المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء ٢

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٥ - ٢٠٢٣

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

ⓒ وزارة التعليم، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وزارة التعليم

الفيزياء ٢ -نظام المسارات- الفصل الدراسي الثالث - / وزارة التعليم. الرياض ، ١٤٤٣هـ .

٢٤٢ص ؛ ٢١ X ٢٧,٥ سم

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

١ ـ الفيزياء٢ ـ كتب دراسية السعودية. أ ـ العنوان

ديوي ٥٣٠,٠٧١٢ ١٤٤٣/٨١١٤

رقم الإيداع : ١٤٤٣/٨١١٤

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة العربية السعودية بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (فيزياء٢) لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (٢٠٣٠) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (٢٠٣٠) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحا وتفسيرا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، ومظللة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

ونسأله سبحانه أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

الفصل 2

الحركة الدورانية
Rotational Motion

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الحركة الدورانية وقياسها.
- تَعــرُّف كيفية تغيير العــزم للسرعة المتجهة الدورانية.
- استكشــاف العوامل التــي تؤثر في استقرار جسم ما.
- توضيح أن القوة الطاردة المركزية قوة وهمية.

الأهمية

تشاهد الكثير من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية في حياتك اليومية ، ومنها قرص الحاسوب المدمج CD ، والإطارات، وبعض الألعاب في مدينة الألعاب.

العربة الدوّارة تُصمَّم العربات الدوارة في مدن الألعاب، بحيث تحقق للراكب الإثارة؛ فهي تشعر الراكب بالابتهاج في أثناء دوران العربات. وتخضع حركة هذه العربات لقوانين فيزياء الحركة الدورانية ومبادئها.

فكِّر ◄

لماذا يتعــرض الراكب في العربة الدوارة لردود فعل بدنية قوية؟

تصمم عربات مدينة الألعاب بحيث تُسارع الراكب بعدة طرائق.

موقع واجباتي

تجربة استهلالية

كيف يتزن الجسم دورانيًّا؟

سؤال التجربة هل يمكن جعل مسطرة معلّقة من منتصفها في حالة اتزان دوراني عند تعليق أثقال مختلفة على جانبيها؟

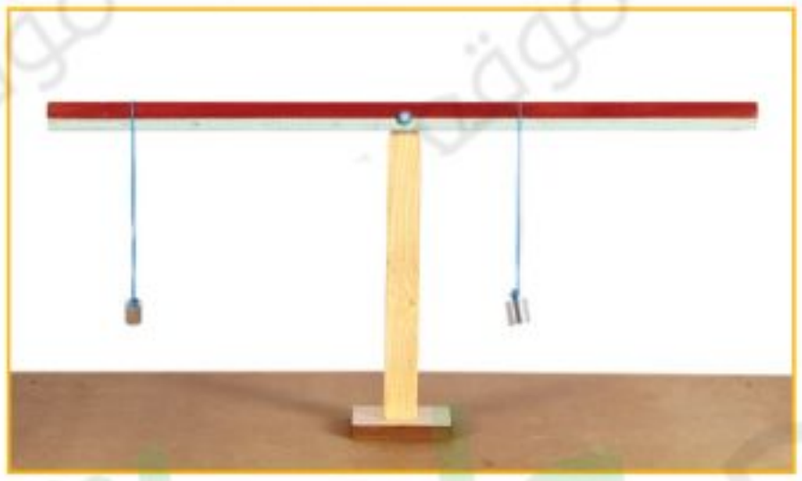
الخطوات

1. ستحتاج في هذه التجربة إلى: مسطرة مترية خشبية، وشريط قياس متري، وأثقال مختلفة، وخيوط، ومقص.
2. علّق المسطرة من منتصفها على حامل رأسي، بحيث يمكن تدويرها حول نقطة التعليق. واربط كل ثقل من الأثقال بخيط.
3. علّق ثقلًا على أحد جانبي المسطرة، وقس بعده عن نقطة التعليق وسجله.
4. علّق ثقلًا آخر مختلفًا على الجانب الآخر للمسطرة، بحيث تجعلها تتزن أفقيًّا ولا تدور، وقس بُعده عن نقطة التثبيت، وسجله.
5. كرّر الخطوتين 3 و4 بتعليق أثقال مختلفة.

التحليل

أوجد حاصل ضرب كل قوة (وزن الثقل) في بُعدها عن نقطة التعليق (محور الدوران). قارن بين بيانات كل محاولة، هل تأخذ هذه البيانات نمطًا محددًا؟ وضح ذلك

التفكير الناقد ما شرط اتزان جسم دورانيًّا؟



رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–2 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

لا بدَّ أنك لاحظت كثيرًا من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية. فكيف تقيس الحركة الدورانية لهذه الأجسام؟ خذ جسمًا دائريًّا كقرص CD مثلًا، وضع إشارتين: إحداهما على القرص، والأخرى في المكان الذي تحدِّدُ فيه نقطة البداية. ثم دوّر القرص إلى اليسار (في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة)، وراقب موضع العلامة. وعندما تعود الإشارة إلى نقطة البداية يكون القرص قد أكمل دورة كاملة واحدة. ولكن كيف تقيس جزءًا من الدورة؟ هناك وحدات مختلفة لقياس زوايا الدوران، منها وحدة الدرجة التي تعادل $\frac{1}{360}$ من الدورة الكاملة. وهناك وحدة أخرى تُستعمل كثيرًا في الرياضيات والفيزياء لقياس زوايا الدوران، وهي وحدة **الراديان**؛ فعندما يُتم قرصٌ دورةً كاملة فإن أي نقطة واقعة على حافته تقطع مسافة تساوي 2π مضروبة في نصف قطر القرص. لذا يُعرّف الراديان (radian) بأنه $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة (Revolution)، أيْ أن الدورة الكاملة تساوي 2π radians. ويرمز إلى الراديان بالرمز rad .

