m/s}^2}} = 0.46 \text{ s} \end{aligned}$$

► أعد ترتيب المعادلة لإيجاد الزمن.

► بتعويض $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$ ، $y_i = 0 \text{ m}$ ، $y_f = -1.05 \text{ m}$.

استخدم معادلة الحركة في اتجاه المحور x لمعرفة موضع اصطدام الطبق بالأرض.

$$x_f = v_{xi} t = (0.74 \text{ m/s})(0.46 \text{ s}) = 0.34 \text{ m} \text{ إلى الجانب الأيمن من الطاولة}$$

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يُقاس الزمن بالثواني. يُقاس الموقع بالمتر.
- هل الإشارات مفهومة؟ كلاهما موجب. تتوافق إشارة الموقع مع الاختيار الإحداثي.
- هل المقدار واقعي؟ يستغرق السقوط لمسافة متر واحد حوالي 0.5 s . وخلال هذه الفترة، تساوي الإزاحة الأفقية للطبق $0.5 \text{ s} \times 0.74 \text{ m/s}$.

1. ترمي حجزاً أفقياً بسرعة تبلغ 5.0 m/s من أعلى تل يرتفع 78.4 m .
 a. ما البدة التي يستغرقها الحجر للوصول إلى أسفل التل؟
 b. كم تبلغ المسافة التي يبعدها موضع سقوط الحجر عن قاعدة التل؟
 c. ما المركبات الأفقية والرأسية لسرعة الحجر قبل اصطدامه بالأرض؟
2. تعمل سامية وصديقتها في مصنع تجبيع يُصنّع دُمى الزرافات الخشبية. عند نهاية خط الإنتاج، تنتقل دُمى الزرافات أفقياً إلى حافة السير الناقل وتسقط بداخل الصندوق الموجود أسفله. إذا كان الصندوق يقع أسفل مستوى السير الناقل بحوالي 0.60 m وبعيداً عنه بحوالي 0.40 m . فكم يجب أن تكون السرعة الأفقية للدمى عندما تترك السير الناقل؟
3. التحدي تزور صديقاً من المدرسة الابتدائية يعيش الآن في قرية صغيرة. يتنهل أحد أماكن التسلية في سالة الأيس كريم. حيث يدفع مراد. طاهي الوجبات السريعة. مثلجات الأيس كريم على الطاولة بسرعة ثابتة تبلغ 2.0 m/s إلى النادل. (يحافظ على الطاولة ملبعة جيداً لهذا الغرض.) إذا التقط النادل المثلجات على مسافة 7.0 cm من حافة الطاولة. ما مقدار مسافة سقوط الأيس كريم من حافة الطاولة إلى الموضع الذي يلتقطها عنده.

الإطلاق بزاوية

عند إطلاق مخذوف بزاوية مائلة، يكون للسرعة الابتدائية مركبة رأسية و مركبة أفقية. إذا أطلق الجسم لأعلى، مثل كرة مخذوفة لأعلى في الهواء، فسيرتفع بسرعة بطيئة وسيصل إلى قمة مساره حيث تساوي سرعته صفراً للحظة ومن ثم يهبط بسرعة متزايدة.

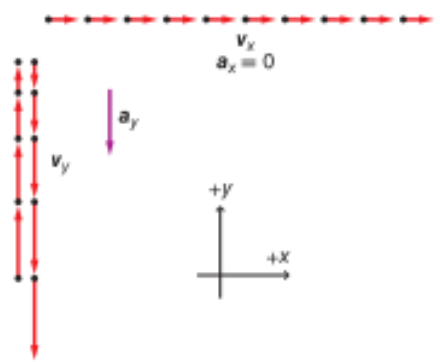
مخططات الحركة المنفصلة يوضح المخطط العلوي في الشكل 4 مخططات الحركة الرأسية والأفقية المنفصلة بالنسبة إلى مسارها. في النظام الإحداثي، يكون المحور x أفقياً ويكون المحور y رأسياً. لاحظ التنازل. عند كل نقطة في الاتجاه الرأسي، يكون لسرعة الجسم وهو يتحرك لأعلى المقدار نفسه عندما يتحرك هابطاً لأسفل. يتمثل الفرق الوحيد في أن اتجاهي سرعتين متضادان. عند حل المسائل، يكون من المفيد أحياناً مراعاة التنازل لإيجاد الكميات المطلوبة.

مسار القطع المكافئ يُحدد الرسم السفلي في الشكل 4 كميتين مفترقتين لمسار المخذوف. تُمثل إحداثيها أقصى ارتفاع، وهو الارتفاع الذي يصل إليه المخذوف عندما تساوي السرعة الرأسية صفراً ويكون للمخذوف فقط مُكوّن ذو سرعة أفقية. بينما تُمثل الكمية الأخرى المدى (R)، الذي يُقصد به المسافة الأفقية التي يقطعها المخذوف عندما تكون الارتفاعات الابتدائية والنهائية هي نفسها. يكون زمن التحليق مجهولاً، ويُقصد به مقدار الزمن الذي يبقى فيه المخذوف في الهواء. بالنسبة إلى ضربات الكرة في البيسبول، يُطلق على زمن التحليق غالباً زمن التعلق.

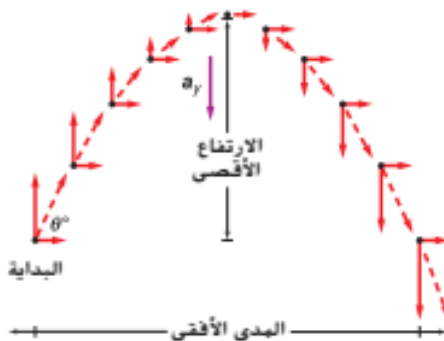
✓ **التأكد من فهم النص** عند أي نقطة في مسار المخذوف سرعته الرأسية تساوي صفراً؟

الشكل 4 عند إطلاق مخذوف بزاوية مائلة لأعلى، يكون اتجاه مسار القطع المكافئ لأعلى ثم لأسفل. تُمثل الحركة لأعلى ولأسفل بشكل واضح في المركبة الرأسية لمخطط الاتجاهات.

■ متجهات السرعة والتسارع الرأسية والأفقية



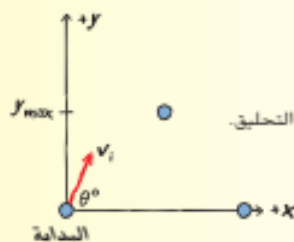
■ مسار القطع المكافئ



تحليل كرة تنطلق كرة بسرعة 4.5 m/s بزاوية 66° فوق الأفقي. إذا بدأت وعادت لنفس مستوى الأرض. كم يبلغ أقصى ارتفاع تسلكه الكرة فوق مستوى الإطلاق؟ وما مقدار زمن التحليق لها؟

1 تحليل المسألة

- أنشئ نظاماً إحداثياً يتضمن الموقع الابتدائي للكرة عند نقطة الأصل.
- وضح مواقع الكرة عند نقطة بداية التحليق وعند أقصى ارتفاع تسلكه إلى الكرة وعند نهاية التحليق. وضح اتجاه F_{net} .
- ارسم مخططاً للحركة يوضح a و v .



المعلوم	المجهول
$y_i = 0.0 \text{ m}$	$y_{y, \max} = 0.0 \text{ m}$
$\theta_i = 66^\circ$	$y_{\max} = ?$
$v_i = 4.5 \text{ m/s}$	
$a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$	
$t = ?$	

2 إيجاد المجهول

أوجد مركب المحور y لـ v_i .

$$v_{yi} = v_i(\sin \theta_i) = (4.5 \text{ m/s})(\sin 66^\circ) = 4.1 \text{ m/s}$$

استخدم التناظر لإيجاد مركب المحور y لـ v_i .

$$v_{yf} = -v_{yi} = -4.1 \text{ m/s}$$

أوجد أقصى ارتفاع

$$v_{yf, \text{التمس}}^2 = v_{yi}^2 + 2a_y(y_{\text{التمس}} - y_i)$$

$$(0.0 \text{ m/s})^2 = v_{yi}^2 + 2a_y(y_{\text{التمس}} - 0.0 \text{ m})$$

$$y_{\text{التمس}} = \frac{v_{yi}^2}{2a_y} = \frac{(4.1 \text{ m/s})^2}{2(-9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.86 \text{ m}$$

أوجد الزمن المطلوب للعودة إلى الارتفاع الذي يُمثل نقطة الانطلاق.

$$v_{yf} = v_{yi} + a_y t$$

$$t = \frac{v_{yf} - v_{yi}}{a_y}$$

$$= \frac{-4.1 \text{ m/s} - 4.1 \text{ m/s}}{-9.8 \text{ m/s}^2} = 0.84 \text{ s}$$

بتعويض $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$; $v_{yi} = 4.1 \text{ m/s}$

بتعويض $a_y = -9.8 \text{ m/s}^2$; $v_{yf} = -4.1 \text{ m/s}$; $v_{yi} = 4.1 \text{ m/s}$

3 تقييم الإجابة هل المقادير واقعية؟ بالنسبة إلى الجسم الذي يرتفع لأقل من 1 m . يكون الزمن المستغرق الأقل من 1 s إجابة منطقية.

تطبيقات



الشكل 5

4. يركل أحد اللاعبين كرة القدم من أرضية مستوية بسرعة ابتدائية تبلغ 27.0 m/s وبزاوية 30.0° فوق المستوى الأفقي. كما هو موضح في الشكل 5. أوجد كلاً مما يلي. افترض أن قوة تأثير الهواء على الكرة مهملة.

- زمن تعلّق الكرة
- أقصى ارتفاع للكرة
- المسافة الأفقية التي تتمتعها الكرة قبل اصطدامها بالأرض

5. يركل اللاعب في المسألة السابقة الكرة بعد ذلك بالسرعة نفسها لكن بزاوية 60.0° فوق المستوى الأفقي. كم يبلغ زمن تعلّق الكرة والمسافة الأفقية التي تتمتعها وأقصى ارتفاع لها؟

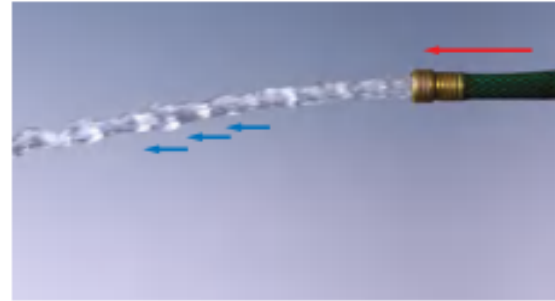
6. التحدي تُرمى صخرة من منحدر صخري ارتفاعه 50.0 m بسرعة ابتدائية تبلغ 7.0 m/s وبزاوية 53.0° أعلى المستوى الأفقي. أوجد سرعتها لحظة اصطدامها بالأرض.

الشكل 6 يمكن أن تزيد القوى المتولدة من الهواء من مقدار السرعة المتجهة للجسم المتحرك أو تنقصها.

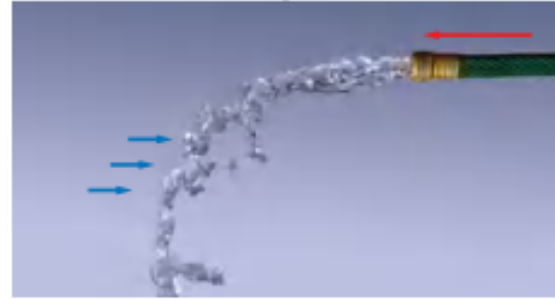
لا يوجد تأثير من الهواء



قوة الهواء التي تزيد السرعة



قوة الهواء التي تقلل السرعة



قوى من الهواء

يتم تجاهل تأثير القوى المتولدة من الهواء حتى الآن في هذه الوحدة. ومع ذلك ففكر في سبب استقرار الطائرة الورقية في الهواء أو سبب مساعدة المظلة للاعب القفز الحر على الهبوط بأمان إلى الأرض. يمكن أن تُغيّر القوى المتولدة من الهواء من حركة الجسم.

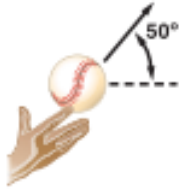
ماذا يحدث في حالة وجود رياح؟ يمكن أن يُغيّر الهواء المتحرك من حركة المذوف. تناول الحالات الثلاث الموضحة في **الشكل 6**. في الشكل العلوي، يتدفق الماء من أنبوب الرش دون أي تأثير من الهواء تقريباً. في الشكل الأوسط، تهب الرياح في الاتجاه نفسه الذي تبدأ منه الحركة الابتدائية للماء. يتغير مسار الماء بسبب القوة التي يؤثر بها الهواء في الماء في نفس اتجاه حركته. تزداد المسافة الأفقية التي يقطعها الماء لأن القوة تزيد من السرعة الأفقية للماء. يتغير اتجاه الرياح في الشكل السفلي. تقل المسافة الأفقية التي يقطعها الماء بسبب القوة التي يؤثر بها الهواء في الاتجاه المعاكس لحركة الماء.

ماذا لو كان اتجاه الرياح بزاوية مع جسم متحرك؟ تؤثر المركبة الأفقية للرياح فقط في الحركة الأفقية لجسم ما. بينما تؤثر المركبة الرأسية للرياح في الحركة الرأسية للجسم. في حالة الماء، على سبيل المثال، يمكن أن يقلل التيار الصاعد القوي من سرعة هبوط الماء.

تحدث التأثيرات الموضحة في **الشكل 6** بسبب تحرك الهواء بشكل كاف لتغيير حركة الماء تغييراً ملحوظاً. حتى الهواء غير المتحرك، يمكنه مع ذلك أن يكون له تأثير ملحوظ على بعض الأجسام المتحركة. تستقر قطعة من الورق أفقياً وتسطح، على سبيل المثال، تستقر بيضة بسبب مقاومة الهواء. تزداد مقاومة الهواء كلما زادت المساحة السطحية للجسم المواجهة للهواء المتحرك.

القسم 1 مراجعة

10. حركة المذوف تتحرك كرة معطاطية بتدفقها لاعب في الهواء بسرعة ابتدائية تبلغ 11.0 m/s . كما هو موضح في **الشكل 7**، كم يبلغ أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟
11. التفكير الناقد بافتراض أن الجسم يُذف بالسرعة الابتدائية نفسها والاتجاه نفسه على الأرض وعلى القمر، حيث يساوي التسارع سدس قيمته على الأرض بسبب الجاذبية. كيف ستتغير السرعة الرأسية وزمن التحليق وأقصى ارتفاع والمسافة الأفقية؟



الشكل 7

7. الفكرة الرئيسية تُذف كرنا البيسبول أفقياً من الارتفاع نفسه لكن بسرعتين مختلفتين. تعبر الكرة الأسرع القاعدة الرئيسية التي يقف عندها ضارب الكرة ضمن منطقة الضرب. أما الكرة الأبطأ فتعبر تلك القاعدة أسفل ركبتي ضارب الكرة. لماذا تختلف ارتفاعات الكرات عند مرورها بضارب الكرة؟
8. مخطط الجسم الحر ينزل مكعب الثلج من دون احتكاك مع الطاولة بسرعة ثابتة. ينزل على الطاولة ويهبط على الأرض. ارسم مخططات الحركة والجسم الحر لمكعب الثلج عند تقاطعين على الطاولة وتقاطعين في الهواء.
9. حركة المذوف تُذف كرة تنس خارج نافذة ارتفاعها 28 m فوق الأرض بسرعة ابتدائية تبلغ 15.0 m/s وبزاوية 20.0° أسفل المستوى الأفقي. كم تبلغ المسافة التي تتحركها الكرة أفقياً قبل اصطدامها بالأرض؟

الحركة الدائرية القسم 2

الفيزياء في حياتك

يوجد في كثير من مدن الملاهي والمهرجانات عربات دوّارة. عندما تدور العربة، تكون هناك قوى ناتجة عن أطر العربة أو حوافها الجانبية تحافظ على حركة الراكبين في مسار دائري.

وصف الحركة الدائرية

فكر في جسم يتحرك في مسار دائري بسرعة ثابتة، كحجر مثبت في طرف حبل أو حصان مُلجَم في عرض للخيل. هل يتسارع هذان الجسمان؟ في البداية، قد نظن أنهما لا يتسارعان لأن سرعتيهما لا تتغير. لكن نذكر أن التسارع يرتبط بالتغير في السرعة المتجهة، وليس بالتغير في السرعة فحسب. لأن اتجاهات الجسمين تتغير، فهما يتسارعان قطعاً.

تُعرف **الحركة الدائرية المنتظمة** بأنها حركة الجسم بسرعة ثابتة بمسار دائري نصف قطره ثابت. يُحدّد موقع الجسم في حركة دائرية منتظمة، بالنسبة إلى مركز الدائرة، بمتجه الموقع r . نذكر أن متجه الموقع هو متجه إزاحة ذيله عند نقطة الأصل. متجه الموقع r_1 و r_2 عند بداية فترة زمنية ونهايتها موضحان على اليمين في الشكل 8. أثناء تحرك الجسم حركةً دائرية، لا يتغير طول متجه الموقع، بل يتغير اتجاه هذا المتجه. يوضح الرسم أيضًا متجهين للسرعة اللحظية. لاحظ أن كل متجه للسرعة المتجهة يكون مماسيًا للمسار الدائري، وعموديًا على متجه الموقع عند نفس النقطة. لتحديد السرعة المتجهة للجسم، نحتاج أولاً إلى إيجاد متجه الإزاحة في فترة زمنية معينة. وكما نعلم أن السرعة المتجهة المتوسطة لجسم متحرك تُحدد بـ $\frac{\Delta r}{\Delta t}$. لذا فإن السرعة المتجهة المتوسطة لجسم في حركة دائرية هي $\vec{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$. موضح في الجانب الأيمن من الشكل 8 الرمز Δr الذي يشير إلى الإزاحة من r_1 إلى r_2 خلال فترة زمنية معينة. فالسرعة المتجهة لهذه الفترة الزمنية لها اتجاه الإزاحة نفسه، لكن قد يختلف طولها لأنها تكون مقسومة على Δt .

الفكرة الرئيسية

يتسارع جسم في حركة دائرية في اتجاه مركز الدائرة بسبب وجود قوة غير متوازنة مبدولة في اتجاه مركز الدائرة.

الأسئلة الرئيسية

- لماذا يتسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة ثابتة في مسار دائري؟
- كيف يعتمد التسارع المركزي على سرعة الجسم ونصف قطر المسار الدائري؟
- ما الذي يسبب التسارع المركزي؟

مراجعة المفردات

متوسط السرعة المتجهة

average velocity معدل التغير في الموقع مقسومًا على الزمن الذي يحدث خلاله هذا التغير، الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن بالنسبة إلى جسم ما

المفردات الجديدة

حركة دائرية منتظمة

uniform circular motion

تسارع مركزي

centripetal acceleration

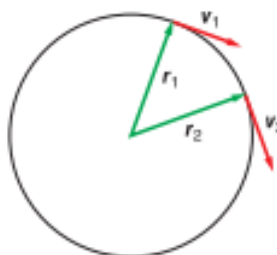
قوة الجذب المركزي

centripetal force

متجه الإزاحة



متجهات الموقع والسرعة المتجهة



الشكل 8 عندما يتحرك الجسم حركةً دائرية منتظمة، تكون السرعة المتجهة مماسيةً للمسار الدائري. وتكون في اتجاه الإزاحة نفسه.

التحليل كيف تستنتج من الرسم أن الحركة منتظمة؟



التسارع المركزي

لقد علمت أن متجه السرعة المتجهة للجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة يكون مماسيًا للمسار الدائري. فما اتجاه التسارع؟ توضح الشكل 9 متجهي السرعة المتجهة v_1 و v_2 عند بداية فترة زمنية ونهايتها. يلاحظ أن إيجاد الفرق في المتجهين (Δv) يكون بطريقتين. كما هو موضح أسفل الشكل. وأن اتجاه متوسط التسارع $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ لهذه الفترة الزمنية يكون في نفس اتجاه Δv . ولأن الفترة الزمنية قصيرة جدًا، تكون قيمة Δv صغيرة جدًا لدرجة أن $\bar{a}$ يشير إلى مركز الدائرة.

كثير هذه العملية لعدة فترات زمنية أخرى عندما يتواجد الجسم في مواضع مختلفة على محيط الدائرة. ستجد أن متجه التسارع يتغير مع تحرك الجسم على محيط الدائرة، لكنه يتجه دائمًا إلى مركز الدائرة. لهذا السبب، يسمى تسارع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالتسارع نحو مركز الدائرة أو **التسارع المركزي**.

مقدار التسارع كم يبلغ مقدار التسارع المركزي للجسم؟ انظر إلى نقطتي البداية لمتجهي السرعة المتجهة أعلى الشكل 9. لاحظ المثلث الذي يشكله متجهي الموقع عند هاتين النقطتين مع مركز الدائرة. مطابقًا لمثلث متجهي السرعة المتجهة كما هو موضح أسفل الشكل 9. والزوايا بين r_1 و r_2 هي نفس الزاوية بين v_1 و v_2 . ومن ثم يتكون مثلثان متطابقان عند طرح مجموعتي المتجهات، وتكون نسب أطوال الضلعين المتقابلين متساوية. لذلك، $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$. ولا تتغير المعادلة عند قسمة كل من الضلعين على Δt .

$$\frac{\Delta r}{r \Delta t} = \frac{\Delta v}{v \Delta t}$$

$$\text{لكن، } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ و } v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)\left(\frac{\Delta r}{\Delta t}\right) = \left(\frac{1}{v}\right)\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$$

وبالتعويض $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ في طرف المعادلة الأيسر و $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ في طرف المعادلة الأيمن، نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{v}{r} = \frac{a}{v}$$

ويحل المعادلة يمكن إيجاد التسارع. ويستخدم a_c كرمز للتسارع المركزي.

التسارع المركزي

يتجه التسارع المركزي دائمًا إلى مركز الدائرة. ويساوي مقداره مربع السرعة مقسومًا على نصف قطر الدائرة.

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

الزمن الدوري

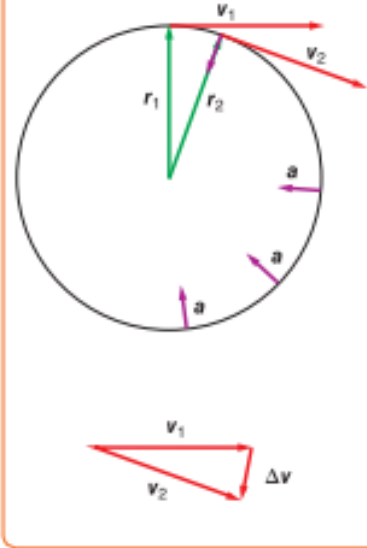
الزمن الدوري (T) أي الزمن اللازم ليتم الجسم دورة كاملة واحدة. خلال هذا الزمن، يتحرك الجسم مسافة مساوية لمحيط الدائرة ($2\pi r$). حينها،

يُعبر عن السرعة بـ $v = \frac{2\pi r}{T}$. وعند الاستعاضة عن v بقيمتها في

معادلة إيجاد التسارع المركزي، نحصل على المعادلة التالية:

$$a_c = \frac{(2\pi r/T)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

متجهات السرعة المتجهة



الشكل 9 تسارع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة يساوي معدل التغير في السرعة المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية. يكون اتجاه التسارع المركزي نحو مركز الدائرة دائمًا.



الشكل 10 عندما يقوم رامي المطرقة بتحريك الكرة في مسار دائري. فإن القوة التي تُكسب الكرة تسارعاً في اتجاه المركز هي قوة الشد الموجودة في السلسلة.

التوقع عند تجاهل مقاومة الهواء، كيف يمكن أن يتغير التسارع الأفقي والسرعة المُنجهة للمطرقة إذا أقلت الرامي الكرة من السلسلة؟

مختبر الفيزياء

قوة الجذب المركزي

ما الذي يؤدي إلى استمرار حركة الجسم عند تدويره في مسار دائري؟

قوة الجذب المركزي لأن تسارع الجسم الذي يتحرك في مسار دائري يكون دائماً في اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه، فلا بد أن تكون القوة المحصلة في اتجاه مركز الدائرة أيضاً. يمكن أن تنتج هذه القوة عن مصادر متعددة. فالقوة المؤثرة لدوران الأرض حول الشمس هي قوة جذب الشمس للأرض. عندما يقوم رامي المطرقة بتدوير المطرقة، كما في **الشكل 10**، تكون القوة متمثلة في الشد الموجود في السلسلة المتصلة بكرة ثقيلة. عندما يتحرك الجسم في مسار دائري، تسمى محصلة القوة المؤثرة نحو المركز **قوة الجذب المركزي**. لتحليل حالات التسارع المركزي بدقة، يجب أن تحدد مصدر القوة المؤدية إلى التسارع. ثم يمكنك تطبيق قانون نيوتن الثاني للمركبة في اتجاه التسارع بالطريقة التالية.

قانون نيوتن الثاني في الحركة الدائرية

محصلة قوة الجذب المركزي المؤثرة في جسم يتحرك في مسار دائري تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في تسارعه المركزي.

$$F_{\text{محصلة}} = ma_c$$

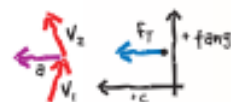
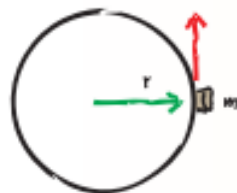
اتجاه التسارع عند حل المسائل، وجدت أنه من المفيد اختيار نظام إحداثي يُحدّد فيه محور واحد في اتجاه التسارع. حيث يكون اتجاه التسارع دائماً في اتجاه مركز الدائرة في الحركة الدائرية. لتُسمّى هذا المحور c بدلاً من تسميته x أو y كرمز للتسارع المركزي. وسيكون المحور الآخر في اتجاه السرعة المتجهة، أي سيكون مناسباً للمسار الدائري. وتُسمّى $tang$ كرمز للمسار. سنُطبق الآن قانون نيوتن الثاني في هذه الاتجاهات، ثانياً كما فعلت في مسائل الحركة في تعدين التي قيمت بحلها سابقاً. نذكر أن قوة الجذب المركزي ما هي إلا تسمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز. فهي تمثل مجموع كل القوى الحقيقية، أي القوى التي يمكنك أن تحدد مصادرها المؤثرة في امتداد المحور المركزي.

بالرجوع إلى حالة رامي المطرقة في **الشكل 10**، في أي اتجاه نظير المطرقة لحظة انطلاقها من السلسلة؟ بمجرد اختفاء قوة التلامس، لن تكون هناك قوة تؤدي إلى تسارع المطرقة في اتجاه مركز المسار الدائري. لذا تنطلق المطرقة في اتجاه سرعتها المتجهة المماسية للمسار الدائري. نذكر أنه إذا لم تستطع تحديد مصدر قوة ما، فيعني هذا أن هذه القوة غير موجودة.

الحركة الدائرية المنتظمة سدادة مطاطية كتلتها 13 g مثبتة عند طرف خيط طوله 0.93 m . أدبرت السدادة في مسار دائري أفقي. فأتمت دورة كاملة خلال 1.18 s . أوجد مقدار قوة الشد التي يبذلها الخيط على السدادة.

1 تحليل المسألة

- ارسم مخطط الجسم الحر للسدادة.
- حدّد نصف القطر واتجاه الحركة.
- أنشئ نظامًا إحداثيًا مع تسمية محاوره $tang$ و c . بحيث يكون اتجاهها a_c و F_T موازيين لـ c .



المجهول	المعلوم
$F_T = ?$	$m = 13 \text{ g}$
	$r = 0.93 \text{ m}$
	$T = 1.18 \text{ s}$

2 إيجاد المجهول

أوجد مقدار التسارع المركزي.

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$= \frac{4\pi^2 (0.93 \text{ m})}{(1.18 \text{ s})^2}$$

$$= 26 \text{ m/s}^2$$

▶ بالتعويض $r = 0.93 \text{ m}$, $T = 1.18 \text{ s}$.

استخدم قانون نيوتن الثاني لإيجاد مقدار الشد في الخيط.

$$F_T = ma_c$$

$$= (0.013 \text{ kg})(26 \text{ m/s}^2)$$

$$= 0.34 \text{ N}$$

▶ بالتعويض $m = 0.013 \text{ kg}$, $a_c = 26 \text{ m/s}^2$.

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ يتبن تحليل الأبعاد أن وحدة a_c ستكون بالـ m/s^2 وأن الوحدة F_T ستكون بالنيوتن.
- هل الإشارات مفهومة؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.
- هل المقادير واقعية؟ القوة تساوي تقريبًا ثلاثة أمثال وزن السدادة والتسارع يساوي تقريبًا ثلاثة أمثال تسارع الجاذبية. وهذا منطقي بالنسبة إلى جسم خفيف كهذا.

تطبيقات



الشكل 11

12. يركض عدّاء بسرعة 8.8 m/s في منعطف نصف قطره 25 m. فكم يبلغ التسارع المركزي للعدّاء. وما مصدر قوة الجذب المركزي المؤثرة في العدّاء؟

13. تتحرك طائرة بسرعة 201 m/s عند دورانها في مسار دائري. كم يبلغ أقصر نصف قطر لهذا المسار الدائري (بوحدة الكيلومتر) الذي يمكن أن يشكّله قائد الطائرة مع الحفاظ على التسارع المركزي أقل من 5.0 m/s^2 ؟

14. عاملة مسؤولة عن لعبة خيل خشبية كتلتها 45 kg تتف على منصة اللعبة وتنفذ 6.3 m عن مركزها. كما هو موضح في الشكل 11. فإذا كانت سرعتها ($v_{\text{مبدئي}}$) أثناء الدوران هي 4.1 m/s. فكم تبلغ قوة الاحتكاك (F_f) اللازمة حتى لا تسقط من المنصة؟

15. أدبرت كرة كتلتها 16 g مثبتة في طرف خيط طوله 1.4 m في مسار دائري أفقي. إذا كانت هذه الكرة تتم دورة كاملة كل 1.09 s. فكم يبلغ مقدار الشد في الخيط؟

16. التحدي تسير سيارة سباق في مضمار مستو وتنعطف بسرعة 22 m/s في منعطف نصف قطره 56 m. أوجد التسارع المركزي للسيارة. وما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين الإطارات والأرض لتنعطف السيارة دون أن تنزلق؟

“قوة” الطرد المركزي



الشكل 12 عند مرور السيارة في منعطف، يشعر الراكب بقوة وهمية تؤثر فيه نحو الخارج. في الواقع، القوة المؤثرة في الراكب هي قوة الجذب المركزي التي تكون في اتجاه مركز المسار الدائري وهي تنتج عن احتكاك الراكب بالمنعطف.

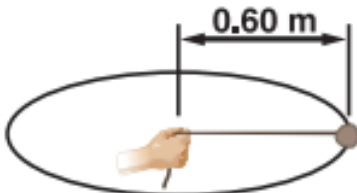
إذا انعطفت سيارة فجأة في اتجاه اليسار، فإن الراكب الجالس على الجانب الأيمن سيندفع في اتجاه الباب الأيمن. فهل هناك قوة خارجية تؤثر في هذا الراكب؟ فكر في موقف آخر يكون مشابهًا. لو أن السيارة التي تقودها توقفت فجأة، فإنك ستندفع إلى الأمام داخل حزام الأمان. فهل هناك قوة تؤثر فيك لتدفعك إلى الأمام؟ لا، لأنه طبقًا لقانون نيوتن الأول، فإنك ستستمر في الحركة بنفس السرعة المتجهة إلا إذا أثرت فيك محصلة قوة خارجية. وحزام الأمان هو الذي يؤثر فيك بقوة تدفعك إلى التوقف.

توضح **الشكل 12** سيارة تنعطف ناحية اليسار كما يبدو من أعلى. سيستمر راكب السيارة في الحركة إلى الأمام لولا القوة التي تؤثر فيه من الباب في اتجاه التسارع. أثناء مرور السيارة في هذا المنعطف، يخضع كل من السيارة والراكب لحركة دائرية، ويكون الراكب تحت تأثير التسارع المركزي. تذكر أن اتجاه التسارع المركزي يكون نحو مركز الدائرة دائمًا. فليست هناك قوة تدفع الراكب إلى الخارج.

لكن إذا فكرت في حالات مماثلة مررت بها، فستجد أنك كنت تشعر كما لو كانت هناك قوة تدفعك إلى الخارج. إن القوة التي تسمى بقوة الطرد المركزي أو القوة للخارج وهي قوة وهمية لا وجود لها. السبب الوحيد الذي يجعلك تشعر كما لو أن هناك قوة تدفعك هو أنك تكون في تسارع بالنسبة إلى الأشياء الموجودة حولك. وليست هناك قوة حقيقية لأنه ليس هناك مصدر حقيقي يولد هذه القوة.

القسم 2 مراجعة

22. القوة المركزية الجاذبة حجر بكتلة مقدارها 4.4 g يتم تحريكه أفقياً على شكل دائرة بسرعة 2.2 m/s . ما مقدار قوة الشد المؤثرة في السلك؟



الشكل 13

23. لعبة في مدينة الملاهي في إحدى ألعاب مدينة الملاهي يتف الأشخاص في دائرة نصف قطرها 4 m مستندين بظهورهم إلى حائط. يستغرق الزمن الدوري 1.7 s . ما مقدار التسارع المركزي الجاذبي ومقدار السرعة المتجهة لهؤلاء الأشخاص؟

24. القوة المركزية الجاذبة تبلغ كتلة كرة بولينج 7.3 kg . ما مقدار القوة الذي يتسبب في تحريكها على شكل دائرة، نصف قطرها 0.75 m . بسرعة تبلغ 2.5 m/s ؟

25. التفكير الناقد أنت تدور دائياً في حركة دائرية منتظمة بسبب دوران الأرض اليومي حول نفسها. ما مصدر القوة التي تتسبب في تسارعك المركزي الجاذبي؟ ما تأثير هذه الحركة الدائرية في قراءة وزنك على الميزان؟

17. الفكرة الرئيسية إذا ربطت كرة في طرف حبل وقيمت بتدويرها بسرعة ثابتة في مسار دائري فوق رأسك، فستتحرك الكرة حركة دائرية منتظمة. ما اتجاه تسارع الكرة؟ وما القوة المؤدية للتسارع؟

18. الحركة الدائرية المنتظمة ما اتجاه القوة المؤثرة في الملابس في دورة العصر لفسالة ذات تحميل علوي؟ وما مسبب هذه القوة؟

19. التسارع المركزي أشارت مقالة في جريدة أنه يجب على السائقين، عند انعطاف السيارات، توخي الحذر لتحقيق الموازنة بين قوة الجذب المركزي وقوة الطرد المركزي لتجنب ارتطام السيارات. اكتب رسالة إلى المحرر تشرح فيها الأخطاء الواردة في هذه المقالة من الناحية الفيزيائية.

20. مخطط الجسم الحر تجلس في المتعد الخلفي في سيارة تنعطف إلى اليمين. ارسم مخطط الحركة ومخطط الجسم الحر للإجابة عن هذه الأسئلة:

a. ما اتجاه تسارعك؟

b. ما اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيك؟

c. ما مسبب هذه القوة؟

21. التسارع المركزي يدور جسم في مسار دائري أفقي، وهو مثبت في طرف خيط طوله 1.8 m . ويتم دورة كاملة خلال 2.2 s . فكم يبلغ التسارع المركزي للجسم؟

هل لاحظت من قبل أن الأشخاص الذي يقفون بجوارك على سلم متحرك لا يتحركون وأن الأشخاص المتواجدين على سلم متحرك في الاتجاه الآخر يتحركون بسرعة كبيرة؟ في الواقع، قد يكون لهؤلاء الأشخاص السرعة نفسها بالنسبة إلى الأرض لكن تختلف سرعاتهم المتجهة كثيرًا بالنسبة إليك.

**الفيزياء
في حياتك
.....**

الحركة النسبية في بُعد واحد

افترض أنك في حافلة مدرسة تتحرك بسرعة متجهة قدرها 8 m/s في اتجاه موجب. وأنت تسير بسرعة 1 m/s في اتجاه مقدمة الحافلة. إذا كان صديق لك يقف على جانب الطريق ويراقب حركة الحافلة، فما مقدار السرعة التي قد يسجلها زميلك لحركتك؟ إذا كانت الحافلة تتحرك بسرعة 8 m/s فستكون سرعتها 8 m/s كما يقيسها زميلك في نظام إحداثي من نقطة ثابتة على الأرض. عندما تقف ثابتًا في الحافلة تكون سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة على الأرض هي 8 m/s أيضًا. لكن تكون سرعتك بالنسبة إلى الحافلة صفرًا. فكيف يمكن أن تختلف سرعتك؟

مناطق الإسناد المختلفة في هذا المثال، تلاحظ حركتك من خلال أنظمة إحداثية مختلفة. يُعرف النظام الإحداثي الذي يمكن ملاحظة الحركة من خلاله **بمناطق الإسناد**. إذا كنت تسير بسرعة 1 m/s في اتجاه مقدمة الحافلة فهذا يعني أن سرعتك تُقاس بالنسبة إلى الحافلة. أي أن سرعتك المتجهة في مناطق الإسناد للنقطة الثابتة تكون مختلفة. يمكنك إعادة صياغة المسألة كما يلي، إذا أعطيت سرعة الحافلة بالنسبة إلى الطريق وسرعتك بالنسبة إلى الحافلة، فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى الطريق؟ **الشكل 14** تمثيلًا اتجاهيًا لهذه المسألة. إذا كان اتجاه اليمين موجبًا، فإن سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة هي 9 m/s . أي مجموع السرعتين 8 m/s و 1 m/s . افترض الآن أنك تسير بالسرعة نفسها في اتجاه مؤخرة الحافلة. فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى النقطة الثابتة على الأرض؟ يُبين **الشكل 14** أنه نظرًا إلى أن السرعتين متعاكستان، فإن محصلة السرعة هي 7 m/s . أي الفرق بين 8 m/s و 1 m/s . تلاحظ أنه إذا كانت السرعات المتجهة في خط مستقيم، فيمكن استخدام عمليتي الجمع والطرح البسيطتين لإيجاد السرعة المتجهة النسبية.



الفكرة الرئيسية

تعتمد السرعة المتجهة للجسم على مناطق الإسناد الذي يتم اختياره.

الأسئلة الرئيسية.

- ما السرعة المتجهة النسبية؟
- كيف نحسب السرعات المتجهة للجسم في مناطق إسناد مختلفة؟

مراجعة المفردات

محصلة resultant المتجه الذي يُمثل مجموع متجهين آخرين.

المفردات الجديدة

مناطق إسناد reference frame



في الاتجاه نفسه

الباص نسبة إلى الشارع $v_{\text{باص}}/v_{\text{شارع}}$

أنت نسبة إلى الباص $v_{\text{أنت}}/v_{\text{باص}}$

أنت نسبة إلى الشارع $v_{\text{أنت}}/v_{\text{شارع}}$

في اتجاه متعاكس

الباص نسبة إلى الشارع $v_{\text{باص}}/v_{\text{شارع}}$

أنت نسبة إلى الباص $v_{\text{أنت}}/v_{\text{باص}}$

أنت نسبة إلى الشارع $v_{\text{أنت}}/v_{\text{شارع}}$

الشكل 14 عندما يتحرك جسم في مناطق إسناد متحرك، تُجمع السرعتان المتجهتان إذا كانتا في الاتجاه نفسه. ويُطرح إحداها من الأخرى إذا كانتا متعاكستين.

تذكر ما الذي تشير إليه أطوال متجهات السرعة المتجهة؟

تحدي

قوة الشد في حبل يدور أمير حيزاً كتلته m مربوطاً بحبل في مسار أفقي فوق رأسه. مع العلم أن ارتفاع الحبل هو h فوق سطح الأرض. يمثل r نصف قطر الدائرة. و T مقدار قوة الشد في الحبل. انقطع الحبل فجأة وسقط الحجر على الأرض. قطع الحجر مسافة أفقية x من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطامه بالأرض. أوجد تعبيراً رياضياً لـ x بدلالة كل من T و m و h . ثم وضح هل يتغير التعبير الرياضي إذا تحرك أمير بسرعة 0.05 m/s بالنسبة إلى الأرض؟

مختبر الفيزياء

مناطق الإسناد المتحرك

كيف يمكن أن نصف الحركة في مناطق إسناد متحرك؟

جمع متجهات السرعة المتجهة أمعن النظر في كيفية الحصول على نتائج السرعات المتجهة في الشكل 14. هل يمكنك وضع صيغة رياضية لوصف كيفية جمع السرعات المتجهة عندما تكون الحركة في مناطق إسناد متحرك؟ بالنسبة إلى الموقف الذي كنت تسير فيه في الحافلة. يمكنك أن ترمز إلى السرعة المتجهة للحافلة بالنسبة إلى النقطة الثابتة بالرمز $v_{b/r}$. ويمكنك أن ترمز إلى سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الحافلة بالرمز $v_{y/b}$ ولسرعتك المتجهة بالنسبة إلى النقطة الثابتة بـ $v_{y/r}$. لحساب سرعتك المتجهة بالنسبة إلى النقطة الثابتة في كلتا الحالتين. جمعت متجهات سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الحافلة والسرعة المتجهة للحافلة بالنسبة إلى الطريق. رياضياً. كان ذلك على النحو التالي،

$$v_{y/r} = v_{y/b} + v_{b/r}$$

السرعة المتجهة النسبية

السرعة المتجهة للجسم a بالنسبة إلى الجسم c هي حاصل الجمع الاتجاهي للسرعة المتجهة للجسم m بالنسبة إلى الجسم b . ثم السرعة المتجهة النسبية للجسم b بالنسبة إلى الجسم c .

$$v_{a/b} + v_{b/c} = v_{a/c}$$

الحركة النسبية في بُعدين

ينطبق جمع السرعات المتجهة النسبية أيضاً على الحركة في بُعدين. فكما هو الحال مع الحركة في بُعد واحد، نرسم أولاً مخطط المتجهات لوصف الحركة ثم نحل المسألة رياضياً.

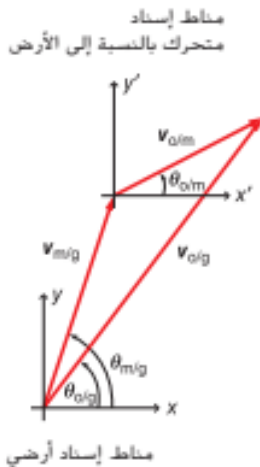
مخططات المتجهات توضح الشكل 15 طريقة رسم مخططات المتجهات للحركة النسبية في بُعدين. نلاحظ أنه يتم وضع رأس متجه على ذيل متجه آخر. يُعتبر مناطق الإسناد الذي تلاحظ الحركة من خلاله. والذي غالباً ما يُسمى بمناطق الإسناد الأرضي. في حالة سكّون. حيث يوضح المتجه الأول السرعة المتجهة لمناطق الإسناد الأخير بالنسبة إلى الأرض. كما يوضح المتجه الأخير الحركة في هذا مناطق الإسناد المتحرك. توضح المحصلة السرعة المتجهة النسبية. وهي السرعة المتجهة بالنسبة إلى مناطق الإسناد الأرضي.

✓ **التأكد من فهم النص الاستنتاج** هل يمكن أن تكون السيارة المتحركة مناطق إسناد؟

تُعد الحركة النسبية للطائرة من بين الأمثلة على ذلك. فلا يستطيع الطيار أن يتوقع الوصول إلى وجهته بمجرد توجيه طائرته في اتجاه البوصلة. بل يضع في حسابه سرعة الطائرة بالنسبة إلى الهواء. التي يعرفها من مؤشرات سرعة الهواء. واتجاه الرحلة بالنسبة إلى الهواء. كما يجب أن يضع في حسابه السرعة المتجهة للرياح على الارتفاع الذي يطير عنده بالنسبة إلى الأرض. يجب جمع هذين المتجهين للحصول على السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض. عندئذ يُرشد المنتج المحصل الطيار إلى السرعة التي يجب أن تسير بها الطائرة والانجاز الذي تسلكه للوصول إلى الوجهة المقصودة. يكون هذا الوضع مشابهاً عند حركة قارب في تيار متحرك من الماء.

الشكل 15 يوضع رأس متجه على ذيل متجه آخر لحساب متجه السرعة المتجهة النسبية للحركة في بُعدين. يشير الحرفان السفليان o/g إلى جسم بالنسبة إلى الأرض. ويشير o/m إلى جسم بالنسبة إلى مناطق إسناد متحرك ويشير m/g إلى المناطق المتحرك بالنسبة إلى الأرض.

التحليل كيف يمكن أن يتغير متجه المحصلة إذا اعتبرنا مناطق الإسناد الأرضي هو مناطق الإسناد المتحرك؟

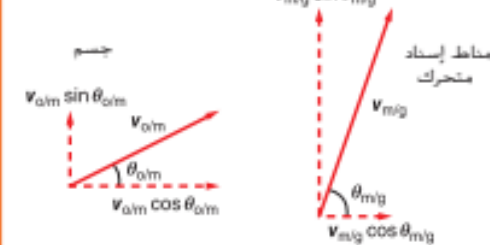


جمع السرعات المتجهة يمكنك استخدام المعادلات الموضحة في الشكل 16 لحل مسائل الحركة النسبية في بُعدين. السرعة المتجهة لمناط إسناد متحرك بالنسبة إلى الأرض تُسمى $v_{m/g}$. والسرعة المتجهة للجسم في مناط الإسناد تُسمى $v_{o/m}$. ستعطينا معادلة السرعة المتجهة النسبية السرعة المتجهة بالنسبة إلى الأرض، $v_{o/g} = v_{o/m} + v_{m/g}$. لتحديد مقدار السرعة المتجهة للجسم بالنسبة إلى الأرض ($v_{m/g}$)، حَلِّ أولاً متجهات السرعة المتجهة للجسم ومناط الإسناد المتحرك إلى المركبتين x و y . ثم طَبِّق نظرية فيثاغورس. توضح الشكل 16 الصيغة العامة للمعادلة. ومع ذلك تُعد هذه المعادلة أبسط بالنسبة إلى مسائل كثيرة لأن المتجهات تكون على المحاور. كما هو موضح في المثال أدناه، يمكنك إيجاد زاوية السرعة المتجهة للجسم بالنسبة إلى الأرض بملاحظة مخطط المتجهات ونطبيق علاقة مثلثية.

✓ **التأكد من فهم النص الشرح** كيف تُستخدم المتجهات لوصف الحركة النسبية في بُعدين؟

تحليل المتجهات

تحليل المتجهات

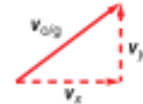


المعادلات

$$v_{o/g}^2 = v_x^2 + v_y^2$$

$$\text{حيث } v_x = v_{o/m} \cos \theta_{o/m} + v_{m/g} \cos \theta_{m/g}$$

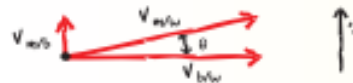
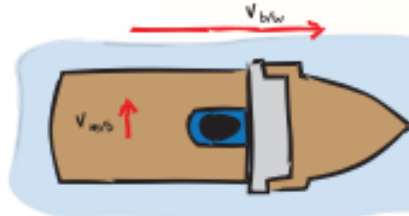
$$v_y = v_{o/m} \sin \theta_{o/m} + v_{m/g} \sin \theta_{m/g}$$



الشكل 16 لحساب السرعة المتجهة لجسم في مناط إسناد متحرك. حَلِّ المتجهات إلى المركبتين x و y .

مثال 4

السرعة النسبية لكرة زجاجية تُركب زُدينة وداليا فاربا تسير بسرعة 4.5 m/s في اتجاه الشرق. دُحرجت داليا كرة زجاجية بسرعة 0.75 m/s في اتجاه الشمال في عرض الغارب باتجاه زُدينة. فكم تبلغ السرعة المتجهة للكرة بالنسبة إلى الماء؟



▶ بالتعويض $v_{b/w} = 4.0 \text{ m/s}$ ، $v_{m/b} = 0.75 \text{ m/s}$.

1 تحليل المسألة

أنشِ نظاماً إحداثياً. ارسم متجهات لتمثيل السرعات المتجهة.

المجهول

$$v_{m/w} = ?$$

المعلوم

$$v_{m/b} = 0.75 \text{ m/s}$$

$$v_{b/w} = 4.0 \text{ m/s}$$

2 إيجاد المجهول

بما أن سرعتين متعامدتين، سنستخدم نظرية فيثاغورس

$$v_{m/w}^2 = v_{b/w}^2 + v_{m/b}^2$$

$$v_{m/w} = \sqrt{v_{b/w}^2 + v_{m/b}^2}$$

$$= \sqrt{(4.0 \text{ m/s})^2 + (0.75 \text{ m/s})^2} = 4.1 \text{ m/s}$$

أوجد زاوية السرعة المتجهة للكرة الزجاجية.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_{m/b}}{v_{b/w}} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0.75 \text{ m/s}}{4.0 \text{ m/s}} \right) = 11^\circ \text{ شمال الشرق}$$

تتحرك الكرة الزجاجية بسرعة 4.1 m/s باتجاه يصنع زاوية 11° شمال الشرق.

3 تقييم الإجابة

هل الوحدات صحيحة؟ يبيّن تحليل الأبعاد أن السرعة المتجهة ستكون بوحدات المتر في الثانية.

هل الإشارات مفهومة؟ ستكون الإشارات جميعها موجبة.

هل المقادير واقعية؟ السرعة المتجهة الناتجة قريبة من قيم سرعتين المتجهتين المُعطيتين في المثال، وأكبر قليلاً من السرعة الأكبر فيهما.

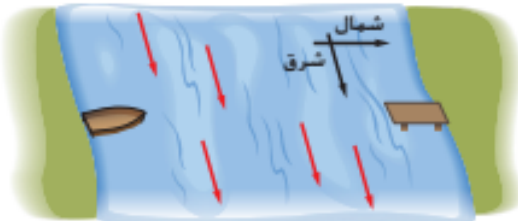
26. إذا كنت تركب حافلة تتحرك بسرعة بطيئة قدرها 2.0 m/s في ازدحام مروري. وركضت إلى مقدمة الحافلة بسرعة 4.0 m/s بالنسبة إلى الحافلة. فكم تبلغ سرعتك بالنسبة إلى الأرض؟
27. يسحب أحمد عربة أطفال في الجوار بسرعة 0.75 m/s . وفي العربة حشرة تزحف نحو مؤخرة العربة بسرعة 2.0 cm/s . فكم تبلغ السرعة المتجهة للحشرة بالنسبة إلى الأرض؟
28. يتحرك قارب في نهر بسرعة 2.5 m/s بالنسبة إلى الماء. سجل راسدون واقفون على ضفة النهر أن القارب يتحرك بسرعة لا تزيد عن 0.5 m/s بالنسبة إلى موقعهم على ضفة النهر. فكم تبلغ سرعة ماء النهر؟ وهل يتحرك ماء النهر في اتجاه حركة القارب أم في اتجاه معاكس؟
29. يتحرك قارب بسرعة 3.8 m/s باتجاه الشرق. ثم شخص يسير في عرض القارب بسرعة متجهة قدرها 1.3 m/s باتجاه الجنوب.
- أ. كم تبلغ سرعة الشخص بالنسبة إلى الماء؟
ب. في أي اتجاه يسير الشخص. بالنسبة إلى الأرض؟
30. تطير طائرة باتجاه الشمال بسرعة 150 km/h بالنسبة إلى الهواء. هبت رياح في اتجاه الشرق بسرعة 75 km/h بالنسبة إلى الأرض. فكم تبلغ سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض؟
31. التحدي تطير الطائرة الموضحة في الشكل 17 بسرعة 200.0 km/h بالنسبة إلى الهواء. كم تبلغ السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض إذا كانت تطير في ظروف الرياح التالية؟
- أ. رياح خلفية بسرعة 50.0 km/h
ب. رياح معاكسة بسرعة 50.0 km/h



الشكل 17

القسم 3 مراجعة

32. الفكرة الرئيسية تطير طائرة بسرعة 285 km/h في اتجاه الغرب بالنسبة إلى الهواء. هبت رياح في اتجاه الشرق بسرعة 25 km/h بالنسبة إلى الأرض. فكم تبلغ سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
33. السرعة النسبية قارب صيد سرعتة القصوى 3 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يجري بسرعة 2 m/s . فكم تبلغ أقصى سرعة يصل إليها القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وكم يبلغ أدنى سرعة يصل إليها؟ حدد اتجاه القارب بالنسبة إلى تيار النهر وأقصى سرعة وأدنى سرعة بالنسبة إلى ضفة النهر.
34. السرعة النسبية لقارب يسير قارب بخاري في اتجاه الغرب بسرعة 13 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يسير في اتجاه الشمال بسرعة 5.0 m/s . فكم تبلغ السرعة المتجهة (المقدار والاتجاه) للقارب البخاري بالنسبة إلى ضفة النهر؟
35. التجديف تجذّف في نهر يتدفق في اتجاه الشرق. ولعمرك بالفيضان. توجّه قاربك في اتجاه يصنع زاوية 53° غرب الشمال. وبسرعة متجهة 6.0 m/s في اتجاه الشمال بالنسبة إلى ضفة النهر.
- أ. كم تبلغ السرعة المتجهة لتيار الماء؟
ب. كم تبلغ سرعة قاربك بالنسبة إلى ماء النهر؟
36. عبور النهر يركب حازم في قارب يسير بسرعة 3.8 m/s في اتجاه الشرق. سار في اتجاه الشمال في عرض القارب بسرعة 0.62 m/s . فكم تبلغ السرعة المتجهة لحازم بالنسبة إلى الماء؟
37. السرعة المتجهة النسبية تطير طائرة في اتجاه الجنوب بسرعة 175 km/h بالنسبة إلى الهواء. وهناك رياح تهب في اتجاه الشرق بسرعة 85 km/h بالنسبة إلى الأرض. فكم تبلغ سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
38. السرعة المتجهة النسبية لطائرة تطير طائرة في اتجاه الشمال بسرعة 235 km/h بالنسبة إلى الهواء. وتهب رياح في اتجاه الشمال الشرقي بسرعة 65 km/h بالنسبة إلى الأرض. فكم تبلغ سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟
39. التفكير الناقد تنوّذ القارب الموضح في الشكل 18 عبر نهر يتحرك ماؤه بسرعة كبيرة. وتريد أن تصل إلى الرصيف في الجهة المتعابلة تمامًا لنقطة انطلاقك. صف كيف ستوجه قاربك بدلالة مركبتي سرعتك المتجهة بالنسبة إلى الماء.



الشكل 18

الحاجة إلى السرعة

سائق سيارة سباق

تقتضي وظيفة سائق سيارة سباق مهامًا أكثر من مجرد الضغط على دواسة الوقود والالتزام بمنحنيات الطريق. تتطلب إدارة القوى القصوى المطلوبة في العمل أثناء قيادة السيارة بسرعات تقرب من 320 كيلومترًا في الساعة قدرة على التحمل والتمتع بالقوة وردود أفعال سريعة — لا سيما خلال الانعطافات.

1 الحرارة (Heat) يرتدي سائق سيارة السباق خوذة تحمي رأسه من الارتطام ويزرع تحطي الجسم بالكامل تحمي من النار وقعاازات تساعد على السيطرة على عجلة القيادة. حتى لو كانت مجموعة التشغيل هذه غير ساخنة بما فيه الكفاية، يمكن أن تصبح الحرارة في كابينة القيادة مساوية لحرارة الصحراء.

2 القوة (Force) يمكن أن تتطلب سيارة السباق التي تسير بسرعة 290 km/h قوة تتجاوز 40000 N أجل الانعطاف على مضمار سباق مائل — أو منحرف.

3 السحب (Drag)

تصل سيارات السباق إلى أكبر السرعات في المناطق المستقيمة من مضمار السباق. تعمل القوة التي يؤثر بها الطريق في الإطارات على دفع السيارة لتسير إلى الأمام. بينما تعمل قوة السحب المستبددة من مقاومة الهواء على دفع السيارة إلى الخلف.

4 الثبات (Grip)

تأبنة على الأرض. حيث تنتج احتكاكًا بين المضمار والمنطقة الصغيرة التي يلامسها الإطار. وتعرف باسم رقعة التلامس. يساهم أيضًا الهواء المتدفق حول هيكل السيارة في توليد قوة ثبات تؤثر في السيارة. تتسبب في زيادة القوة الناعمة وزيادة الاحتكاك في رقعة التلامس.

5 الانعطافات (Turns)

تغير اتجاه عجلات القيادة. يؤثر الطريق بقوة ما على الإطارات المسؤولة عن انعطاف السيارة. يسمح الاحتكاك بين الإطارات والمضمار للسيارة بالثبات على الطريق والانعطاف. كلما كانت قوة الاحتكاك أكبر، كانت السرعة التي يمكن أن يتعطف السائق بها أكبر.

لمزيد من التعمق <<<

الأبحاث قارن على الأقل بين نوعين مختلفين من منافسات سباق السيارات، مثل سباق الجر وسباق السيارات الكهربائية، من حيث القوى المختلفة المستخدمة عند التشغيل بسبب الطرز المختلفة للسيارات وهياكل المضمار وقواعد السباق.

الفكرة الرئيسية يمكنك استخدام المتجهات وقوانين نيوتن لوصف حركة المقذوفات والحركة الدائرية.

القسم 1 حركة المقذوف

المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف

الفكرة الرئيسية الحركة الأفقية للمقذوف مستقلة عن حركته الرأسية.

- الحركات الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلة. في حالة عدم وجود أي مقاومة للهواء، لا تتأثر الحركة الأفقية بأي تسارع وتكون السرعة ثابتة، بينما تتأثر الحركة الرأسية للمقذوف بتسارع ثابت في ظل هذه الظروف نفسها.
- يُعرف مسار الحركة المائل الذي يتبعه المقذوف باسم مسار المقذوف ويُعد قطعاً مكافئاً. تربط معادلات الحركة بين كل من الارتفاع وزمن الحركة والسرعة الابتدائية والمسافة الأفقية في هذا المسار. تعتمد المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف قبل العودة إلى الارتفاع الابتدائي له على التسارع بسبب الجاذبية وعلى السرعة الابتدائية.

القسم 2 الحركة الدائرية

المفردات

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- قوة الجذب المركزي

الفكرة الرئيسية يتسارع جسم في حركة دائرية في اتجاه مركز الدائرة بسبب وجود قوة غير متوازنة مبدولة في اتجاه مركز الدائرة.

- يتسارع جسم يتحرك في مسار دائري بسرعة ثابتة تسارعاً نحو مركز الدائرة نظراً لتغير اتجاه سرعته تغيراً ثابتاً.
- يُعرف التسارع نحو مركز الدائرة باسم التسارع المركزي. يتناسب تناسباً طردياً مع مربع سرعة الجسم وعكسياً مع نصف قطر الدائرة.

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

- تكون محصلة القوة باتجاه مركز الدائرة لإحداث تسارع مركزي.

$$F_{net} = ma_c$$

القسم 3 السرعة المتجهة النسبية

المفردات

- مناطق الإسناد

الفكرة الرئيسية تعتمد السرعة المتجهة للجسم على مناطق الإسناد الذي يتم اختياره.

- يُعرف النظام الإحداثي الذي تعرض الحركة منه باسم مناطق الإسناد. السرعة المتجهة النسبية هي سرعة الجسم الملاحظة في مناطق إسناد متحرك مختلف.
- يمكنك استخدام عملية جمع المتجهات لحل مسائل حركة الجسم في مناطق إسناد متحرك.

القسم 1 حركة المقذوف

إتقان المفاهيم

40. يعتقد بعض الطلاب أن القوة هي التي تبدأ حركة المقذوفات، ثباتاً مثل ركلة كرة القدم. وثيقى مع الكرة، هل هذه وجهة نظر صحيحة؟ قدم الأدلة التي تثبت وجهة النظر هذه أو تنفيها.

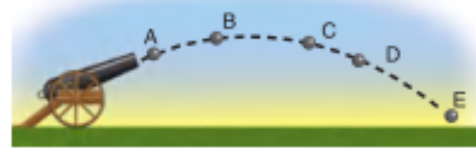
41. فكر في مسار قذيفة المدفع الموضح في الشكل 19.

a. ما الموضع الذي يكون فيه مقدار المركبة الرأسية للسرعة عند أكبر قيمة له؟

b. ما الموضع الذي يكون فيه مقدار المركبة الأفقية للسرعة عند أكبر قيمة له؟

c. ما الموضع الذي تكون فيه السرعة الرأسية عند أصغر قيمة لها؟

d. ما الموضع الذي يكون فيه مقدار التسارع عند أصغر قيمة له؟



الشكل 19

42. المسار وضح كيف تجعل القوي مسار جسم أطلق أفقياً مختلفاً عن مسار جسم أطلق لأعلى بزاوية.

43. مسألة عكسية اكتب مسألة فيزيائية باستخدام أجسام من الحياة اليومية يمكن أن تكون المعادلات التالية جزءاً من حلها. تلميح: نصف المعادلتان الجسم نفسه.

$$x = (1.5 \text{ m/s})t \quad 8.0 \text{ m} = \frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)t^2$$

44. تسقط طائر يحلق بسرعة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت صندوقاً ثقيل الوزن. مع تجاهل مقاومة الهواء، أين سيكون موضع الطائرة بالنسبة إلى الصندوق عندما يسقط على الأرض؟ ارسم مسار الصندوق كما يراه مراقب على الأرض.

إتقان حل المسائل

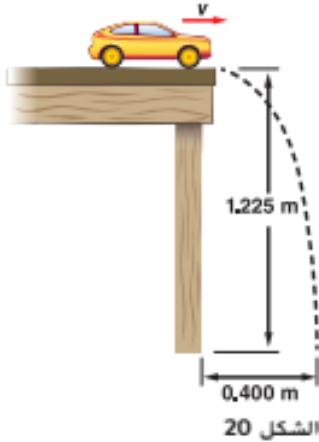
45. رميت مخارج سيارتك أفقياً بسرعة 8.0 m/s من منحدر يبلغ ارتفاعه 64 m . ما مقدار المسافة التي ينبغي أن تبعدها عن قاعدة المنحدر حتى تبحث عن المخارج؟

46. يرمي لاعب في لعبة الرشق بالسهم سهمًا أفقياً بسرعة 12.4 m/s . يصطدم السهم في اللوحة بارتفاع أقل من ارتفاع الرمي بمقدار 0.32 m . ما مقدار المسافة التي يبعدها اللاعب عن اللوحة؟

47. تسقط السيارة اللعبة الموضحة في الشكل 20 من حافة طاولة يبلغ ارتفاعها 1.225 m . سقطت السيارة عند نقطة تبعد 0.400 m من قاعدة الطاولة.

a. ما الزمن المستغرق في سقوط السيارة؟

b. ما مقدار سرعة السيارة على الطاولة؟



الشكل 20

48. السباحة قفزت في الماء من منصة مرتفعة وأنت تجري. كنت تجري بسرعة 2.8 m/s ووصلت الماء بعد مرور 2.6 s . كم يبلغ ارتفاع المنصة وما مقدار المسافة التي يبعدها عن حافة المنصة عندما وصلت إلى الماء؟ لتفترض أن سرعتك الابتدائية أفقية. تجاهل مقاومة الهواء.

49. الرماية قذف سهم بزاوية 30.0° فوق المستوى الأفقي. بسرعة 49 m/s ويصيب الهدف.

a. ما أقصى ارتفاع سيصل إليه السهم؟

b. يوجد الهدف على الارتفاع الذي زمي منه السهم. فما مقدار المسافة التي يبعدها الهدف؟

50. الكرة الرئيسية ضرب لاعب الهجوم كرة البيسبول بزاوية 45° وابتعدت عن سياج ملعب البيسبول بمقدار 98 m . إذا كان ارتفاع السياج بنفس مستوى ارتفاع اللاعب، فأوجد سرعة الكرة عندما خرجت من مضرب اللاعب. تجاهل مقاومة الهواء.

51. الإنقاذ البحري تسقط طائرة تحلق على ارتفاع 1001 m فوق سطح المحيط بسرعة 125 km/h صندوقاً من الموارد اللازمة لضحايا غرق السفينة.

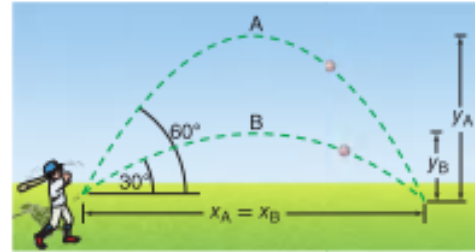
a. ما الزمن اللازم لسقوط الصندوق قبل أن تكون الطائرة فوق الضحايا مباشرة؟

b. ما المسافة الأفقية بين الطائرة والضحايا عند سقوط الصندوق؟

52. الغوص يغطس الغواصون من منحدر بارتفاع 61 m . ما الحد الأدنى للسرعة الأفقية التي يجب أن يصل بها الغواص إلى الماء من ارتفاع 23 m على الأقل من المنحدر؟

53. الرمية يحاول لاعب كرة سلة أن يحرز رمية من نصف الملعب ويضع الكرة بارتفاع السلة. لنفترض أن الكرة رُميت بزاوية 51.0° فوق المستوى الأفقي والمسافة الأفقية من السلة تبلغ 14.0 m . كم تبلغ السرعة التي يجب أن يرمي بها اللاعب الكرة لإحراز الرمية؟

54. ضربت كرنا البيسبول الموضحتين في الشكل 21 بنفس السرعة التي تبلغ 25 m/s . ارسم رسومات بيانية منفصلة لـ y مقابل t و x مقابل t لكل كرة.



الشكل 21

القسم 2 الحركة الدائرية

إتقان المفاهيم

55. هل يمكنك الدوران في منعطف عندما يكون التسارع كالتالي؟ اشرح.

a. التسارع يساوي صفر

b. التسارع ثابت مقدارًا واتجاهًا

56. للحصول على حركة دائرية منتظمة، إلى أي مدى تعتمد محصلة القوة التي تؤثر في جسم متحرك على سرعة الجسم؟

57. لنفترض أنك تطف بوبو حول رأسك في دائرة أفقية.

a. في أي اتجاه يجب أن تؤثر القوة في البوبو؟

b. ما مسبب القوة؟

c. إذا تركت خيط البوبو، ففي أي اتجاه تتحرك اللعبة؟ استخدم قوانين نيوتن في إجابتك.

إتقان حل المسائل

58. سباق السيارات تكمل سيارة سباق كتلتها 615 kg لفة واحدة في 14.3 s حول مسار دائري يبلغ نصف قطره 50.0 m . لنفترض أن سيارة السباق تسير بسرعة ثابتة.

أ. كم يبلغ تسارع السيارة؟

ب. ما القوة التي يجب أن يؤثر بها المسار في الإطارات لينتج هذا التسارع؟

59. مهمة الترتيب رتب الأجسام التالية حسب التسارع المركزي الخاص بها من الأصغر إلى الأكبر. أشر إلى أي علاقة على وجه التحديد.

A. حجر كتلته 0.50 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.6 m بسرعة 2.0 m/s

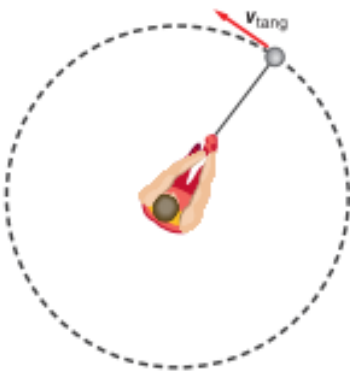
B. حجر كتلته 0.50 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 1.2 m بسرعة 3.0 m/s

C. حجر كتلته 0.60 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.8 m بسرعة 2.4 m/s

D. حجر كتلته 0.75 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 1.2 m بسرعة 3.0 m/s

E. حجر كتلته 0.75 kg يتحرك في دائرة نصف قطرها 0.6 m بسرعة 2.4 m/s

60. رمي المطرقة يلف رياضي مطرقة ثزن 7.00 kg تبعث عن مركز الدوران 1.8 m في دائرة أفقية. كما هو موضح في الشكل 22. إذا كانت المطرقة تطف دورة واحدة في 1.0 s . فكم يبلغ التسارع المركزي الخاص بالمطرقة؟ كم تبلغ قوة الشد في السلسلة؟



الشكل 22

61. يدور ساق مستدير يبلغ طوله 15.3 cm عندما يكون محوره في أحد طرفي الساق. يتحرك الطرف الآخر من الساق بسرعة ثابتة تبلغ 2010 m/s (4500 mph).

a. كم يبلغ التسارع المركزي لطرف الساق؟

b. إذا كنت تريد أن تربط جسمًا كتلته 1.0 g بطرف الساق، فما مقدار القوة اللازمة ليثبت على الساق؟

62. يركب مهرج دراجة نارية أسفل منحدر ثم أعلى حلقة رأسية كبيرة وحولها. إذا كان نصف قطر الحلقة 18 m . فما أقل سرعة يمكن أن يصل بها الراكب أعلى الحلقة بحيث تظل الدراجة ملائمة للمسار وتتجنب السقوط؟ تلميح: بهذه السرعة البطيئة، لا يؤثر المسار بأي قوة في الدراجة عند أعلى الحلقة.

67. **السفر جواً** تتود طائرة صغيرة وتريد الوصول إلى مطار على بعد 450 km جنوباً في غضون 3.0 h. تهب رياح من الغرب بسرعة 50.0 km/h. ما الوجة والسرعة الجوية اللتان ينبغي اختيارهما لتصل إلى وجهتك في الوقت المحدد؟

68. **طرح المسائل** أكمل هذه المسألة بحيث يمكن حلها باستخدام مفهوم السرعة المتجهة النسبية، "يوجد سالم على الضفة الغربية لنهر عرضه 55 m تبلغ سرعة تياره 0.7 m/s".

تطبيق المفاهيم

69. **حركة المقذوف** اشرح كيف يمكن أن تكون الحركة الأفقية منتظمة بينما الحركة الرأسية بحالة تسارع. كيف ستأثر حركة المقذوف عندما تؤخذ مقاومته بسبب مقاومة الهواء في الاعتبار؟

70. **البيسبول** ضرب لاعب الهجوم كرة مباشرة اجتازت القاعدة الرئيسة بسرعة ابتدائية قدرها 20 m/s. أمسك حارس المرمى من الفريق المدافع الكرة من نفس الارتفاع الذي ضربت منه. بأي سرعة وصلت الكرة إلى قفاز حارس المرمى؟ تجاهل مقاومة الهواء.

71. **الرمية السريعة** في لعبة البيسبول، تستغرق الرمية السريعة 0.5 s حتى تصل إلى القاعدة. لتفترض أن هذه الرمية زُميت أفقياً. قارن بين المسافة التي قطعها الكرة في أول 0.25 s والمسافة التي قطعها في ثاني 0.25 s.

72. **رمي حجراً أفقياً** في الرمية الأفقية الثانية، رميت الحجر بقوة أكبر ودفعته بسرعة أكبر.

a. كيف سيتأثر الزمن الذي يستغرقه الحجر حتى يسقط على الأرض؟ تجاهل مقاومة الهواء.

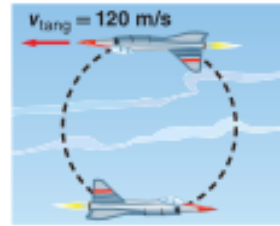
b. ما مدى تأثير السرعة الزائدة على المسافة من خروج الحجر من يدك حتى سقوطه على الأرض؟

73. **علم الأحياء في مجال ما** يتف عالم حيوان على منحدر ويصوب بندقية تخدير مؤقت نحو قرد يتسلق الأشجار موجود في مدى البندقية. ماسورة البندقية موجهة أفقياً. بمجرد أن يسحب عالم الحيوان الزناد، يدوخ القرد ويبدأ في السقوط. هل سيصيب السهم القرد؟ تجاهل مقاومة الهواء.

74. **كرة القدم** يمرر اللاعب القائد كرة القدم بسرعة 24 m/s وبزاوية 45°. إذا استغرقت الكرة 3.0 s حتى تصل إلى قمة مسارها وأمسك بالكرة من نفس الارتفاع الذي مُررت منه، فكم تبلغ الفترة التي ظلت فيها في الهواء؟ تجاهل مقاومة الهواء.

75. **سباقات المضمار والميدان** تسعي جاهذاً إلى تحسين أدائك في الوثب الطويل وتعتقد أن المعلومات الواردة في هذه الوحدة يمكن أن تساعدك. هل تحدث الارتفاع الذي وصلت إليه أي فارق في وثبك؟ ما الذي يؤثر في طول وثبك؟

63. يتود طيار كتلته 75 kg طائرة في حلقة كما هو موضح في الشكل 23. في أعلى الحلقة، عندما تنقلب الطائرة رأساً على عقب ثباتاً للحظة، يعلق الطيار بحرية في المقعد ولا يدفع حزام المقعد. تكون قراءة مؤشر السرعة 120 m/s. كم يبلغ نصف قطر حلقة الطائرة؟



الشكل 23

القسم 3 السرعة المتجهة النسبية

إتقان المفاهيم

64. لماذا تبدو السيارة التي تسير في الاتجاه المعاكس بالنسبة إلى السيارة التي تتودها على الطريق السريع في كثير من الأحيان أنها أسرع من الحد الأقصى للسرعة؟

إتقان حل المسائل

65. يجلس علي وأدهم على ضفاف نهر ويفرران أن يتسابقا. سيركض علي على طول الشاطئ حتى يصل إلى المرسى الذي يبعد حوالي 1.5 km. ثم يعود. سيتسابق أدهم أيضاً إلى المرسى ويعود، ولكنه سيجتد بشارب في النهر تبلغ سرعة تياره 2.0 m/s. إذا كانت سرعة ركض علي تساوي سرعة تجديف أدهم في الماء الراكد التي تبلغ 4.0 m/s، فباذا ستكون نتيجة السباق؟ لتفترض أنهما تحركا في الوقت نفسه.

66. **عبور نهر** تجتد بشارب، مثل الموضح في الشكل 24، عمودي على شاطئ النهر الذي يتدفق بسرعة 3.0 m/s. تبلغ سرعة التيار 4.0 m/s بالنسبة إلى الماء.

a. كم تبلغ سرعة قاربك بالنسبة إلى الشاطئ؟

b. ما مركبة سرعتك الموازية للشاطئ؟ والعمودية عليه؟



الشكل 24

84. تحصل مسافة مقدارها 500.0 m في البداية بين حصانين. يتحركان نحو بعضهما بسرعة ثابتة تبلغ 2.5 m/s . يتحرك بعضوب بسرعة ثابتة قدرها 3.0 m/s ويطير من أنف أحد الحصانين إلى الآخر. ثم يستدير فوراً ويطير مرة أخرى إلى الحصان الأول. يواصل الطيران ذهاباً وإياباً حتى يصل الحصانان إلى بعضهما. ما المسافة التي قطعها بعضوب خلال هذه الفترة؟

85. الطرق المرصوفة تُرصف منحنيات الطرق غالباً لتساعد على منع السيارات من الانزلاق. إذا كان الحد الأقصى للسرعة لمنحني معين نصف قطره 36.0 m هو 15.7 m/s (35 mph). فعند أي زاوية يجب رصف الطريق بحيث تبقى السيارات على مسار دائري حتى لو لم يوجد أي احتكاك بين الطريق والإطارات؟ إذا زاد الحد الأقصى للسرعة إلى 20.1 m/s (45 mph)، فعند أي زاوية يجب رصف الطريق؟

86. الكرة التي كتلتها 1.45 kg الموضحة في الشكل 25 معلقة من سلسلة طولها 0.80 m وتتحرك في دائرة أفقية بسرعة ثابتة.

a. كم تبلغ قوة الشد في السلسلة؟

b. كم تبلغ سرعة الكرة؟



87. ضرب لاعب مدافع كرة بيسبول مباشرة بما يتوافق مع زاوية قدرها 35.0° أعلى المستوى الأفقي بسرعة ابتدائية قدرها 22.0 m/s . يبدأ اللاعب المدافع الركض بمجرد ضرب الكرة بسرعة ثابتة قدرها 2.5 m/s ويملك الكرة بالكاد. لنفترض أن الكرة أمسكت من نفس الارتفاع الذي ضربت منه. فما المسافة الابتدائية بين اللاعب المهاجم واللاعب المدافع؟ تلميح: توجد إجابتان محتملتان.

88. يوجد مع محمد حقيبة من الكرات الزجاجية أعلى مبنى ارتفاعه 60.0 m . وفي الوقت نفسه، يركب طارق منطاداً يعمل بالهواء الساخن يبعد عن قاعدة المبنى 20.0 m ويترك رباط المنطاد. ثم يبدأ في التحليق بسرعة ثابتة. يرمي محمد حقيبة الكرات الزجاجية أفقياً بسرعة 7.3 m/s بمجرد أن يبدأ المنطاد في التحليق. ماذا يجب أن تكون سرعة المنطاد بالنسبة إلى طارق حتى يمسك الحقيبة بسهولة؟

76. القيادة على الطريق السريع اشرح لماذا عندما تمر بسيارة تسير في نفس اتجاهك على الطريق السريع تشعر أنها تستغرق زمناً أطول من السيارة التي تسير في الاتجاه المعاكس.

77. تخيل أنك تجلس في سيارة وترمي كرة مباشرة في الهواء.

a. إذا كانت السيارة تسير بسرعة ثابتة، فهل تستقط الكرة أمامك أم خلفك أم بين يديك؟

b. إذا اضطلعت السيارة بسرعة ثابتة، فأين تستقط الكرة؟

78. تلف بوبو حول رأسك في دائرة أفقية. ثم تلف بوبو آخر مثلي حجم البوبو الأول. ولكنك لم تغير طول الخيط أو الفترة الزمنية. ما أوجه الاختلاف بين قوتي الشد في الخيطين؟

79. سباق السيارات أصبحت منحنيات مسار السباق مرصوفة حتى يسهل على السيارات تجاوز المنحنيات بسرعات عالية. ارمس مخطط الجسم الحر لسيارة على منحنى مرصوف من مخطط الحركة. أوجد اتجاه التسارع.

a. ما مسبب القوة في اتجاه التسارع؟

b. هل يمكن أن نتج هذه القوة من دون احتكاك؟

مراجعة عامة

80. قال المشككون الأوائل في فكرة دوران الأرض أن دوران الأرض بسرعة يمكن أن يلقي من عند خط الاستواء في الفضاء. يبلغ طول نصف قطر الأرض $6.38 \times 10^3 \text{ km}$ تقريباً. وضح سبب اعتبار هذه الفكرة خاطئة بحساب ما يلي.

a. سرعة شخص كتلته 97 kg عند خط الاستواء

b. القوة اللازمة لتسارع الشخص في الدائرة

c. وزن الشخص

d. القوة الرأسية للأرض التي تؤثر في الشخص وهي الوزن الظاهري له

81. إطلاق صاروخ تحلق طائرة بسرعة 375 m/s بالنسبة إلى الأرض وتطلق صاروخاً للأمام بسرعة 782 m/s بالنسبة إلى الطائرة. كم تبلغ سرعة الصاروخ بالنسبة إلى الأرض؟

82. ترسانة الصواريخ يُطلق صاروخ في الفضاء الخارجي يتحرك بسرعة 1.25 km/s بالنسبة إلى مراقب ينطلق بدراجته النارية. تخرج الغازات الساخنة من الخلف بسرعة 2.75 km/s بالنسبة إلى الصاروخ. كم تبلغ سرعة الغازات بالنسبة إلى المراقب؟

83. كرة كتلتها 1.13 kg تتأرجح رأسياً من حبل طوله 0.50 m بحركة دائرية منتظمة بسرعة 2.4 m/s . كم تبلغ قوة الشد في الحبل عند أسفل موقع في حركة الكرة؟

التفكير الناقد

89. تطبيق المفاهيم فكّر في شريط قطار ملاو يشبه الموضح في الشكل 26. هل تسير السيارات على طول الشريط بحركة دائرية منتظمة؟ اشرح.



الشكل 26

90. استخدام الكمبيوتر والآلات الحاسبة يضرب لاعب يسبيل كرة سريعة من ارتفاع الحزام (1.0 m) حتى تسقط على خط الملعب الأيسر. يضرب اللاعب الكرة بسرعة ابتدائية قدرها 42.0 m/s بزاوية 26° أعلى المستوى الأفقي. يبعد سياج الملعب الأيسر بمسافة 96.0 m عن القاعدة الرئيسة عند حدود عمود الملعب ويبلغ ارتفاعه 14 m. اكتب معادلة ارتفاع الكرة (y) كدالة لبعدها عن القاعدة الرئيسة (x). استخدم الكمبيوتر أو آلة حاسبة بيانية لرسم مسار الكرة. تتبع المسار لمعرفة مقدار ارتفاع الكرة عن سطح الأرض عندما تصل إلى السياج.

- هل الضربة تجاوزت حدود الملعب؟
- ما الحد الأدنى للسرعة الذي يمكن أن تُضرب به الكرة وتجتاز السياج؟
- إذا كانت السرعة الابتدائية للكرة 42.0 m/s، فما نطاق الزوايا التي ستجتاز الكرة بها السياج؟

91. التحليل أوضح ألبرت أينشتاين أن القاعدة التي تعلمتها لجميع السرعات لا تصلح للأجسام المتحركة بالقرب من سرعة الضوء. على سبيل المثال، إذا كان صاروخ يتحرك بسرعة v_A يطلق قذيفة بسرعة v_B بالنسبة إلى الصاروخ، فإن سرعة القذيفة بالنسبة إلى مراقب

$$\text{مستريح تُمثل كما يلي } v = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A v_B}{c^2}}, \text{ حيث } c \text{ سرعة الضوء.}$$

$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ تعطي هذه الصيغة القيم الصحيحة للأجسام المتحركة بسرعات بطيئة أيضًا. لنفترض أن صاروخًا يتحرك بسرعة 11 km/s يطلق شعاع ليزر أمامه. كم تبلغ السرعة التي يمكن أن يجدها مراقب غير متحرك لضوء الليزر؟ لنفترض أن صاروخًا يتحرك بسرعة $\frac{c}{2}$ ، نصف سرعة الضوء ويطلق قذيفة للأمام بسرعة $\frac{c}{2}$ بالنسبة إلى الصاروخ. ما مقدار سرعة حركة الصاروخ بالنسبة إلى مراقب ثابت؟

92. التحليل والاستنتاج تتحرك كرة في سلسلة عقيمة الوزن في دائرة رأسية. حلل حركة هذا النظام وضعها. تأكد من دراسة آثار الجاذبية وقوة الشد. هل يتحرك هذا النظام حركة دائرية منتظمة؟ اشرح إجابتك.