الأهداف

- تصف الإزاحة الزاويّة.
- تحسب السرعة الزاويّة المتجهة.
- تحسب التسارع الزاويّ.
- تحل مسائل تتعلق بالحركة الدورانية.

المفردات

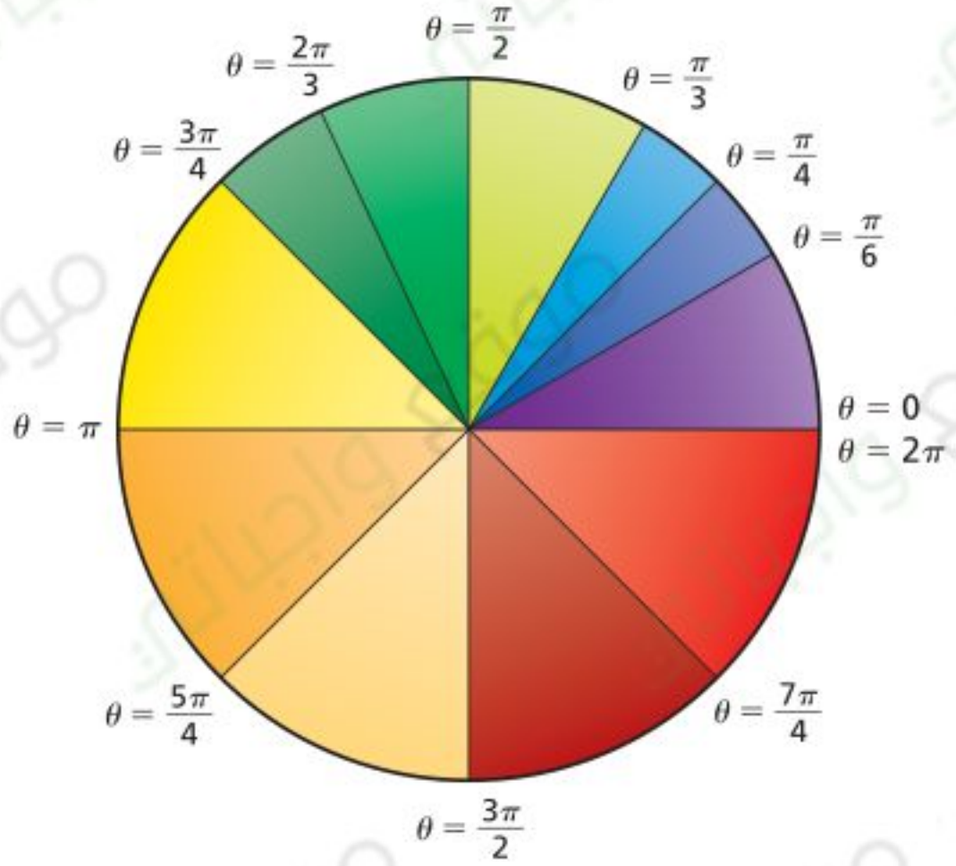
الراديان

الإزاحة الزاويّة

السرعة الزاويّة المتجهة

التسارع الزاويّ

موقع واجباتي



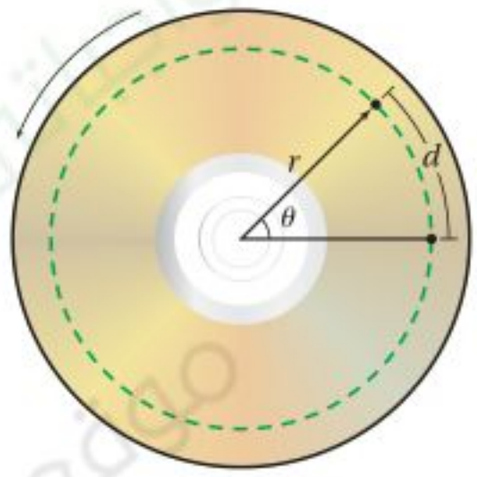
الشكل 1–2 يبين الرسم تمثيل بياني بالقطاع الدائري قياس الراديان لمعظم الزوايا الشهيرة مقيسة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وكل زاوية مقيسة من الزاوية $\theta = 0$.

الإزاحة الزاويّة Angular Displacement

يبين **الشكل 1 – 2** القياس بالراديان لمعظم الزوايا الشهيرة، والتي تمثل أجزاء من الدورة الكاملة، ويرمز لزاوية الدوران بالرمز θ (ثيتا). وقد اعتُبِرَ أن اتجاه الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة يُعدّ موجبًا، ويعد سالبًا إذا كان في اتجاه حركة عقارب الساعة. أما التغير في الزاوية في أثناء دوران الجسم فيسمى **الإزاحة الزاويّة**.

تدور الأرض حول محورها دورة واحدة كل يوم، أي 2π rad في 24 h، وتدور π rad في 12 h. فما زاوية دوران الأرض خلال 6 h؟ بما أن 6 h تمثل ربع اليوم، فإن الأرض تدور بزاوية ($\frac{\pi}{2}$ rad) خلال هذه الفترة. ويُعد دوران الأرض كما يُرى من القطب الشمالي موجبًا، فهل يكون دوران الأرض موجبًا أم سالبًا أيضًا عندما تُشاهده من القطب الجنوبي؟

ما المسافة التي تتحركها نقطة واقعة على جسم يدور؟ عندما يُتم الجسم الدوار دورة كاملة فإن النقطة الواقعة على حافته تتحرك مسافة تساوي 2π مضروبة في نصف قطر الجسم. فإذا دارت نقطة على بعد r من المركز بزاوية θ، كما في الشكل **2 – 2**، فإن المسافة التي تتحركها النقطة يُعبّر عنها بالعلاقة $d = r\,\theta$. والبعض يظن أنه إذا قيست r بالمتر فإن ذلك يجعل d مقيسة بوحدة m.rad، وهذا ليس صحيحًا؛ فالراديان يمثل النسبة بين d و r، لذا تقاس d بوحدة m.



الشكل 2–2 يمثل الخط المنقط المسار الذي تسلكه نقطة على CD عندما يدور الـ CD في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول مركزه.

السرعة الزاويّة المتجهة Angular Velocity

ما سرعة دوران قرص الـ CD؟ وكيف تُحدّد مقدار سرعته الدورانية؟ تعرف أن السرعة هي ناتج قسمة الإزاحة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الإزاحة. وبالمثل، فإن **السرعة الزاويّة المتجهة** لجسم هي ناتج قسمة الإزاحة الزاويّة على الزمن الذي يتطلبه حدوث

هذه الإزاحة. لذا يُعبر عن السرعة الزاويّة المتجهة ω بالمعادلة الآتية:

السرعة الزاويّة المتجهة $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

"السرعة الزاويّة المتجهة تساوي الإزاحة الزاوية مقسومة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الدوران".

عندما تتغير السرعة المتجهة خلال فترة زمنية معينة فإن السرعة المتجهة المتوسطة لا تساوي السرعة المتجهة اللحظية عند كل لحظة خلال تلك الفترة. وينطبق الأمر نفسه على حساب السرعة الزاويه المتجهة؛ فعند حساب السرعة الزاويه المتجهة المتوسطة خلال فترة زمنية Δt فإننا نكون قد حسبنا السرعة الزاوية المتجهة المتوسطة خلال تلك الفترة. أما السرعة الزاوية المتجهة اللحظية فتساوي ميل المنحنى للعلاقة بين الموقع الزاوي والزمن. تقاس السرعة الزاوية المتجهة بوحدة rad /s . تكون السرعة الزاوية للأرض مثلاً

$$\omega_E = (2\pi \text{ rad}) / (24.0 \text{ h})(3600 \text{ s /h}) = 7.27\times10^{-5} \text{ rad /s}$$

إن الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة يجعل الإزاحة الزاوية موجبة، ويجعل السرعة الزاوية المتجهة موجبة أيضًا. فإذا كانت السرعة الزاوية المتجهة لجسم ما ω فإن السرعة الخطية المتجهة v لنقطة على بعد r من محور الدوران تساوي $v = r\omega$، ويعبر عن مقدار سرعة جسم على خط الاستواء يتحرك نتيجة دوران الأرض بالعلاقة: $v = r\omega = (6.38\times10^6 \text{ m})(7.27\times10^{-5} \text{ rad /s}) = 464 \text{ m /s}$

وتُعد الأرض مثالاً على حركة جسم صلب حركة دورانية. وعلى الرغم من أن النقاط المختلفة على الأرض تقطع مسافات مختلفة في كل دورة، إلا أن هذه النقاط جميعها تدور خلال الزاوية نفسها، وكل أجزاء الجسم الصلب تدور بالمعدل نفسه. أما الشمس فليست جسمًا صلبًا، لذا تدور الأجزاء المختلفة منها بمعدلات مختلفة. وستدرس في هذا الفصل دوران الأجسام الصلبة.

الربط مع الفلك

التسارع الزاويّ Angular Acceleration

ماذا لو تغيرت السرعة الزاويّة المتجهة؟ إذا تسارعت سيارة مثلاً من 0.0 m /s إلى 25 m /s خلال 15.0 s، وكان نصف قطر إطاراتها 32 cm فإن السرعة الزاوية المتجهة لإطارات السيارة تتغير أيضًا من 0.0 rad /s إلى 78 rad /s خلال الفترة الزمنية نفسها. أيْ يكون لإطارات السيارة **تسارع زاويّ** يُعرّف بأنه التغير في السرعة الزاويّة المتجهة مقسومًا على الزمن الضروري لحدوث هذا التغير، وعمومًا يعبَّر عن التسارع الزاوي α بالعلاقة:

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

التسارع الزاوي يساوي التغير في السرعة الزاوية المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.