الكتابة في الفيزياء

93. قطارات الملاهي ليست أشرطة معظم قطارات الملاهي دائرية الشكل. ابحث عن السبب الفيزيائي وراء اختيار هذا التصميم وشرحه.

94. تستخدم ألعاب متعددة في الملاهي التسارع المركزي لإضفاء جو من الإثارة لزبائن الملاهي. استخدم لعبتين أخريين غير قطار الملاهي الذي يستخدم الحركة الدائرية وشرح كيف تؤثر فيزياء الحركة الدائرية جواً من الإثارة لراكبي القطار.

مراجعة تراكمية

95. اقسم أو اضرب كما هو موضح باستخدام الأرقام الموضحة بشكل صحيح.

- $(5 \times 10^8 \text{ m})(4.2 \times 10^7 \text{ m})$
- $(1.67 \times 10^{-2} \text{ km})(8.5 \times 10^{-6} \text{ km})$
- $\frac{2.6 \times 10^4 \text{ kg}}{9.4 \times 10^3 \text{ m}^3}$
- $\frac{6.3 \times 10^{-4} \text{ m}}{3.8 \times 10^2 \text{ s}}$

96. ارسم البيانات الواردة في الجدول 1 على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن. أوجد السرعة المتوسطة في الفترة الزمنية بين 0.0 s و 5.0 s.

الجدول 1 الموقع والزمن	
$x \text{ (m)}$	$t \text{ (s)}$
30	0.0
30	1.0
35	2.0
45	3.0
60	4.0
70	5.0

97. مصطلحي وشقيقه الأكبر أمير في محل البقالة. يريد مصطلحي الذي كتلته 17.0 kg أن يركب على الجزء الأمامي من العربة بينما يدفعها أمير. رغم أنها يعرفان أن هذا غير آمن. يدفع أمير عربة كتلتها 12.4 kg بالإضافة إلى شقيقه الذي يركب عليها وبالتالي يبلغ تسارعهما 0.20 m/s^2 .

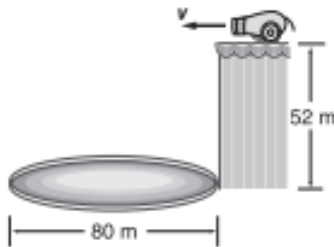
- بأي قوة يدفع أمير العربة؟
- ما قوة العربة التي تؤثر في مصطلحي؟

7. تستخط برتقالة في الوقت نفسه ومن الارتفاع نفسه الذي تخرج فيه رصاصة من بندقية. أي مما يلي صحيح؟

- A. التسارع بسبب الجاذبية أكبر بالنسبة إلى البرتقالة لأن البرتقالة أثقل.
- B. تؤثر الجاذبية في الرصاصة بدرجة أقل من البرتقالة لأن الرصاصة تتحرك بسرعة كبيرة جدًا.
- C. ستكون السرعات واحدة.
- D. ستستخط البرتقالة والرصاصة على الأرض في الوقت نفسه.

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

8. أطلقت قذيفة من الرصاص أفقيًا بسرعة 25 m/s من مدفع السيرك، الموضح في الشكل. من منصة أحيال عالية على أحد جوانب حلبة السيرك. إذا كان طول المنصة 52 m فوق الحلبة التي يبلغ قطرها 80 m . فهل يحتاج الممثلون إلى ضبط مدافعهم بحيث تستخط الكرة داخل الحلبة بدلًا من خارجها؟ اشرح.



9. يلف محارب أسطوري صولجانًا كتلته 5.6 kg في نهاية سلسلة سحرية مهيّلة الوزن طولها 86 cm في دائرة أفقية فوق رأسه. يلف الصولجان دورة واحدة كاملة في 1.8 s . أوجد قوة الشد في السلسلة السحرية.

اختيار من متعدد

1. تذف فتاة طولها 1.60 m كرة قدم بزاوية 41.0° فوق المستوى الأفقي وبسرعة ابتدائية 9.40 m/s . ما المسافة الأفقية بين الفتاة وموضع الكرة عندما عادت لنفس مستوى التذف؟
A. 4.55 m B. 5.90 m C. 8.90 m D. 10.5 m
2. يجلس طفل على لعبة دوامة الخيل التي تبعد عن المركز مسافة 2.8 m . إذا كانت السرعة المناسبة للعبة 0.89 m/s ، فكم يبلغ التسارع المركزي للطفل؟
A. 0.11 m/s^2 B. 0.28 m/s^2 C. 0.32 m/s^2 D. 2.2 m/s^2
3. تبلغ القوة التي يؤثر بها خيط مهبل الوزن طولها 2.0 m في جسم كتلته 0.82 kg ويتحرك في دائرة أفقية 4.0 N . فكم يبلغ السرعة المناسبة للجسم؟
A. 2.8 m/s B. 3.1 m/s C. 4.9 m/s D. 9.8 m/s
4. تدخل سيارة كتلتها 1000 kg منحنى نصف قطره 80.0 m بسرعة 20.0 m/s . ما قوة الجذب المركزي التي يجب أن يوفرها الاحتكاك حتى لا تنزلق السيارة؟
A. 5.0 N B. $2.5 \times 10^2 \text{ N}$ C. $5.0 \times 10^3 \text{ N}$ D. $1.0 \times 10^3 \text{ N}$
5. يري عذاء على ضفة نهر فريق تجديف قادمًا نحوه. بالنسبة إلى الأرض، يركض العذاء بسرعة 10 km/h غربًا ويبحر الخارب بسرعة 20 km/h شرقًا. كم تبلغ سرعة تقدم العذاء نحو الخارب؟
A. 10 km/h B. 30 km/h C. 20 km/h D. 40 km/h
6. ما أقصى ارتفاع يمكن أن تصل إليه فتاحة كتلتها 125 g تذف بزاوية 78° فوق المستوى الأفقي بسرعة ابتدائية 18 m/s ؟
A. 0.70 m B. 16 m C. 32 m D. 33 m

الجاذبية

الفكرة الرئيسية الجاذبية هي قوة جذب في صورة مجال تعمل بين الأجسام بسبب كتلتها.

الأقسام

- 1 حركة الكواكب والجاذبية
- 2 استخدام قانون الجذب العام

التجربة الاستهلاكية

نمذجة حركة عطار

كيف يمكن استخدام قياسات الزوايا والمسافات في رسم نموذج مدار؟



Copyright, Chapter 2, from Glencoe Physics: Principles & Problems, McGraw-Hill Education, 2011. All rights reserved. ©

ROAN MCCAIN/PHOTO DISC/GETTY IMAGES

الفيزياء في حياتك

يتكون نظامنا الشمسي من الشمس وسبعة كواكب رئيسة وكواكب قزمة بالإضافة إلى الغاز والغبار الذي يوجد بين الكواكب. إضافة إلى الأقمار المتعددة التي تدور حول الكواكب. ما الذي يمكنها جميعًا؟

الملاحظات الأولى

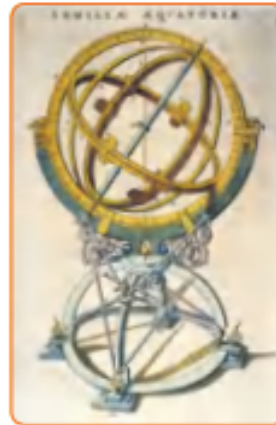
كان يُعتقد قديمًا أن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تدور كلها حول الأرض؛ إلا أن عالم الفلك البولندي كوبرنيكوس لاحظ أن أفضل المشاهدات المتوافرة لحركة الكواكب لا تتفق كليًا مع هذا النموذج الذي مركزه الأرض.

وقد نُشرت نتائج أعمال كوبرنيكوس التي قضى فيها العديد من سنوات عمره في عام 1543. عندما كان على فراش الموت. وقد بين كتابه أن حركة الكواكب يمكن فهمها بشكل أسهل إذا افترضنا أن الأرض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس. وساعد نموذج كوبرنيكوس في تفسير بعض الظواهر مثل ظهور كوكبي عطارد والزهرة دائمًا بالقرب من الشمس. وقد طوّرت رؤيته من فهمنا لحركة الكواكب؛ لكنه افترض خطأ أن مدارات الكواكب دائرية الشكل. ولما لم يتناسب هذا الافتراض جيدًا مع الملاحظات، كان من الضروري إدخال بعض التعديلات على نموذج كوبرنيكوس حتى يكون دقيقًا.

ثم جاء نايكو براهي الذي ولد بعد سنوات قليلة من موت كوبرنيكوس. ولاحظ، وهو في الرابعة عشرة من عمره في الدنمارك، كسوفًا للشمس في 21 أغسطس عام 1560. وقد ألهمته حقيقة توقع حدوث الكسوف، فقرر أن يصبح فلكيًا.

وفي أثناء دراسة نايكو لعلم الفلك، أدرك أن المخططات الزمنية لا تتوقع الأحداث الفلكية بشكل دقيقة. ففطن نايكو إلى ضرورة أخذ القياسات من موقع واحد على مدار فترة زمنية طويلة. وقد تم تمويله ملكية عطاردية على جزيرة "فين" الدنماركية لبناء مركز أبحاث. ولم تكن التلسكوبات قد اخترعت بعد، لذا استخدم نايكو بعض الأجهزة الضخمة مثل تلك الموضحة في الشكل 1 وقد صممها بنفسه في ورشته الخاصة. ويُنسب إلى نايكو أكثر القياسات دقة في عصره.

الشكل 1 استخدم نايكو مثل هذه الأجهزة لقياس مواقع الكواكب.



الفكرة الرئيسية

تناسب قوة الجاذبية بين جسمين طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما معسوفًا على مربع المسافة بينهما.

الأسئلة الرئيسية

- ما العلاقة بين نصف قطر مدار الكوكب والزمن الدوري؟
- ما المقصود بقانون نيوتن في الجذب العام وما علاقته بقوانين كبلر؟
- ما أهمية تحقيق كافنديش؟

مراجعة المفردات

قانون نيوتن الثالث

third law ينص على أن جميع القوى تأتي في أزواج وأن القوتين المؤثرتين في جسمين مختلفين متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه.

مفردات جديدة

القانون الأول لكبلر

Kepler's first law

القانون الثاني لكبلر

Kepler's second law

القانون الثالث لكبلر

Kepler's third law

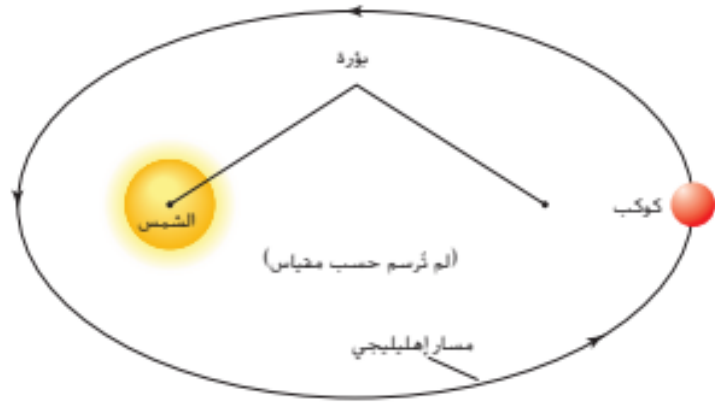
قوة الجاذبية gravitational force

قانون الجذب العام

law of universal gravitation



الشكل 2 تدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.



قوانين كبلر

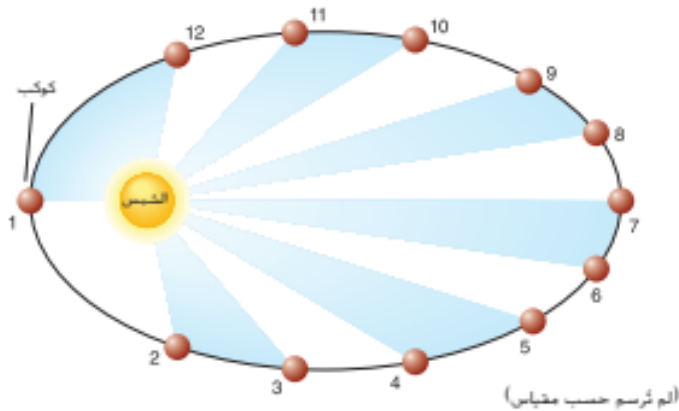
في عام 1600، انتقل تايكو إلى براغ حيث أصبح يوهان كبلر الألماني البالغ من العمر 29 عامًا أحد مساعديه. حلل كبلر ملاحظات تايكو. وبعد وفاته في عام 1601، تابع كبلر دراسة البيانات التي جمعها تايكو واستخدم الهندسة والرياضيات لتفسير حركة الكواكب. وبعد سبع سنوات من التحليل الدقيق للبيانات التي جمعها تايكو عن كوكب المريخ، اكتشف كبلر القوانين التي تصف حركة جميع الكواكب والأقمار سواء كانت طبيعية أو صناعية. وفيما يلي سنقدم القوانين في ما يتعلق بالكواكب.

ينص **القانون الأول لكبلر** على أن مدارات الكواكب إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين. فالشكل الإهليلجي له بؤرتان كما هو مبين في الشكل 2. وبالرغم من المبالغة في استخدام الشكل الإهليلجي في الرسوم، إلا أن المدار الفعلي للأرض أقرب كثيرًا إلى الشكل الدائري. فلا يمكن التمييز بينه وبين الدائرة بالعين.

وجد كبلر أن الكواكب تتحرك بسرعة أكبر عندما تكون قريبة من الشمس. في حين تتحرك أبطأ عندما تكون بعيدة عنها. وهكذا ينص **القانون الثاني لكبلر** على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. كما هو موضح في الشكل 3.

✓ **التأكد من فهم النص** قارن المسافة التي تغطيها الأرض من النقطة 1 إلى النقطة 2 ومن النقطة 6 إلى النقطة 7 في الشكل 3. ما المسافة التي ستغطيها الأرض بشكل أسرع؟

الزمن الدوري هو الزمن الذي يستغرقه الجسم في إكمال دورة واحدة في المدار. وقد توصل كبلر كذلك إلى علاقة رياضية تربط بين الزمن الدوري للكوكب ومتوسط بعده عن الشمس.



الشكل 3 وجد كبلر أن المدارات الإهليلجية تمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.

اشرح لماذا تختلف أشكال المساحات الزمنية المتساوية.

الجدول 1 بيانات النظام الشمسي

الاسم	متوسط نصف القطر (m)	الكتلة (kg)	متوسط البعد عن الشمس (m)
الشمس	6.96×10^8	1.99×10^{30}	—
عطارد	2.44×10^6	3.30×10^{23}	5.79×10^{10}
الزهرة	6.05×10^6	4.87×10^{24}	1.08×10^{11}
الأرض	6.38×10^6	5.97×10^{24}	1.50×10^{11}
المريخ	3.40×10^6	6.42×10^{23}	2.28×10^{11}
المشتري	7.15×10^7	1.90×10^{27}	7.78×10^{11}
زحل	6.03×10^7	5.69×10^{26}	1.43×10^{12}
أورانوس	2.56×10^7	8.68×10^{25}	2.87×10^{12}
نبتون	2.48×10^7	1.02×10^{26}	4.50×10^{12}

ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين زمنين دوريين للكوكبين يدوران حول الشمس يساوي مكعب النسبة بين متوسطي بعديهما عن الشمس. وهكذا إذا كان الزمان الدوريان للكوكبين هما T_A و T_B ومتوسط بعديهما عن الشمس r_A و r_B ، فيصبح التعبير الرياضي للقانون الثالث لكبلر على النحو التالي.

القانون الثالث لكبلر

مربع النسبة بين الزمن الدوري للكوكب (أ) والزمن الدوري للكوكب (ب) يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعد الكوكب (أ) عن الشمس ومتوسط بُعد الكوكب (ب) عن الشمس.

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$$

لاحظ أن القانونين الأول والثاني يطبقان على كل كوكب أو قمر أو قمر صناعي كل على حدة. أما القانون الثالث فيربط بين حركة كوكبين حول الجسم نفسه. لذا يستعمل لمقارنة أبعاد الكواكب عن الشمس بأزمانيها الدورية، كما هو موضح في الجدول 1. ويستعمل كذلك لمقارنة الأبعاد والأزمان الدورية للقمر وللأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض.

الأزمنة الدورية للمذنبات تُصنف المذنبات استنادًا إلى الزمن الدوري لها؛ وتنقسم إلى مذنبات لها زمن دوري طويل ومذنبات لها زمن دوري قصير. المذنبات ذات الزمن الدوري الطويل يكون زمنها الدوري أكبر من 200 سنة أما المذنبات ذات الزمن الدوري القصير فزمنها الدوري أقل من 200 سنة. إن الزمن الدوري للمذنب هال - بوب المبيّن في الشكل 4، هو 2400 سنة تقريبًا وهو مثال على المذنبات ذات الزمن الدوري الطويل. أما المذنب هالي فزمنه الدوري 76 سنة تقريبًا وهو مثال على المذنبات ذات الزمن الدوري القصير. وتحقق المذنبات أيضًا قوانين كبلر. لكن مداراتها شديدة الإهليلجية، على عكس الكواكب.

مختبر الفيزياء

نمذجة المدارات

ما شكل مدارات الكواكب والأقمار الصناعية في النظام الشمسي؟

الشكل 4 مذنب هال - بوب من المذنبات التي لها زمن دوري طويل ويبلغ 2400 سنة. التقطت هذا الشكل في عام 1997 عندما كان هال - بوب في أشد حالات ظهوره.



يُعد القمر كاليستو عن المشتري: فاس جاليليو أنصاف أقطار مدارات أقمار المشتري. مستخدماً قطر المشتري كوحدة قياس. فوجد أن الزمن الدوري للقمر "لو" وهو أقرب قمر للمشتري يساوي 1.8 يوماً وكان على بعد 4.2 وحدات من مركز المشتري. وكان الزمن الدوري للقمر "كاليستو" وهو القمر الرابع للمشتري يساوي 16.7 يوماً. احسب بُعد القمر كاليستو عن المشتري باستخدام الوحدات التي استخدمها جاليليو.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مداري القمرين لو وكاليستو
- عين نصفي قطري المدارين.

المجهول	المعلوم
$r_C = ?$	$T_C = 16.7$ يوماً
	$T_I = 1.8$ يوماً
	$r_I = 4.2$ وحدات

2 إيجاد المسافة التي يبعدها كاليستو عن المشتري

حل القانون الثالث لكبلر لإيجاد r_C .

$$\left(\frac{T_C}{T_I}\right)^2 = \left(\frac{r_C}{r_I}\right)^3$$

$$r_C^3 = r_I^3 \left(\frac{T_C}{T_I}\right)^2$$

$$r_C = \sqrt[3]{r_I^3 \left(\frac{T_C}{T_I}\right)^2}$$

➤ عوض يوماً $T_C = 16.7$ ، يوماً $T_I = 1.8$ ، وحدات $r_I = 4.2$

$$= \sqrt[3]{(4.2 \text{ وحدات})^3 \left(\frac{16.7 \text{ يوماً}}{1.8 \text{ يوماً}}\right)^2}$$

$$= \sqrt[3]{6.4 \times 10^3} \text{ وحدات}$$

$$= 19 \text{ وحدة}$$

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ سيكون r_C بوحدة جاليليو مثل r_I .
- هل الجواب منطقي؟ الزمن الدوري كبير. لذا سيكون نصف القطر كبيراً.

تطبيقات

1. إذا كان الزمن الدوري لفانيميد وهو أحد أقمار المشتري يساوي 32 يوماً، فكم يبلغ عدد وحدات نصف قطر مداره؟ استخدم المعلومات الواردة في مثال مسألة 1.
2. يدور كويكب حول الشمس في مدار متوسط نصف قطره يساوي ضعف متوسط نصف قطر مدار الأرض. احسب زمنه الدوري بالسنوات الأرضية.
3. الزمن الدوري لدوران كوكب الزهرة هو 225 يوماً أرضياً. أوجد متوسط بُعد الزهرة عن الشمس. وكم ضعفاً يزيد عن متوسط بُعد الأرض عن الشمس.
4. يستغرق كوكب أورانوس 84 عامًا ليدور حول الشمس. أوجد متوسط بُعد أورانوس عن الشمس. وكم ضعفاً يزيد عن متوسط بُعد الأرض عن الشمس؟
5. من الجدول 1 يمكنك أن تجد أن بُعد المريخ عن الشمس أكبر 1.52 مرة من بُعد الأرض عن الشمس. احسب الزمن اللازم لدوران المريخ حول الشمس بالأيام الأرضية.
6. الزمن الدوري للقمر هو 27.3 يوماً ومتوسط بُعد القمر عن مركز الأرض هو $3.9 \times 10^5 \text{ km}$. أ. استخدم قوانين كبلر لحساب الزمن الدوري لقمر صناعي يبعد مداره $6.70 \times 10^3 \text{ km}$ عن مركز الأرض. ب. كم يبعد القمر الصناعي عن سطح الأرض؟
7. مسألة تحفيزية استخدم البيانات الواردة في المسألة السابقة والمتعلقة بالزمن الدوري للقمر ونصف قطر مداره. لحساب متوسط بُعد قمر صناعي عن مركز الأرض والذي زمنه الدوري يساوي يوماً واحداً.

قانون نيوتن للجذب العام

في عام 1666، بدأ إسحاق نيوتن دراسة حركة الكواكب. يُقال إن مشاهدة سقوط تفاحة جعلت نيوتن يتساءل: ماذا لو امتد أثر هذه القوة التي تسببت في سقوط التفاحة إلى القمر أو حتى أبعد من ذلك. فوجد أن مقدار قوة جذب الشمس (F_g) المؤثرة في أحد الكواكب تتناسب عكسيًا مع مربع البعد (r) بين مركز الكوكب ومركز الشمس. أي أن: F_g تتناسب طرديًا مع $\frac{1}{r^2}$. وتؤثر القوة (F_g) في اتجاه الخط الواصل بين مركزي الجسمين. كما هو مبين في الشكل 5. وتتناسب هذه القوة طرديًا مع كتل هذه الأجسام وتسمى هذه القوة **قوة الجاذبية**.

كان نيوتن واثقًا من أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. فصاغ **قانون الجذب العام**، الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتها، وعكسيًا مع مربع المسافة بين مراكزها. كما هو موضح أدناه.

قانون الجذب العام

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب العام مضروبًا في كتلة الجسم الأول مضروبًا في كتلة الجسم الثاني مضروبًا على مربع المسافة بين مركزي الجسمين.

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

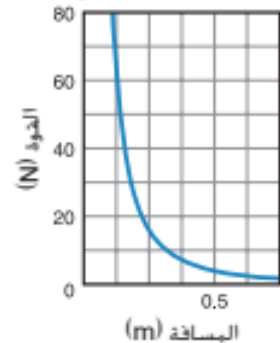
وفقًا لمعادلة نيوتن، تتناسب F طرديًا مع m_1 و m_2 . فإذا تضاعفت كتلة الكوكب الغريب من الشمس، فإن قوة الجذب ستتضاعف. استخدم جزئية ربط الرياضيات بالفيزياء الواردة أدناه. لدراسة كيف يؤثر تغير أحد المتغيرات في المتغير الآخر. ويوضح الشكل 6 علاقة التربيع العكسي بيانيًا. يشير المصطلح G إلى ثابت الجذب العام وسنناقشه في الأقسام التالية.



الشكل 5 تؤثر الكتلة والمسافة في قوة الجاذبية بين الأجسام.

الشكل 6 تمثيل بياني لعلاقة التربيع العكسي.

قانون التربيع العكسي



بالفيزياء

ربط الرياضيات

العلاقات الطردية والعكسية يتضمن قانون نيوتن في الجذب العام كلاً من التناسب الطردي والتناسب العكسي.

$F_g \propto \frac{1}{r^2}$		$F_g \propto m_1m_2$	
النتيجة	التغيير	النتيجة	التغيير
$\frac{1}{4}F_g$	$2r$	$2F_g$	$(2m_1)m_2$
$\frac{1}{9}F_g$	$3r$	$3F_g$	$(3m_1)m_2$
$4F_g$	$\frac{1}{2}r$	$6F_g$	$(2m_1)(3m_2)$
$9F_g$	$\frac{1}{3}r$	$\frac{1}{2}F_g$	$\left(\frac{1}{2}\right)m_1m_2$

الجذب العام والقانون الثالث لكبلر

وضع نيوتن قانون الجذب العام بتعابير تنطبق على حركة الكواكب حول الشمس. وهذا يتفق مع القانون الثالث لكبلر. ويؤكد أن قانون نيوتن في الجذب العام يتطابق مع أفضل الملاحظات الحديثة.

إذا اعتبرت أن كوكبًا ما يدور حول الشمس. كما هو موضح في الشكل 7. فيمكن كتابة قانون نيوتن الثاني للحركة $ma = F_{\text{جذب}}$ على الشكل $mpac = F_{\text{جذب}}$ ، حيث $F_{\text{جذب}}$ قوة الجاذبية، و mp كتلة الكوكب و a التسارع المركزي للكوكب. ولتبسيط أكثر. اعتبر المدارات دائرية الشكل. وقد ذكرنا عند دراسة الحركة الدائرية المنتظمة أن التسارع المركزي يساوي $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. لذا يمكن كتابة العلاقة التالية $mpac = F_{\text{جذب}}$ على النحو التالي $F_{\text{جذب}} = \frac{mp4\pi^2 r}{T^2}$ ويشير T في هذه المعادلة إلى الزمن اللازم لدوران الكوكب دورة كاملة حول الشمس مُعاشًا بالثواني. وإذا تساويت الحد الأيمن في هذه المعادلة بالحد الأيمن لقانون الجذب العام نحصل على النتيجة التالية:

$$\frac{Gm_s m_p}{r^2} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s} \right) r^3$$

$$T = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{Gm_s} \right) r^3}$$

يمكن التعبير عن الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس كما يلي.

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس
الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس يساوي 2π مضروبًا في الجذر التربيعي لمكعب متوسط البعد عن الشمس. مقسومًا على حاصل ضرب ثابت الجذب العام وكتلة الشمس.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

وبترييع الطرفين يتبين أن هذه المعادلة هي القانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًا مع مكعب المسافة التي تفصل بين الكتل. ويتوقف المعامل $\frac{4\pi^2}{Gm_s}$ على كتلة الشمس وثابت الجذب العام. وقد وجد نيوتن أن هذا المعامل ينطبق كذلك على المدارات الإهليلجية.

مسألة تحفيزية

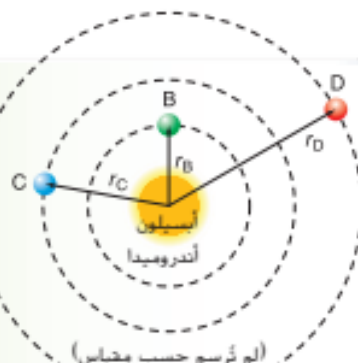
اكتشف الفلكيون ثلاثة كواكب تدور حول النجم أيسيلون أندروميديا. وهذه الكواكب هي: الكوكب (B) الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.0595 AU وزمنه الدوري 4.6171 أيام. والكوكب (C) الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.832 AU وزمنه الدوري 241.33 يومًا. والكوكب (D) الذي يبلغ نصف قطر مداره 2.53 AU وزمنه الدوري 1278.1 يومًا. (المسافات بالوحدة الفلكية (AU)، وهي متوسط المسافة بين الأرض والشمس. وتبلغ 1.00 AU).

1. هل تحقق هذه الكواكب القانون الثالث لكبلر؟

2. أوجد كتلة النجم أيسيلون أندروميديا بدلالة كتلة الشمس. طمّيح: فُازن $\frac{r^3}{T^2}$ في الكواكب وهي الأرض بالوحدات نفسها (AU والأيام).



الشكل 7 كوكب كتلته m_p ومتوسط بعده عن الشمس r يدور حول الشمس. التي كتلتها m_s .



قياس ثابت الجذب العام

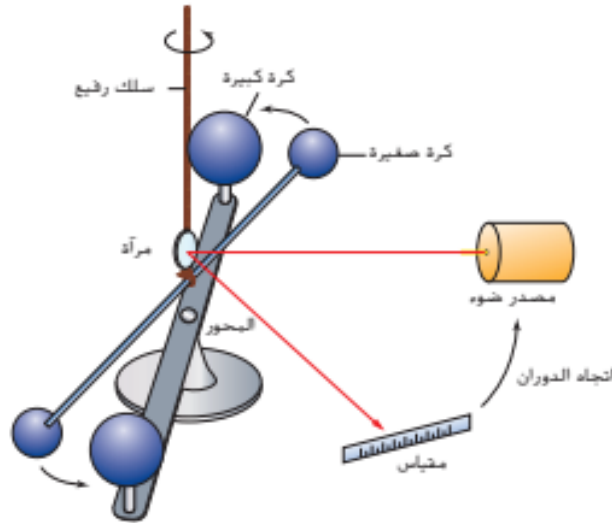
ما قيمة الثابت G ؟ كما نعرف، فإن قوة التجاذب على الأرض بين جسمين ضعيفة نسبيًا. ويصعب الكشف عن أقل تأثير لهذه القوة بين كتلتي كرّتي البولنج. في الواقع، استغرق الأمر 100 عام بعد نيوتن ليتمكن العلماء من تصميم جهاز حساس بما يكفي لقياس قوة الجاذبية.

جهاز كافندش في عام 1798 استعمل العالم الإنجليزي هنري كافندش جهازًا كما في الشكل 8 لقياس قوة الجاذبية بين جسمين. وللجهاز ذراع أفقية تحمل كرّتين من الرصاص عند نهايتها. وهذه الذراع معلقة من منتصفها حتى تكون قابلة للدوران. ولأن الذراع معلقة بسلك رفيع فهي حساسة وكذلك الكرّتان لأي قوة أفقية. لقياس G ، وضع كافندش كرّتين ثقليتين في مكان ثابت بالقرب من الكرّتين الصغيرتين. كما هو مبين في الشكل 8. وقد أدت قوة التجاذب بين الكرّات الكبيرة والصغيرة إلى دوران الذراع. وعند تساوي القوة اللازمة للسلك الرفيع وقوة الجاذبية بين الكرّات، تتوقف الذراع عن الدوران. ومن خلال قياس الزاوية التي شكلها دوران الذراع، يمكن حساب قوة التجاذب بين الأجسام.

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح أسباب أهمية أن تكون الذراع والكرّة في جهاز كافندش حساستين لأي قوة أفقية.

نُفّاس الزاوية التي شكلها دوران الذراع باستخدام شعاع ضوء منعكس من المرآة. ويمكن قياس كل من القوة والمسافة بين مراكز الكرّات. وكتل الكرّات أيضًا معروفة. وبالتعويض بقيم القوة والكتلة والمسافة في قانون نيوتن في الجذب العام، يمكن تحديد قيمة تجريبية للثابت G . وعندما تكون وحدة قياس m_1 و m_2 بالكيلوجرام و r بالمتر و F بوحدة نيوتن، فإن $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$.

■ ميزان كافندش



الشكل 8 يستخدم ميزان كافندش مصدر ضوء ومرآة في قياس حركة الكرّات.

أهمية الثابت G تسمى تجربة كافندش أحياناً "إيجاد وزن الأرض" لأنها ساعدت على تحديد كتلة الأرض؛ وبمعرفة الثابت G يمكن تحديد كتلة الشمس أيضاً. بالإضافة إلى حساب قوة الجاذبية بين أي جسمين. وذلك بتطبيق قانون نيوتن للجذب العام. فمثلاً قوة التجاذب (F_g) بين كرتي بولنج كتلة كل منهما 7.26 kg والمسافة بين مركزيهما 0.30 m يمكن حسابها على النحو التالي:

$$F_g = \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2)(7.26 \text{ kg})(7.26 \text{ kg})}{(0.30 \text{ m})^2} = 3.9 \times 10^{-8} \text{ N}$$

تعلم أن وزن جسم كتلته m على سطح الأرض هو مقياس لقوة جذب الأرض له، $F_g = mg$. فإذا سميت كتلة الأرض m_E ونصف قطر الأرض r_E ، فإن:

$$g = \frac{Gm_E}{r_E^2} \quad \text{و} \quad F_g = \frac{GmEm}{r_E^2} = mg$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بدلالة m_E .

$$m_E = \frac{gr_E^2}{G}$$

وبما أن $g = 9.8 \text{ N/kg}$ ، $r_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$ وكذلك $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ فإننا نحصل على القيمة التالية لكتلة الأرض:

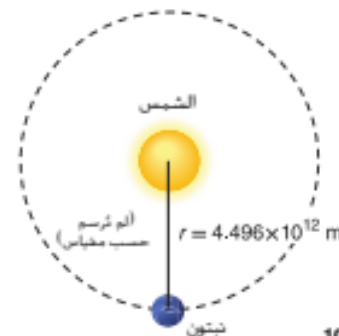
$$m_E = \frac{(9.8 \text{ N/kg})(6.38 \times 10^6 \text{ m})^2}{6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2} = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

وعندما نقارن كتلة الأرض بكتلة كرة البولينج ندرك لماذا لا تظهر بوضوح قوة التجاذب بين الأجسام التي نشاهدها في حياتنا اليومية. لقد حدّد تحقيق كافندش قيمة الثابت G. وأكد توقع نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين أي جسمين. وساعد على حساب كتلة الأرض (الشكل 9).

الشكل 9 ساعدت تجربة كافندش على حساب كتلة الأرض.

القسم 1 مراجعة

8. الفكرة الرئيسية ما قوة الجاذبية بين كرتين كتلة كل منهما 15 kg والمسافة بين مركزيهما 35 m؟ وما نسبة هذه القوة إلى وزن أي منهما؟
 9. الزمن الدوري لنبتون يدور نبتون حول الشمس. وبيّض الشكل 10، متوسط المسافة بينهما والتي تسمح للغازات ومنها الهيدروجين بالتكثف وتكوين غلاف جوي. إذا كانت كتلة الشمس $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ فاحسب الزمن الدوري لنبتون.
 10. الجاذبية إذا بدأت الأرض في الانكماش ولكن بقيت كتلتها ثابتة، فماذا يمكن أن يحدث لقيمة g على سطحها؟
 11. ثابت الجذب العام أجرى كافندش تجربته باستخدام كرات مصنوعة من الرصاص. افترض أنه استبدل بكرات الرصاص كرات من النحاس ذات كتل متساوية. فهل تكون قيمة G هي نفسها أم تختلف؟ اشرح.
 12. تسمى القوانين الثلاثة لكبلر ومعادلة نيوتن لقوة الجذب قوانين. فهل كانت نظريات قبل ذلك؟ هل تصبح نظريات فيما بعد؟
 13. التفكير الناقد يحتاج رفع صخرة على القمر إلى قوة أقل من التي يحتاج إليها على الأرض.
- أ. كيف تؤثر قوة الجاذبية على سطح القمر في مسار الصخرة عند قذفها أفقياً؟
- ب. إذا سقطت الصخرة على إصبع شخص عن طريق الخطأ، فأيهما سيؤذي أكثر، سقوطها على القمر، أم على الأرض؟ اشرح.



الشكل 10

استخدام قانون الجذب العام

القسم 2

الفيزياء في حياتك

هل سبق واستخدمت جهازًا لتعيين موقعك أو لتحديد اتجاهات المكان الذي ترغب في الذهاب إليه؟ من أين يحصل الجهاز على المعلومات؟ يتكون نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من أقمار صناعية عدة تدور حول الأرض. تُعطي الأقمار الصناعية لنظام GPS بيانات دقيقة عن الموقع في أي مكان على الأرض أو بالقرب منها.

مدارات الكواكب والأقمار الصناعية

اكتشف الكوكب أورانوس عام 1781. وبحلول عام 1830، كان واضحًا أن قانون الجذب لم يتوقع مدار كوكب أورانوس بشكل صحيح. فاقترح عالمان فلكيان وجود كوكب آخر غير مكتشف يجذب أورانوس بالإضافة إلى جذب الشمس له. وقد قاما بحساب مدار هذا الكوكب عام 1845. وبعد سنة أعلن علماء فلكيون في مرصد برلين أنهم وجدوا ذلك الكوكب الذي يعرف اليوم بنبتون. كيف يمكن للكوكبين مثل أورانوس ونبتون أن يظلوا في مدار حول الشمس؟

استخدم نيوتن رسمًا كما في الشكل 11 ليوضح تجربة ذهنية حول حركة الأقمار الصناعية. فتخيل مدفعًا يُطلق قذيفة من فوق قمة أحد الجبال في اتجاه أفقي بسرعة معينة. هذه القذيفة لها سرعة رأسية وأخرى أفقية. وكثيرها من المقذوفات على الأرض، يكون مسارها قطعًا مكافئًا ثم تسقط على الأرض. إذا زادت السرعة الأفقية للقذيفة، فستقطع مسافة أطول على سطح الأرض. ولكنها ستسقط في النهاية على الأرض. أما إذا استخدم مدفع قوي للغاية، فإن القذيفة ستقطع المسافة كاملة حول الأرض وتستمر في ذلك. وستسقط باتجاه الأرض بالمعدل نفسه الذي ينحني به سطح الأرض. أي، سيستمر انحناء القذيفة في مطابقة انحناء الأرض بحيث لا تقترب القذيفة بأي شكل من الأشكال من سطح الأرض المنحني أو تبعد عنه. ومن ثم ستصبح القذيفة في المدار.



الفكرة الرئيسية

تُحاط جميع الأجسام بجبال جاذبية يؤثر في حركات الأجسام الأخرى.

الأسئلة الرئيسية

- كيف يمكنك وصف الحركة المدارية؟
- ما أوجه التشابه والاختلاف بين كتلة الجاذبية وكتلة القصور؟
- كيف يمكن شرح قوة الجاذبية وماذا كان اقتراح أينشتاين بشأنها؟

مراجعة المفردات

التسارع المركزي centripetal acceleration تسارع جسم متحرك في دائرة نحو المركز بسرعة ثابتة

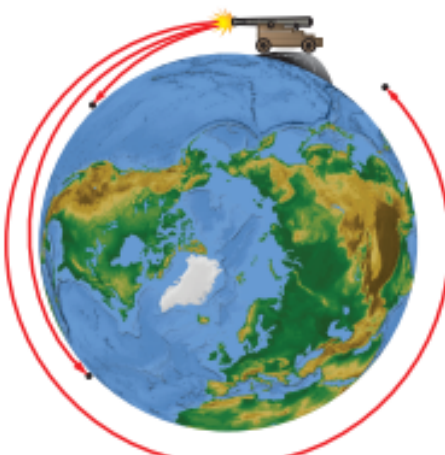
مفردات جديدة

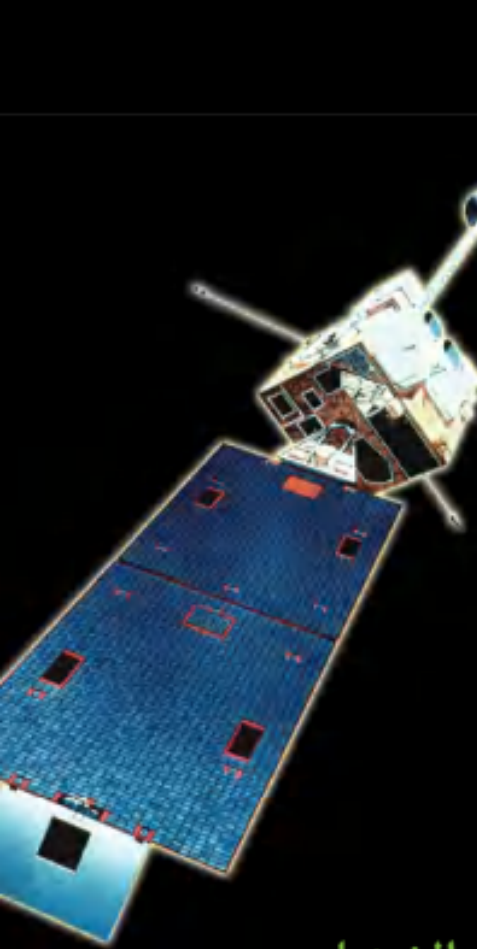
كتلة القصور inertial mass
كتلة الجاذبية gravitational mass



الشكل 11 تخيل نيوتن أنه تم إطلاق قذيفة موازية للأرض. إذا كانت سرعتها كافية، فستسقط باتجاه الأرض مع انحناء يطابق انحناء سطح الأرض.

حدّد العامل الذي لا يعتمد به في هذا المثال.





الفيزياء في الحياة اليومية

المدار المتزامن مع الأرض تدور الأقمار الصناعية الجوية GOES حول الأرض مرة واحدة يوميًا على ارتفاع 35,785 km وتطابق السرعة المدارية للقمر الصناعي معدل دوران الأرض. لذا يبدو القمر الصناعي بالنسبة إلى مراقب على الأرض كأنه فوق بقعة معينة. ولذلك يمكن توجيه هوائي طبق الاستقبال على الأرض إلى نقطة معينة في السماء وبطل في موقع ثابت بينما يدور القمر الصناعي.



لقد أهملت تجربة نيوتن الذهنية مقاومة الهواء. ولكي نتخلص الخديعة من مقاومة الهواء، يجب أن نطلق من مدفع على جبل ارتفاعه أكثر من 150 km فوق سطح الأرض. وبالمخاطرة، فإن الجبل سيكون أعلى كثيرًا من قمة جبل إفرست وهي أعلى قمة في العالم ويبلغ ارتفاعها 8.85 km فقط. إن الخديعة التي نطلق من فوق جبل يبلغ ارتفاعه 150 km فوق سطح الأرض ستواجه الظليل من مقاومة الهواء أو لن نواجهها على الإطلاق عند الارتفاع الذي يبلغ 150 km لأن الجبل يكون خارج معظم الغلاف الجوي. لذا، فإن الخديعة أو الجسم أو القمر الصناعي عند هذا الارتفاع أو أعلى منه سيدور حول الأرض.

سرعة القمر الصناعي يتحرك القمر الصناعي الذي يدور على ارتفاع ثابت عن الأرض في حركة دائرية منتظمة. نذكر أن

تسارعه المركزي يُعبر عنه بالعلاقة التالية $a_c = \frac{v^2}{r}$. لذا يمكن كتابة قانون نيوتن الثاني، $ma_c = F_{\text{مد}} = \frac{mv^2}{r}$ ، فإذا كانت كتلة الأرض m_E ، ودمج هذا التعبير مع قانون نيوتن في الجذب الكوني، فإنه يُعبر عنه بالمعادلة التالية،

$$\frac{Gm_E m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

لذا نحصل على مقدار سرعة القمر الصناعي الذي يدور في مدار دائري حول الأرض (v) بالعلاقة.

سرعة القمر الصناعي الذي يدور حول الأرض

إن سرعة القمر الصناعي الذي يدور حول الأرض تساوي الجذر التربيعي لثابت الجذب العام مضروبًا في كتلة الأرض ومقسومًا على نصف قطر المدار.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

الزمن الدوري المداري للقمر الصناعي مدار القمر الصناعي حول الأرض يشبه مدار كوكب حول الشمس. ونذكر أن الزمن الدوري للكوكب الذي يدور حول الشمس يُعبر عنه بالمعادلة التالية،

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{Gm_S}}$$

لذا، فإن الزمن الدوري للقمر الصناعي الذي يدور حول الأرض يُعبر عنه بالمعادلة التالية.

الزمن الدوري للقمر الصناعي الذي يدور حول الأرض

يساوي الزمن الدوري للقمر الصناعي الذي يدور حول الأرض 2π مضروبًا في الجذر التربيعي ليكعب نصف قطر المدار. مقسومًا على حاصل ضرب ثابت الجذب العام وكتلة الأرض.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

يمكن استخدام معادلتنا سرعة القمر الصناعي وزمنه الدوري مع كل الأجسام التي تدور في مدار حول أجسام أخرى. ويحل محل m_E في المعادلتين كتلة الجسم المركزي وستكون r المسافة بين مركز الجسم الذي يدور في المدار ومركز الجسم المركزي. إن السرعة المدارية (v) والزمن الدوري (T) مستقلان عن كتلة القمر الصناعي.

✓ **التأكد من فهم النص** كيف تؤثر كتلة القمر الصناعي في السرعة المدارية للقمر الصناعي وزمنه الدوري.

السرعة المدارية والزمن الدوري: افترض أن قمرًا صناعيًا يدور حول الأرض على ارتفاع 225 km فوق سطحها. فإذا علمت أن كتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg ونصف قطر الأرض يساوي 6.38×10^6 m. فما مقدار السرعة المدارية والزمن الدوري للقمر الصناعي؟



1 تحليل المسألة ورسمها

المجهول	المعلوم
$v = ?$	$h = 2.25 \times 10^5$ m
$T = ?$	$r_E = 6.38 \times 10^6$ m
	$m_E = 5.97 \times 10^{24}$ kg
	$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N·m ² /kg ²

2 إيجاد السرعة المدارية والزمن الدوري

أوجد نصف القطر المداري بإضافة ارتفاع مدار القمر الصناعي عن الأرض إلى نصف قطر الكرة الأرضية.

$$r = h + r_E$$

$$\text{▶ بالتعويض } h = 2.25 \times 10^5 \text{ m و } r_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m} \Rightarrow r = 2.25 \times 10^5 \text{ m} + 6.38 \times 10^6 \text{ m} = 6.60 \times 10^6 \text{ m}$$

احسب السرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

$$\text{▶ بالتعويض و } m_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg و } G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2 \Rightarrow r = 6.60 \times 10^6 \text{ m.}$$

$$= \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}{6.60 \times 10^6 \text{ m}}}$$

$$= 7.77 \times 10^3 \text{ m/s}$$

إيجاد الزمن الدوري.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

$$\text{▶ بالتعويض و } m_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg و } G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2 \Rightarrow r = 6.60 \times 10^6 \text{ m.}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{(6.60 \times 10^6 \text{ m})^3}{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N·m}^2/\text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}}$$

$$= 5.34 \times 10^3 \text{ s}$$

هذا يساوي تقريبًا 89 min أو 1.5 h.

3 تقييم الإجابة

هل الوحدات صحيحة؟ وحدة السرعة هي m/s ووحدة الزمن الدوري هي s.

تطبيقات

16. استخدم تجربة نيوتن الذهبية عن حركة الأقمار الصناعية لحل المسألتين التاليتين.

a. حساب مقدار سرعة إطلاق قمر صناعي من مدفع بحيث يصبح في مدار يبعد 150 km عن سطح الأرض.

b. ما الفترة التي يستغرقها القمر الصناعي بالتواني (seconds) والدقائق (minutes) ليكمل دورة حول الأرض ويعود إلى المدفع؟

17. تحفيز استخدم بيانات كوكب عطارد الواردة في الجدول 1 لإيجاد ما يلي.

a. مقدار سرعة قمر صناعي في مدار على بُعد 260 km من سطح عطارد

b. الزمن الدوري للقمر الصناعي

عند حل المسائل التالية، افترض أن المدار دائري في جميع العمليات الحسابية.

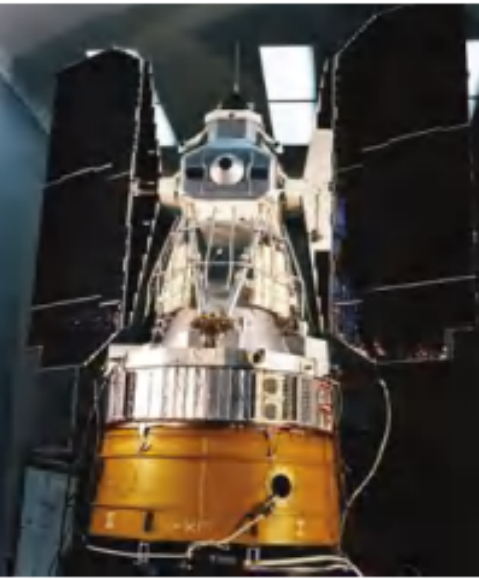
14. افترض أن القمر الصناعي في مثال مسألة 2 تحرك إلى مدار نصف قطره أكبر من المدار السابق بمقدار 24 km.

a. ما مقدار سرعته؟

b. هل هذه السرعة أكبر أم أقل مما في المثال السابق؟

c. لماذا برأيك؟

15. يمتلك كوكب أورانوس 27 قمرًا معروفًا. وأحد هذه الأقمار هو القمر ميراندا الذي يدور في مدار نصف قطره يساوي 1.29×10^8 m. كما أن كتلة أورانوس تساوي 8.68×10^{25} kg. احسب السرعة المدارية للقمر ميراندا. كم عدد الأيام الأرضية التي يستغرقها قمر ميراندا لإكمال دورة واحدة؟



الشكل 12 يستطيع لاندسات 7 توفير ما يصل إلى 532 صورة للأرض يوميًا.

► **الربط بعلم الأرض** لاندسات 7، الموضح في الشكل 12، هو قمر صناعي يوفر صورًا من الأسطح القارية للأرض. تُستخدم صور لاندسات 7 في رسم الخرائط ودراسة استغلال الأرض ومراقبة الموارد والتغيرات العالمية. يتيح نظام لاندسات 7 للباحثين مراقبة العمليات صغيرة الحجم، مثل قطع الغابات، على نطاق عالمي. يجري تحريك الأقمار الصناعية، مثل لاندسات 7، بالسرعات اللازمة لها لوضعها في مداراتها باستخدام الصواريخ الكبيرة، مثل صواريخ الدفع بالمكوك. ولأن تسارع الكتلة يتبع قانون نيوتن الثاني للحركة، $F = ma$ ، فيطلب الأمر المزيد من القوة لإطلاق قمر صناعي أكثر ضخامة إلى المدار. ومن ثم، تتخذ كتلة القمر الصناعي بقدره الصاروخ المستخدم لإطلاقه.

تسارع السقوط الحر

يمكن إيجاد تسارع الأجسام الناشئ عن الجاذبية الأرضية باستخدام قانون نيوتن في الجذب العام وقانون الحركة الثاني له. وتكون المعادلة التالية صحيحة بالنسبة إلى جسم كتلته m ويسقط سقوطًا حُرًا،

$$a = \frac{Gm_E}{r^2} \text{ إذن } F = \frac{Gm_E m}{r^2} = ma$$

وإذا حددت $a = g_E$ و $r = r_E$ على سطح الأرض، فيمكن كتابة المعادلة التالية على النحو التالي:

$$m_E = \frac{gr_E^2}{G} \text{ ومن ثم، } g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

لقد شاهدت أعلاه أن $a = \frac{Gm_E}{r^2}$ للجسم الذي يسقط سقوطًا حُرًا. وبالتعويض

عن m_E في التعبير الوارد أعلاه، سنحصل على التالي:

$$a = \frac{G\left(\frac{gr_E^2}{G}\right)}{r^2}$$

$$a = g\left(\frac{r_E}{r}\right)^2$$

وعلى سطح الأرض، $r = r_E$ ولذا فإن $a = g$. ولكن، كلما ابتعدت عن مركز الأرض، يصبح r أكبر من r_E وبطل تسارع السقوط الحر تبعًا لعلاقة التربيع العكسي هذه. تُرى ماذا يحدث لكتلتك كلما ابتعدت أكثر وأكثر عن مركز الأرض؟

الوزن وانعدام الوزن يمكن اختبار حالة انعدام الوزن على الأرض لفترات قصيرة بواسطة طائرة تطير في مسارات قطع مكافئ صعودًا وهبوطًا. في أعلى القطع المكافئ تكون الطائرة وكل ما فيها في حالة سقوط حر حيث يختبر من فيها حالة انعدام الوزن كما هو موضح في الشكل 13. من المحتمل أنك قد شاهدت صورًا مشابهة حيث يظهر رواد الفضاء في مركبة فضائية في حالة تُسمى الجاذبية صفر أو انعدام الوزن. تدور المركبة الفضائية على ارتفاع 400 km فوق سطح الأرض. وعند هذه المسافة، يكون $g = 8.7 \text{ N/kg}$. أي أقل قليلًا من قيمته على سطح الأرض. لذا فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في المكوك لا تساوي صفرًا بالتأكيد. ففي الواقع، تسبب الجاذبية دوران المكوك حول الأرض. فلماذا يبدو رواد الفضاء إذا عديمي الوزن؟

تذكر أنك تشعر بوزنك عندما يؤثر فيك شيء بقوة تلامس كالأرضية أو الكرسي. لكن إذا كنت أنت والكرسي والأرضية، تتسارعون بالكمية نفسها في اتجاه الأرض فإنه لا توجد قوى تلامس تؤثر فيك. لذا يكون وزنك الظاهري صفرًا وتشعر بانعدام الوزن. وكذلك يشعر رواد الفضاء بانعدام واضح في الوزن أثناء سقوط المكوك وأي شيء بداخله بحرية تجاه الأرض.



مجال الجاذبية

نذكر من دراسة الحركة أن الكثير من القوى الشائعة هي قوى تلامس. فالاتكاك يتولد عند تلامس جسمين، ومثل ذلك دفع الأرضية والكرسي أو المكتب عليك عندما تكون في حالة تلامس معهم. لكن الجاذبية مختلفة؛ فهي تؤثر في التفاحة التي تسقط من الشجرة، وتؤثر في القمر في المدار. أي أن الجاذبية تؤثر عن بُعد، وهي تعمل بين أجسام غير متلامسة أو ليست قريبة من بعضها. وقد انشغل نيوتن بهذا المفهوم. وكان يتساءل، كيف تؤثر الشمس بقوة في كوكب الأرض، الذي يبعد مئات الملايين من الكيلومترات.

ماء عديم الوزن

ما الآثار المترتبة على انعدام الوزن في السقوط الحر؟

الوزن في السقوط الحر

ما تأثير السقوط الحر في الكتلة؟

مفهوم المجال جاء الجواب عن هذا التساؤل من خلال دراسة المغناطيسية. ففي القرن التاسع عشر، طوّر مايكل فارادي مفهوم المجال لشرح كيفية جذب المغناطيس للأجسام. ثم طُبق مبدأ المجال على الجاذبية.

فكل جسم له كتلة محاط بمجال جاذبية يؤثر من خلاله بقوة تتناسب طرديًا مع كتلة الجسم وتتناسب عكسيًا مع مربع البعد عن مركز الجسم. ويتأثر الجسم الآخر الذي يوجد في هذا المجال بقوة نتيجة التفاعل بين كتلته ومجال جاذبيته (g) في موقعه. يكون اتجاه g وقوة الجاذبية تجاه مركز الجسم الذي يُنشئ المجال. ويُعبر عن شدة مجال الجاذبية بالمعادلة التالية.

مجال الجاذبية

شدة مجال الجاذبية الناتجة عن أحد الأجسام تساوي ثابت الجذب العام مضروبًا في كتلة الجسم، مقسومًا على مربع البعد عن مركز الجسم.

$$g = \frac{Gm}{r^2}$$

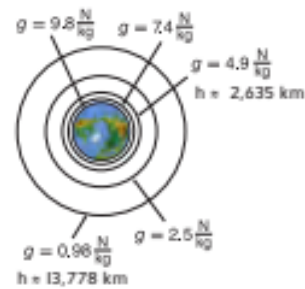
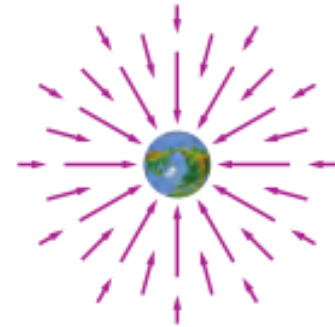
افترض أن هناك مجال جاذبية ناتجًا عن الشمس. عند ذلك، سيخضع أي كوكب كتلته m في مجال جاذبية الشمس لقوة تؤثر فيه تعتمد على كتلة الكوكب ومقدار مجال الجاذبية في ذلك الموقع. أي $F_g = mg$. في اتجاه الشمس. تنتج القوة بسبب تفاعل كتلة الكوكب مع مجال الجاذبية في موقع وجود الكوكب وليس مع الشمس نفسها التي تبعد ملايين الكيلومترات. وإذا أردنا إيجاد مجال الجاذبية الذي يسببه أكثر من جسم، فيجب حساب مجال الجاذبية لكل جسم، ثم تجميع كمّياتها.

ويمكن قياس مجال الجاذبية بوضع جسم كتلته صغيرة (m) في مجال الجاذبية ثم تقاس القوة (F_g) المؤثرة فيه. ويُحسب مجال الجاذبية باستخدام $g = \frac{F_g}{m}$. حيث يُقاس مجال الجاذبية بوحدات نيوتن لكل كيلوجرام (N/kg) أو (m/s^2) حيث أن $1 N/kg = (1 kg \cdot m/s^2)/kg = 1 m/s^2$.

إن شدة مجال الجاذبية عند سطح الأرض تساوي $9.8 N/kg$ في اتجاه مركز الأرض. ويمكن تمثيل المجال بمتجه g يشير اتجاهه إلى مركز الجسم الذي يُنتج هذا المجال. ويمكنك تصور مجال الجاذبية الناتج عن الأرض بمجموعة من المتجهات تحيط بها ونشير إلى مركزها. كما هو موضح في الشكل 14. وتتناسب شدة مجال الجاذبية الأرضية عكسيًا مع مربع البعد عن مركز الأرض. كما يعتمد مجال الجاذبية على كتلة الأرض لا على كتلة الجسم الذي يتأثر به.

الشكل 14 يمكن تمثيل مجال الجاذبية الأرضية بمتجهات تشير إلى مركز الأرض. يتبع الانخفاض في مقدار g علاقة التربيع العكسي بينما تزيد المسافة من مركز الأرض.

اشرح لماذا لا تصل قيمة g إلى الصفر أبدًا.



نوعا الكتلة

لقد قرأت أن الكتلة يمكن تعريفها بأنها ميل الرسم البياني للقوة مقابل التسارع. وهذا يعني أن الكتلة تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما مقسومة على مقدار تسارعه. ويسمى هذا النوع من الكتلة المرتبط بقصور الجسم كتلة القصور ولئيل بالمعادلة التالية:

كتلة القصور

كتلة القصور تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم مقسومة على مقدار تسارعه.

$$m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$$

كتلة القصور تعرف أن دفع صندوق فارغ من الورق المخبى على الأرض أسهل بكثير من دفع واحد مملوء بالكتب. حيث إن الصندوق المملوء لديه كتلة قصور أكبر من الصندوق الفارغ. ولتعد **كتلة القصور** لجسم ما مقياساً لمقاومة الجسم لكل أنواع القوى المؤثرة فيه. ولتقاس كتلة القصور لجسم ما من خلال التأثير بقوة في الجسم ثم قياس تسارعه. وكلما كانت كتلة القصور للجسم أكبر، كان تسارعه أقل نتيجة لتأثير قوة محصلة فيه.

كتلة الجاذبية

يحتوي قانون نيوتن في الجذب العام.

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

غير أنها نوع آخر من الكتل. والكتلة

المستخدمة في قانون الجذب الكوني هي مقدار يقاس مدى استجابة الجسم لقوة الجاذبية وتسمى **كتلة الجاذبية**. ويمكن قياسها باستخدام الميزان ذي الكفتين كما في الشكل 15. فإذا قسمت مقدار قوة الجاذبية المؤثرة في جسم من خلال جسم آخر كتلته m ، وعلى بُعد r ، أمكنك تعريف كتلة الجاذبية بالطريقة التالية.

كتلة الجاذبية

كتلة الجاذبية لجسم ما تساوي مربع المسافة بين مركز الجسمين، مضروبة في مقدار قوة الجاذبية مقسومة على حاصل ضرب ثابت الجذب العام في كتلة الجسم الآخر.

$$m_g = \frac{r^2 F_g}{Gm}$$

كيف يختلف نوعا الكتلة؟ افترض أن لديك بطيخة في صندوق سيارتك. إذا تسارعت السيارة في اتجاه الأمام، فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف بالنسبة إلى صندوق السيارة. وهذا بسبب كتلة قصور البطيخة التي تقاوم التسارع. والآن افترض أن السيارة بدأت صعود تل شديد الانحدار بسرعة ثابتة، ستتدحرج البطيخة إلى الخلف مرة أخرى. ولكنها ستجذب هذه المرة بسبب كتلة الجاذبية إلى أسفل في اتجاه الأرض. وقد أعلن نيوتن أن كتلة القصور وكتلة الجاذبية متساويتان من حيث المقدار. وتسمى هذه الفرضية مبدأ التكافؤ. وكل التحقيقات التي أجريت حتى الآن توصلت إلى بيانات تدعم صحة هذا المبدأ. ومعظم الوقت تشير ببساطة إلى كتلة الجسم. وكان العالم ألبرت أينشتاين أيضاً مهتماً بمبدأ التكافؤ وجعله نقطة رئيسة في نظريته عن الجاذبية.

مختبر الفيزياء

كيف يمكنك قياس الكتلة؟

كيف يُستخدم ميزان القصور لقياس الكتلة؟

كتلة القصور وكتلة الجاذبية

كيف يمكنك تحديد العلاقة بين كتلة القصور وكتلة الجاذبية؟

الشكل 15 يستخدم الميزان البسيط ذو الكفتين لإيجاد كتلة الجاذبية لجسم ما.



نظرية أينشتاين في الجاذبية

يُمكننا قانون نيوتن في الجذب العام من حساب قوة الجاذبية المتبادلة بين جسمين بسبب كتلتيهما. ومع ذلك، انشغل نيوتن بشأن كيف يمكن لجسمين أن يؤثر أحدهما في الآخر إذا كان هذان الجسمان على بُعد ملايين الكيلومترات من بعضهما. وافترض أينشتاين أن الجاذبية ليست مجرد قوة، بل هي تأثير من الفضاء نفسه. وبناءً على شرح أينشتاين للجاذبية، فإن الكتلة تغير الفضاء المحيط بها، فتجعله منحنيًا وتتسارع الأجسام الأخرى بسبب الطريقة التي تسير بها في هذا الفضاء المنحني.

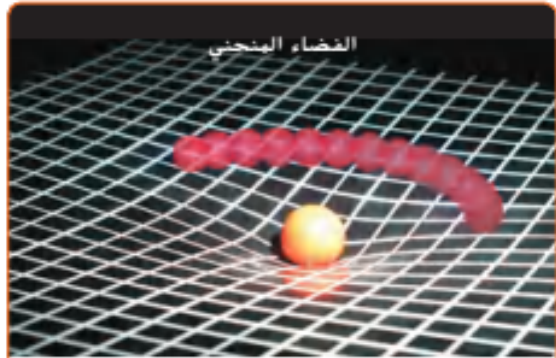
الفضاء المنحني من طرق تصور كيفية تأثير الفضاء بالكتلة. هو نموذج فضاء ثلاثي الأبعاد كشبكة كبيرة ثنائية الأبعاد. كما هو موضح في الجزء العلوي من الشكل 16. حيث تمثل الكرة الصفراء الموجودة على الشبكة جسمًا ضخمًا. وهي تُشكّل انحناءً في الشبكة. والكرة الحمراء تدور عبر الشبكة، وتحاكي حركة جسم في الفضاء. تتسارع الكرة الحمراء عندما تتحرك بالقرب من المنطقة المنحنية من الشبكة. وبالطريقة نفسها فإن كلاً من الشمس والأرض يجذبان لبعضهما بسبب طريقة تشوه الفضاء الناجم عن الجسمين.

السفن المسافرة جنوبًا إليك تشبيه آخر قد يساعدك على فهم انحناء الفضاء. افترض أنك تشاهد من الفضاء لحظة انطلاق سفينتين باتجاه الجنوب من خط الاستواء. وعند خط الاستواء، أصبحت المسافة التي تفصل بين السفينتين 4000 km. وكلما اقتربتا من القطب الجنوبي، قلت المسافة إلى 1 km. بالنسبة إلى البحارة، فإن مسارتهما تسير في خطوط مستقيمة ولكن بسبب انحناء الأرض، فإنهما سافران في شكل منحني. عند مشاهدتهما من مكان بعيد عن سطح الأرض، كما في الشكل 16.

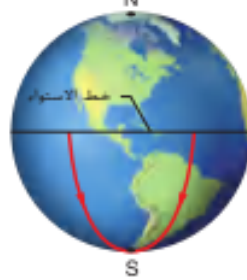
التفاعلات الساقطة على الأرض فكّر في حركة مشابهة. سقطت ثفاحتان على الأرض، وتحركتا في البداية في مسارين متوازيين. كما في الشكل 16. كلما اقتربتا من الأرض، تُجذبان باتجاه مركز الأرض، حتى تتلاقى مسارتهما.

الخطوط المتلاقية يمكن أن يرجع هذا التلاقي إلى انحناء الفضاء بالقرب من الأرض. وبعيدًا عن أي جسم ضخم مثل كوكب أو نجم، يكون الفضاء مسطحًا وتظل الخطوط المتوازية على حالها. بعد ذلك تبدأ في التلاقي. في الفضاء المسطح، تظل الخطوط المتوازية على حالها. أما في الفضاء المنحني، فتتلاقى الخطوط.

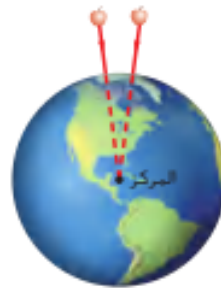
وقد توقع أينشتاين، التي تسمى النظرية النسبية العامة، عدة توقعات حول كيفية تأثير الأجسام الضخمة في بعضها. وفي كل الاختبارات التي أجريت حتى الآن، أعطت نظرية أينشتاين نتائج صحيحة.



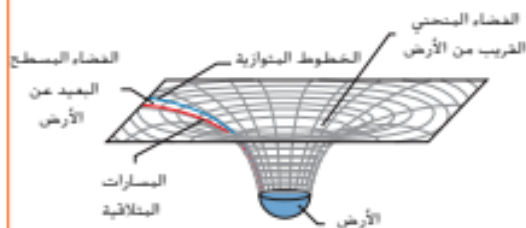
السفن المسافرة جنوبًا



التفاعلات الساقطة على الأرض



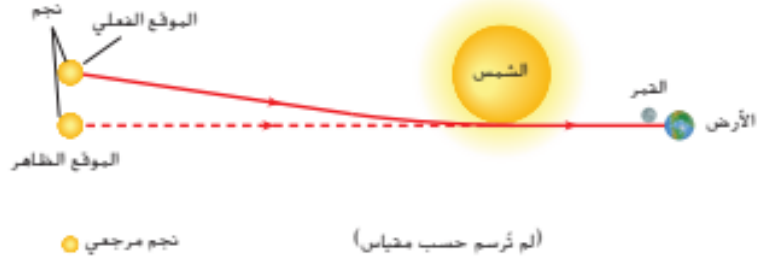
الخطوط المتلاقية



الشكل 16 إن تصوّر كيف يصبح الفضاء منحنيًا أمر صعب. لذا يمكن أن تساعد التشبيهات على استيعاب المفاهيم الصعبة.

الشكل 17 يثبت الضوء حول الأجسام الضخمة في الفضاء. مقياس الموقع الظاهري لمصدر الضوء.

صف كيف يتعارض هذا التأثير مع تجربتك في سلوك الضوء.



انحراف الضوء توقعات أينشتاين أن الأجسام الضخمة تعمل على انحراف الضوء وثبته. حيث يتبع الضوء انحناء الفضاء حول الأجسام الضخمة مما يؤدي إلى انحنائه. كما هو موضح في الشكل 17. لاحظ علماء الفلك في أثناء كسوف الشمس عام 1919 أن الضوء القادم من النجوم البعيدة، الذي يمر بالقرب من الشمس، قد انحرف عن مساره بما يحقق توقعات أينشتاين.

ومن نتائج النسبية العامة أيضًا تأثير الجاذبية في الضوء الناتج عن الأجسام الضخمة جدًا. وإذا كان الجسم ضخمًا وكثافته كبيرة بشكل كافٍ، فإن الضوء الخارج منه يرتد إليه بشكل كامل، ولا يستطيع الضوء الخروج منه أبدًا. وتسمى مثل هذه الأجسام الثقوب السوداء ويُستدل على وجودها من خلال تأثيرها في النجوم القريبة منها. ويكشف عن الثقوب السوداء من خلال الإشعاع الناتج عند انجذاب المادة إليها.

وعلى الرغم من أن نظرية أينشتاين توقع بشكل دقيق تأثيرات الجاذبية، إلا أنها لا تزال غير مكتملة؛ فهي لا تشرح أصل الكتلة، ولا كيف تعمل الكتلة على انحناء الفضاء. ويعمل الفيزيائيون على فهم معنى الجاذبية وأصل الكتلة نفسها بشكل أعمق.

القسم 2 مراجعة

18. الفكرة الرئيسية يبعد القمر مسافة 3.9×10^5 km عن مركز الأرض وتبعد الأرض مسافة 1.496×10^8 km عن مركز الشمس. وكتلتنا الأرض والشمس تفلان 5.97×10^{24} kg و 1.99×10^{30} kg. على الترتيب. وأثناء اكتمال القمر، تكون الشمس والأرض والقمر على خط واحد. كما هو موضح في الشكل 18.
- a. أوجد النسبة بين مجال جاذبية الأرض وبين مجال جاذبية الشمس عند مركز القمر.
- b. ما محصلة مجال الجاذبية للشمس والأرض عند مركز القمر؟
20. مجال الجاذبية كتلة القمر تساوي 7.3×10^{22} kg ونصف قطره يساوي 1785 km. فما شدة مجال الجاذبية على سطحه؟
21. السرعة المدارية والزمن الدوري المداري قمران صناعيان في مدارين دائريين حول الأرض. يبعد الأول 150 km عن سطح الأرض والثاني 160 km.
- a. أي القمرين له زمن دوري مداري أكبر؟
- b. أي القمرين سرعته أكبر؟
22. النظريات والقوانين لماذا يُسمى وصف أينشتاين للجاذبية نظرية بينما يُسمى وصف نيوتن لها قانونًا؟
23. رائد فضاء ما شدة مجال الجاذبية الأرضية عندما يشهد رائد فضاء كتلته 80.0 kg انحناءًا في الوزن بنسبة 25.0 في المئة؟
24. كتلة القمر الصناعي عندما أطلق الاتحاد السوفيتي السابق أول قمر صناعي في مدار عام 1957، طلب الرئيس الأمريكي دوايت ديفيد أيزنهاور من العلماء حساب كتلة القمر الصناعي. هل كان بإمكانهم إجراء هذه العملية الحسابية؟ اشرح.
25. التفكير الناقد لماذا يُعد إطلاق قمر صناعي من الأرض إلى مدار ليدور في اتجاه الشرق أسهل من إطلاقه ليدور في اتجاه الغرب. اشرح.
19. حالة انعدام الوزن تكون المعاهد داخل مركبة الفضاء عديدة الوزن أثناء وجودها في المدار. إذا كنت على متن إحدى هذه المركبات وكنت حافي القدمين فهل ستشعر بالألم إذا ركلت مقعدًا؟ اشرح.



لا شيء يستطيع الإفلات

هل الثقب الأسود عبارة عن ثقب حقيقي؟
ربما تكون قد تساءلت من قبل عن الثقوب السوداء. فما هي ومن أين تأتي؟

انفجار النجم ماذا يحدث عند توقف تفاعلات الاندماج في قلب نجم عملاق؟ لا يتمكن النجم من الحفاظ على درجة حرارته. ومن ثم ينهار بسبب ثقل وزنه. وعادة ما يكون الانفجار الناجم. والذي يُسمى المستعر الأعظم. أكثر لمعاناً من المجرة التي تحويه بأكملها.

فإذا كانت كتلة ما تبقى من النجم ضخمة بما فيه الكفاية (أكثر بثلاثة أضعاف من كتلة الشمس). فإن بقاياها تكون أكثر الأجسام حرارة في الكون، وهو الثقب الأسود.

الإفلات من الأرض تخيل أنك واقف على سطح الأرض وتزمن بالكرة رأسياً لأعلى. كلما تحركت الكرة إلى أعلى. فإن قوة الجاذبية تخلص السرعة المتجهة الرأسية للكرة. وفي النهاية. عندها تصل السرعة المتجهة الرأسية إلى صفر. تبدأ الكرة في السقوط لأسفل. يتضح ذلك في الشكل 1.

بالطبع هذا يحدث نظراً لأن قوة الرمي بذراعك محدودة. فإذا أمكنك رمي الكرة بسرعة كافية (أعلى من $11,000 \text{ m/s}$). فإن تسطح عائدة إلى الأرض مرة أخرى. بل إنها ستفلت من الكوكب بأكمله. وتعرف هذه السرعة بسرعة الإفلات من سطح الكرة الأرضية.

هل يمكن الإفلات من الثقب الأسود؟ إن الثقب الأسود عبارة عن نجم متناهي الصغر ذي كثافة ضخمة وله سرعة إفلات كبيرة للغاية بحيث لا يمكن لأي شيء الإفلات منه. حتى الضوء. يظهر في الشكل 2 نجم يتلعم ثقب أسود. فأي شيء يجتاز حدود فائز الثقب الأسود يُتخذ بصورة فعلية إلى الأبد.

هل الثقوب السوداء عبارة عن ثقوب بالفعل؟ كلا! بل هي أجسام كثيفة للغاية في الفضاء.

الشكل 2 يبين هذا التصوير الفلكي لثقب كالمشس يتلعم ثقب أسود مجاور.

الشكل 1 تعتمد سرعة الإفلات من سطح أي جسم على كتلة هذا الجسم ونصف قطره.

سرعة أكبر من الهروب v
سرعة أقل من الهروب v



لمزيد من التعمق >>>

بحث لا يمكن إبطاء سرعة الضوء المنتقل في الفراغ. ولكن كيف يمنع الثقب الأسود الأشعة الضوئية من الإفلات؟ لمعرفة ذلك، أجر تحقيقاً حول التأثير المعروف بالانزياح الأحمر الجذبوي واكتب عنه.

الفكرة الرئيسية الجاذبية هي قوة جذب في شكل مجال تعمل بين الأجسام بسبب كتلتها.

القسم 1 حركة الكواكب والجاذبية

الفكرة الرئيسية تتناسب قوة الجاذبية بين جسمين طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما معسوفًا على مربع المسافة بينهما.

- ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك حول الشمس في مدارات إهليجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين. وينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. أما القانون الثالث لكبلر فينص على أن مربع النسبة بين الزمنين الدوريين لكوكبين يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعد مركزيهما عن مركز الشمس.

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$$

- يمكن استخدام قانون نيوتن في الجذب العام لإعادة صياغة القانون الثالث لكبلر لربط نصف قطر الكوكب وزمنه الدوري بكتلة الشمس، فثانون نيوتن في الجذب العام ينص على أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًا مع مربع المسافة بين مركزيهما. فالقوة جاذبية وتقع على طول الخط الذي يربط بين مركزي الكتلتين.

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$



- حدّد تحقيق كافنديش قيمة الثابت G، وأكد توقع نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين جسمين، وساعد على حساب كتلة الأرض.

المفردات

- القانون الأول لكبلر
- القانون الثاني لكبلر
- القانون الثالث لكبلر
- قوة الجاذبية
- قانون الجذب العام

القسم 2 استخدام قانون الجذب العام

الفكرة الرئيسية لحاط جميع الأجسام بمجال جاذبية يؤثر في حركات الأجسام الأخرى.

- يصف كل من السرعة والزمن الدوري لقمر صناعي يدور في مدار دائري حركته المدارية. يجري حساب السرعة المدارية والزمن الدوري لجسم يدور حول جسم آخر باستخدام قانون نيوتن الثاني.
- كتلتا الجاذبية والقصور مفهومان مختلفان. إلا أنهما متساويان في المقدار.
- جميع الأجسام لها مجالات جاذبية تحيط بها. يتأثر أي جسم داخل مجال الجاذبية بقوة جاذبية تؤثر فيه بفعل مجال الجاذبية. توضح نظرية النسبية العامة لأينشتاين قوة الجاذبية كخاصية للفضاء نفسه.

المفردات

- كتلة القصور
- كتلة الجاذبية

القسم 1

حركة الكواكب والجاذبية

إتقان المفاهيم

26. طرح المسائل أكمل هذه المسألة بحيث يمكن حلها باستخدام القانون الثالث لكبلر، افترض أنه اكتشف كوكب جديد يدور حول الشمس في المنطقة التي بين المشتري وزحل. .

27. عام 1609، رصد جاليليو باستخدام التلسكوب كوكب المشتري وشاهد أربعة أقمار. وكان أحد الأقمار التي شاهدها يُسمى لو. أعد صياغة القانون الأول لكبلر ليناسب لو والمشتري.

28. تتحرك الأرض في مدارها خلال الصيف ببطء في نصف الكرة الشمالي أكثر مما هي عليه في الشتاء. فهل هي أقرب إلى الشمس في الصيف أم في الشتاء؟

29. هل المساحة التي تمشيها الأرض في وحدة الزمن عند دورانها حول الشمس تساوي المساحة التي يمشيها المريخ في وحدة الزمن عند دورانه حول الشمس؟ اشرح إجابتك.

30. لماذا اعتقد نيوتن أن هناك قوة تؤثر في القمر؟

31. كيف أثبت كافنديش وجود قوة جاذبية بين جسمين صغيرين؟

32. ماذا يحدث لقوة الجاذبية بين كتلتين عند مضاعفة المسافة بينهما؟

33. وفقًا لصيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر.

كيف تتغير النسبة $\frac{T^2}{a^3}$ إذا تضاعفت كتلة الشمس؟

إتقان حل المسائل

34. المشتري أبعد من الأرض عن الشمس 5.2 مرات. احسب الزمن الدوري للمشتري بالسنوات الأرضية.

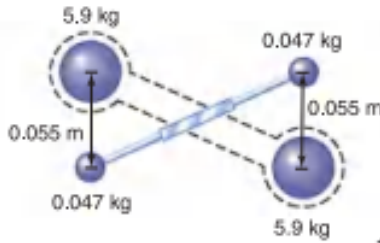
35. يبلغ متوسط مسافة بعد الكوكب الخزم بلوتو عن الشمس 5.87×10^{12} m. فكم يبلغ الزمن الدوري المداري لبلوتو حول الشمس بالسنوات؟

36. استخدم الجدول 1 لحساب قوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في المشتري.

37. إذا كانت قوة الجاذبية بين إلكترونين البعد بينهما 1.00 m تساوي 5.54×10^{-71} N، فاحسب كتلة الإلكترون.

38. إذا كانت كتلة كل من كرتي البولنج 6.8 kg وكانت المسافة بين مركزيهما 21.8 cm، فما مقدار قوة الجاذبية التي تؤثر بها كل منهما في الأخرى؟

39. بين الشكل 19 جهاز كافنديش المستخدم لإيجاد الثابت G. وكانت كتلة كرة الرصاص الكبيرة 5.9 kg والصغيرة 0.047 kg، وبُقيت المسافة بين مركزيهما 0.055 m. احسب قوة التجاذب بينهما.



الشكل 19

40. افترض أن كتلتك تساوي 50.0 kg، وكتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg، وطول نصف قطرها 6.38×10^6 m.

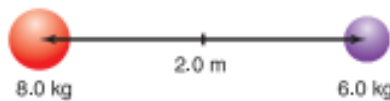
a. ما مقدار قوة الجاذبية بينك وبين الأرض؟
b. ما مقدار وزنك؟

41. إذا كانت كتلة 1.0 kg تزن 9.8 N على سطح الأرض. وكان نصف قطر الأرض يبلغ تقريبًا 6.4×10^6 m.

a. احسب كتلة الأرض.
b. احسب متوسط كثافة الأرض.

42. تبلغ كتلة آمنة 70.0 kg وكتلة فاطمة 50.0 kg، بينهما مسافة 20.0 m وهما واقفتان على المسرح. احسب قوة التجاذب بين فاطمة وآمنة.

43. الفكرة الرئيسية إذا كان البعد بين مركزي الكرتين 2.0 m كما في الشكل 20، وكانت كتلة إحدهما 8.0 kg وكتلة الأخرى 6.0 kg، فما مقدار قوة الجاذبية بينهما؟



الشكل 20

44. إذا كان النجم HD102272 له كوكبان. وكان الزمن الدوري للكوكب (أ) 127.5 يومًا ويبلغ متوسط نصف قطره المداري 0.615 AU، وكان الزمن الدوري للكوكب (ب) 520 يومًا ويبلغ متوسط نصف قطره المداري 1.57 AU، فما كتلة النجم بوحدة الكتلة الشمسية؟

45. وإذا كان كوكب صغير (أ) أبعد من الأرض عن الشمس 8.0 مرات، فكم عدد السنوات التي يستغرقها هذا الكوكب ليدور حول الشمس؟

القسم 2 استخدام قانون الجذب العام

إتقان المفاهيم

54. كيف نجيب عن السؤال "ما الذي يبقي على القمر الصناعي مرتفعاً؟"

55. يدور قمر صناعي حول الأرض. أي العوامل التالية تعتمد عليها سرعته؟

a. كتلة القمر الصناعي

b. البعد عن الأرض

c. كتلة الأرض

56. ما مصدر القوة التي تسبب التصادم المركزي للقمر الصناعي في المدار؟

57. في أثناء الرحلة الفضائية، غالباً ما يشير رواد الفضاء إلى القوى كمضاعفات لقوة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض. فماذا تعني قوة $5g$ بالنسبة إلى رائد فضاء؟

58. افترض نيوتن أن قوة الجاذبية تؤثر بشكل مباشر في ما بين الأرض والقمر، فما أوجه الاختلاف بين نظرية أينشتاين إلى قوة التجاذب بين الجسمين ونظرية نيوتن لها؟

59. بين أن وحدات g ، التي كانت تُقاس من قبل بوحدة N/kg ، هي أيضاً m/s^2 .