موقع واجباتي

ويقاس التسارع الزاوي بوحدة rad/s^2 ، فإذا كان التغير في السرعة الزاوية المتجهة موجبًا كان التسارع الزاوي موجبًا أيضًا. إن التسارع الزاوي المعبر عنه بهذه العلاقة هو نفسه التسارع الزاوي المتوسط خلال الفترة الزمنية Δt. ومن طرائق حساب التسارع الزاوي اللحظي إيجاد ميل العلاقة البيانية بين السرعة الزاوية المتجهة والزمن. ويمكن حساب التسارع الخطي لنقطة على بعد r من محور جسم إذا علم تسارعه الزاوي α، وفقًا للعلاقة $a = r\alpha$. والجدول 1–2 يبين ملخص العلاقات بين الكميّات الخطية والزاوية.

الجدول 1–2

قياسات خطية وزاويَة

الكمية	الخطّيَة	الزاويَة	العلاقة
الإزاحة	d (m)	θ (rad)	$d = r\theta$
السرعة المتجهة	v (m/s)	ω (rad/s)	$v = r\omega$
التسارع	a (m/s^2)	α (rad/s^2)	$a = r\alpha$

مسائل تدريبية

1. ما الإزاحة الزاويّة لعقارب ساعة يد خلال 1 h؟ اكتب إجابتك بثلاثة أرقام معنوية، وذلك لـ:
   a. عقرب الثواني
   b. عقرب الدقائق
   c. عقرب الساعات.
2. إذا كان التسارع الخطي لعربة نقل $1.85\ m/s^2$، والتسارع الزاوي لإطاراتها $5.23\ rad/s^2$ فما قطر الإطار الواحد للعربة؟
3. إذا كانت العربة التي في السؤال السابق تسحب قاطرة قطر كل من إطاراتها 48 cm، قارن بين:
   a. التسارع الخطي للقاطرة والتسارع الخطي للعربة.
   b. التسارع الزاوي للقاطرة والتسارع الزاوي للعربة.
4. إذا استبدلت بإطارات سيارتك إطارات أخرى قطرها أكبر فكيف تتغير السرعة الزاوية المتجهة وعدد الدورات إذا قمت بالرحلة نفسها، وقطعت المسافة نفسها ملتزمًا بالسرعة الخطية نفسها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

1. ما الإزاحة الزاويّة لعقارب ســـاعة يد خلال 1 h؟ اكتب إجابتك بثلاثة أرقام معنوية، وذلك لـ:

a. عقرب الثواني $\Delta\theta = (60)(-2\pi\ \text{rad})$

$= -120\pi\ \text{rad}$ أو $-377\ \text{rad}$

b. عقرب الدقائق

$\Delta\theta = -2\pi\ \text{rad}$ أو $-6.28\ \text{rad}$

c. عقرب الساعات.

$$\Delta\theta = \left(\frac{1}{12}\right)(-2\pi\ \text{rad})$$

$= -\frac{\pi}{6}\ \text{rad}$ أو $-0.524\ \text{rad}$

2. إذا كان التســـارع الخطي لعربة نقل $1.85\ \text{m/s}^2$، والتسارع الزاوي لإطاراتها $5.23\ \text{rad/s}^2$ فما قطر الإطار الواحد للعربة؟

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

$$= \frac{1.85\ \text{m/s}^2}{5.23\ \text{rad/s}^2}$$

$= 0.354\ \text{m}$

لذا، فالقطر يساوي $0.707\ \text{m}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445
موقع واجباتي

3. إذا كانت العربة التي في السؤال السابق تسحب قاطرة قطر كل من إطاراتها 48 cm، قارن بين:

a. التسارع الخطي للقاطرة والتسارع الخطي للعربة.

التغيرات في السرعة المتجهة هي نفسها، لذا فإن التسارعين الخطيين متساويان.

b. التسارع الزاوي للقاطرة والتسارع الزاوي للعربة.

لما كان نصف قطر الإطار قد نقص من 35.4 cm إلى 24 cm، فإن التسارع الزاوي سيزيد.

$$\alpha_1 = 5.23\ \text{rad/s}^2$$

$$\alpha_2 = \frac{a_2}{r} = \frac{1.85\ \text{m/s}^2}{0.24\ \text{m}}$$

$$= 7.7\ \text{rad/s}^2$$

4. إذا استبدلت بإطارات سيارتك إطارات أخرى قطرها أكبر فكيف تتغير السرعة الزاوية المتجهة وعدد الدورات إذا قمت بالرحلة نفسها، وقطعت المسافة نفسها ملتزمًا بالسرعة الخطية نفسها؟

بما أن $\omega = \frac{v}{r}$، فإنه إذا زادت r، فستقل ω، وسيقل عدد الدورات.

موقع واجباتي

5. السرعة الزاوية المتجهة يدور القمر حول محوره دورة كاملة خلال 27.3 يومًا، فإذا كان نصف قطر القمر $1.74\times10^{6}\ m$، فاحسب:

a. زمن دوران القمر بوحدة الثانية.

$$T = (27.3\ day)(24\ h/day)(3600\ s/h)$$

$$= 2.36\times10^{6}\ s$$

b. السرعة الزاوية لدوران القمر بوحدة rad /s.

$$\omega = \frac{1}{T}$$

$$= \frac{1}{2.36\times10^{6}}\ rev/s$$

أو

$$= 2.66\times10^{-6}\ rad/s$$

c. مقدار السرعة الخطية لصخرة على خط الاستواء للقمر (الناتجة فقط عن دوران القمر)؟

$$v = r\omega$$

$$= (1.74\times10^{6}\ m)(2.66\times10^{-6}\ rad/s)$$

$$= 4.63\ m/s$$

d. النسبة بين مقدار السرعة الخطية في الفقرة السابقة والسرعة الخطية الناتجة عن دوران الأرض لشخص يقف على خط الاستواء. علمًا بأن سرعة الأرض عند خط الاستواء 464 m /s.