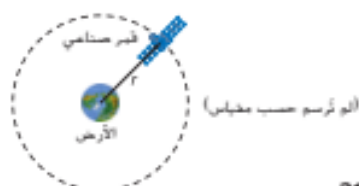
60. ما الذي يحدث لقبة الثابت g إذا كانت كتلة الأرض ضعف قيمتها وبقي حجمها ثابتاً؟

إتقان حل المسائل

61. القمر الصناعي يبدو القمر الصناعي المتزامن مع الأرض ثابتاً فوق نقطة معينة على الأرض كما هو موضح في الشكل 21. افترض أن القمر المتزامن مع الأرض له نصف قطر مداري يبلغ $4.23 \times 10^7 m$.

a. احسب سرعته في المدار.

b. احسب زمنه الدوري.



الشكل 21

62. الكويكب تبلغ كتلة الكويكب الخزم سيريس $7 \times 10^{20} kg$ ونصف قطره $500 km$.

a. ما قيمة الثابت g على سطح سيريس؟

b. إذا كانت كتلة رائد فضاء على الأرض $90 kg$ ، فكم يكون وزنه على سيريس؟

46. يبعد مركز القمر عن مركز الأرض مسافة $3.9 \times 10^8 m$ ويبعد عن مركز الشمس مسافة $1.5 \times 10^8 m$. فإذا كانت كتلة القمر تساوي $7.3 \times 10^{22} kg$ ، فأوجد نسبة قوة الجاذبية التي تؤثر بها الأرض والشمس في القمر.

47. مهمة تصنيف استخدام بيانات النظام الشمسي في الجداول المرجعية الموجودة في نهاية الكتاب، وصنف أزواج الكواكب التالية وفقاً لقوة الجاذبية التي يؤثر بها كل منها في الآخر من الأقل إلى الأكبر. ووضح أي روابط بشكل خاص.

A. المريخ والزهرة إذا كانت المسافة بينهما $5.0 \times 10^7 km$

B. المشتري وزحل إذا كانت المسافة بينهما $6.6 \times 10^8 km$

C. المشتري والأرض إذا كانت المسافة بينهما $6.3 \times 10^8 km$

D. المريخ والأرض إذا كانت المسافة بينهما $9.2 \times 10^7 km$

E. المشتري والمريخ إذا كانت المسافة بينهما $7.2 \times 10^8 km$

48. كرتان المسافة بين مركزيهما $2.6 m$ ، وقوة الجاذبية بينهما $2.75 \times 10^{-12} N$. ما كتلة كل منهما إذا كانت كتلة إحدهما ضعف كتلة الأخرى؟

49. القارب اللعبة يحتاج قارب خشبي لعبة كتلته $10.0 kg$ إلى قوة دفع مقدارها $40.0 N$ ليمر بسرعة متجهة ثابتة عبر سطح زجاجي أملس على الأرض. فما قوة الدفع التي يحتاج إليها القارب نفسه عبر السطح الزجاجي نفسه على كوكب المشتري؟

50. إذا كان نصف القطر المداري للقمر ميماس. أحد أقمار الكوكب زحل، يبلغ $1.87 \times 10^8 m$ وكان زمنه الدوري المداري $23.0 h$ ، فاستخدم صيغة نيوتن للقانون الثالث لكيلا لإيجاد كتلة كوكب زحل.

51. المذنب هالي يمكن رؤية المذنب هالي كل 76 سنة من كوكب الأرض. أوجد متوسط المسافة بين المذنب والشمس بالوحدات الفلكية (AU) تساوي متوسط المسافة بين الأرض والشمس. وتقدر المسافة بين الأرض والشمس بحوالي $1.00 AU$.

52. تُقاس المساحة بوحدة m^2 . لذا فإن المعدل الزمني للمساحة التي يمسحها كوكب أو قمر هي m^2/s .

a. ما معدل المساحة التي تيسحها الأرض في مدارها حول الشمس؟

b. ما معدل المساحة التي يمسحها القمر في مداره حول الأرض؟ افترض أن متوسط المسافة بين الأرض والقمر $3.9 \times 10^8 m$ والزمن الدوري للقمر حول الأرض 27.33 يوماً.

53. يبلغ نصف القطر المداري لقمر الأرض $3.9 \times 10^8 m$. استخدم صيغة نيوتن للقانون الثالث لكيلا لحساب الزمن الدوري لقمر الأرض إذا بلغ نصف القطر المداري الضعف.

70. معلم فيزياء كتلته 91.0 kg يبلغ وزنه على سطح القمر 145.6 N . فما قيمة مجال جاذبية القمر عند سطحه؟

71. إذا كانت كتلة الإلكترون $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ وكانت كتلة البروتون $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ وكانت المسافة بين الإلكترون والبروتون تساوي $0.59 \times 10^{-10} \text{ m}$ في ذرة الهيدروجين. فما مقدار قوة الجاذبية بين البروتون والإلكترون في ذرة الهيدروجين؟

72. هب أن هناك جسمين كرويين كتلتهما 8.0 kg والمسافة بينهما 5.0 m .

a. ما مقدار قوة الجاذبية بينهما؟

b. ما مقدار قوة الجاذبية بينهما عندما تكون المسافة بينهما $5.0 \times 10^1 \text{ m}$ ؟

73. إذا كان وزنك على سطح الأرض يساوي 637 N فكم يبلغ وزنك على كوكب المريخ؟ كتلة المريخ تساوي $6.42 \times 10^{23} \text{ kg}$ ونصف قطره $3.40 \times 10^6 \text{ m}$.

74. أوجد قيمة الثابت g ومجال الجاذبية عند سطح الأرض في الحالات التالية،

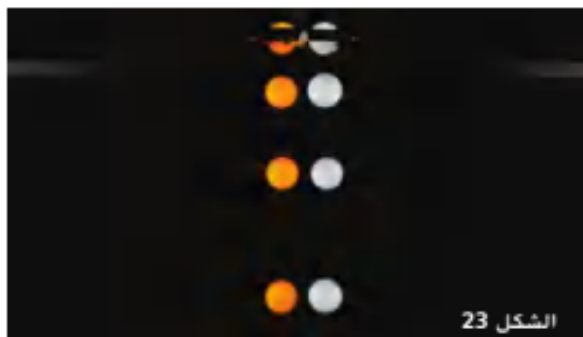
a. تبلغ كتلة الأرض ثلاثة أضعاف قيمتها الفعلية، ولكن نصف قطرها يظل كما هو.

b. يبلغ نصف قطر الأرض ثلاثة أضعافه، ولكن كتلتها تظل كما هي.

c. عند مضاعفة كل من كتلة الأرض ونصف قطرها.

تطبيق المفاهيم

75. التضارع قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم قرب سطح الأرض تتناسب طرديًا مع كتلته. يبين الشكل 23 كرة تنس طاولة وكرة جولف في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة الجولف بسرعة أكبر من كرة تنس الطاولة؟



الشكل 23

76. ما المعلومات التي نحتاج إليها لإيجاد كتلة المشتري باستخدام صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر؟

77. لماذا لم يُعرف على كتلة الكوكب القزم بلوتو حتى اكتشف قمر صناعي له؟

63. تبلغ كتلة القمر $7.34 \times 10^{22} \text{ kg}$ ، ويبلغ نصف قطره المداري $3.9 \times 10^8 \text{ m}$ من سطح الأرض. وكتلة الأرض $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$.

a. احسب قوة التجاذب بين الأرض والقمر.

b. أوجد مقدار مجال الجاذبية للأرض على القمر.

64. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزياء باستخدام أجسام من الحياة اليومية تمثل المعادلة التالية جزءًا من حلها،

$$8.3 \times 10^3 \text{ m/s} = \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2)(5.97 \times 10^{24} \text{ kg})}{r}}$$

65. يبلغ نصف قطر الأرض $6.38 \times 10^3 \text{ km}$ تقريبًا. وتطلق مركبة فضائية ثزن $7.20 \times 10^3 \text{ N}$ مبتعدة عن الأرض. فكم يبلغ وزن المركبة عند الوصول إلى المسافات التالية بعيدًا عن سطح الأرض؟

a. $6.38 \times 10^3 \text{ km}$

b. $1.28 \times 10^4 \text{ km}$

c. $2.55 \times 10^4 \text{ km}$

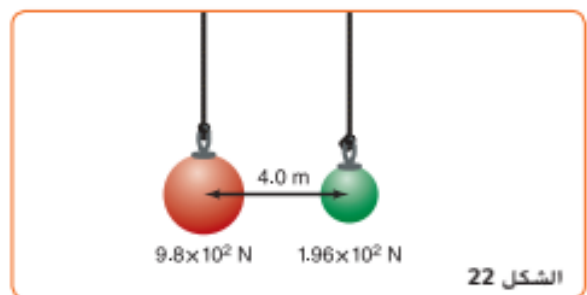
66. صاروخ كم يبلغ مسافة ارتفاع الصاروخ فوق سطح الأرض حتى يصل وزنه إلى نصف ما كان عليه عند سطح الأرض؟

67. قمران صناعيان متساويان في الكتلة يدوران في مدار وتنفصل بينهما مسافة 30.0 m . وكانت قوة الجاذبية بينهما $2.0 \times 10^{-7} \text{ N}$.

a. ما كتلة كل من القمرين؟

b. ما التسارع الأولي الذي يؤثر به قوة الجاذبية في كل قمر؟

68. كرتان كبيرتان معلقتان بجوار بعضهما، فإذا كان البعد بين مركزيهما 4.0 m كما في الشكل 22، وكان وزن إحداهما $9.8 \times 10^2 \text{ N}$ والأخرى $1.96 \times 10^2 \text{ N}$. فما مقدار قوة الجاذبية بينهما؟



الشكل 22

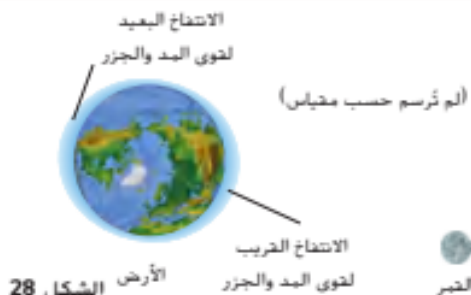
69. افترض أن المسافة بين مركزي الأرض والقمر تساوي $3.9 \times 10^8 \text{ m}$ وأن قوة الجاذبية بينهما تساوي $1.9 \times 10^{20} \text{ N}$. كم تساوي كتلة القمر تقريبًا؟

99. **التحليل والاستنتاج** تحدث ظاهرة المد والجزر على سطح الأرض نتيجة قوة جذب من القمر. هل هذه العبارة صحيحة؟

a. حدد القوى (بالنيوتن newtons) التي يؤثر بها القمر والشمس في كتلة (m) من الماء على سطح الأرض. اجعل إجابتك بدلالة m.

b. أي الجرمين الفلكيين يجذب الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر، الشمس أم القمر؟

c. أوجد الفرق بين القوتين اللتين يؤثر بهما القمر في الماء الموجود على سطح الأرض القريب منه والبعيد عنه (على الجانب المقابل). كما هو موضح في الشكل 28. اجعل إجابتك بدلالة m.



d. أوجد الفرق بين القوتين اللتين تؤثر بهما الشمس في الماء الموجود على سطح الأرض القريب منها والبعيد عنها (على الجانب المقابل).

e. أي جرم من الأجرام الفلكية يتفاوت فيه الجذب بشكل كبير بين أحد جوانب الأرض والجانب الآخر؟

f. لماذا تُعد العبارة التالية مضللة "ينتج المد والجزر عن قوة جذب القمر"؟ اجعل العبارة صحيحة بحيث تشرح كيف يسبب القمر ظاهرة المد والجزر على الأرض.

الكتابة في الفيزياء

100. ابحث في التطور التاريخي لقياس البُعد بين الشمس والأرض وأعد تقريرًا بذلك.

101. استكشف جهود الفلكيين في اكتشاف كواكب حول نجوم أخرى. وما الطرق التي استخدمها الفلكيون؟ وما القياسات التي أجروها وحصلوا عليها؟ وكيف استخدموا القانون الثالث لكبلر؟

مراجعة تراكمية

102. الطائرات أقلعت طائرة من مدينة بيتسبرج عند الساعة 2:20 بعد الظهر وحطت في واشنطن العاصمة عند الساعة 3:15 بعد الظهر من اليوم نفسه. فإذا كان متوسط سرعة الطائرة في الهواء 441.0 km/h، فما مقدار المسافة بين المدينتين؟

103. أراد وائل أن يقيس وزن أخيه أمير. وافق أمير أن يثق على الميزان. ولكن فقط إذا استقلا المصعد. ثم وقف على الميزان بينما يتسارع المصعد صعودًا بمقدار 1.75 m/s². قرأ الميزان أن وزن أمير يبلغ 716 N. فما وزنه الطبيعي؟

93. أبولو 11 في 19 مايو 1969. تم تطوير المركبة أبولو 11 أطلق للدوران حول القمر من ارتفاع يبلغ 111 km. علنا بأن نصف قطر القمر 1738 km. وكتلته 7.3×10^{22} kg.

a. ما مقدار الزمن الدوري للمركبة أبولو 11 بالدقائق minutes؟

b. عند أي سرعة متجهة دارت المركبة أبولو 11 حول القمر؟

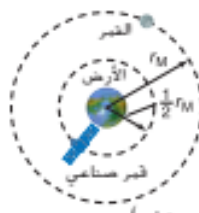
94. إذا كان الزمن الدوري للقمر شهريًا واحدًا. فأجب عما يلي بافتراض أن كتلة الأرض مضاعفة،

a. ما مقدار الزمن الدوري للقمر بالشهور؟

b. أين سيكون موقع القمر الصناعي الذي يكون زمنه الدوري المداري شهريًا واحدًا؟

c. كيف سيتغير طول السنة على الأرض؟

95. **القمر الصناعي** قمر صناعي في المدار. كما في الشكل 27، يبلغ نصف قطره المداري نصف قطر القمر. أوجد الزمن الدوري للقمر الصناعي بوحدات الزمن الدوري للقمر.



الشكل 27

96. ما السرعة التي يحتاج أن يتحرك بها كوكب له كتلة الأرض وحجمها كي يدور بحيث يتقدم وزن الجسم الموجود عند خط الاستواء؟ أوجد الزمن الدوري بالدقائق minutes.

التفكير الناقد

97. **عمل رسومات بيانية واستخدامها** استخدم قانون نيوتن في الجذب الكوني لإيجاد معادلة يكون فيها x هو مسافة بُعد الجسم عن مركز الأرض و y تسارعه وفقًا للجاذبية. استخدم الحاسبة البيانية لرسم هذه المعادلة. باستخدام 6400-6600 km كنطاق للمحور x و $9-10$ m/s² كنطاق للمحور y .

ينبغي أن تكون المعادلة على النمط $y = c \left(\frac{1}{x^2} \right)$. استخدم

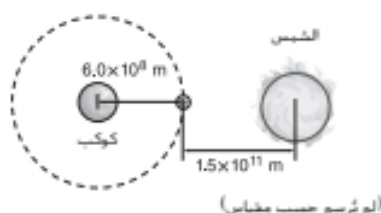
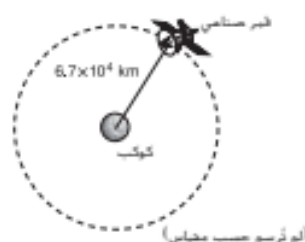
هذا الرسم البياني لإيجاد y لهذه المواقع، مستوى البحر.

6400km، قمة جبل إفرست، 6410km، قمر صناعي في المدار المعتاد، 6500km، قمر صناعي في مدار أعلى، 6600km.

98. افترض أن الشمس قد اختفت - تددت كتلتها. فإذا كانت قوة الجاذبية تؤثر على بُعد. فستتأثر الأرض بقوة الجاذبية من الشمس على الفور. ولكن إذا كانت القوة ناتجة عن مجال ما أو انحناء الفضاء لأينشتاين. فإن المعلومات التي نقيد بأن الشمس قد تددت ستنتقل بسرعة الضوء. فكم تبلغ البدة التي تستغرقها تلك المعلومات لتصل إلى الأرض؟

اختيار من متعدد

1. قمران صناعيان في مدار حول كوكب. يبلغ نصف القطر المداري $8.0 \times 10^6 \text{ m}$ ، ويبلغ الزمن الدوري لمدوران هذا القمر الصناعي $1.0 \times 10^6 \text{ s}$ ، ويبلغ نصف القطر المداري للقمر الثاني $2.0 \times 10^7 \text{ m}$. فما الزمن الدوري لمدوران القمر الثاني؟
 a. $5.0 \times 10^5 \text{ s}$
 b. $2.5 \times 10^6 \text{ s}$
 c. $4.0 \times 10^6 \text{ s}$
 d. $1.3 \times 10^7 \text{ s}$
2. يبين الرسم التوضيحي التالي قمرًا صناعيًا في مدار حول كوكب صغير، يبلغ نصف القطر المداري للقمر $6.7 \times 10^4 \text{ km}$ وسرعته $2.0 \times 10^5 \text{ m/s}$. فما كتلة الكوكب الذي يدور حوله هذا القمر الصناعي؟ ($G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$)
 a. $2.5 \times 10^{18} \text{ kg}$
 b. $4.0 \times 10^{20} \text{ kg}$
 c. $2.5 \times 10^{23} \text{ kg}$
 d. $4.0 \times 10^{28} \text{ kg}$



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

6. قمران صناعيان في مدار حول كوكب. فإذا كان القمر (ق1) يستغرق 20 يومًا ليدور حول الكوكب الذي يبعد عن مركزه مسافة $2 \times 10^5 \text{ km}$. في حين أن القمر (ق2) يستغرق 160 يومًا للمدوران حول الكوكب. فكم تبلغ المسافة بين القمر (ق2) ومركز الكوكب؟

3. يدور قمران صناعيان في مدار حول الكوكب نفسه، فإذا كانت كتلة القمر (أ) $1.5 \times 10^2 \text{ kg}$ وكتلة القمر (ب) $4.5 \times 10^3 \text{ kg}$ وكتلة الكوكب $6.6 \times 10^{24} \text{ kg}$. وكان كل من القمرين له نصف قطر مدار متساوي والبالغ $6.8 \times 10^6 \text{ m}$. فكم يكون الفرق بين الزمنين الدوريين للقمرين؟

- a. لا يوجد فرق
 b. $1.5 \times 10^2 \text{ s}$
 c. $2.2 \times 10^2 \text{ s}$
 d. $3.0 \times 10^2 \text{ s}$

الحركة الدورانية

الفكرة الرئيسية يؤدي تطبيق العزم على جسم ما إلى حدوث تغيير في سرعته الزاوية.

الأقسام

1 وصف الحركة الدورانية

2 ديناميكا الحركة الدورانية

3 الاتزان

التجربة الاستهلالية

الأجسام المتدحرجة

كيف تدور الأجسام أثناء دحرجتها؟



James Laurent Digital Photography Images



All Chapters from Glencoe's Physics: Principles & Problems, Student Edition ©2019

وصف الحركة الدورانية

القسم 1

الفيزياء في حياتك

تحتوي العديد من السيارات على مقياس سرعة الدوران الذي يعرض المعدل الذي يدور به عمود الإدارة في المحرك. تُقاس هذه السرعة بآلاف الدورات في الدقيقة. لماذا قد يحتاج السائق إلى معرفة هذه المعلومات؟



الإزاحة الزاوية

يرجح أن تكون قد لاحظت الكثير من الأجسام في حالة دوران. كيف تقيس معدل دوران هذه الأجسام؟ ابحث عن جسم دائري. كقرص DVD مثلاً. حدد نقطة واحدة على إطار القرص بحيث تتمكن من تتبع موقعها. قم بتدوير القرص إلى اليسار (في عكس اتجاه عقارب الساعة) وراقب موقع النقطة في هذه الأثناء. عندما تعود النقطة إلى موقعها الأصلي، يكون القرص قد أكمل دورة كاملة واحدة.

قياس الدوران كيف تتمكن من قياس جزء من دورة واحدة؟ يمكن قياسه بالعديد

من الطرق المختلفة، لكن الطريقتان الأكثر استخداماً هما الدرجات والراديان. تساوي الدرجة $\frac{1}{360}$ من الدورة وهي المقياس المعتاد الموجود على المنقلة. في الرياضيات والفيزياء، يرتبط الراديان بنسبة محيط الدائرة إلى نصف قطرها. في الدورة الواحدة، تقطع نقطة ما على إطار العجلة مسافة تساوي 2π مضروباً في نصف قطر العجلة. لذا، يُعرف **الراديان** بأنه يساوي $\frac{1}{(2\pi)}$ من الدورة. تمثل الدورة الواحدة المكتملة زاوية قدرها 2π راديان. ويُرمز للراديان بالرمز rad .

يستخدم الحرف اليوناني "ثيتا" (θ) لتمثيل زاوية الدوران. يوضح الشكل 1 الزوايا بالراديان للعديد من الأجزاء الشائعة من الدورة. لاحظ أن الدوران في عكس اتجاه عقارب الساعة يشار إليه بأنه موجب، بينما يشار إلى اتجاه عقارب الساعة بأنه سالب. عندما يدور جسم ما، يُطلق على معدل التغير في الزاوية اسم **الإزاحة الزاوية** للجسم.

الفكرة الرئيسة

يساعد كل من الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية والتسارع الزاوي في وصف الحركة الزاوية.

الأسئلة الرئيسة

- ما المقصود بالإزاحة الزاوية؟
- ما المقصود بالسرعة الزاوية المتوسطة؟
- ما المقصود بالتسارع الزاوي المتوسط.
- وما العلاقة بينه وبين السرعة الزاوية؟

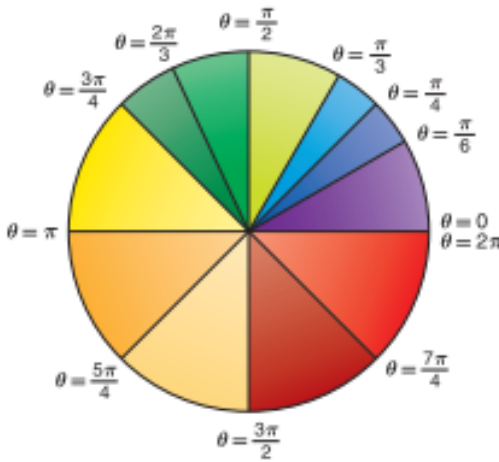
مراجعة المفردات

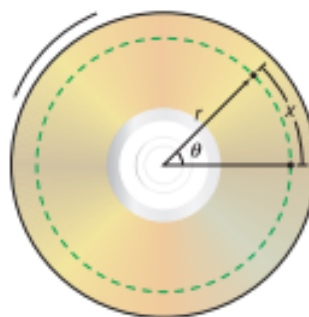
الإزاحة تغير في الموقع له مقدار واتجاه، ويساوي الموقع النهائي ناقص الموقع الابتدائي.

مفردات جديدة

راديان	radian
الإزاحة الزاوية	angular displacement
السرعة الزاوية	angular velocity
التسارع الزاوي	angular acceleration

الشكل 1 يمكن قياس الجزء من الدورة بالدرجات أو الراديان. ويظهر فيما يلي بعض الزوايا الشائعة مقاسة بالراديان. وتُقاس كل زاوية في عكس اتجاه عقارب الساعة ابتداءً من $\theta = 0$.





الشكل 2 يوضح الخط المتقطع مسار نقطة ما على قرص DVD عندما يدور في عكس اتجاه عقارب الساعة حول مركزه. تقع هذه النقطة على مسافة r من مركز القرص وتتحرك مسافة x أثناء دورانه. اشرح ما الذي تبثه المتغيرات x و θ .

دورة الأرض كما نعرف، تدور الأرض دورة واحدة مكتملة، أو $2\pi \text{ rad}$ ، في غضون 24 h. وفي غضون 12 h، تدور بزاوية قدرها $\pi \text{ rad}$. ما الزاوية التي تدور بها الأرض في غضون 6 h لأن الفترة الزمنية 6 h تمثل ربع اليوم الواحد. تدور الأرض بزاوية قدرها $\frac{\pi}{2} \text{ rad}$ خلال تلك الفترة. يكون دوران الأرض عند مشاهدته من القطب الشمالي موجباً. هل يكون الدوران موجباً أم سالباً عند مشاهدته من القطب الجنوبي؟

✓ **التأكد من فهم النص** حدد الزاوية التي تدور بها الأرض في غضون 48 h.

قياس المسافة ما المسافة التي تتحركها إحدى النقاط على جسم ما في حالة دوران؟ نجد بالفعل أن النقطة الموجودة على حافة أحد الأجسام تتحرك بمعدل 2π مضروباً في نصف القطر خلال دورة واحدة. بوجه عام، للدوران بزاوية θ ، تتحرك نقطة تقع على مسافة r من المركز، كما هو موضح في الشكل 2، مسافة يمكن إيجادها بواسطة $x = r\theta$. وإذا كان r يقاس بالأمتار، فلعلك تعتقد أنه سيكون ناتج ضربه في θ rad يساوي x يقاس بوحدة m-rad. وهذا ليس صحيحاً. فالراديان يشير إلى النسبة بين r و x بلا أبعاد. لذلك، يُقاس x بالأمتار.

السرعة الزاوية

ما مقدار السرعة التي يدور بها قرص DVD؟ كيف تتمكن من تحديد سرعة دورانه؟ تذكر أن السرعة تساوي الإزاحة مقسومة على الزمن المتخفي أثناء حدوث الإزاحة. وبالمثل، **السرعة الزاوية** لجسم ما تساوي ناتج قسمة الإزاحة الزاوية على الزمن المتخفي أثناء حدوث الإزاحة الزاوية. يمكن إيجاد السرعة الزاوية لجسم ما بالمعادلة التالية، ويمثلها الحرف اليوناني "أوميغا" (ω).

السرعة الزاوية المتوسطة للجسم
تساوي السرعة الزاوية ناتج قسمة الإزاحة الزاوية على الزمن المطلوب لحدوث الدوران.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

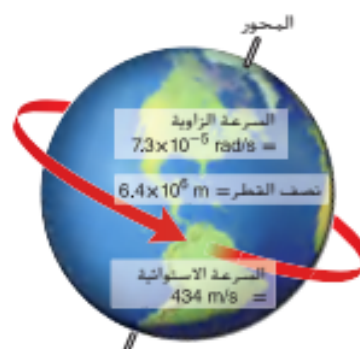
نذكر أنه إذا تغيرت السرعة المتجهة على مدار فترة زمنية، فإن السرعة المتجهة المتوسطة لا تساوي السرعة اللحظية في أي لحظة. وبالمثل، تساوي السرعة الزاوية المحسوبة بهذه الطريقة في الواقع السرعة الزاوية المتوسطة خلال الفترة الزمنية (Δt) .

✓ **التأكد من فهم النص** عرّف السرعة الزاوية بأسلوبك الخاص.

السرعة الزاوية للأرض تُقاس السرعة الزاوية بوحدة rad/s. يمكنك حساب السرعة الزاوية للأرض على النحو التالي:

$$\omega_E = \frac{(2\pi \text{ rad})}{(24.0 \text{ h})(3600 \text{ s/h})} = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

بالطريقة نفسها التي تنتج بها إزاحة زاوية موجبة عند الدوران في عكس اتجاه عقارب الساعة، تنتج أيضًا سرعة زاوية موجبة. إذا كانت السرعة الزاوية لجسم ما ω ، يتم إيجاد السرعة المتجهة الخطية لنقطة تقع على مسافة r من محور الدوران بالعلاقة $v = r\omega$. يتم إيجاد السرعة التي يتحرك بها جسم ما على خط الاستواء نتيجة لدوران الأرض بالعلاقة $v = r\omega = (6.38 \times 10^6 \text{ m/rad})(7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}) = 464 \text{ m/s}$. تعد الأرض مثالاً لجسم صلب في حالة دوران. كما هو موضح في الشكل 3. على الرغم من عدم تحرك النقاط المختلفة عند خطوط العرض المختلفة على الأرض بمقدار المسافة نفسه في كل دورة، إلا أن جميع النقاط تدور بالزاوية نفسها. تدور جميع الأجزاء في الجسم الصلب بالمعدل نفسه. لا تُعد الشمس جسمًا صلبًا. وتدور الأجزاء المختلفة في الشمس بسرعات زاوية مختلفة. تعد معظم الأجسام التي سيتم تناولها في هذه الوحدة أجسامًا صلبة.



الشكل 3 كوكب الأرض جسم صلب في حالة دوران وتدور جميع أجزائه بالمعدل نفسه.

التسارع الزاوي

ماذا لو كانت السرعة الزاوية تتغير؟ على سبيل المثال، يمكن أن تسارع السيارة من 0.0 m/s إلى 25 m/s في غضون 15 s. وفي غضون 15 s نفسها، ستتغير السرعة الزاوية لعجلات السيارة التي يبلغ قطرها 0.64 m من 0.0 rad/s إلى 78 rad/s. ستكتسب العجلات **التسارع الزاوي**، الذي يساوي معدل التغير في السرعة الزاوية مقسومًا على الزمن المطلوب لحدوث التغير. يمثل التسارع الزاوي (α) بالمعادلة التالية ويُقاس بوحدة rad/s^2 .

متوسط التسارع الزاوي لجسم ما التسارع الزاوي، معدل التغير في السرعة الزاوية مقسومًا على الزمن المطلوب لحدوث التغير.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

إذا كان التغير في السرعة الزاوية موجبًا، يكون التسارع الزاوي موجبًا أيضًا. يساوي التسارع الزاوي المحدد بهذه الطريقة أيضًا السرعة الزاوية المتوسطة خلال الفترة الزمنية (Δt). يتم إيجاد التسارع الخطي لنقطة ما عند مسافة (r) من محور جسم ما يساوي التسارع الزاوي له (α) بالعلاقة $a = r\alpha$. الجدول 1 عبارة عن علاقات خطية وزاوية ناقشناها سابقًا في هذا القسم.

✓ **التأكد من فهم النص** قارن بين السرعة الزاوية والتسارع الزاوي لجسم في حالة دوران.

الجدول 1 القياسات الخطية والزاوية

الكمية	خطية	زاوية	العلاقة
الإزاحة	$x \text{ (m)}$	$\theta \text{ (rad)}$	$x = r\theta$
السرعة المتجهة	$v \text{ (m/s)}$	$\omega \text{ (rad/s)}$	$v = r\omega$
التسارع	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$\alpha \text{ (rad/s}^2\text{)}$	$a = r\alpha$

1. ما مقدار الإزاحة الزاوية لكل عقرب في ساعة الحائط خلال 1.00 h؟ وضّح إجابتك بوحدة القياس.
 - a. عقرب الثواني
 - b. عقرب الدقائق
 - c. عقرب الساعات
2. تكمل لعبة دوارة موجودة في أعلى سرير الطفل دورة واحدة في عكس اتجاه عقارب الساعة خلال 1 min.
 - a. ما مقدار الإزاحة الزاوية التي تتقطعها خلال 3 min؟
 - b. ما مقدار السرعة الزاوية للعبة بوحدة rad/min ؟
 - c. إذا تم إيقاف اللعبة، فهل يكون التسارع الزاوي لها موجبا أم سالبا؟ اشرح.
3. إذا كان التسارع الخطي لشاحنة يبلغ 1.85 m/s^2 ويبلغ التسارع الزاوي للمجلات 5.23 rad/s^2 ، فكم يساوي قطر عجلات الشاحنة؟
4. تسحب الشاحنة في المسألة السابقة مقطورة ذات عجلات نصف قطرها 48 cm.
 - a. قارن بين التسارع الخطي للمقطورة والتسارع الخطي للشاحنة؟
 - b. قارن بين التسارع الزاوي لعجلات المقطورة وعجلات الشاحنة؟
5. مسألة تحفيزية إذا استبدلت الإطارات الموجودة في سيارتك بإطارات ذات قطر أكبر. بعد تغيير الإطارات، ما مدى تغير السرعة الزاوية وعدد الدورات في الرحلات التي تسير فيها بالسرعة نفسها والتي تقطع فيها المسافة نفسها؟

التردد يمكن لجسم ما أن يدور عدة مرات في فترة زمنية معينة. على سبيل المثال،

يمكن أن تكمل عجلة دوارة العديد من الدورات خلال 1 min. يُطلق على عدد الدورات الكاملة التي يحدثها جسم ما خلال 1 s اسم التردد. يُحدد التردد على النحو التالي

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

بعد القرص الثابت في جهاز الكمبيوتر مثلاً لهذا الجسم الدوار.

أنصت جيداً عندما يبدأ جهاز الكمبيوتر. ستسمع غالباً دوران القرص الثابت. تقاس ترددات القرص الثابت بعدد الدورات في الدقيقة (RPM). تدور الأقراص الثابتة غير المكلفة بمعدل 4800 و5400 و7200 دورة في الدقيقة (RPM). بينما تدور الأقراص الثابتة الأكثر تطوراً بمعدل 10,000 أو 15,000 دورة في الدقيقة (RPM). كلما كان دوران القرص الثابت أسرع، كان وصول القرص الصلب إلى المعلومات أو تخزينها أسرع.

القسم 1 مراجعة



الشكل 4

6. الفكرة الرئيسية يدور القمر دورة واحدة حول محوره كل 27.3 يوماً.
 - a. ما الفترة التي يستغرقها القمر في الدوران بالثواني؟
 - b. ما تردد دوران القمر بوحدة rad/s ؟
 - c. توجد صخرة على السطح عند خط استواء القمر. ما مقدار السرعة الخطية لها بسبب دوران القمر؟
 - d. قارن هذه السرعة بسرعة شخص عند خط استواء الأرض بسبب دوران الأرض.
7. الإزاحة الزاوية يستمر برنامج الأخبار لمدة 2 h. خلال تلك الفترة، ما مقدار الإزاحة الزاوية لكل مما يلي؟
 - a. عقرب الساعات
 - b. عقرب الدقائق
 - c. عقرب الثواني
8. التسارع الزاوي أثناء العصر في غسالة الملابس. يدور الوعاء الأسطواني بمعدل 635 rev/min. في حالة فتح غطاء الغسالة، يتوقف المحرك عن العمل. إذا كان الوعاء الأسطواني يحتاج إلى 8.0 s ليتباطأ حتى التوقف، فما مقدار التسارع الزاوي للوعاء الأسطواني؟
9. الإزاحة الزاوية هل يكون لجميع أجزاء عقرب الدقائق في الساعة الموضحة في الشكل 4، الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل تقطع المسافة الخطية نفسها؟ اشرح.
10. التفكير الناقد قرص مضغوط يتضمن مساراً حلزونياً يبدأ عند مسافة 2.7 cm من مركز القرص وينتهي عند مسافة 5.5 cm من المركز. يجب أن يدير مشغل الأقراص القرص المضغوط بحيث تكون السرعة الخطية للمسار ثابتة بمقدار 1.4 m/s. أوجد ما يلي،
 - a. السرعة الزاوية للقرص (بوحدة rad/s و rev/min) في بداية المسار
 - b. السرعة الزاوية للقرص في نهاية المسار
 - c. التسارع الزاوي للقرص إذا استمر تشغيل القرص لمدة 76 min

الفيزياء في حياتك

هل رأيت من قبل دورة عصر لفسالة؟ أثناء دورة الشطف، يبدأ الدوران ببطء لكن سرعان ما تزداد السرعة الزاوية بدرجة هائلة. تدفع الحركة الدورانية الماء الذي تشربته الملابس إلى أسطوانة طرد الماء. وتسمح فتحات الأسطوانة بتصريف الماء من حوض الغسيل.

القوة والسرعة الزاوية

كيف تبدأ الحركة الدورانية لجسم ما؟ أي كيف تتغير سرعته الزاوية؟ لعبة النحلة الدوارة من الأجسام التي يسهل تدويرها. إذا قمنا بلف خيط حولها وسحبنا الخيط بقوة، فستدور هذه اللعبة بسرعة. ففوة الشد في الخيط تؤثر على حافة اللعبة الخارجية ويكون اتجاه هذه القوة متعامداً مع اتجاه الخط الواصل بين اللعبة والنقطة التي يلامس عندها الخيط سطح اللعبة مبتعداً عنها. لقد تعلمت أن القوة المؤثرة في جسم تقضي تغير من سرعته المتجهة. كما في حالة اللعبة، فإن تأثير القوة بطريقة معينة في الجسم غير التقضي بغير سرعته الزاوية. والجسم غير التقضي هو الذي يكون ثابتاً في الشكل والحجم. تأمل عندما تفتح باباً مغلقاً، فإنك تؤثر في الباب بقوة لكي تفتحه. ولكن ما أسهل طريقة لفتح الباب؟ لكي تحصل على أكبر تأثير بأقل قوة، فإنك تجعل نقطة تأثير القوة أبعد ما يمكن عن محور الدوران. كما هو موضح في الشكل 5. في هذه الحالة، يكون محور الدوران عبارة عن خط وهمي رأسي يمر من خلال مفصلات الباب. وتكون قبضة الباب بجانب الطرف الخارجي للباب. وحينها تؤثر بالقوة في قبضة الباب بزاوية قائمة بالنسبة إلى الباب، يحدد كل من مقدار القوة والمسافة بين محور الدوران ونقطة تأثير القوة والزاوية بينهما التغير في السرعة الزاوية.

الشكل 5 عند فتح باب حر الدوران حول المفصلات، تكون القوة المؤثرة في أبعد نقطة عن المفصلات، بزاوية متعامدة مع الباب.



الفكرة الرئيسية

تحدث العزم تغيرات في السرعة الزاوية.

الأسئلة الرئيسية

- ما المقصود بالعزم؟
- كيف يرتبط عزم القصور الذاتي بالحركة الدورانية؟
- ما العلاقة بين العزم وعزم القصور الذاتي وقانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية؟

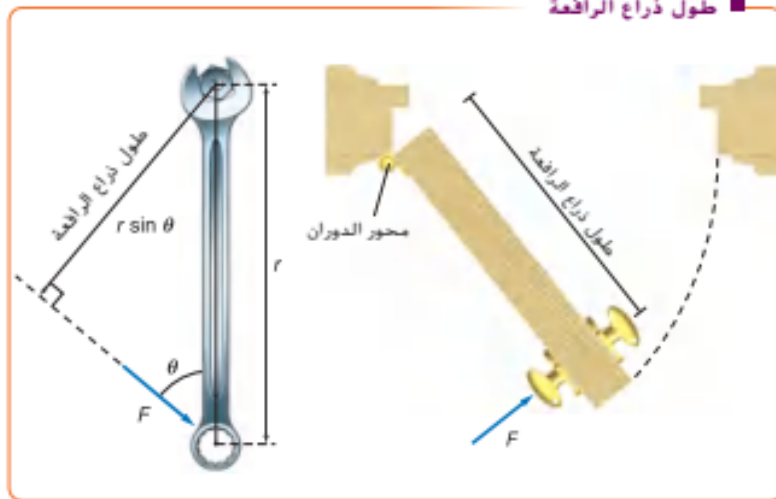
مراجعة المفردات

المقدار (magnitude) مقياس للحجم

مفردات جديدة

- ذراع القوة lever arm
- العزم torque
- عزم القصور الذاتي moment of inertia
- قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية Newton's second law for rotational motion





الشكل 6 يمثل ذراع القوة المسافة العمودية من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. بالنسبة إلى الباب، يكون ذراع القوة محاذياً لعرض الباب. أي من المفصلات وحتى نقطة تأثير القوة. وبالنسبة إلى مفتاح الشد، يساوي ذراع القوة $r \sin \theta$ ، عندما تكون الزاوية θ بين القوة ونصف قطر الدوران لا تساوي 90° .
اشرح لماذا تُستخدم المعادلة $r \sin \theta$ لإيجاد طول ذراع القوة.



ذراع القوة عند التأثير بقوة معينة، فإن التغير في السرعة الزاوية يعتمد على **ذراع القوة**، وهي المسافة العمودية من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة. إذا كانت القوة متعامدة مع نصف قطر الدوران، كما هو الحال في لعبة التحفة الدوّارة، فإن ذراع القوة تساوي البعد عن المحور. وهو (r). أما بالنسبة إلى الباب، فإن ذراع القوة تساوي المسافة بين المفصلات ونقطة تأثير القوة، كما هو موضح على يسار الشكل 6. ما إذا كانت القوة المؤثرة غير متعامدة مع نصف القطر، فإن مقدار ذراع القوة يقل. ويجب أن تستخدم الرياضيات لإيجاد طول ذراع القوة.

لإيجاد ذراع القوة، يجب أن تُد خط متجه القوة حتى يشكل زاوية قائمة مع الخط الممتد من مركز الدوران، كما هو موضح في الشكل 6. المسافة بين نقطة التقاطع والمحور هي ذراع القوة. وباستخدام حساب المثلثات، يمكن إيجاد طول ذراع القوة (L) بالمعادلة $L = r \sin \theta$. في هذه المعادلة، تمثل r المسافة بين محور الدوران ونقطة تأثير القوة، أما θ فهي الزاوية المحصورة بين القوة المؤثرة ونصف القطر الممتد من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة.

✓ **التأكد من فهم النص** اشرح إلام يرمز كل متغير في المعادلة $L = r \sin \theta$.

العزم تشير مفردة **العزم (torque)** إلى مقدرة القوة على إحداث دوران الجسم. يساوي مقدار العزم حاصل ضرب القوة في طول ذراعها. ولأن القوة مقيسة بوحدة النيوتن والمسافة بوحدة المتر، فإن العزم يُقاس بوحدة نيوتن.متر ($\text{N}\cdot\text{m}$). يُرمز للعزم بالحرف اللاتيني (τ). ويُعبر عنه بالمعادلة التالية.

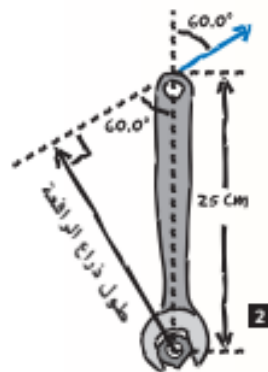
العزم (TORQUE)

العزم يساوي حاصل ضرب القوة F في طول ذراعها ($r \sin \theta$).

$$\tau = Fr \sin \theta$$

✓ **التأكد من فهم النص** حدد ما يرمز إليه كل متغير في معادلة العزم $\tau = Fr \sin \theta$.

ذراع القوة يتطلب شدًا صامولة في محرك سيارة عزمًا مقداره $35 \text{ N}\cdot\text{m}$. استخدمت مفتاح شد طوله 25 cm وأثّرت في نهاية المفتاح بقوة تميل بزاوية مقدارها 60.0° بالنسبة إلى يد المفتاح. فما طول ذراع القوة؟ وما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر بها؟



1 حلّ المسألة وارسمها

ارسم الحالة. أوجد طول ذراع القوة بسحب متجه القوة من نهايته حتى يتقاطع الخط العمودي عليه مع محور الدوران.

المجهول	المعلوم
$L = ?$	$r = 0.25 \text{ m}$
$F = ?$	$\tau = 35 \text{ N}\cdot\text{m}$
	$\theta = 60.0^\circ$

إيجاد المجهول

حل لإيجاد طول ذراع القوة.

$$L = r \sin \theta$$

$$= (0.25 \text{ m})(\sin 60.0^\circ)$$

$$= 0.22 \text{ m}$$

حل لإيجاد مقدار القوة.

$$\tau = Fr \sin \theta$$

$$F = \left(\frac{\tau}{r \sin \theta} \right)$$

$$= \frac{(35 \text{ N}\cdot\text{m})}{(0.25 \text{ m})(\sin 60.0^\circ)}$$

$$= 1.6 \times 10^2 \text{ N}$$

عوض عن $r = 0.25 \text{ m}$ و $\theta = 60.0^\circ$ في المعادلة. ثم حل المعادلة.

بالتعويض عن $\tau = 35 \text{ N}\cdot\text{m}$ و $r = 0.25 \text{ m}$ و $\theta = 60.0^\circ$ في المعادلة.

ثم حل المعادلة. تذكر أن تستخدم أرقامًا معنوية.

3 تقييم الإجابة

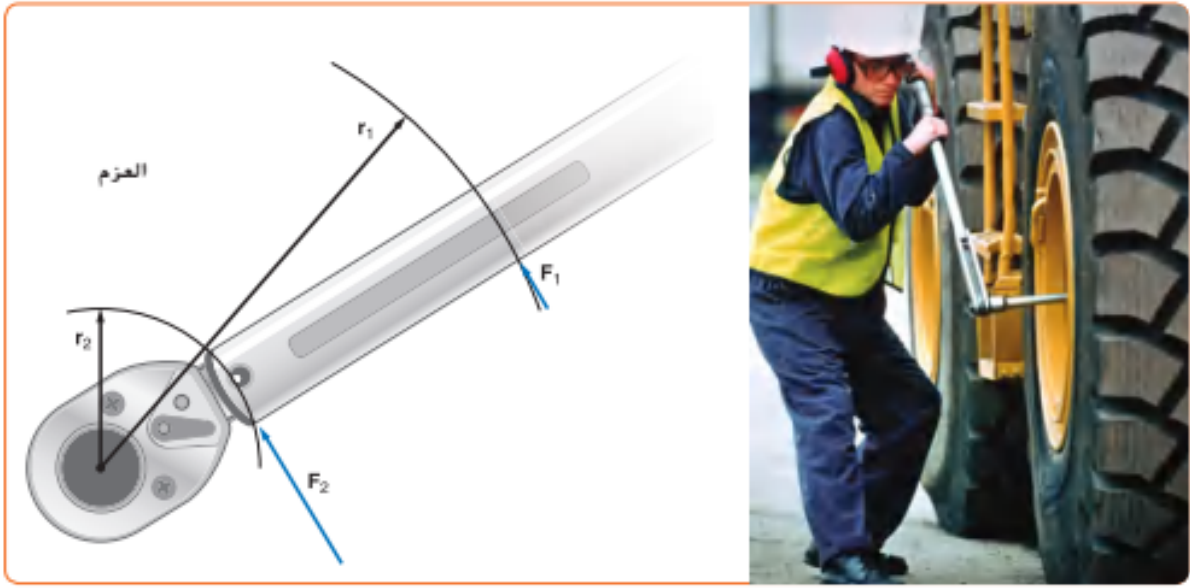
- هل الوحدات صحيحة؟ ثنّاس القوة بالنيوتن.
- هل للإشارة مدلول؟ يتم حساب مقدار القوة اللازمة فقط لتدوير المفتاح في اتجاه حركة عقارب الساعة.

تطبيقات



الشكل 7

- بالرجوع إلى مفتاح الشد في مثال المسألة 1.
- إذا كان العزم $55.0 \text{ N}\cdot\text{m}$ هو المطلوب لتدوير برغي وكانت أكبر قوة يمكنك التأثير بها 135 N . فما طول ذراع القوة الذي يجب استخدامه لتدوير البرغي؟
- لديك مفتاح شد طوله 0.234 m . ولديك مهمة تتطلب عزمًا مقداره $32.4 \text{ N}\cdot\text{m}$. وبيدك أن تؤثر بقوة مقدارها 232 N .
 - ما مقدار أقل زاوية تصنعها القوة المؤثرة بالنسبة إلى المستوى الرأسي بحيث تُمكنك من لف مفتاح الشد وإنجاز المهمة؟
 - إذا كان بإمكان صديقك التأثير بقوة 275 N . فما مقدار أقل زاوية تُمكنك من إنجاز المهمة؟
- تقف على بَدَال دراجة هوائية. كما في الشكل 7. تبلغ كتلتك 65 kg . إذا كان البَدَال يصنع زاوية 35° على المستوى الأفقي ويبقى عن مركز حلقة السلسلة 18 cm . فما مقدار العزم الذي يؤثر به؟
- التحدي إذا كان البَدَال في المثال السابق أفقيًا. فما مقدار العزم الذي يؤثر به؟ وما مقدار العزم إذا كان البَدَال رأسيًا؟



الشكل 8 يستخدم هذا العامل مفتاح شد طويلاً لأنه يساعد على بذل قوة أقل عند ربط الصواميل وفكها. لمفتاح الشد هذا ذراع قوة طويل، ويطلب منه بذل قوة أقل إذا كانت نقطة تأثير هذه القوة عند أبعد نقطة عن محور الدوران (مركز السامولة).

مختبر الفيزياء

الرفع بالعتلة

المختبر الجانبي هل يمكن أن يستخدم شخص عتلة بسيطة لفتح باب ثقيل بقليل؟

العزم

هل يمكنك قياس القوى التي تُنتج عزمًا؟

إيجاد محصلة العزم

يبين **الشكل 8** تطبيقًا عمليًا للعزم المتزايد لتسهيل إنجاز المهمة. لتوضيح مثال آخر على العزم، نعد التجربة التالية. خذ قلني رصاص وبعض النغود المعدنية وشريطًا لاصقًا شفافًا. ثبت قطعتي نغود متباعدتين بنهايتي أحد الطرفين ودعه يترن فوق الخلم الثاني. كما هو موضح في **الشكل 9**. تؤثر كل من قطعتي النغود بعزم مساوٍ للمسافة من نقطة الاتزان إلى مركز قطعة النغود (r) مضروبة في وزنها (F_g). على النحو التالي،

$$\tau = rF_g$$

لكن العزمين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه. لذا تساوي محصلة العزم صفرًا.

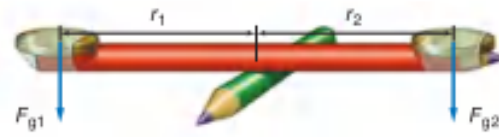
$$\tau_1 - \tau_2 = 0$$

أو

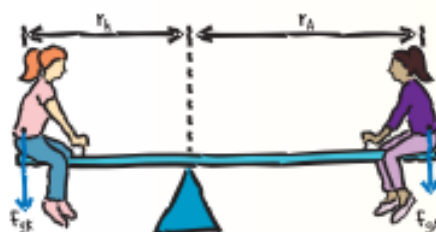
$$r_1 F_{g1} - r_2 F_{g2} = 0$$

كيف تجعل الخلم يدور؟ يمكنك إضافة قطعة نغود أخرى فوق إحدى القطعتين المتدليتين، مما يجعل الخولتين مختلفتين. كما يمكنك إزاحة نقطة الاتزان نحو إحدى القطعتين الموجودتين فوق نهايتي الخلم، مما يجعل مسافتَي ذراعي القوة مختلفتين.

الشكل 9 عندما يترن الخلم الرصاص، فإن العزم الذي يؤثر به القطعة النغدية الأولى ($F_{g1}r_1$) يساوي العزم الذي يؤثر به القطعة النغدية الثانية ($F_{g2}r_2$) في المقدار وبضاده في الاتجاه.



اتزان العزوم أرادت فاطمة (كتلتها 56 kg) وعائشة (كتلتها 43 kg) أن يلعبا على أرجوحة طولها 1.75 m بحيث تحافظان على وضع الاتزان للعبة. فما بُعد نقطة الارتكاز عن كلًا منهما؟ أهمل وزن الأرجوحة.



1 تحليل المسألة

- ارسم الحالة.
- ارسم المتجهات ثم ستها.

المجهول	المعلوم
$r_K = ?$	$m_K = 56 \text{ kg}$
$r_A = ?$	$m_A = 43 \text{ kg}$
	$r_K + r_A = 1.75 \text{ m}$

2 إيجاد المجهول

- احسب الثوتين.
- فاطمة،

$$F_{gK} = m_K g$$

$$= (56 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})$$

$$= 5.5 \times 10^2 \text{ N}$$

عائشة،

$$F_{gA} = m_A g$$

$$(43 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg}) =$$

$$4.2 \times 10^2 \text{ N}$$

احسب بُعد فاطمة بدلالة طول لعبة الأرجوحة وبُعد عائشة.

$$r_K = 1.75 \text{ m} - r_A$$

عندما لا يحدث دوران، يكون مجموع العزوم صفراً.

$$F_{gK} r_K = F_{gA} r_A$$

$$F_{gK} r_K - F_{gA} r_A = 0.0 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$F_{gK}(1.75 \text{ m} - r_A) - F_{gA} r_A = 0.0 \text{ N}\cdot\text{m}$$

عوض بالعلاقة بين بُعد فاطمة بدلالة بُعد عائشة في المعادلة: $r_K = 1.75 \text{ m} - r_A$

حل لإيجاد r_A .

$$F_{gK}(1.75 \text{ m}) - F_{gK}(r_A) - F_{gA} r_A = 0.0 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$F_{gK} r_A + F_{gA} r_A = F_{gK}(1.75 \text{ m})$$

$$(F_{gK} + F_{gA}) r_A = F_{gK}(1.75 \text{ m})$$

$$r_A = \frac{F_{gK}(1.75 \text{ m})}{(F_{gK} + F_{gA})}$$

$$= \frac{(5.5 \times 10^2 \text{ N})(1.75 \text{ m})}{(5.5 \times 10^2 \text{ N} + 4.2 \times 10^2 \text{ N})}$$

$$= 0.99 \text{ m}$$

$$F_{gA} = 4.2 \times 10^2 \text{ N} \text{ و } F_{gK} = 5.5 \times 10^2 \text{ N}$$

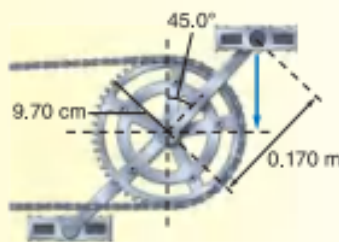
3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ نفّاس المسافة بالمتر.

- هل للإشارات معنى؟ المسافات تكون موجبة.

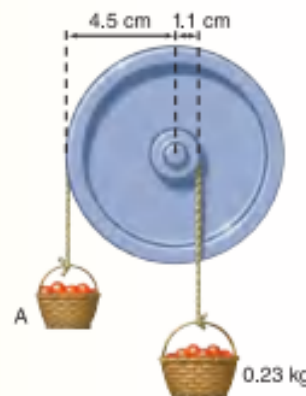
- هل المقدار واقعي؟ عائشة على بُعد 1 m من المركز، لذا تكون فاطمة على بُعد 0.75 m من المركز. ولأن وزن فاطمة أكبر من وزن عائشة، فيكون ذراع القوة لديها أقل مما لدى عائشة. أي أن عائشة على بُعد أكبر من نقطة الاتزان.

19. افترض أن نصف قطر البكرة الكبرى في السؤال 18 أصبح 6.0 cm. فما مقدار كتلة السلة A حينها؟
20. التحدي راكب دراجة . كتلته 65.0 kg. يتف على بئال الدراجة الهوائية. ويصنع ذراع التدوير. الذي طوله 0.170 m. زاوية 45.0° بالنسبة إلى المستوى الرأسى. كما في الشكل 11. كان ذراع التدوير متصلاً بإطار السلسلة. فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر فيها السلسلة لمنع الإطار من الدوران. علماً بأن نصف قطر الإطار 9.70 cm



الشكل 11

16. يجلس فارس. الذي كتلته 43 kg. على بُعد 1.8 m من مركز الأرجوحة. ويريد قهد. الذي كتلته 52 kg. أن يلعب على الأرجوحة مع فارس. على أي بُعد من مركز الأرجوحة يجب أن يجلس قهد؟
17. دراجة هوائية نصف قطر إطارها 7.70 cm. فإذا أثرت السلسلة بقوة مقدارها 35.0 N في الإطار في اتجاه حركة عقارب الساعة. فما مقدار العزم اللازم لمنع الإطار من الدوران؟
18. غلّقت سلتا فواكه بحبلين يمران على بكرتين قطرها مختلفان. كما في الشكل 10. فما مقدار كتلة السلة A؟



الشكل 10

عزم القصور الذاتي

إذا أثرت بقوة معينة في كتلة نقطية، فسيتناسب تسارعها عكسياً مع كتلتها. كيف يدور جسم غير نقطي عندما يؤثر عزم فيه؟ لتلاحظ ذلك بشكل مباشر. خذ مرة أخرى الأدوات التي استخدمتها في هذه الوحدة من قبل. وهي الظلم الرصاص وقطع النغد المعدنية والشريط الشفاف. ابدأ بالصاق قطعتي النغد في نهايتي الظلم الرصاص. ثم احمل الظلم بين إصبعيك الإبهام والسبابة. وفكر للأمام وللخلف. دَوِّن الخوي التي يؤثر بها كل من الإبهام والسبابة. تحدث هذه الخوي عزمًا تغير السرعة الزاوية للظلم وقطعتي النغد.

قَرِّب الآن قطعتي النغد من بعضهما بحيث لا تزيد المسافة بينهما عن 1 cm أو 2 cm. ثم هُزَّ الظلم كما فعلت سابقاً. هل لاحظت أن دوران الظلم أصبح أسهل من ذي قبل؟ فالعزم المطلوب كان أقل هذه المرة. إن كتلة الجسم ليست العامل الوحيد الذي يحدد مقدار العزم المطلوب لتغيير السرعة الزاوية لهذا الجسم؛ فلتوزيع الكتلة أو موقعها أهمية أيضاً.

تُسمى مقاومة الدوران **عزم القصور الذاتي (moment of inertia)**، ويُعبر عنه بالرمز I ويساوي الكتلة مضروبة في مربع المسافة. عندما يبعد الجسم النقطة مسافة (r) عن محور الدوران. يتم إيجاد عزم القصور الذاتي باستخدام المعادلة التالية.

عزم القصور الذاتي لكتلة نقطية

عزم القصور الذاتي لكتلة نقطية يساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع المسافة التي يبعد عنها الجسم عن محور الدوران.

$$I = mr^2$$

تجربة مصفرة

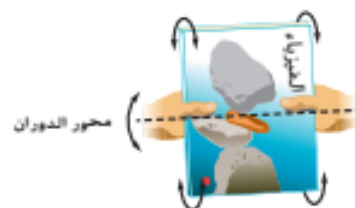
اتزان العزم

هل يمكنك تحديد نقطة الاتزان على حامل؟

الجدول 2 عزم القصور الذاتي لأجسام متعددة			
الجسم	موقع المحور	الرسم	عزم القصور الذاتي
حلقة غير عريضة نصف قطرها r	منتصف القطر		mr^2
قرص صلب منتظم الشكل نصف قطره r	في المنتصف		$mr^2\left(\frac{1}{2}\right)$
جسم كروي منتظم الشكل نصف قطره r	في المنتصف		$mr^2\left(\frac{2}{5}\right)$
ساق طويلة منتظمة الشكل طولها l	في المنتصف		$ml^2\left(\frac{1}{12}\right)$
ساق طويلة منتظمة الشكل طولها l	عند نهايتها		$ml^2\left(\frac{1}{3}\right)$
صفحة رقيقة مستطيلة الشكل طولها l وعرضها w	في المنتصف		$\left(\frac{1}{12}\right)m(l^2 + w^2)$

الشكل 12 يعتمد عزم القصور الذاتي للكتاب على محور الدوران. مقدار عزم القصور الذاتي للكتاب العلوي أكبر من مقدار العزم للكتاب السفلي لأن متوسط بُعد كتلة الكتاب عن محور الدوران أكبر في الحالة الأولى.

حدد أي كتاب يتطلب عزمًا أكبر لتدويره، مع ذكر السبب.



عزم القصور الذاتي والكتلة

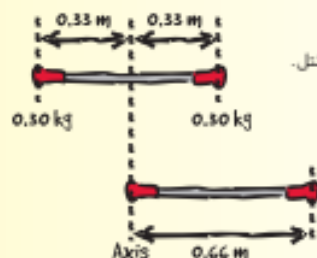
كما علمت سابقًا، تعتمد عزوم القصور الذاتي للأجسام غير النقطية، مثل العظام الرصاص وقطع النخود المعدنية، على بُعد الكتلة عن محور الدوران. على سبيل المثال، تتركز معظم كتلة إطار الدراجة الهوائية في حافة الإطار. حيث إن عزم القصور الذاتي لها حول محورها يساوي حوالي mr^2 ، حيث r نصف قطر الإطار. لكن بالنسبة إلى معظم الأجسام، تكون الكتلة موزعة بالتساوي من المحور. لذا فإن عزم القصور الذاتي يكون أقل من mr^2 . على سبيل المثال، كما هو موضح في الجدول 2، بالنسبة إلى القرص الصلب الذي نصف قطره r ، $I = \left(\frac{1}{2}\right)mr^2$. بينما بالنسبة إلى الجسم الكروي الصلب، $I = \left(\frac{2}{5}\right)mr^2$.

✓ **التأكد من فهم النص** اكتب معادلة عزم القصور الذاتي للحلقة.

عزم القصور الذاتي ومحور الدوران

موقع محور الدوران واتجاهه، كما هو موضح في الشكل 12، لتلاحظ ذلك بشكل مباشر، أحمل كتابًا على يديك بحيث يكون في وضع قائم وتكون يداك أسفل الكتاب. هذا لتشعر بالعزم المطلوب لإمالة الكتاب نحوك ثم بعيدًا عنك. ضع يدك الآن عند منتصف الكتاب لتشعر بالعزم المطلوب لإمالة الكتاب نحوك ثم بعيدًا عنك. لاحظ أن العزم المطلوب أصبح أقل بكثير بعدما وضعت يدك عند منتصف الكتاب ويرجع السبب في ذلك إلى أن متوسط بُعد كتلة الكتاب عن محور الدوران أقل بكثير في هذه الحالة.

عزم القصور الذاتي هذا نموذج مبسط لعصا رفيعة تدور وعلى كل طرف لها جسم دائري. فإذا كان طول العصا 0.66 m ، وكتلة كل جسم 0.30 kg ، فأوجد عزم القصور الذاتي للعصا عند دورانها حول محور في منتصف المسافة بين الجسمين وعمودي على العصا. وما عزم القصور الذاتي للعصا إذا حركنا المحور إلى أحد طرفيها؟ أي العزمين أكبر في المقدار؟ علماً بأن كتلة العصا مهملة مقارنة بكتلتي الجسمين على طرفيها.



ارسم الحالة. وضح العصا على محوري الدوران المختلفين والمسافات من محوري الدوران إلى الكتل.

1 تحليل المسألة

المجهول	المعلوم
$l = ?$	$m = 0.30 \text{ kg}$
	$l = 0.66 \text{ m}$

2 إيجاد المجهول

احسب عزم القصور الذاتي لكل كتلة على حدة.

الدوران حول منتصف العصا،

$$r = \left(\frac{1}{2}\right)l$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(0.66 \text{ m})$$

$$= 0.33 \text{ m}$$

$$I_{\text{كتلة واحدة}} = mr^2$$

$$= (0.30 \text{ kg})(0.33 \text{ m})^2$$

$$= 0.033 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

أوجد عزم القصور الذاتي للعصا.

$$I_{\text{كتلة واحدة}} = 2I$$

$$= 2(0.033 \text{ kg}\cdot\text{m}^2)$$

$$= 0.066 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

الدوران حول المحور عند طرف العصا،

$$I_{\text{كتلة واحدة}} = mr^2$$

$$= (0.30 \text{ kg})(0.66 \text{ m})^2$$

$$= 0.13 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$\text{The } I_{\text{كتلة واحدة}} = mr^2$$

$$= (0.30 \text{ kg})(0.0 \text{ m})^2$$

$$= 0 \text{ للكتل الأخرى.}$$

أوجد عزم القصور الذاتي للعصا.

$$I_{\text{كتلة واحدة}} = 0 + I$$

$$= 0.13 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

يكون عزم القصور الذاتي أكبر عند دوران العصا حول المحور عند أحد طرفي العصا.

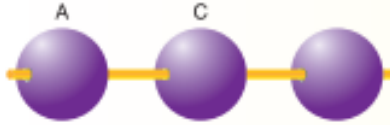
3 تقييم الإجابة

• هل الوحدات صحيحة؟ وحدة قياس عزم القصور الذاتي هي $\text{kg}\cdot\text{m}^2$.

• هل المقدار واقعي؟ قيم الكتل والمسافات صغيرة. وكذلك عزوم القصور الذاتي. تؤدي مضاعفة المسافة إلى زيادة مقدار عزم القصور الذاتي بمعدل 4. ومن ثم تؤدي مضاعفة المسافة إلى زيادة عزم القصور الذاتي بمعدل يزيد عن ثقله كتلة واحدة فقط من مقدار هذا العزم.

24. التحدي يوضح الشكل 13 ثلاثة أجسام كروية متساوية الكتلة على عصا صغيرة الكتلة. تأمل في عزوم القصور الذاتي للنظام. عندما يدور حول الجسم الكروي A أولاً وعندما يدور حول الجسم الكروي C.

- هل عزوم القصور الذاتي متباعدة أم مختلفة؟ اشرح. إذا كانت عزوم القصور الذاتي مختلفة، ففي أي حالة يكون هذا العزم أكبر؟
- إذا كانت كتلة كل جسم كروي 0.10 kg وكانت المسافة بين الجسمين الكرويين A و C تساوي 0.20 m، فأوجد عزم القصور الذاتي في الحالتين التاليتين، الدوران حول الجسم الكروي A والدوران حول الجسم الكروي C.



الشكل 13

21. يجلس طفلان متباعدان في الكتلة على أرجوحة ويبعد كل منهما 0.3 m من مركز الأرجوحة. إذا افترضنا أن كتلتهما أكبر بكثير من كتلة الأرجوحة، فما معدل الزيادة في مقدار عزم القصور الذاتي عندما يجلسان على بُعد 0.6 m من مركز الأرجوحة؟ أهمل عزم القصور الذاتي للأرجوحة.

- افترض أن لديك كرتين متباعدتين في القطر والكتلة. لكن إحداهما مصبغة والأخرى مجوفة. وكتلتها كلها موزعة على سطحها. فهل عزمها القصور الذاتي للكرتين متساويان؟ إذا أجبت بلا، فأأي العزمتين أكبر؟
- احسب عزم القصور الذاتي لكل الأجسام الموضحة أدناه مستخدماً صيغ المعادلات الموجودة في الجدول 2. علماً بأن كل جسم نصف قطره 2.0 m وكتلته 1.0 kg.

- حلقة غير عريضة
- قرص صلب منتظم الشكل
- كرة صلبة منتظمة الشكل

قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية

يُعبّر عن قانون نيوتن الثاني للحركة الخطية بالمعادلة $F = ma$. إذا أعدت صياغة هذه المعادلة للتعبير عن الحركة الدورانية، فسيستبدل التسارع بالتسارع الزاوي (α) وستستبدل القوة بمحصلة العزم (τ) وستستبدل الكتلة بعزم القصور الذاتي (I). يتناسب التسارع الزاوي طردياً مع محصلة العزم وعكسياً مع عزم القصور الذاتي كما هو موضح في **قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية**. يُعبّر عن هذا القانون بالمعادلة التالية.

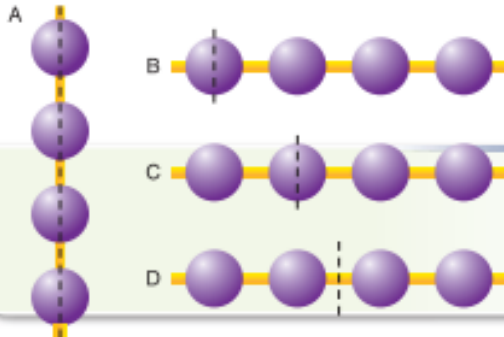
قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية التسارع الزاوي لجسم يدور حول محور معين يساوي محصلة العزم المؤثرة في هذا الجسم مقسومة على عزم القصور الذاتي.

$$\alpha = \frac{\tau_{\text{محصلة}}}{I}$$

تزداد السرعة الزاوية للجسم إذا كان كل من العزم المؤثر في الجسم والسرعة الزاوية لهذا الجسم في الاتجاه نفسه. تقل هذه السرعة إذا كان العزم والسرعة الزاوية في اتجاهين مختلفين.

تحدي الفيزياء

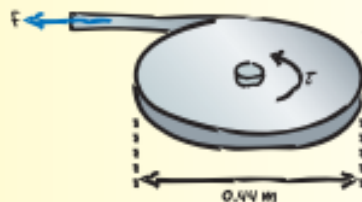
عزم القصور الذاتي (Moments of Inertia) رتب الأجسام الموضحة في الرسم من الأصغر إلى الأكبر من حيث عزم القصور الذاتي حول المحاور الموضحة. علماً بأن كل الأجسام الكروية متساوية في الكتلة وكل الفواصل بينها متساوية. افترض أن كتلة العصا مهملة.



العزم إطار دراجة صلب حر الدوران حول محور مركزي ساكن. بدأ الإطار في الدوران من حالة السكون. علماً بأن كتلة الإطار 15 kg وقطره 0.44 m. فارتدت زيادة سرعة دوران هذا الإطار حول محوره المركزي إلى 8.0 rev/s في مدة قدرها 15 s.

- a. ما مقدار العزم الذي يجب التأثير به في الإطار؟
b. إذا أثرت بالعزم عن طريق لف حزام حول الإطار الخارجي. فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر بها في الحزام؟

1 تحليل المسألة



ارسم الحالة. يجب أن يكون تأثير العزم في اتجاه حركة عقارب الساعة، ويكون تأثير القوة كما هو موضح.

المجهول	المعلوم
$\alpha = ?$	$m = 15 \text{ kg}$
$I = ?$	$r = \left(\frac{1}{2}\right)(0.44 \text{ m}) = 0.22 \text{ m}$
$\tau = ?$	$\omega_i = 0.0 \text{ rad/s}$
$F = ?$	$\omega_f = 2\pi(8.0 \text{ rev/s})$
	$t = 15 \text{ s}$

2 إيجاد المجهول

a. حل لإيجاد مقدار التسارع الزاوي.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$\frac{(16\pi \text{ rad/s} - 0.0 \text{ rad/s})}{15 \text{ s}} = 3.4 \text{ rad/s}^2$$

▶ بالتعويض عن $\omega_i = 0.0 \text{ rad/s}$ و $\omega_f = 16\pi \text{ rad/s}$ في المعادلة.

حل لإيجاد مقدار عزم الخصور الذاتي.

$$I = \left(\frac{1}{2}\right)mr^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(15 \text{ kg})(0.22 \text{ m})^2 = 0.36 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

▶ بالتعويض عن $m = 15 \text{ kg}$ و $r = 0.22 \text{ m}$ في المعادلة.

حل لإيجاد مقدار العزم.

$$\tau = I\alpha$$

$$= (0.36 \text{ kg}\cdot\text{m}^2)(3.4 \text{ rad/s}^2) = 1.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2 = 1.2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

▶ بالتعويض عن $\alpha = 3.4 \text{ rad/s}^2$ و $I = 0.36 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ في المعادلة.

b. حل لإيجاد مقدار القوة.

$$\tau = Fr$$

$$F = \frac{\tau}{r}$$

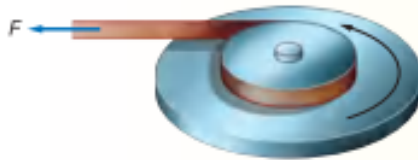
$$= \frac{(1.2 \text{ N}\cdot\text{m})}{(0.22 \text{ m})} = 5.5 \text{ N}$$

▶ بالتعويض عن $\tau = 1.2 \text{ N}\cdot\text{m}$ و $r = 0.22 \text{ m}$ في المعادلة.

3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ وحدة قياس العزم هي $\text{N}\cdot\text{m}$ ووحدة قياس القوة هي N .
- هل المقدار واقعي؟ رغم أن كتلة الإطار كبيرة، إلا أن حجمه الصغير يُسهّل من دورانه إلى حد ما.

29. نُكَّتْ سلسلة حول بكرة ثم سُحِبَتْ بقوة 16.0 N . فإذا كان نصف قطر البكرة 0.20 m وكان مقدار السرعة الدورانية للبكرة يزيد من 0.0 rev/min إلى 17.0 rev/min في مدة قدرها 5.00 s . فما مقدار عزم القصور الذاتي للبكرة؟
30. التحدي: قرص عزم القصور الذاتي له $0.26 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ مثبت بقرص آخر أصغر منه ومركّبين على محور واحد. قطر القرص الأصغر 0.180 m وكتلته 2.5 kg . فُلِّتْ حزام حول القرص الأصغر. كما في الشكل 14. أوجد مقدار القوة اللازمة ليكون التسارع الزاوي لهذا النظام 2.57 rad/s^2 .

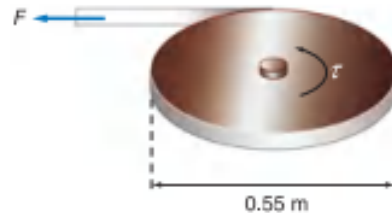


الشكل 14

25. بالرجوع إلى إطار الدارجة في مثال المسألة 4. إذا زادت القوة المؤثرة في الحزام بمعدل الضعف، فما مقدار التردد الزاوي للإطار بعد مرور 5 s ؟
26. يتسارع إطار صلب بسرعة 3.25 rad/s^2 عندما تؤثر قوة قدرها 4.5 N فيه بعزم ما. إذا استُبدِلَ هذا الإطار بإطار تركّز كتلته كلها في حافته، فمُستحسَب عزم القصور الذاتي له بالمعادلة $I = mr^2$. إذا كانت السرعة الزاوية واحدة في كلتا الحالتين، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في الحزام؟
27. يمكن أن يتسارع إطار دراجة على منصة تصليح إما بسحب السلسلة المتصلة بالترس أو بسحب حبل ملفوف حول الإطار الخارجي. إذا كان نصف قطر الإطار الخارجي 0.38 m ونصف قطر الترس 0.14 m . فما مقدار القوة المطلوبة عند سحب الحبل لإحداث التسارع نفسه الذي تحصل عليه عند التأثير بقوة 15 N في السلسلة؟
28. لإطار الدارجة الموضح في السؤال السابق ترس نصف قطره 0.11 m . ويمكن أن يتسارع الإطار إما بسحب السلسلة المتصلة بالترس أو بسحب حبل ملفوف حول الإطار الخارجي. إذا حصلت على التسارع المطلوب بالتأثير بقوة مقدارها 15 N في السلسلة، فما مقدار القوة التي ستحتاج إلى أن تؤثر بها في الحبل؟

القسم 2 مراجعة

31. الفكرة الرئيسية: أراد عمر أن يدخل من باب دوّار ساكن. وضح كيف يدفع عمر الباب ليولد عزماً بأقل مقدار من القوة المؤثرة وأين يجب أن تكون نقطة تأثير تلك القوة.
32. ذراع القوة: فتحت باباً بدفعه بزاوية قائمة. ودفع صديقك الباب من المنطقة نفسها التي دفعت منها. لكن بزاوية 55° بالنسبة إلى المستوى العمودي. إذا أثرت أنت وزميلك على الباب بالعزم نفسه، فكيف تختلف قوة كل منكما عند دفع الباب؟
33. كتلة الإطار الصلب: الموضح في الشكل 15، 5.2 kg وقطره 0.55 m . افترض أن الإطار ساكن وتريد تدويره بسرعة 12 rev/s في 35 s .
- a. ما مقدار العزم الذي تحتاج إلى أن تؤثر به في الإطار؟
- b. إذا نُكَّتْ حول الإطار الخارجي له حزام من النايلون، فما مقدار القوة التي تحتاج إلى أن تؤثر بها في الحزام؟
34. محصلة العزم: يسحب شخصان حبلين ملفوفين حول حافة إطار كبير. إذا كانت كتلة الإطار 12 kg وقطره 2.4 m . ويسحب أحد الشخصين الحبل الأول في اتجاه حركة عقارب الساعة بقوة 43 N . ويسحب الشخص الآخر الحبل الثاني في اتجاه معاكس لاتجاه حركة عقارب الساعة بقوة 67 N . فما محصلة العزم على الإطار؟
35. عزم القصور الذاتي: ارجع إلى الجدول 2، ورتّب عزم القصور الذاتي من الأقل إلى الأكبر للأجسام التالية، جسم كروي وإطار تركّز معظم كتلته تقريباً في حافته وقرص صلب. مع العلم بأن كل الأجسام متساوية في الكتلة والقطر. ثم وضح فائدة استخدام الجسم الأقل مقداراً في عزم القصور الذاتي.
36. قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية: نُكَّتْ حبل حول بكرة ثم سُحِبَتْ بقوة 13.0 N . إذا كان نصف قطر البكرة 0.150 m وكان مقدار السرعة الدورانية للبكرة يزيد من 0.0 rev/min إلى 14.0 rev/min في مدة قدرها 4.50 s . فما مقدار عزم القصور الذاتي للبكرة؟
37. التفكير الناقد: إذا وُضعت كرة عند أعلى سطح مائل مهمل الاحتكاك تقريباً، فستزلق إلى أسفل السطح من دون دوران. لكن إذا كان السطح خشبياً، فستندرج الكرة أثناء انزلاقها. اشرح سبب ذلك، مستخدماً مخطط الجسم الحر.



الشكل 15

يحرك لاعب الجيمباز هذا جسمه ويغير حركته أثناء تربيته للتحكم في حركاته. يزود هنا عزم قصوره الذاتي للحفاظ على توازنه. في أوقات أخرى، يقلل عزم قصوره الذاتي لتسهيل التغيرات السريعة في الوضع.

الفيزياء
في
حياتك

مركز الكتلة

لماذا تُعد بعض المركبات أكثر عرضة للانقلاب من غيرها عند وقوع حادث؟ ما الذي يجعل المركبة تلتفت؟ الإجابة مهمة للمهندسين الذين يصممون المركبات الآمنة. في هذا القسم، سنتعرف على بعض العوامل التي تجعل الجسم يمتد. كيف يدور جسم يتحرك بحرية حول مركز كتلته؟ قد يلف مفتاح الربط حول مفبضه أو بزاوية 360 درجة. هل تتبع أي نقطة مفردة على المفتاح مسارًا مستقيماً؟ يوضح الشكل 16 مسار المفتاح. يمكنك ملاحظة وجود نقطة واحدة تتبع مسارها خطًا مستقيماً. كما لو كان يمكن استبدال جسم نقطي بالمفتاح عند هذا الموقع. تمثل علامة X السوداء في الشكل هذه النقطة. النقطة الموجودة على الجسم التي تتحرك في الاتجاه نفسه الذي سيتحرك فيه الجسم النقطي هي **مركز كتلة** الجسم.

تحديد موقع مركز الكتلة كيف يمكنك تحديد موقع مركز كتلة جسم؟ أولاً، علّق الجسم من أي نقطة. عندما يتوقف الجسم عن التأرجح، يوجد مركز الكتلة في مكان ما على طول الخط العمودي المرسوم من نقطة التعليق. ارسم الخط. ثم علّق الجسم من نقطة أخرى. مرة أخرى، يجب أن يكون مركز الكتلة أسفل هذه النقطة مباشرة. ارسم خطًا عموديًا ثانيًا. يوجد مركز الكتلة في نقطة تقاطع الخطين. يدور المفتاح وجميع الأجسام الأخرى التي تتحرك بحرية في الفضاء حول محور يمر بمركز كتلتها. برأيك، أين سيكون مركز كتلة الشخص؟

✓ **التأكد من فهم النص** أعد صياغة تعريف مركز الكتلة.

الشكل 16 مسار مركز كتلة المفتاح هو خط مستقيم.



©AllanBartlett/Erk is a Getty Images Contributor/Albert Science Source

الفكرة الرئيسية

يكون الجسم في حالة اتزان سكوتي عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفراً. وكذلك عندما تكون محصلة العزم المؤثرة فيه صفراً.

الأسئلة الرئيسية

- ما مركز الكتلة؟
- كيف يؤثر موقع مركز الكتلة في استقرار الجسم؟
- ما شروط الاتزان؟
- كيف تتسبب مناطق الإسناد الدوّارة في حدوث القوى الظاهرية؟

مراجعة المفردات

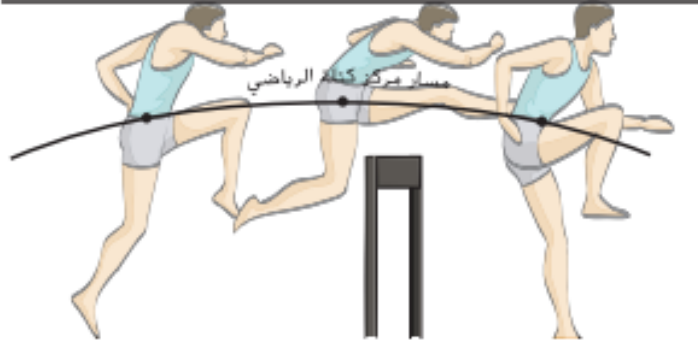
العزم (torque) قياس مدى فعالية قوة في إحداث دوران، يساوي المقدار أضعاف قوة ذراع الرافعة

مفردات جديدة

- مركز الكتلة center of mass
- قوة الطرد المركزي centrifugal force
- قوة كوريوليس Coriolis force



McGraw-Hill Education | مجموعة لمساعدات مؤسسة



الشكل 17 الحركة التصاعدية لرأس الرياضي
أقل من الحركة التصاعدية لمركز الكتلة. لذا
يتحرك الرأس والجذع في مسار أفقي تقريباً.
وهذا ما يؤدي إلى وهم اللفظ.