السرعة عند خط الاستواء الأرضي 464 m/s، أو أسرع 100 مرة تقريبًا.

6. الإزاحة الزاوية إذا كان قطر الكرة المستخدمة في فأرة الحاسوب 2.0 cm، وحَرّكت الفأرة 12 cm، فما الإزاحة الزاوية للكرة؟

$$= r\theta$$

$$\theta = \frac{d}{r} = \frac{12\ cm}{1.0\ cm} = 12\ rad$$

7. الإزاحة الزاوية هل لكل أجزاء عقرب الدقائق الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل لها إزاحة خطية متماثلة؟

الإزاحة الزاوية–نعم، المسافة الخطية–لا؛ لأن المسافة الخطية دالة في نصف القطر.

8. التسارع الزاوي يدور الملف الأسطواني في محرك غسالة الملابس 635 rev /min (أي 635 دورة في الدقيقة)، وعند فتح غطاء الغسالة يتوقف المحرك عن الدوران. فإذا احتاج الملف 8.0 s حتى يتوقف بعد فتح الغطاء فما التسارع الزاوي للملف الأسطواني؟

$$\omega_i = 635\ rpm = 66.53\ rad/s$$

$$\omega_f = 0.0,$$

لذا فإن

$$\Delta\omega = -66.5\ rad/s$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{-66.5\ rad/s}{8.0\ s}$$

$$= -8.3\ rad/s^2$$

9. التفكير الناقد يبدأ مسار لولبي على قرص مضغوط CD على بُعد 2.7 cm من المركز، وينتهي على بُعد 5.5 cm. ويدور القرص المضغوط بحيث تتغير السرعة الزاوية كلما ازداد نصف قطر المسار، ويبقى مقدار السرعة الخطية المتجهة للمسار اللولبي ثابتًا ويساوي 1.4 m /s. احسب ما يأتي:

المسار اللولبي على قرص (CD)

a. السرعة الزاوية المتجهة للقرص (بوحدة rad /s وrev /min) عند بداية المسار.

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

$$= \frac{1.4\ \text{m/s}}{0.027\ \text{m}}$$

$$= 52\ \text{rad/s}$$

$$= 5.0 \times 10^{2}\ \text{rev/min}$$

b. السرعة الزاوية المتجهة للقرص عند نهاية المسار.

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

$$= \frac{1.4\ \text{m/s}}{0.055\ \text{m}}$$

$$= 25\ \text{rad/s}$$

$$= 2.4 \times 10^{2}\ \text{rev/min}$$

c. التسارع الزاوي للقرص إذا كان زمن قراءته كاملًا 76 min.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{-25\ \text{rad/s} - 52\ \text{rad/s}}{(76\ \text{min})\ (60\ \text{s/min})}$$

$$= -5.9 \times 10^{-3}\ \text{rad/s}^2$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي
رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

الأهداف
- **تصف** العزم.
- **تحدّد** العوامل التي يعتمد عليها العزم.
- **تحسب** محصلة العزم.