مركز كتلة جسم الإنسان عندما يقف الشخص ثاركاً ذراعيه لأسفل، يوجد مركز كتلته تحت السرة بوضعة ستيترات بين الجزء الأمامي والجزء الخلفي من جسم الإنسان. يوجد مركز الكتلة عند النساء تحت السرة بمسافة أبعد مقارنة بالرجال، وهذا ما يجعل توازن النساء غالباً أفضل من الرجال. رغم أن جسم الإنسان مرناً، فمركز كتلته ليس ثابتاً. إذا رفعت يدك فوق رأسك، فإن مركز كتلتك سيرتفع من 6 إلى 10 cm. يمكن أن يبدو رياضي، على سبيل المثال، كأنه يطير في الهواء عندما يغير مركز كتلته في قفزة. عندما يرفع الرياضي ذراعيه وقدميه عندما يكون في الهواء كما هو موضح في الشكل 17، يحرك مركز كتلته لأعلى. مسار مركز الكتلة عبارة عن قطع مكافئ، ولكن نظل رأس الرياضي على الارتفاع نفسه تقريباً لفترة طويلة بشكل مدهش.

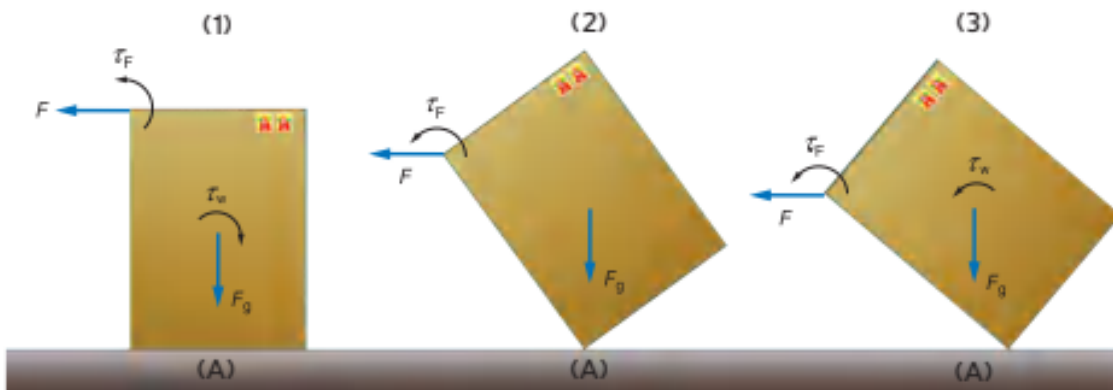
مركز الكتلة والثبات

ما العوامل التي تحدد إذا كانت المركبة مستقرة أم عرضة للانقلاب في حادث؟ لفهم المسألة، ففكر في انقلاب صندوق. ينقلب الصندوق الطويل الضيق الذي يقف على أحد أضلاعه بسهولة أكثر من الصندوق المنخفض العريض. لماذا؟ لكي ينقلب الصندوق، كما هو موضح في الشكل 18، يجب تدويره حول نقطة A. تقع أسفل يسار الصندوق تسحب من أعلى بالقوة (F) وتؤثر بالعزم (τ_F). يولد وزن الصندوق الذي يؤثر في مركز الكتلة (F_g) عزمًا مضادًا (τ_w). عندما يكون مركز الكتلة فوق نقطة الدوران مباشرة، يساوي τ_w صفرًا. لا يوجد عزم إلا العزم الذي يؤثر به. عندما يدور الصندوق أكثر، لم يعد مركز كتلته فوق نقطة الدوران ويؤثر كلا العزمين في الاتجاه نفسه. عند هذه النقطة، ينقلب الصندوق بسرعة.

الفيزياء في حياتك

قفزة قسبوري في القفز العالي، يجعل أسلوب يسمى "قفزة قسبوري" اللاعب يجتاز العارضة عندما يكون في أعلى موضع. يمكن تحقيق ذلك لأن مركز كتلة الرياضي يمر من أسفل العارضة عند قلبه أعلى العارضة ويكون ظهره باتجاهها.

الشكل 18 توضح الأسهم المنحنية اتجاه العزم الناتج عن القوة المؤثرة التي تجعل الصندوق ينقلب.



تجربة مصفرة

الدوامية

أين مركز كتلة الجسم الدوار؟

مختبر الفيزياء

الاتزان

هل يمكنك أن تجعل محصلة العزم على سفالة شاي صفرا بحيث لا تدور؟

الاستقرار يُطلق على الجسم مستقرًا إذا كان يلزم وجود قوة خارجية كبيرة له لكي ينقلب. يصبح الصندوق الموضح في الشكل 18 مستقرًا طالما كان العزم الناتج عن دورانه (τ_w) يجعله مستقرًا. يحدث هذا طالما كان مركز كتلة الصندوق يقع فوق قاعدته. لطلب الصندوق، يجب تدوير مركز كتلته حول محور الدوران بحيث لم يعد فوق قاعدة الصندوق. لتدوير الصندوق، يجب رفع مركز كتلته. كلما كانت قاعدة الجسم عريضة، أصبح أكثر استقرارًا. يقف ركاب حافلة المدينة، على سبيل المثال، وأقدامهم بعيدة عن بعضها لتجنب الانقلاب عند إقلاع الأتوبيس وتوقفه ونهايله أثناء سيره. لماذا نطلب المركبات؟ يوضح الشكل 19 مركبتين على وشك الانقلاب. لاحظ أن المركبة التي لها مركز كتلة أعلى ليس من الضروري أن تميل بعيدًا جدًا عن مركز كتلتها حتى تكون خارج قاعدتها، ليس من الضروري أن يميل مركز كتلتها كثيرًا مثل مركز كتلة المركبة الأخرى. كما يتضح من المركبتين، كلما كان موقع مركز كتلة الجسم منخفضًا، زاد مقدار استقراره.

تصبح مستقرًا عندما تقف مستقرًا على قدميك. عندما تقف على أطراف أصابعك، يتحرك مركز كتلتك للأمام مباشرة فوق الجزء المستدير عند قاعدة إبهام قدميك. ويصبح استقرارك ضئيلاً جدًا. في الجودو والأيكيدو وغيرهما من فنون الدفاع عن النفس، يستخدم المقاتل العزم لتدوير الخصم إلى وضع غير مستقر. عندما لا يكون مركز كتلة الخصم فوق قدميه، يمكن أن يستخدم شخص صغير العزم، بدلاً من القوة، ليدفع عن نفسه من شخص أقوى.

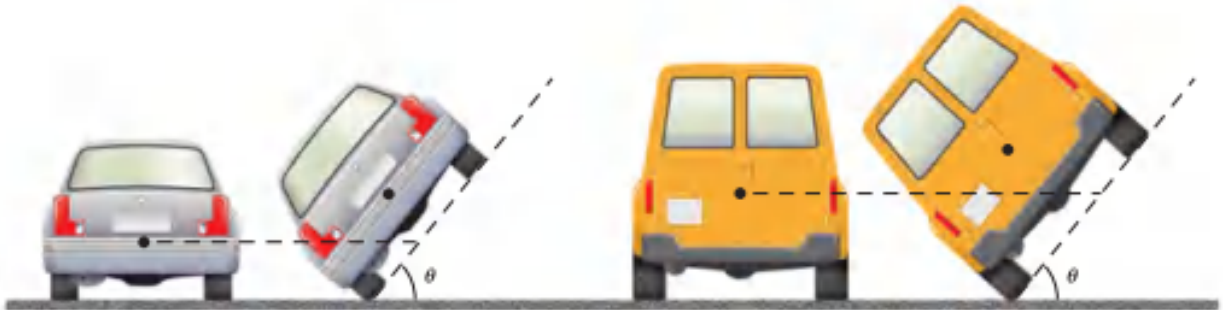
باختصار، إذا لم يكن مركز الكتلة فوق قاعدة الجسم، فإنه يصبح غير مستقر وينقلب بدون عزم إضافي. إذا كان مركز الكتلة فوق قاعدة الجسم، فإنه يصبح مستقرًا. إذا كانت قاعدة الجسم ضيقة جدًا ومركز الكتلة مرتفعًا، فإن الجسم قد يصبح مستقرًا. ولكن القوة المطبقة ستجعله ينقلب.

✓ **التأكد من فهم النص** وضع متى يصبح الجسم أكثر استقرارًا.

شروط الاتزان

إذا كنت تمسك قلبك في وضع مريح، فماذا يلزم حتى تجعله بهذا الوضع المريح؟ يمكنك أن تجعله لأعلى أو تضعه على المكتب أو بعض الأسطح الأخرى. يجب أن تؤثر قوة صاعدة في الظم حتى توازن قوة الجاذبية الهابطة. يجب أيضًا أن تمسك القلم لكي لا يدور. يُطلق على الجسم ثابت الاتزان إذا كانت سرعته المتجهة وسرعته الزاوية تساوي صفراً أو ثابتة. لذا لكي يكون الجسم ثابت الاتزان، يجب أن يتحقق فيه شرطان. أولاً، يجب أن يكون في اتزان انتقالي؛ أي أن القوة المحصلة التي تؤثر في الجسم يجب أن تساوي صفراً. ثانياً، يجب أن يكون في اتزان دوراني؛ أي أن محصلة العزم التي تؤثر في الجسم يجب أن تساوي صفراً.

الشكل 19 المركبات الكبيرة لها مركز كتلة أعلى من المركبات الصغيرة. كلما كان مركز الكتلة أعلى، أصبح البيل اللازم لتحريك مركز كتلة المركبة خارج قاعدته أصغر ويجعل المركبة تنقلب.

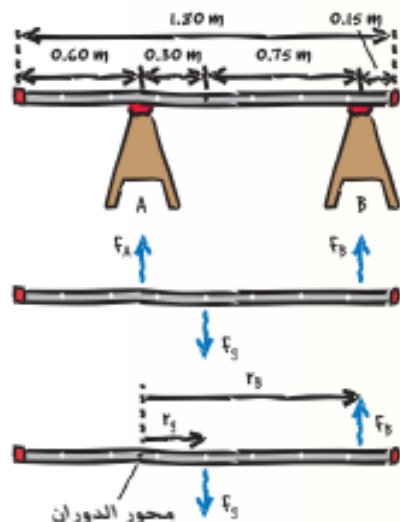


الاتزان الثابت يستند سلم كتلته 5.8 kg وطوله 1.80 m إلى مسندين خشبيين. يبعد المسند الخشبي A عن إحدى نهايتي السلم بمقدار 0.60 m. ويبعد المسند الخشبي B عن النهاية الأخرى بمقدار 0.15 m. ما القوة التي يؤثر بها كل مسند خشبي في السلم؟

1 تحليل المسألة

• ارسم الحالة.

• ضع محور الدوران عند النقطة التي تؤثر بها F_A في السلم. ومن ثم، يساوي العزم الناتج عن F_A صفراً.



المجهول	المعلوم
$F_A = ?$	$m = 5.8 \text{ kg}$
$F_B = ?$	$l = 1.80 \text{ m}$
	$l_A = 0.60 \text{ m}$
	$l_B = 0.15 \text{ m}$

2 إيجاد المجهول

بالنسبة إلى سلم ثابت الكثافة، يوجد مركز الكتلة في الحلقة المركزية.

محصلة القوة هي مجموع كل القوى المؤثرة في السلم.

السلم في حالة اتزان انتقالي، لذا تساوي محصلة القوة المؤثرة فيه صفراً.

$$F_{\text{net}} = F_A + F_B + (-F_g)$$

$$0.0 \text{ N} = F_A + F_B + (-F_g)$$

أوجد الحل لمعرفة F_A .

$$F_A = F_g - F_B$$

أوجد العزم الناتج عن F_g و F_B .

$$\tau_g = -F_g r_g$$

$$\tau_B = +F_B r_B$$

▶ τ_g في اتجاه عقارب الساعة.

▶ τ_B في عكس اتجاه عقارب الساعة.

محصلة العزم هي مجموع كل عزم يؤثر في الجسم.

$$\tau_{\text{net}} = \tau_B + \tau_g$$

$$0.0 \text{ N}\cdot\text{m} = \tau_B + \tau_g$$

$$\tau_B = -\tau_g$$

$$F_B r_B = F_g r_g$$

أوجد الحل لمعرفة F_B .

$$F_B = \frac{F_g r_g}{r_B} = \frac{r_g mg}{r_B}$$

▶ عوّض عن $F_g = mg$

باستخدام التعبير $F_A = F_g - F_B$. عوّض في التعبيرات عن F_g و F_B .

$$F_A = F_g - F_B$$

$$= F_g - \frac{r_g mg}{r_B}$$

$$= mg - \frac{r_g mg}{r_B}$$

$$= mg \left(1 - \frac{r_g}{r_B} \right)$$

▶ عوّض عن $F_B = \frac{r_g mg}{r_B}$ في المعادلة.

▶ عوّض عن $F_g = mg$ في المعادلة.

أوجد الحل لمعرفة r_g .

$$r_g = \left(\frac{1}{2}\right)l - l_A$$

$$= 0.90 \text{ m} - 0.60 \text{ m}$$

$$= 0.30 \text{ m}$$

أوجد الحل لمعرفة r_B .

$$(r_B = (0.90 \text{ m} - l_B) + (0.90 \text{ m} - l_A)$$

$$(0.90 \text{ m} - 0.15 \text{ m}) + (0.90 \text{ m} - 0.60 \text{ m}) =$$

$$0.75 \text{ m} + 0.30 \text{ m} =$$

$$1.05 \text{ m}$$

احسب F_B .

$$F_B = \frac{r_g mg}{r_B}$$

$$= \frac{(m)(5.8 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg } 0.30)}{(1.05 \text{ m})}$$

$$= 16 \text{ N}$$

احسب F_A .

$$F_A = mg \left(1 - \frac{r_g}{r_B}\right)$$

$$= (5.8 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg}) \left(1 - \frac{(0.30 \text{ m})}{(1.05 \text{ m})}\right)$$

$$= 41 \text{ N}$$

▶ بالنسبة إلى سلم ثابت الكثافة، يوجد مركز الكتلة في الحلقة المركزية.

▶ عوّض عن $\frac{l}{2} = 09.0 \text{ m}$ و $l_A = 0.60 \text{ m}$ في المعادلة.

▶ عوّض عن $l_B = 0.15 \text{ m}$ و $l_A = 0.60 \text{ m}$ في المعادلة.

▶ عوّض عن $r_g = 0.30 \text{ m}$ و $m = 5.8 \text{ kg}$ و $g = 9.8 \text{ N/kg}$ و $r_B = 1.05 \text{ m}$ في المعادلة.

▶ عوّض عن $r_g = 0.30 \text{ m}$ و $m = 5.8 \text{ kg}$ و $g = 9.8 \text{ N/kg}$ و $r_B = 1.05 \text{ m}$ في المعادلة.

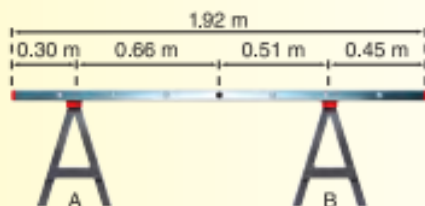
3 تقييم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ القوى تُقاس بالنيوتن.
- هل للإشارات معنى؟ التوتان صاعدتان.
- هل المقدار واقعي؟ تُضاف القوى إلى وزن السلم. والقوة التي تؤثر في الممسد الخشبي بالغرب من مركز الكتلة كبيرة. وهذا أمر منطقي.

تطبيقات

38. ما القوى التي يؤثر بها الممسدان الخشبيان إذا كانت كتلة السلم الموضح في مثال 5 تساوي 11.4 kg ؟

39. يستند سلم وزنه 7.3 kg وطوله 1.92 m إلى مسندين خشبيين. كما هو موضح في الشكل 20. يبعد الممسد الخشبي A الموجود على اليسار عن إحدى نهايتي السلم بمقدار 0.30 m ويبعد الممسد الخشبي B عن النهاية الأخرى بمقدار 0.45 m . ضع محور الدوران بحيث يكون مركز كتلة السلم.



الشكل 20

a. ما العزم الذي يؤثر في السلم؟

b. اكتب معادلة لالتزان الدوراني.

c. أوجد حل المعادلة لمعرفة F_A بعلومية F_g .

d. كيف ستتغير القوى التي يؤثر بها الممسدان في الممسدين الخشبيين إذا نُقل الممسد الخشبي A بحيث يكون قريباً جداً من مركز الكتلة ولكن ليس أسفل مباشرة؟

40. يُسند لوح خشبي طوله 4.5 m وكتلته 24 kg في مكانين. يوجد أحد المكانين أسفل مركز اللوح مباشرة والآخر في إحدى نهايتيه. ما القوى التي يؤثر بها هذان المكانان؟

41. التحدي يبشي غواص كتلته 85 kg إلى نهاية خشبة الغفر. تُسند الخشبة التي يبلغ طولها 3.5 m وكتلتها 14 kg من مركز كتلة الخشبة وإحدى نهايتيها. ما القوى التي تؤثر في هذين المكانين؟

مناطق الإسناد الدوّارة

عندما تجلس في لعبة من ألعاب الملاهي الدوّارة، تشعر كأن قوة قوية تدفعك إلى الخارج. ستتسارع أي حصاة موجودة في أرضية اللعبة للخارج بدون أن تؤثر فيها قوة أفقية في الاتجاه نفسه. لن تتحرك الحصاة في خط مستقيم بالنسبة إلى أرضية اللعبة. بمعنى آخر، لا يبدو أن قوانين نيوتن ستطبق. يرجع ذلك إلى دوران مرجع الرؤية في اللعبة، الذي يُسمى مناطق الإسناد. لا تُطبق قوانين نيوتن إلا على مناطق الإسناد غير الدوّارة أو غير المتسارعة.

الحركة في مناطق إسناد دوّار مهمة لنا لأن الأرض تدور. الآثار المترتبة على دوران الأرض طعيفة جدًا بحيث لا يمكن ملاحظتها في غرفة الفصل أو المختبر، ولكنها تؤثر كثيرًا في حركة الغلاف الجوي ومن ثمّ في المناخ والطقس.

"قوة" الطرد المركزي

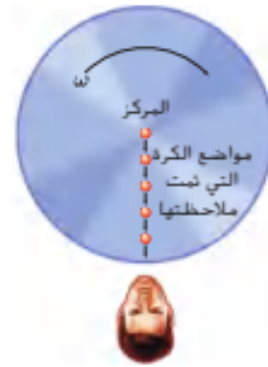
لنفترض أنك ربطت نهاية زنبرك بمركز منصة دوّارة. يوجد جسم على المنصة مربوط بالنهاية الأخرى من الزنبرك. أثناء دوران المنصة، يرى مراقب على المنصة أن الجسم يجعل الزنبرك يمتد. قد يعتقد المراقب أن ثمة قوًى خارج المنصة تسحب الجسم. يبدو أن هذه القوة الظاهرية تسحب جسمًا متحركًا ولكن لا تؤثر فيه بقوة دفع خارجية مادية. لا تلاحظ هذه القوة الظاهرية التي تبدو أنها تدفع جسمًا متحركًا إلا في مناطق الإسناد الدوّارة وتُسمى **"قوة" الطرد المركزي** ولا تعد هذه القوة قوة حقيقية. أثناء دوران المنصة، سيرى المراقب الذي يقف على الأرض الأشياء بشكل مختلف. يرى هذا المراقب الجسم يتحرك في دائرة ويتسارع تجاه المركز بسبب قوة الزنبرك. كما نعرف، يُكتب التسارع المركزي كما يلي $a_c = \frac{v^2}{r}$. يمكن أيضًا أن يُكتب بمعلمية السرعة الزاوية كما يلي $a_c = \omega^2 r$. يتناسب التسارع المركزي مع المسافة من محور الدوران ويعتمد على مربع السرعة الزاوية. لذا، إذا ضاعفت التردد الدوراني، فسيزداد التسارع الزاوي بمقدار أربعة أضعاف.

✓ **التأكد من فهم النص** عرّف قوة الطرد المركزي بأسلوبك الخاص.

"قوة" كوريوليس

ثمة تأثير ثانٍ للدوران موضح في الشكل 21. لنفترض أن شخصًا يقف في مركز قرص دوّار يرمي كرة باتجاه حافة القرص. فُكر في الحركة الأفقية للكرة كما يراها المراقبان ونجاهل الحركة الرأسية للكرة لأنها ستسقط. يرى مراقب يقف خارج القرص الكرة تتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة تجاه حافة القرص. ومع ذلك، يرى المراقب الآخر الذي يتركز في القرص ويدور معه الكرة تأخذ مسارًا متحنيًا بسرعة ثابتة. تُسمى القوة الظاهرية التي يبدو أنها تجعل الجسم ينحرف عن مساره ولا تلاحظ إلا في مناطق الإسناد الدوّارة **"قوة" كوريوليس** على غرار "قوة" الطرد المركزي. لا تعد "قوة" كوريوليس قوة حقيقية. تبدو موجودة لأننا نلاحظ انحرافًا في الحركة الأفقية عندما نكون في أطر مرجعية دوّارة.

عرض من
مناطق إسناد ثابت



عرض من
مناطق إسناد دوّار



الشكل 21 لا تعد قوة كوريوليس قوة حقيقية. لا توجد إلا في مناطق الإسناد الدوّارة.

“قوة” كوريوليس بسبب دوران الأرض

لنتخيل أن مدفعًا أطلقت منه قذيفة من نقطة على خط الاستواء نحو الهدف شمالاً. إذا أطلقت القذيفة مباشرة باتجاه الشمال، فسيكون لها أيضًا عنصر سرعة باتجاه الشرق بسبب دوران الأرض. نذكر أن الأرض تدور بالفعل تحت القذيفة. السرعة باتجاه الشرق أكبر عند الخط الاستواء من أي خط عرض آخر. لذا، كلما تحركت القذيفة تجاه الشمال، تحركت أيضًا تجاه الشرق أسرع من النقاط الموجودة على الأرض تحتها. والنتيجة هي أن القذيفة تسقط شرق الهدف كما هو موضح في الشكل 22.

✓ **التأكد من فهم النص** وضح كيفية توجيه القذيفة لتعويض دوران الأرض.



الشكل 22 يرى مراقب على الأرض “قوة” كوريوليس تجعل القذيفة تُطلق شمالاً لتتحرف بين الهدف المقصود.

في الوقت الذي يري فيه مراقب في الفضاء دوران الأرض، يمكن لمراقب على الأرض أن يدعي أن القذيفة أخطأت الهدف بسبب “قوة” كوريوليس التي تؤثر في الصاروخ. لاحظ فيما يتعلق بالأجسام التي تتحرك تجاه خط الاستواء أن اتجاه القوة الظاهرية نحو الغرب. ستسقط القذيفة غرب الهدف عند إطلاقها جنوباً.

► **الربط بعلوم الأرض** ينتج اتجاه الرياح حول مناطق الضغط المرتفع والضغط المنخفض عن “قوة” كوريوليس. تهب الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض. بسبب وجود “قوة” كوريوليس في نصف الكرة الأرضية الشمالي، تهب الرياح من الجنوب إلى شرق مناطق الضغط المنخفض. تنتهي الرياح التي تهب من الشمال غرب مناطق الضغط المنخفض. ومن ثم، تدور الرياح عكس اتجاه عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض في نصف الكرة الأرضية الشمالي. في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، رغم ذلك تدور الرياح باتجاه عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض. ولهذا تدور الأعاصير الاستوائية، أو الأعاصير البحرية كما يُطلق عليها أيضًا، باتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الأرضية الجنوبي وعكس اتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

القسم 3 مراجعة

42. **الفكرة الرئيسية** اضرب مثالاً لجسم لكل حالة من الحالات التالية.
 - a. اقتران دوراني وليس اقتراناً انتقاليًا
 - b. اقتران انتقالي وليس اقتراناً دورانيًا
43. **مركز الكتلة** هل يمكن أن يوجد مركز كتلة جسم في منطقة يوجد فيها الجسم بلا كتلة؟ اشرح.
44. **استقرار جسم** لماذا تُعد السيارة البعثة المرتفع جسمها عاليًا على أداة رفع أقل استقرارًا من مركبة مشابهة جسمها على ارتفاع متوسط؟
45. **مركز الكتلة** أين يوجد مركز كتلة لغة من الشريط اللاصق؟
46. **تحديد موقع مركز الكتلة** وضح كيف ستجد مركز كتلة هذا الكتاب المدرسي.
47. **مناطات الإسناد الدوّارة** توضع قطعة نقدية صغيرة على قرص دوار فياسي ذي مركز قديم. بدأت القطعة في الانزلاق نحو الخارج بأقصى سرعة. ما القوى التي تؤثر في القطعة؟
48. **التكبير الناقد** لقد قرأت عن مدى تأثير الرياح بدوران الأرض حول محورها. توقع اتجاه تدفق تيارات المحيط السطحية في نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي.

أجهزة الطرد المركزي

تُطبَّق الفيزياء الفعالة في أجهزة تُعرف بأجهزة الطرد المركزي المختبرية.

من الاستخدامات الأساسية لأجهزة الطرد المركزي المختبرية فصل مكونات الدم عن بعضها لأغراض التحليل. تستخدم بعض المختبرات أيضاً أجهزة الطرد المركزي لفصل مكونات الخيض النووي (DNA) أو البروتينات من العينات.

يجب أن يكون هناك اتزان في أجهزة الطرد المركزي. بمعنى أن يكون لكل عينة ما يقابلها من عينة أخرى أو فراغ داخل أنبوب العينة. تماماً كالفسالة. إذا لم يتحقق فيها الاتزان، فسرعان ما تتعطل عن العمل.



تدور أجهزة الطرد المركزي المختبرية بسرعة هائلة، تصل إلى 1000 دورة كاملة في الدقيقة الواحدة (rpm). فينتج عنها تسارع يعادل مئات أو آلاف أضعاف تسارع السقوط الحر.

تستخدم أجهزة الطرد المركزي مبدأ الترسيب، حيث تتجه الجزيئات الأكثر كثافة إلى أسفل أنبوب العينة، وتبقى الجزيئات الأقل كثافة في الأعلى.

لمزيد من التعمق <<<

الأبحاث قم بإجراء مقابلة مع فني في مختبر باثولوجي أو طالب في كلية أو جامعة محلية لتعرف كيف تُستخدم أجهزة الطرد المركزي في فصل العينات لأغراض التحليل.

الفكرة الرئيسية تتغير السرعة الزاوية لجسم ما عندما يؤثر فيه عزم.

القسم 1 وصف الحركة الدورانية

المفردات

- الراديان
- الإزاحة الزاوية
- السرعة الزاوية
- التسارع الزاوي

الفكرة الرئيسية يساعد كل من الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية والتسارع الزاوي في وصف الحركة الزاوية.

- تُعرف الإزاحة الزاوية بالتغير في الزاوية (θ) أثناء دوران الجسم. وتُقاس عادة بوحدة الدرجة أو الراديان.

- متوسط السرعة الزاوية يساوي الإزاحة الزاوية للجسم مقسومة على الزمن المطلوب لحدوث الإزاحة الزاوية. ويُعبر عن متوسط الإزاحة الزاوية بالحرف اللاتيني (ω) ويُحدد بالمعادلة التالية:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

- متوسط التسارع الزاوي يساوي التغير في السرعة الزاوية مقسومًا على الزمن المطلوب لحدوث التغير.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

القسم 2 ديناميكا الحركة الدورانية

المفردات

- ذراع القوة
- العزم
- عزم القصور الذاتي
- قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية

الفكرة الرئيسية تُحدث العزوم تغيرات في السرعة الزاوية.

- يُشير العزم إلى مقدرة كل من القوة وذراع القوة على إحداث دوران الجسم. ويُرمز للعزم بالحرف اللاتيني (τ) ويُحدد بالمعادلة التالية:

$$\tau = Fr \sin \theta$$

- يُشير عزم القصور الذاتي إلى مقاومة جسم تقطي للتغيرات في السرعة الزاوية. ويُرمز إليه بالحرف I ، أما بالنسبة إلى الكتلة الخطية فيُعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$I = mr^2$$

- ينص قانون نيوتن الثاني للحركة الدورانية على أن التسارع الزاوي يتناسب طرديًا مع محصلة العزم وعكسيًا مع عزم القصور الذاتي.

$$\alpha = \frac{\tau_{\text{net}}}{I}$$

القسم 3 الاتزان

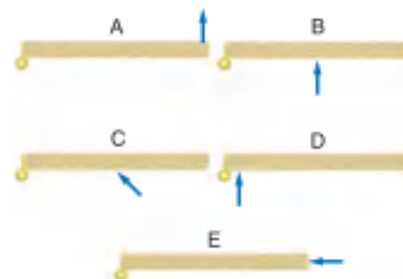
المفردات

- مركز الكتلة
- "قوة" الطرد المركزي
- "قوة" كوريوليس

الفكرة الرئيسية يكون الجسم في حالة اتزان سكوني عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا. وكذلك عندما تكون محصلة العزم المؤثرة فيه صفرًا.

- يُتخذ بمركز الكتلة نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسم الخطي.
- يكون الجسم ثابتًا ضد الانقلاب إذا كان مركز كتلته فوق قاعدته.
- يكون الجسم في حالة اتزان إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك إذا كانت محصلة العزم المؤثرة فيه صفرًا.
- إن "قوة" الطرد المركزي و"قوة" كوريوليس قوتان ظاهريتان وهميتان تظهران عند تحليل حركة جسم من خلال مناطق إسناد دوّار.

63. مهمة الترتيب رتب العزم على الأبواب الخمسة لموضحة في الشكل 26 من الأقل إلى الأكبر. لاحظ أن متادير كل القوى متساوية.

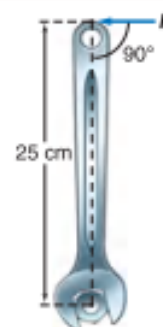


الشكل 26

إتقان حل المسائل

64. مفتاح الربط. يرغي يراد تثبيتته بعزم $8.0 \text{ N}\cdot\text{m}$. إذا كان لديك مفتاح ربط طوله 0.35 m . فما أقل مقدار للقوة يجب أن تمارسه؟

65. ما مقدار العزم الواقع على البرغي الذي تنتجه قوة قدرها 15 N تؤثر تأثيراً متعامداً في مفتاح الربط الذي يصل طوله إلى 25 cm . كما هو موضح في الشكل 27؟



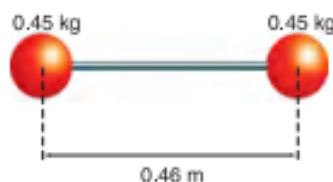
الشكل 27

66. يصل التسارع الزاوي لعجلة دراجة يبلغ نصف قطرها 38 cm إلى 2.67 rad/s^2 من خلال التأثير بقوة قدرها 0.35 N في حافة العجلة. ما عزم القصور الذاتي للعجلة؟

67. لعبة المروحة الدوارة تتكون لعبة المروحة الدوارة من ساق أسطوانية قطرها 8.0 mm وقرص كتلته 0.0125 kg وقطره 3.5 cm . يمكن تجاهل عزم القصور الذاتي للساق. تدور لعبة المروحة الدوارة عن طريق لف خيط حول الساق وسحبه بسرعة تزداد من الصفر حتى 3.0 m/s خلال 0.50 s .

- ما مقدار السرعة الزاوية الناتجة في المروحة الدوارة؟
- ما مقدار القوة المبذولة على الخيط؟

68. لعبة مكونة من كرتين. كتلة كل منهما 0.45 kg . معلقتين في طرفي ساق خفيفة الوزن وورقعة طولها 0.46 m كما في الشكل 28. أوجد عزم القصور الذاتي للعبة. يتم إيجاد عزم القصور الذاتي حول مركز الساق.



الشكل 28

القسم 3 الاتزان

إتقان المفاهيم

69. لتحقيق التوازن لعجلة سيارة، توضع على عمود رأسي وتضاف أوزان لجعل العجلة في وضع أفقي. لماذا يعادل هذا نطل مركز الكتلة حتى يصبح عند مركز العجلة؟

70. يتأور سائق شاحنة في الألعاب الهلوانية بشاحنته بحيث تسير على عجلتين فقط. أين يقع مركز كتلة الشاحنة؟

71. افترض أنك تقف على قدم مسحاء. ثم ترتفع وتتوازن على رؤوس الأصابع. إذا كنت ترتكز على أصابعك ملامشاً لحائط. فلن تتمكن من التوازن على رؤوس الأصابع. اشرح.

72. لماذا يبدو لاعب الجيمباز محلقاً في الهواء عندما يرفع ذراعيه فوق رأسه أثناء القفز؟

73. لماذا يرجح أن تنقلب المركبة المزودة بعجلات قطرها أكبر أكثر من المركبة المزودة بعجلات قطرها أصغر؟

إتقان حل المسائل

74. رفع أحمد سيورة كتلتها 12.5 kg وطولها 4.00 m من أحد طرفيها. يطلب أحمد مساعدة مروان في رفع السيورة ويستجيب مروان لذلك.

a. ما أقل مقدار للقوة التي يمكن أن يؤثر بها مروان لرفع السيورة حتى تكون في وضع أفقي؟ أي جزء في السيورة ينبغي أن يرفعه للتأثير بهذه القوة؟

b. ما أكبر مقدار للقوة التي يمكن أن يؤثر بها مروان لرفع السيورة حتى تكون في وضع أفقي؟ أي جزء في السيورة ينبغي أن يرفعه للتأثير بهذه القوة؟

75. تنص مواصفات السيارة على أن توزيع الوزن تبلغ نسبتة البنية 53 بالمئة على الإطارات الأمامية و47 بالمئة على الإطارات الخلفية. تصل قاعدة العجلات إلى 2.46 m . أين يقع مركز كتلة السيارة؟

83. **البهلوان** يحبل البهلوان غالبًا أعمدة طويلة ومرتبعة بحيث يكون الطرفان منخفضين عن المنتصف كما هو موضح في الشكل 31. كيف يزيد العمود من ثبات البهلوان؟ تلميح: انتبه إلى كل من مركز الكتلة وعزم القصور الذاتي.



الشكل 31

84. **لعبة دوامة الخيل** أثناء ركوب دوامة الخيل، ترمي مفتاحًا إلى صديق يقف على الأرض. لكي يستطيع صديقك التقاط المفتاح، هل ينبغي عليك رميه بمعدل ثانية واحدة أو ثانيتين قبل الوصول إلى النقطة التي يقف فيها صديقك أم الانتظار حتى يصبح صديقك أمامك مباشرة؟ اشرح.
85. في حل المسائل التي تتضمن التوازن في حالة السكون، لماذا يكون محور الدوران موجودًا غالبًا على نقطة حيث تؤثر قوة واحدة أو أكثر في الجسم؟
86. **مهمة الترتيب** رتب الأجسام في الشكل 32 وفقًا لعزم القصور الذاتي لها، من الأقل إلى الأكبر. لكل جسم نصف قطر (R) وكتلة إجمالية (M). تكون موزعة بالتساوي على المنطقة المظلمة بأكملها. تشير تحديدًا إلى أي علاقة من العلاقات.

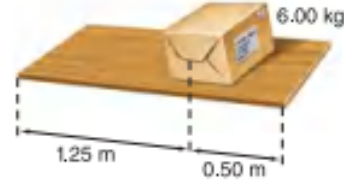


الشكل 32

مراجعة عامة

87. يحمل هيثم وأدهم بابًا خشبيًا كتلته m وطوله l في وضع أفقي. أسقط الطرف الذي يحمله فجأة.
- a. ما مقدار التسارع الزاوي للباب بعد أن تركه هيثم مباشرة؟
- b. هل التسارع ثابت؟ اشرح.
88. **القرص الثابت** يدور القرص الثابت في جهاز الكمبيوتر بمعدل 7200 rpm (دورة في الدقيقة). إذا كان القرص مصممًا ليبدأ من السكون ويصل إلى سرعة التشغيل في غضون 1.5 s، فما مقدار التسارع الزاوي للقرص؟

76. يحمل شخصان طرفي لوح خشبي كتلته 4.25 kg وطوله 1.75 m. يوضع صندوق كتلته 6.00 kg على اللوح. ويبعد مسافة 0.50 m عن أحد طرفيه. كما هو موضح في الشكل 29. ما مقدار القوى التي يؤثر بها الشخصان؟



الشكل 29

تطبيق المفاهيم

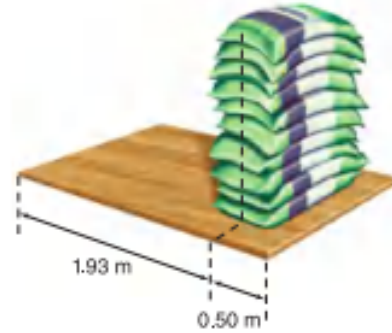
77. ترسان متلامسان ويدوران. أحدهما أكبر من الآخر. كما هو موضح في الشكل 30. قارن بين سرعتين الزاويتين لهما. قارن أيضًا بين سرعتين الخطيتين لبثتين متلامسين.



الشكل 30

78. كيف تتمكن من إيجاد عزم القصور الذاتي لجسم ما من خلال التجربة؟
79. **عجلات الدراجة** ثلاث عجلات دراجة كتلتها موزعة بثلاث طرق مختلفة، معظمها على الإطار وبالتساوي ومعظمها على المحور. افترض أن العجلات لها الكتلة نفسها. إذا كانت العزوم المبطنة عليها متساوية، فأى دراجة سيكون لها أكبر شراع زاوي؟ وأي دراجة يكون لها أقل شراع زاوي؟
80. **كرة البولينج** عندما تترك كرة البولينج يد الرامي، لا تدور. بعد أن تصل إلى نصف طول الممر، تبدأ الدوران. اشرح مدى تزايد معدل دوران الكرة.
81. **إطار فارغ** افترض أن سيارتك بها إطار مفرغ من الهواء. تبحث عن مفتاح البراغي لفك الصامولات من المسامير. لا يمكنك لف الصامولات. يفتح صديقك طرفًا يمكنك أن تحدث بها عزماً للفها. ما الطرق الثلاث التي قد يفتحها صديقك؟
82. لماذا يمكنك تجاهل القوى المؤثرة في محور دوران جسم ما في حالة من التوازن الساكن عند إيجاد صافي العزم؟

89. التربة السطحية يوضع عشرة أكياس من التربة السطحية، يبلغ وزن كل منها 75 N. على قطعة خشبية طولها 2.43 m والأكياس مكدسة على بعد 0.50 m من أحد طرفي القطعة الخشبية. كما هو موضح في الشكل 33. يرفع شخصان القطعة الخشبية، شخص واحد من كل طرف. بتجاهل وزن الخشب، ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل شخص؟



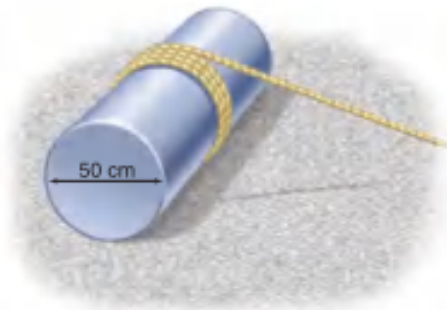
الشكل 33

90. عارضة فولاذية طولها 6.50 m ووزن 325 N ترتكز على دعائمتين، تبعدان عن بعضهما 3.00 m. ويمتد مقداران متساويان من العارضة من كل طرف. ثقف سعاد، التي تزن 575 N، على منتصف العارضة ثم تسير باتجاه أحد الطرفين. إلى أي مدى يمكن أن تقترب من الطرف قبل أن تبدأ العارضة في الميل؟

91. يبلغ طول عربة التوائي في ساعة 12 mm. ما مقدار السرعة المتجهة لطرفه؟

92. أسطوانة يصل قطرها إلى 50 cm. كما هو موضح في الشكل 34، ساكنة على سطح ما. يُلف حبل حول الأسطوانة ويُسحب. تتحرك الأسطوانة دون انزلاق.

- a. بعد سحب الحبل لمسافة 2.50 m بسرعة ثابتة، ما مقدار المسافة التي تحركها مركز كتلة الأسطوانة؟
b. إذا سحب الحبل لمسافة 2.50 m في غضون 1.25 s، فما السرعة التي يتحرك بها مركز كتلة الأسطوانة؟
c. ما السرعة الزاوية للأسطوانة؟



الشكل 34

93. كرة السلة تتدحرج كرة سلة داخل الملعب. يبلغ قطر كرة السلة العادية 24.1 cm وكتلتها 0.60 kg وعزم قصورها الذاتي $5.8 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. تبلغ السرعة الابتدائية لكرة السلة 2.5 m/s.

- a. كم تبلغ السرعة الزاوية الابتدائية لها؟
b. تتدحرج الكرة لمسافة إجمالية قدرها 12 m. كم عدد الدورات التي تكملها؟
c. ما مقدار الإزاحة الزاوية الإجمالية لها؟

94. تتوقف كرة السلة في المسألة السابقة عن التدحرج بعد أن تنقطع مسافة 12 m.