المفردات
ذراع القوة
العزم

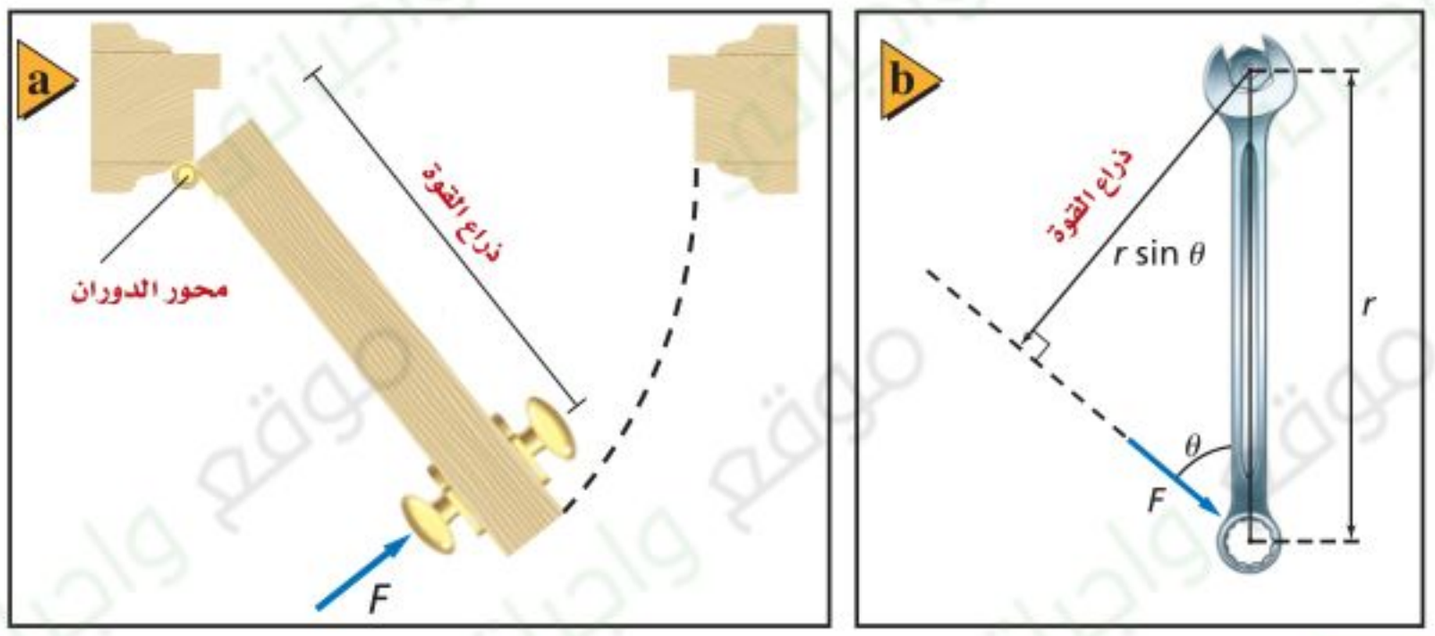
كيف تبدأ الحركة الدورانية لجسم ما؟ كيف تتغير سرعته الزاوية المتجهة؟ إذا كان لديك علبة أسطوانية، وأردت أن تديرها حول نفسها فما عليك إلا أن تلف خيطًا حولها ثم تسحبه بقوة فتدور، وكلما سحبت الخيط بقوة أكبر زادت سرعة دورانها. تؤثر في العلبة – في هذه الحالة – قوتان، هما قوة الجاذبية الأرضية، وقوة الشد في الخيط. أما قوة الجاذبية الأرضية فتؤثر في مركز العلبة، ولذلك لا تؤدي إلى تدوير العلبة (ستعرف السبب لاحقًا). وأما قوة الشد في الخيط فتؤثر في الحافة الخارجية للعلبة، ويكون اتجاه قوة الشد متعامدًا مع اتجاه الخط الواصل بين مركز العلبة والنقطة التي يلامس عندها الخيط سطح العلبة مبتعدًا عنها.

وكما تعلمت، فإن القوة المؤثرة في جسم نقطي تغير من سرعته الخطية المتجهة، أما الجسم غير النقطي والذي يكون ثابتًا في الشكل والحجم– كما في حالة العلبة الأسطوانية– فإن تأثير القوة فيه بطريقة معينة يغير سرعته الزاوية المتجهة. تأمل حالة فتح باب مغلق؛ إنك تؤثر في الباب بقوة لكي تفتحه، ولكن ما أسهل طريقة لفتح الباب؟ إن ما يعنينا هو الحصول على أكبر أثر عند التأثير بأقل قوة ممكنة. ولتحقيق هذا نجعل نقطة تأثير القوة أبعد ما يمكن عن محور الدوران، انظر **الشكل 3 –2**. إن محور الدوران في حالة الباب هو خطٌّ وهميٌّ رأسيٌّ يمرّ من خلال مُفصّلات الباب. أما نقطة تأثير القوة فهي مقبض الباب الذي يكون بجانب الطرف الخارجي للباب. ولضمان أثر فعال للقوة فإننا نؤثر بها في مقبض الباب (بعيدًا عن المُفصّلات) وبزاوية قائمة بالنسبة للباب ، حيث يحدّد كل من مقدار القوة واتجاهها، والمسافة بين المحور ونقطة تأثير القوةِ، التغيرَ في السرعة الزاوية المتجهة.

■ **الشكل 3–2** عند فتح باب حر الدوران حول المُفصّلات يتولد أكبر عزم عندما تؤثر القوة في أبعد نقطة عن المُفصّلات (**a**) بزاوية متعامدة مع الباب (**b**)

ذراع القوة عند التأثير بقوة معينة، فإن التغير في السرعة الزاوية المتجهة يعتمد على **ذراع القوة**، وهي المسافة العمودية من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. فإذا كانت القوة متعامدة مع نصف قطر الدوران –كما هو الحال في العلبة الأسطوانية– فإن ذراع القوة تساوي البعد عن المحور، وتساوي r. أما بالنسبة للباب فإن ذراع القوة تساوي البعد بين المفصّلات ونقطة تأثير القوة، انظر **الشكل 4a – 2**. وإذا لم تكن القوة متعامدة مع محور الدوران نأخذ المركبة العمودية للقوة. فالقوة التي يؤثر بها الخيط حول العلبة متعامدة مع نصف قطر العلبة، وإذا كانت القوة المؤثرة غير متعامدة مع نصف القطر فإن مقدار ذراع القوة يقل. ولإيجاد ذراع القوة نمدّ خط متّجه القوة حتى يشكّل زاوية قائمة مع الخط الممتد من مركز الدوران، فتكون المسافة بين نقطة التقاطع والمحور هي ذراع القوة. وباستخدام حساب المثلثات يمكن إيجاد طول ذراع القوة L بالمعادلة $L = r \sin \theta$، انظر **الشكل 4b – 2**. وتمثل r المسافة بين محور الدوران ونقطة تأثير القوة، أما θ فهي الزاوية المحصورة بين القوة المؤثرة ونصف القطر (المتجه الممتد من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة).

موقع واجباتي



■ **الشكل 4–2** تكون ذراع القوة محاذية لعرض الباب من المُفصَلات حتى نقطة تأثير القوة **(a)**، تحسب ذراع القوة (L) من المعادلة $L = r \sin \theta$ عندما تكون الزاوية θ بين القوة ونصف قطر الدوران لا تساوي $90°$ **(b)**.

العـــزم مقياس لمقدرة القوة على إحداث الدوران، ومقدار العزم يســـاوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها. ولأنّ القوة مقيســـة بوحدة النيوتن والمسافة بوحدة المتر فإن العزم يقاس بوحدة (N.m)، ويرمز له بالحرف اللاتيني τ، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

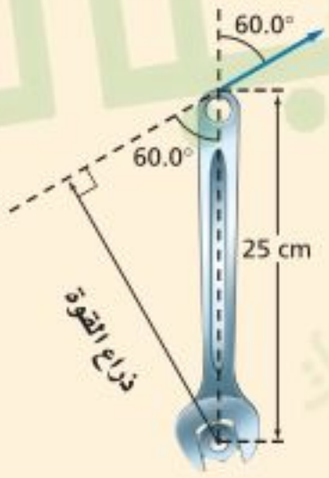
$$\tau = Fr \sin \theta \quad \text{العزم}$$

العزم يساوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها.

مثـــــال 1

ذراع القوة يتطلب شد صامولة في محرك سيارة عزمًا مقداره 35 N.m. إذا استخدمت مفتاح شد طوله 25 cm، فأثرت في نهاية المفتاح بقوة تميل بزاوية $60.0°$ بالنسبة إلى الرأسي فما طول ذراع القوة؟ وما مقدار القوة التي يجب أن تُؤثر بها؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل الوضع، وجد طول ذراع القوة بسحب متجه القوة من نهايته حتى يتقاطع الخط العمودي عليه مع محور الدوران.

المعلوم $r = 0.25 \text{ m}$ ، $\tau = 35 \text{ N.m}$ ، $\theta = 60.0°$

المجهول $L = ?$ $F = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

جد طول ذراع القوة باستخدام العلاقة.

عوّض مستخدمًا $r = 0.25 \text{ m}$ ، $\theta = 60.0°$

$$L = r \sin \theta$$
$$= (0.25 \text{ m})(\sin 60.0) = 0.22 \text{ m}$$

عوّض مستخدمًا $\tau = 35 \text{ N.m}$ ، $r = 0.25 \text{ m}$ ، $\theta = 60.0°$

$$\tau = Fr \sin \theta \text{ ، } F = \frac{\tau}{r \sin \theta}$$
$$F = \frac{35 \text{ N.m}}{(0.25 \text{m})(\sin 60°)}$$
$$= 1.6 \times 10^2 \text{ N}$$

دليل الرياضيات

النسب المثلثية 229–228

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بوحدة النيوتن.
- **هل الإشارات مهمة هنا؟** تم حساب مقدار القوة اللازمة فقط لتدوير المفتاح في اتجاه حركة عقارب الساعة.

10. بالرجوع إلى مفتاح الشد في المثال 1، ما مقدار القوة التي يجب التأثير بها عموديًّا في مفتاح الشد؟

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

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

$$= \frac{35\ \text{N.m}}{(0.25\ \text{m})(\sin 90.0°)}$$

$$= 1.4 \times 10^2\ \text{N}$$

11. إذا تطلب تدوير جسم عزمًا مقداره 55.0 N.m، في حين كانت أكبر قوة يمكن التأثير بها 135 N، فما طول ذراع القوة الذي يجب استخدامه؟

بالنسبة إلى ذراع القوة الأقصر المحتمل، فإن $\theta = 90.0°$.

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

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

$$= \frac{55.0\ \text{N.m}}{(135\ \text{N})(\sin 90.0°)}$$

$$= 0.407\ \text{m}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

12. لديك مفتاح شد طوله 0.234 m، وتريد أن تستخدمه في إنجاز مهمة تتطلب عزمًا مقداره 32.4 N.m، عن طريق التأثير بقوة مقدارها 232 N. ما مقدار أقل زاوية تصنعها القوة المؤثرة بالنسبة إلى الرأسي، وتسمح بتوفير العزم المطلوب؟

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

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\tau}{Fr}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{32.4\ \text{N.m}}{(232\ \text{N})(0.234\ \text{m})}\right)$$

$$= 36.6°$$

13. إذا كانت كتلتك 65 kg ووقفت على بدالات دراجة هوائية، بحيث يصنع البدال زاوية مقدارها 35° على الأفقي، وتبعد مسافة 18 cm عن مركز حلقة السلسلة، فما مقدار العزم الذي تؤثر فيه؟ وما مقدار العزم الذي تؤثر فيه إذا كانت البدّالات رأسيَّة؟

الزاوية بين القوة ونصف القطر تساوي $90° - 35° = 55°$.