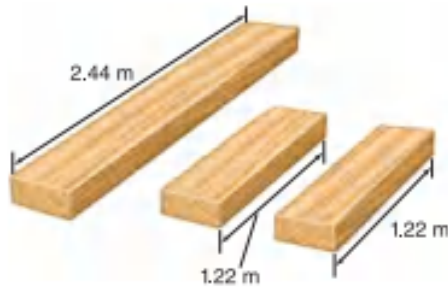
- a. إذا كان التسارع ثابتًا، فما مقدار التسارع الزاوي لها؟
b. ما مقدار العزم المؤثر فيها أثناء تباطؤ حركتها؟

95. مقاييس السرعة تقيس معظم مقاييس السرعة في السيارات السرعة الزاوية للانتقال وتحوّله إلى سرعة. كيف تؤدي الزيادة في قطر الإطارات إلى التأثير في قراءة مقاييس السرعة؟

96. يُسحب صندوق على الأرضية باستخدام حبل يرتفع مسافة h عن الأرضية. ومعامل الاحتكاك يساوي 0.35. يبلغ ارتفاع الصندوق 0.50 m وعرضه 0.25 m. أوجد القوة التي تكفي لقلب الصندوق.

97. خشب منشور شتري قطعة خشب طولها 2.44 m من الخشب المنشور المتوفر بمقاس $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. يشتري صديقك قطعة لها الحجم نفسه ويصمها إلى طولين، كل طول قدره 1.22 m. كما هو موضح في الشكل 35. يحمل كل منكما قطعته الخشبية على كتفه.

- a. أي حمل يسهل رفعه؟ لماذا؟
b. ثمارس أنت وصديقك عزماً بيديكما لرفع الخشب من الدوران. أي حمل يسهل الحفاظ عليه من الدوران؟ لماذا؟



الشكل 35

98. لوح ركوب الأمواج يحمل فارس ومراد لوح ركوب أمواج يصل طوله إلى 2.43 m ووزن 143 N. يرفع مراد أحد الأطراف بقوة قدرها 57 N.

- a. ما القوة التي يجب على فارس ممارستها؟
b. أي جزء من السيورة ينبغي على فارس رفعه؟

التفكير الناقد

99- **حلل واستنتج** تتدلى راية من عمود أفقي مركّز على محور. كما هو موضح في الشكل 36. يصل طول العمود إلى 2.10 m ووزن 175 N . تتدلى الراية، التي ثقلها 105 N على مسافة 1.80 m من نقطة المحور أو محور الدوران. ما مقدار الشد المؤثر في الكابل الداعم للعمود؟



الشكل 36

100. حلل واستنتج بظهور عمود مصباح مرئى على محور
في الشكل 37. وزن العمود 27 N، ووزن المصباح 64 N

a. ما مقدار العزم الناتج عن كل قوة؟
b. أوجد الشد المؤثر في الحبل الداعم لعمود المصباح.



الشكل 37

101. **مسألة معكوسة** اكتب مسألة فيزياء تناول أجساماً من واقع الحياة تكون المعادلة التالية جزءاً من الحل.

$$\Delta\theta = \left(20 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)(4 \text{ s}) - \frac{1}{2}\left(3.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right)(4 \text{ s})^2$$

102. تأليف مسألة أكمل هذه المسألة لكي يمكن حلها باستخدام مفهوم العزم، "يحمل عامل الطلاء سلماً طوله 3.0 m ووزن 12 kg ...".

103. طَبَّقَ الْمَفَاهِيمَ فِكرَ فِي تَحْقِيقِ مَا عَلَى إِطَارِ عَجَلَةٍ
تَدْوَرُ حَوْلَ مَحْوَرِهَا.

8. ما الحالات التي يمكن أن يساوي التصارع المركزي فيها صفراً؟

b. ما الحالات التي يمكن أن يساوي شارع المماس (مخطيناً) فيها صفراً؟

c. هل يمكن ألا يساوي شارع المماس صفراً في حين يساوي التسارع المركزي صفراً؟ اشرح.

d. هل يمكن ألا يساوي التسارع المركزي صفراً بينما يساوي تسارع المماس صفراً؟ اشرح.

104. طبق المفاهيم عندما تستخدم الفرامل في السيارة، تنخفض مقدمة السيارة. لماذا؟

الكتابة في الفيزياء

105. يعرف علماء الفلك أنه إذا كان القمر الطبيعي قريباً كفاية من الكوكب، فستتحطم بسبب قوى المد والجزر. الفرق في قوة الجاذبية المؤثرة في جزء القمر الأقرب إلى الكوكب والجزء الأبعد من الكوكب أقوى من قوى الحفاظ على ثبات القمر. يحدث عن حد روش وحدد مدى قرب القمر من مدار الأرض لكي يكون عند حد روش.

106. تصنف محركات السيارات حسب العزم التي تولدها.
 ابحث عن سبب اعتبار العزم كمية مهمة يجب قياسها
 وشرح ذلك.

مراجعة تراكمية

107. يرتبط ثقلان، كتلة أحدهما 2.0 kg وكتلة الآخر 3.0 kg، معا بحبل عديم الكتلة. يمر هذا الحبل على بكره عديمة الكتلة وخالية من الاحتكاك. يتم إطلاق الثقلين من وضع السكون. أوجد ما يلي،

8. الشد في الحبل

b. شارع الكتلتين

108. يجلس فارس على أرجوحة. ما الزاوية، بالنسبة إلى الوضع الرأسي، التي يكون عندها مكون وزنه بالتوازي مع طول الأرجوحة مساوياً لثالث المكون المتعامد على وزنه؟

109. يريد ريان الطائرة الوصول إلى مطار على مسافة 325 km باتجاه الشمال في غضون 2.75 h. وتهيئ رياح من الغرب بسرعة 30.0 km/h. ما الاتجاه والسرعة الهوائية للذئ ينبغي اختيارهما للوصول إلى الوجهة المطلوبة في الوقت المناسب؟

110. يتزلج متزلج كتلته 60.0 kg بسرعة متجهة قدرها 18.0 m/s في منحني يصل نصف قطره إلى 20.0 m .
ما مقدار الاحتكاك الناتج بين لوح التزلج والجليد ليتغلب على المنحنى؟

اختيار من متعدد

1. يوضح الرسم التوضيحي أدناه صندوقين موجودين على طرفين متقابلين للوح عديم الكتلة يبلغ طوله 3.0 m. تدعم نقطة الارتكاز اللوح عند المنتصف. تبلغ كتلة الصندوق جهة اليسار m_1 25 kg، وتبلغ كتلة الصندوق جهة اليمين m_2 15 kg. ما مقدار المسافة التي تبعد عنها نقطة الارتكاز عن الطرف الأيسر للوح من أجل توليد نوع من التوازن بين الكتلتين أفقياً؟
- A. 0.38 m
B. 0.60 m
C. 1.1 m
D. 1.9 m



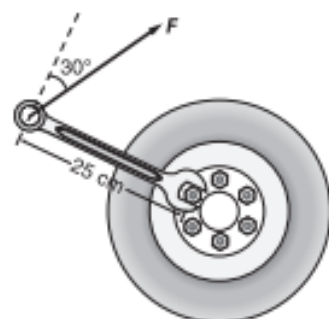
2. تؤثر قوة تبلغ 60 N في أحد طرفي ذراع يبلغ طوله 1.0 m والطرف الآخر من الذراع مربوط بساق دوارة متعامدة على الذراع. بالتأثير بقوة على طرف الذراع، يمكنك تدوير الساق. إذا كانت القوة المباعدة على الذراع تؤثر بزاوية قدرها 30° بالنسبة إلى خط التعامد على الذراع، فما مقدار العزم المؤثر في الساق؟ ($\sin 30^\circ = 0.5$; $\cos 30^\circ = 0.87$; $\tan 30^\circ = 0.58$)
- A. 30 N
B. 52 N
C. 60 N
D. 69 N
3. يحاول طفل استخدام مفتاح ربط لنزع صامولة في دراجة. يتطلب نزع الصامولة عزماً يبلغ $10 \text{ N}\cdot\text{m}$. تصل القوة القصوى التي يستطيع الطفل ممارستها بزاوية قدرها 90° إلى 50 N. كم يبلغ طول مفتاح الربط الذي يجب على الطفل استخدامه لنزع الصامولة؟
- A. 0.1 m
B. 0.15 m
C. 0.2 m
D. 0.25 m
4. تتحرك سيارة مسافة 420 m. يبلغ قطر كل إطار في السيارة 42 cm. ما الذي يدل على عدد الدورات التي يكملها كل إطار أثناء تحركه تلك المسافة؟
- A. $\left(\frac{10^1 \times 5.0}{\pi}\right)$ دورة
B. $\left(\frac{10^2 \times 1.0}{\pi}\right)$ دورة
C. $\left(\frac{10^2 \times 1.5}{\pi}\right)$ دورة
D. $\left(\frac{10^3 \times 1.0}{\pi}\right)$ دورة

5. تدور حلقة رفيعة كتلتها 5.0 kg حول محور متعامد على مركزها. تؤثر قوة تبلغ 25 N بشكل ثباتي في الحلقة. إذا كان نصف قطر الحلقة يساوي 2.0 m، فما مقدار التسارع الزاوي لها؟
- A. 1.3 rad/s
B. 2.5 rad/s
C. 5.0 rad/s
D. 6.3 rad/s

6. يبلغ قطر إطارين في جرار زراعي لأحد المزارعين 1.5 m. إذا كان المزارع يقود الجرار الزراعي بسرعة خطية قدرها 3.0 m/s، فما مقدار السرعة الزاوية لكل إطار؟
- A. 2.0 rad/s
B. 2.3 rad/s
C. 4.0 rad/s
D. 4.5 rad/s

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

7. تستخدم مفك ربط يبلغ طوله 25 cm لإزالة صامولة العروة الموجودة في عجلة السيارة، كما هو موضح في الرسم التوضيحي أدناه. إذا سحب طرف مفتاح الربط بقوة قدرها $2.0 \times 10^2 \text{ N}$ وبزاوية قدرها 30° ، فما مقدار العزم المؤثر في مفتاح الربط؟ ($\sin 30^\circ = 0.5$; $\cos 30^\circ = 0.87$)



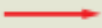
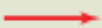
R-1

الجدول المرجعية

R-1	دليل الألوان
R-1	رموز دائرة كهربائية
R-2	الوحدات الأساسية للنظام الدولي للوحدات
R-2	الوحدات المشتقة في النظام الدولي للوحدات
R-2	تحويلات مقياس
R-3	ثوابت فيزيائية
R-3	بادئات النظام الدولي للوحدات
R-3	عزم الخصور الذاتي لأجسام مختلفة
R-4	كثافة بعض المواد الشائعة
R-4	درجات الانصهار والذوبان لبعض المواد
R-4	الحرارة الكامنة للانصهار والتبخير لبعض العناصر الشائعة
R-5	معاملات التمدد الحراري عند 20°C
R-5	سرعة الصوت في أوساط متنوعة
R-5	الطول الموجي للضوء المرئي
R-5	ثابت العزل الكهربائي (20°C) K
R-6	الكواكب
R-6	القمر
R-6	الشمس
R-7	الجدول الدوري للعناصر
R-8	العناصر
R-9	رموز السلامة

C-1

شكر و تقدير

دليل الألوان	
	متجه الإزاحة (x)
	متجه السرعة المتجهة (v)
	متجه التسارع (a)
	متجه القوة (F)
	متجه كمية الحركة (p)
	شعاع ضوء
	جسم
	صورة
	خط المجال الكهربائي (E)
	خط المجال المغناطيسي (B)
	شحنة سالبة
	شحنة موجبة
	إلكترون
	بروتون
	نيوترون
	محاور الإحداثيات

رموز دائرة كهربائية

موصل	مقاومة (ثابتة)	أرضي	بطارية
مفتاح	مجزئ الجهد (ريوستات)		
منصهر	مستحث	مصابيح	مولد تيار مباشر
مكثف		فولتميتر	أميتر

الوحدات الأساسية للنظام الدولي للوحدات		
الكمية	الوحدة	اختصار الوحدة
الطول	المتر	m
الكتلة	الكيلوجرام	kg
الزمن	ثانية	s
درجة الحرارة	كلفن	K
كمية المادة	المول	mol
التيار الكهربائي	أمبير	A
شدة الإضاءة	الشعة	cd

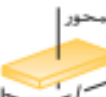
الوحدات المشتقة في النظام الدولي للوحدات				
الكمية	الوحدة	رمز الوحدة	الوحدة معيّر عنها بالوحدات الأساسية	الوحدة معيّر عنها بوحدة أخرى من النظام الدولي للوحدات
التسارع	متر للثانية المربعة	m/s ²	m/s ²	
المساحة	متر مربع	m ²	m ²	
السعة	فاراد	F	A ² ·s ⁴ /(kg·m ²)	
الكثافة	كيلوجرام للمتر المكعب	kg/m ³	kg/m ³	
شحنة كهربائية	كولوم	C	A·s	
المجال الكهربائي	نيوتن للكولوم	N/C	kg·m/(A·s ³)	V/m
المقاومة الكهربائية	أوم	Ω	kg·m ² /(A ² ·s ³)	V/A
القوة الدافعة الكهربائية (EMF)	فولت	V	kg·m ² /(A ² ·s ³)	
الطاقة، الشغل	الجول	J	kg·m ² /s ²	N·m
القوة	نيوتن	N	kg·m/s ²	
التردد	هرتز	Hz	s ⁻¹	
الاستضاءة	لوكس	lx	cd/m ²	
المجال المغناطيسي	تسلا	T	kg/(A·s ²)	N·s/(C·m)
فرق الجهد	فولت	V	kg·m ² /(A·s ³)	W/A و I/C
القدرة	واط	W	kg·m ² /s ³	I/s
الضغط	باسكال	Pa	(kg/m) ² /s ²	N/m ²
السرعة المتجهة	متر للثانية	m/s	m/s	
الحجم	متر مكعب	m ³	m ³	

تحويلات مفيدة		
1 atm = 101 kPa	1 kg = 6.02 × 10 ²⁶ u	1 in = 2.54 cm
1 cal = 4.184 J	1 oz = 28.4 g	1 mi = 1.61 km
1 eV = 1.60 × 10 ⁻¹⁹ J	1 oz = 2.21 lb	1 mi ² = 640 acres
1 kWh = 3.60 MJ	1 lb = 0.450 kg	1 gal = 3.79 L
1 hp = 746 W		1 m ³ = 264 gal
1 mol = 6.02 × 10 ²³ particles	1 atm = 1.01 × 10 ⁵ N/m ²	1 knot = 1.15 mi/h

ثوابت فيزيائية

الكمية	الرمز	القيمة	القيمة التقريبية
وحدة الكتلة الذرية	u	$1.660538782 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
عدد أفوجادرو	N_A	$6.02214179 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
ثابت بولتزمان	k	$1.3806504 \times 10^{-23} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{K}$	$1.38 \times 10^{-23} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{K}$
ثابت كولوم	K	$8.987551788 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$	$9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$
الشحنة الأساسية	e	$1.60217653 \times 10^{-19} \text{ C}$	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
ثابت الغاز	R	$8.314472 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{K}$	$8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{K}$
ثابت الجذب العام	G	$6.67428 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$
كتلة الإلكترون	m_e	$9.10938215 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
كتلة البروتون	m_p	$1.672621637 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
كتلة النيوترون	m_n	$1.674927211 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ثابت بلانك	h	$6.62606896 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
سرعة الضوء في الفراغ	c	$2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$	$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$

عزَم القصور الذاتي لأجسام مختلفة

الجسم	موقع المحور	الرسم	عزَم القصور الذاتي
مطوق رفيع بنصف قطر r	عبر الخطر المركزي		mr^2
أسطوانة صلبة منتظمة بنصف قطر r	من المركز		$\frac{1}{2}mr^2$
كرة منتظمة بنصف قطر r	من المركز		$\frac{2}{5}mr^2$
قضيب طويل منتظم طوله l	من المركز		$\frac{1}{12}ml^2$
قضيب طويل منتظم طوله l	من الطرف		$\frac{1}{3}ml^2$
صفحة رقيقة مستطيلة الشكل بطول l وعرض w	من المركز		$\frac{1}{12}m(l^2 + w^2)$

بادة النظام الدولي للوحدات

البادة	الرمز	الترميز العلمي
فيبتو	f	10^{-15}
بيكو	p	10^{-12}
نانو	n	10^{-9}
ميكرو	μ	10^{-6}
ميلي	m	10^{-3}
سنتي	c	10^{-2}
ديسي	d	10^{-1}
ديكا	da	10^1
هكتو	h	10^2
كيلو	k	10^3
ميغا	M	10^6
جيجا	G	10^9
تيرا	T	10^{12}
بيتا	P	10^{15}

درجات الانصهار والغليان		
المادة	درجة الانصهار (°C)	درجة الغليان (°C)
الألمنيوم	660.32	2519
النحاس	1084.62	2562
الجرمانيوم	938.25	2833
الذهب	1064.18	2856
الإنديوم	156.60	2072
الحديد	1538	2861
الرماس	327.5	1749
السيليكون	1414	3265
الفضة	961.78	2162
الماء	0.000	100.000
الغازات	419.53	907

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm ³)
الألمنيوم	2.70
الكاديوم	8.65
النحاس	8.92
الجرمانيوم	5.32
الذهب	19.32
الهيدروجين	8.99×10^{-5}
الإنديوم	7.31
الحديد	7.87
الرماس	11.34
الزئبق	13.534
الأكسجين	1.429×10^{-3}
السيليكون	2.33
الفضة	10.5
الماء (4°C)	1.000
الغازات	7.14

الحرارة النوعية			
المادة	الحرارة النوعية، C [J/(kg·K)]	المادة	الحرارة النوعية، C [J/(kg·K)]
الألمنيوم	897	الرماس	130
النحاس الأصفر	376	الميثانول	2450
الكربون	710	الفضة	235
النحاس	385	الماء	4180
الزجاج	840	بخار الماء	2020
الثلج	2060	الغازات	388
الحديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار والتبخير		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار، H _f (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخير، H _v (J/kg)
النحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
الذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
الحديد	2.66×10^5	6.29×10^6
الرماس	2.04×10^4	8.64×10^5
الزئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
الميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
الفضة	1.04×10^5	2.36×10^6
الماء (متجمد)	3.34×10^5	2.26×10^6

معاملات التمدد الحراري عند 20 °C

المادة	معامل التمدد الطولي α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	معامل التمدد الحجمي β ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
المادة الصلبة		
الألمنيوم	23×10^{-6}	69×10^{-6}
النحاس الأصفر	19×10^{-6}	57×10^{-6}
الخرسانة	12×10^{-6}	36×10^{-6}
النحاس	17×10^{-6}	51×10^{-6}
الزجاج (عادي)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
الزجاج (مقاوم للحرارة)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
حديد صلب	12×10^{-6}	35×10^{-6}
بلاتينيوم	9×10^{-6}	27×10^{-6}
السوائل		
البنزين		950×10^{-6}
الزئبق		180×10^{-6}
الميثانول		1200×10^{-6}
الماء		210×10^{-6}
الغازات		
الهواء (ومعظم الغازات الأخرى)		3400×10^{-6}

الطول الموجي للضوء المرئي

اللون	الطول الموجي، λ (nm)
بنفسجي	380–430
بنفسجي	430–450
أزرق	450–500
أزرق داكن	500–520
أخضر	520–565
أصفر	565–590
برتقالي	590–625
أحمر	625–740

ثابت العزل الكهربائي، k (20 °C)

الفراغ	1.0000
الهواء (1 atm)	1.00059
النيون (1 atm)	1.00013
الزجاج	4–7
الكوارتز	4.3
كوارتز منصهر	3.75
الماء	80

سرعة الصوت في أوساط متنوعة

الوسط (°C)	السرعة (m/s)
الهواء (0 °C)	331
الهواء (20 °C)	343
الهيليوم (0 °C)	972
الهيدروجين (27 °C)	1310
الماء (25 °C)	1497
ماء البحر (25 °C)	1533
المطاط	1600
النحاس (25 °C)	3560
الحديد (25 °C)	5130
زجاج مقاوم للحرارة	5640
ألباس	12,000

بيانات النظام الشمسي								
نبتون	أورانوس	زحل	المشتري	المريخ	الأرض	الزهرة	عطارد	
102	86.8	569	1899	0.642	5.97	4.87	0.330	الكتلة ($10^{24} \times \text{kg}$)
24.8	25.6	60.3	71.5	3.40	6.38	6.05	2.44	متوسط نصف القطر ($10^3 \times \text{m}$)
1638	1270	687	1326	3933	5515	5243	5427	الكثافة (kg/m^3)
0.290	0.300	0.342	0.343	0.250	0.306	0.90	0.068	الوضاءة
4498.2	2872.5	1433.5	778.4	227.9	149.6	108.2	57.91	متوسط المسافة من الشمس ($10^9 \times \text{m}$)
60,189	30,685	10,759	4332	687.0	365.2	224.7	88.0	مدة الدورة المدارية (أيام الأرض)
1.8	0.8	2.5	1.3	1.9	0.0	3.4	7.0	الميل المداري (درجات)
0.011	0.046	0.057	0.049	0.094	0.017	0.007	0.205	الانحراف المداري
16.1	17.2 ^R	10.7	9.9	24.6	23.9	5832.5 ^R	1407.6	فترة دوران الكوكب حول محوره (h)
28.3	97.8	26.7	3.1	25.2	23.4	177.4	0.03	الميل البحوري (درجات)
73	78	133	163	210	288	737	440	متوسط درجة الحرارة على السطح (K)
10.7	8.4	10.4	20.9	3.7	9.8	8.9	3.7	قوة مجال الجاذبية بالقرب من السطح (N/kg)

تشير R إلى الحركة العكسية.

الشمس	
$1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$	الكتلة
$6.96 \times 10^8 \text{ m}$	نصف القطر الاستوائي
1408 kg/m^3	متوسط الكثافة
+4.83	القدر المطلق
$3.846 \times 10^{26} \text{ J/s}$	الضياء
G2 V	نوع الطيف
609.12 h	فترة دوران الشمس حول محورها (استوائي)
$0.1937 \times 10^{-3} \text{ J/kg}$	متوسط إنتاج الطاقة
5778 K	متوسط درجة الحرارة على السطح

القمر	
$0.073 \times 10^{24} \text{ kg}$	الكتلة
1738 km	نصف القطر الاستوائي
3340 kg/m^3	متوسط الكثافة
0.11	الوضاءة
$384 \times 10^3 \text{ km}$	متوسط المسافة من الأرض
27.3 يوماً من أيام الأرض	مدة الدورة المدارية
29.53 يوماً من أيام الأرض	الدورة الاقترانية (القمرية)
5.1°	الميل المداري
0.055	الانحراف المداري
655.7 h	فترة دوران القمر حول محوره
1.6 N/kg	قوة مجال الجاذبية بالقرب من السطح

The diagram illustrates the process of hydrogen production and its use in fuel cells. At the top, a water molecule (H₂O) is shown being split into hydrogen (H₂) and oxygen (O₂) gases. The hydrogen gas is then collected and used to produce hydrogen fuel cells. The diagram includes labels for 'Hydrogen', 'Oxygen', 'Water', 'Hydrogen fuel cell', and 'Oxygen fuel cell'.

[illegible]

المجلد 118، 117، 115، 113 العدد 113، 112، 110، 108، 106، 104، 102، 100، 98، 96، 94، 92، 90، 88، 86، 84، 82، 80، 78، 76، 74، 72، 70، 68، 66، 64، 62، 60، 58، 56، 54، 52، 50، 48، 46، 44، 42، 40، 38، 36، 34، 32، 30، 28، 26، 24، 22، 20، 18، 16، 14، 12، 10، 8، 6، 4، 2، 1

المجلد ١٠٠، العدد ١، ٢٠١٩

Group	Element	Atomic Number	Symbol	Block	Period	Group	Element	Atomic Number	Symbol	Block	Period	Group
Group 1	Lithium	3	Li	s	2	1	Francium	87	Fr	s	7	1
	Sodium	11	Na	s	3	1	Cesium	55	Cs	s	6	1
Group 2	Beryllium	4	Be	s	2	2	Radium	88	Ra	s	7	2
	Magnesium	12	Mg	s	3	2	Barium	56	Ba	s	6	2
Group 3	Scandium	21	Sc	d	4	3	Lanthanum	57	La	f	6	3
	Yttrium	39	Y	d	5	3	Actinium	89	Ac	f	7	3
Group 4	Titanium	22	Ti	d	4	4	Thorium	90	Th	f	7	4
	Zirconium	40	Zr	d	5	4	Uranium	92	U	f	7	4
Group 5	Vanadium	23	V	d	4	5	Niobium	41	Nb	d	5	5
	Niobium	41	Nb	d	5	5	Tantalum	73	Ta	d	6	5
Group 6	Chromium	24	Cr	d	4	6	Molybdenum	42	Mo	d	5	6
	Manganese	25	Mn	d	4	7	Technetium	43	Tc	d	5	7
Group 7	Manganese	25	Mn	d	4	7	Rhenium	75	Re	d	6	7
	Technetium	43	Tc	d	5	7	Bohrium	107	Bh	d	7	7
Group 8	Iron	26	Fe	d	4	8	Ruthenium	44	Ru	d	5	8
	Ruthenium	44	Ru	d	5	8	Rhodium	45	Rh	d	5	9
Group 9	Rhodium	45	Rh	d	5	9	Palladium	46	Pd	d	5	10
	Palladium	46	Pd	d	5	10	Silver	47	Ag	d	5	11
Group 10	Silver	47	Ag	d	5	11	Cadmium	48	Cd	d	5	12
	Cadmium	48	Cd	d	5	12	Indium	49	In	p	5	13
Group 11	Indium	49	In	p	5	13	Thallium	81	Tl	p	6	13
	Thallium	81	Tl	p	6	13	Lead	82	Pb	p	6	14
Group 12	Lead	82	Pb	p	6	14	Bismuth	83	Bi	p	6	15
	Bismuth	83	Bi	p	6	15	Polonium	84	Po	p	6	16
Group 13	Polonium	84	Po	p	6	16	Arsenic	33	As	p	4	15
	Arsenic	33	As	p	4	15	Selenium	34	Se	p	4	16
Group 14	Selenium	34	Se	p	4	16	Bromine	35	Br	p	4	17
	Bromine	35	Br	p	4	17	Krypton	36	Kr	p	4	18
Group 15	Krypton	36	Kr	p	4	18	Argon	18	Ar	p	3	18
	Argon	18	Ar	p	3	18	Neon	10	Ne	p	2	18
Group 16	Neon	10	Ne	p	2	18	Helium	2	He	s	1	18
	Helium	2	He	s	1	18						

مجلسة الثلاثاء 12/05/2015

مسألة الأكتيدات

الجدول المرجعية

الجدول
المرجعية

العناصر							
العنصر	الرمز	العدد الذري	الكتلة الذرية	العنصر	الرمز	العدد الذري	الكتلة الذرية
الأكتينيوم	Ac	89	(227)	المولبيديوم	Mo	42	95.96
الأليونيوم	Al	13	26.982	النيوبيوم	Nd	60	144.24
الأميريسيوم	Am	95	(243)	النيون	Ne	10	20.180
الأنثيمون	Sb	51	121.760	النيوترون	Np	93	(237)
الأرجون	Ar	18	39.948	النيكل	Ni	28	58.693
الزرنيخ	As	33	74.922	النيوبوم	Nb	41	92.906
الأتانتين	At	85	(210)	النيتروجين	N	7	14.007
الباريوم	Ba	56	137.327	النيوبوم	No	102	(259)
البركليوم	Bk	97	(247)	الأوزميوم	Os	76	190.23
البريليوم	Be	4	9.012	الأكسجين	O	8	15.999
البرموت	Bi	83	208.980	البلااديوم	Pd	46	106.42
البوريوم	Bh	107	(272)	الفسفور	P	15	30.974
البورون	B	5	10.811	البلاتينيوم	Pt	78	195.078
البروم	Br	35	79.904	البلوتونيوم	Pu	94	(244)
الكاديوم	Cd	48	112.411	البولونيوم	Po	84	(209)
الكالسيوم	Ca	20	40.078	البوتاسيوم	K	19	39.098
كاليفورنيوم	Cf	98	(251)	البراسيوديوم	Pr	59	140.908
الكربون	C	6	12.011	البروميتيوم	Pm	61	(145)
السيريوم	Ce	58	140.116	البروتكتينيوم	Pa	91	231.036
السيزيوم	Cs	55	132.905	الرادوم	Ra	88	(226)
الكلور	Cl	17	35.453	الرادون	Rn	86	(222)
الكروم	Cr	24	51.996	الرينيوم	Re	75	186.207
الكوبلت	Co	27	58.933	الروينيوم	Rh	45	102.906
الكورنيسوم	Cn	112	(285)	الروثينيوم	Rg	111	(280)
القصدير	Cu	29	63.546	الروبيديوم	Rb	37	85.468
الكوريوم	Cm	96	(247)	الروثينيوم	Ru	44	101.07
الدارمشتاتين	Ds	110	(281)	الرفورديوم	Rf	104	(265)
الدنيوم	Db	105	(262)	السمريوم	Sm	62	150.36
الديسبرزيوم	Dy	66	162.500	السكرانديوم	Sc	21	44.956
أينشتاينيوم	Es	99	(252)	السيوريوم	Sg	106	(271)
الأزميريوم	Er	68	167.259	السيلينيوم	Se	34	78.96
الأوروبيوم	Eu	63	151.964	السيلكون	Si	14	28.086
الغادولينيوم	Gd	100	(257)	الفضة	Ag	47	107.868
الغاليوم	Ga	31	69.723	الصوديوم	Na	11	22.990
الجرمانيوم	Ge	32	72.63	السترونشيوم	Sr	38	87.62
الذهب	Au	79	196.967	الكبريت	S	16	32.065
الهافنيوم	Hf	72	178.49	التنتالوم	Ta	73	180.948
الهاسيوم	Hs	108	(270)	التكنيشيوم	Tc	43	(98)
الهيليوم	He	2	4.003	التيلوريوم	Te	52	127.60
الهولميوم	Ho	67	164.930	التريبيوم	Tb	65	158.925
الهيدروجين	H	1	1.008	التيتانيوم	Ti	22	47.867
الإنديوم	In	49	114.81	التاليوم	Tl	81	204.383
اليود	I	53	126.904	الثوريوم	Th	90	232.038
الإيريديوم	Ir	77	192.217	الثوم	Tm	69	168.934
الحديد	Fe	26	55.847	القصدير	Sn	50	118.710
الكريبتون	Kr	36	83.798	التيتانيوم	Ti	22	47.867
اللانثانوم	La	57	138.906	النيجستين	W	74	183.84
الليورنسيوم	Lr	103	(262)	اليورانيوم	U	92	238.029
الليثيوم	Li	3	6.941	الفاناديوم	V	23	50.942
اللوتيتيوم	Lu	71	174.967	الزينون	Xe	54	131.293
المغنيسيوم	Mg	12	24.305	الزيريوم	Yb	70	173.04
المنجنيز	Mn	25	54.938	الزيريوم	Y	39	88.906
المايتريوم	Mt	109	(276)	الزنك	Zn	30	65.38
المنديليوم	Md	101	(258)	الزركونيوم	Zr	40	91.224
المرزق	Hg	80	200.59	المنصر 113*	Uut	113	(284)
				المنصر 114*	Uuq	114	(289)
				المنصر 115*	Uup	115	(288)
				المنصر 116*	Uuh	116	(293)
				المنصر 118*	Uuo	118	(294)

* لم يتم اعتماد تلك الأسماء بعد من قبل الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC).

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الإجراء الوقائي	العلاج
 التخلص من المخلفات	يجب اتباع إجراءات التخلص من المخلفات الخاصة.	بعض المواد الكيميائية. الكائنات الحية	تجنب التخلص من هذه المواد بإلغائها في البالوعة أو سلة المهملات.	تخلص من النفايات وفقاً لتوجيهات معلمك.
 مخاطر حيوية	الكائنات الحية أو المواد الحيوية الأخرى التي قد تسبب ضرراً للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الأنسجة غير المحفوظة. المواد النباتية	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد. ارتد كمامة وقفازات.	أبلغ معلمك في حالة ملامسة هذه المواد. اغسل يديك جيداً.
 درجات الحرارة الشديدة	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب برودتها الشديدة أو حرارتها الشديدة.	السوائل الباردة، الأطقم الساخنة، الثلج الجاف، التبريد السائل	استخدم وسيلة الحماية المناسبة عند التعامل مع هذه المواد.	اذهب إلى المعلم لطلب الإسعافات الأولية.
 الأجسام الحادة	استخدام الأدوات أو المواد الزجاجية التي تخرج الجلد بسهولة.	الشرائح، الدبابيس، المشارط، الأدوات البديلة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور	تعامل بحكمة مع الأدوات واتبع إرشادات استخدامها.	اذهب إلى المعلم لطلب الإسعافات الأولية.
 الأيضرة	قد تسبب الأيضرة خطراً ممتدلاً على الجهاز التنفسي.	الأمويا، الأسيتون، مزيل طلاء الأظافر، الكبريت، الساخن، كرات العث	تأكد من وجود تهوية جيدة. لا تستنشق الأدخنة بصورة مباشرة. إطفأ، وارثد كمامة.	غادر المكان الذي به الأدخنة وأبلغ معلمك على الفور.
 الكهرباء	خطر محتمل من الصدمة الكهربائية أو الحرق.	تأريض غير صحيح، سائل متسكب، قصر في الدائرة، أسلاك مفرقة	تأكد من التوصيلات بالتعاون مع معلمك. افحص حالة الأسلاك والأجهزة.	لا تحاول إصلاح المشكلات الكهربائية. بل أبلغ معلمك على الفور.
 المواد المهيجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي في الجهاز التنفسي.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك غسيل الصحون، الألياف الزجاجية، برمنجنات البوتاسيوم	ارتد كمامة للفتار وقفازات. تعامل بحرص شديد مع هذه المواد.	اذهب إلى المعلم لطلب الإسعافات الأولية.
 المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتلغها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين، الأحماض مثل حمض الكبريتيك، حمض الهيدروكلوريك، القواعد مثل الأمونيا، هيدروكسيد الصوديوم	ارتد نظارة واقية وقفازات ومغطاً	اغسل المنطقة المصابة بالباء وأبلغ معلمك على الفور.
 المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا أُلغمت أو استنشقت أو ابتلعت.	الزئبق، العديد من المركبات الطرية، اليوم، أجزاء النباتات الاستوائية السامة	اتبع تعليمات المعلم.	اغسل يديك جيداً بعد الانتهاء من العمل. اذهب إلى المعلم لطلب الإسعافات الأولية.
 المواد القابلة للاشتعال	قد تشتعل بعض المواد الكيميائية القابلة للاشتعال بسبب اللهب المكشوف أو الشرر أو تعرضها لحرارة.	الكحول، الكيروسين، برمنجنات البوتاسيوم	تجنب الاقتراب من اللهب المكشوف أو الحرارة عند استخدام المواد الكيميائية القابلة للاشتعال.	أبلغ معلمك على الفور. استخدم مغطاً للحرق إن وجدت.
 اللهب المكشوف	قد يؤدي ترك اللهب مكشوفاً إلى حدوث حريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد الصناعية	اربط الشعر للخلف ولا ترتد الملابس الفضفاضة. اتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب وإطفائه.	أبلغ معلمك على الفور. استخدم مغطاً للحرق إن وجدت.

 سلامة العين	 وقاية الملابس	 نشاط إشعاعي	 غسل اليدين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند إجراء الأنشطة العملية أو مراقبتها.	يظهر هذا الرمز عندما يحتمل أن تسبب المواد بقاً أو حرقاً للملابس.	يظهر هذا الرمز عند استخدام المواد المشعة.	بعد كل تجربة، اغسل يديك بالباء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

شكر و تقدير

نسخة الطلاب

vii (t) McGraw-Hill Education, (bl) McGraw-Hill Education, (br) McGraw-Hill Education; x Glow Images; xi Roberto Caucino/Shutterstock.com; xii Wavebreak Media Ltd/123RF; xiii NASA GSFC image by Robert Simmon and Reto Stöckli; xviii (t) Fuse/Getty Images, (b) Jiro Mochizuki/Image of Sport/Newscom; xix (tr) Dream Stock/SuperStock, (tr) Heinz Hemken/iStock/Getty Images, (tr) xiao ke ma/Getty Images, (tr) Casey Lee/E+/Getty Images, (tr) Howard Lipin/ZUMApress/Newscom, (cl) Ryan McVay/Getty Images, (cl) McGraw-Hill Education, (cl) Image Source/Alamy, (cl) Richard Hutchings/Digital Light Source, (cl) C Squared Studios/Getty Images, (cl) Ryan McVay/Getty Images, (cl) Dja65/Shutterstock.com, (cl) Darren Pullman/Shutterstock.com, (cl) Stockbyte/Getty Images, (cl) Dmitry Naumov/Shutterstock.com, (cl) Ingram Publishing/Alamy Stock Photo, (cl) C Squared Studios/Getty Images, (cl) Ken Karp/McGraw-Hill Education, (cr) Methanon/Shutterstock.com, (br) Vit Kovalcik/iStock/Getty Images, (br) Ingram Publishing/SuperStock; xx James Lauritz/Digital Vision/Getty Images; xxi Dynamic Graphics/SuperStock, 001-002 Gustoimages/Photo Researchers; 4 (t) Visual Ideas/Camilo Morales/

Getty Images, (c) Hutchings Photography/Digital Light Source, (b) Hutchings Photography/Digital Light Source; 5 Matt Meadows/McGraw-Hill Education; 10 (t) Hutchings Photography/Digital Light Source, (c) Hutchings Photography/Digital Light Source, (b) Hutchings Photography/Digital Light Source; 11 Marvin Dembinsky Photo Associates/Alamy; 13 BERND THISSEN/EPA/Newscom; 16 Dave and Les Jacobs/Blend Images; 26 Jupiterimages/Getty Images; 028-029 NASA; 30 (t) StockTrek/Getty Images, (bl) Newberry Library/SuperStock, (br) Newberry Library/SuperStock; 32 agf photo/SuperStock; 37 NASA GSFC image by Robert Simmon and Reto Stöckli; 39 StockTrek/Getty Images; 41 (t) Science and Society/SuperStock, (b) Zero-G; 43 Stephen Frisch/McGraw-Hill Education; 44 Ted Kinsman/Photo Researchers; 46 (b) Reto Stöckli, Nazmi El Saleous, and Marit Jentoft-Nilsen, NASA GSFC, (bkgd) NASA/JPL-Caltech; 50 McGraw-Hill Education; 054-055 Dennis MacDonald/Alamy; 56 Don Mason/Getty Images; 59 Jill Braaten/McGraw-Hill Education; 60 Ryan McVay/Photodisc/Getty Images; 62 Hutchings Photography/Digital Light Source; 63 Stephen Markeson/Alamy; 71 (t) Rubberball/Erik Isakson/Getty Images, (b) Berenice Abbott/Science Source; 78 (inset) Vit Kovalcik/iStock/

Getty Images, (bkgd) Ingram Publishing/SuperStock; 82 Rosemarie Stennull/Alamy; MS-00 Photodisc/Getty Images; vii (t) McGraw-Hill Education, (bl) McGraw-Hill Education, (br) McGraw-Hill Education; x Glow Images; xi Roberto Caucino/Shutterstock.com; xii Wavebreak Media Ltd/123RF; xiii NASA GSFC image by Robert Simmon and Reto Stöckli; xix (tr) Dream Stock/SuperStock, (tr) Heinz Hemken/iStock/Getty Images, (tr) xiao ke ma/Getty Images, (tr) Casey Lee/E+/Getty Images, (tr) Howard Lipin/ZUMApress/Newscom, (cl) Ryan McVay/Getty Images, (cl) McGraw-Hill Education, (cl) Image Source/Alamy, (cl) Richard Hutchings/Digital Light Source, (cl) C Squared Studios/Getty Images, (cl) Ryan McVay/Getty Images, (cl) Dja65/Shutterstock.com, (cl) Darren Pullman/Shutterstock.com, (cl) Stockbyte/Getty Images, (cl) Dmitry Naumov/Shutterstock.com, (cl) Ingram Publishing/Alamy Stock Photo, (cl) C Squared Studios/Getty Images, (cl) Ken Karp/McGraw-Hill Education, (cr) Methanon/Shutterstock.com, (br) Vit Kovalcik/iStock/Getty Images, (br) Ingram Publishing/SuperStock; xviii (t) Fuse/Getty Images, (b) Jiro Mochizuki/Image of Sport/Newscom; xx James Lauritz/Digital Vision/Getty Images; xxi Dynamic Graphics/SuperStock,

دلائل رموز الغلاف

لون الحلقة الثالثة



مركز اتصال وزارة التربية والتعليم
اقتراح - استفسار - شكوى



800511115



04-2176855



www.moe.gov.ae



ccc.moe@moe.gov.ae

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

نرحب لكم في

منتديات صقر الجنوب التعليمية

قسم الامارات العربية المتحدة

الصف الثالث جميع المواد

الصف الثاني جميع المواد

الصف الأول جميع المواد

الصف السادس جميع المواد

الصف الخامس جميع المواد

الصف الرابع جميع المواد

الصف التاسع جميع المواد

الصف الثامن جميع المواد

الصف السابع جميع المواد

الصف الثاني عشر جميع المواد

الصف الحادي عشر جميع المواد

الصف العاشر جميع المواد

www.jnob-jo.com