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

$$= mgr \sin\theta$$

$$= (65\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.18\ \text{m})(\sin 55°)$$

$$= 94\ \text{N.m}$$

أما عندما تكون البدّالات رأسية فإن $\theta = 0.0°$، لذا يكون

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

$$= mgr\ (\sin 0.0°)$$

$$= 0.0\ \text{N.m}$$

إيجاد محصلة العزم Finding Net Torque

نفــذ التجربة التاليــة: خذ قلمي رصاص، وقطــع نقد معدنية، وشريطًا لاصقًا شــفافًا، وثبــت قطعتي نقد متماثلتــين بنهايتي أحد القلمين، ودعه يتزن فــوق القلم الثاني، كما في **الشــكل 5–2**. تؤثر كل من قطعتي النقد بعزم مســاوٍ لوزنها F_g مضروبًا في المسافة r من نقطة الاتزان إلى مركز قطعة النقد على النحو الآتي:

$$\tau = F_g r$$

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

$$\tau_1 + \tau_2 = 0$$

أو

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

والآن، كيــف تجعل القلم يدور؟ يجــب إضافة قطعة نقد أخرى فــوق إحدى القطعتين النقديتين، ممّا يجعل القوتين مختلفتين، كما يمكــن إزاحة نقطة الاتزان نحو إحدى قطعتي النقد، مما يجعل المسافتين مختلفتين.

تجربة عملية

العزوم

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

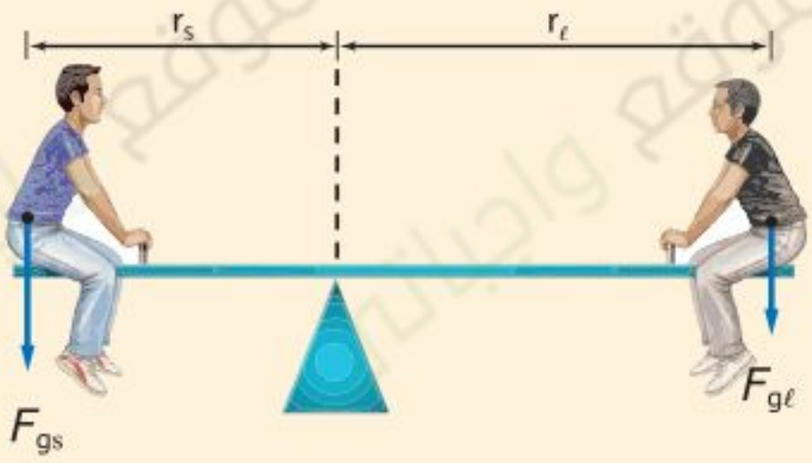
الشكل 5 – 2 عندما يتزن قلم الرصاص فإن العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الأولى $F_{g1}\ r_1$ يساوي العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الثانية $F_{g2}\ r_2$ في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.

مثـــــال 2

اتزان العزوم يلعب سعيد ولؤي على أرجوحة أفقية طولها 1.75 m بحيث يحافظان على وضع الاتزان للعبة، فإذا كانت كتلة سعيد 56 kg وكتلة لؤي 43 kg فما بُعد نقطة الارتكاز عن كل منهما؟ (أهمل وزن لوح الأرجوحة).

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع.
- ارسم المتجهات ثمّ سمِّها.



المعلوم

$m_s = 56\ \text{kg}$

$m_\ell = 43\ \text{kg}$

$r_s + r_\ell = 1.75\ \text{m}$

المجهول

$r_s = ?$

$r_\ell = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب مقدار القوتين.

سعيد:

$$F_{gs} = m_s g = (56\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 5.5 \times 10^2\ \text{N}$$

عوض مستخدمًا $g = 9.80\ \text{m/s}^2,\ m_s = 56\ \text{kg}$

لؤي:

$$F_{g\ell} = m_\ell g = (43\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 4.2 \times 10^2\ \text{N}$$

عوّض مستخدمًا $g = 9.80\ \text{m/s}^2,\ m_\ell = 43\ \text{kg}$

احسب بعد سعيد عن نقطة الارتكاز بدلالة طول لعبة الميزان وكذلك بُعد لؤي. $r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$

عندما لا يحدث الدوران يكون مجموع العزوم صفرًا.

$$F_{gs}\, r_s = F_{g\ell}\, r_\ell \rightarrow F_{gs}\, r_s _ F_{g\ell} r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$

عوض مستخدمًا $r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$

$$F_{gs}\,(1.75\ \text{m} - r_\ell) - F_{g\ell}\, r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$

$$F_{gs}\,(1.75\ \text{m}) - F_{gs}\, r_\ell - F_{g\ell}\, r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$

حل المعادلة لإيجاد r_ℓ

$$F_{gs}\, r_\ell + F_{g\ell}\, r_\ell = F_{gs}\,(1.75\ \text{m})$$

$$(F_{gs} + F_{g\ell})\, r_\ell = F_{gs}\,(1.75\ \text{m})$$

$$r_\ell = \frac{F_{gs}\,(1.75\ \text{m})}{(F_{gs} + F_{g\ell})}$$

عوّض مستخدمًا $F_{g\ell} = 4.2 \times 10^2\ \text{N},\ F_{gs} = 5.5 \times 10^2\ \text{N}$

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

$$= 0.99\ \text{m}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس المسافة بالمتر.
- **هل للإشارات المستخدمة معنى؟** المسافات تكون موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** لؤي على بُعد 1 m تقريبًا من المركز، لذا يكون سعيد على بُعد 0.75 m من المركز. ولأن وزن سعيد أكبر من وزن لؤي، فيكون ذراع القوة لديه أقل مما لدى لؤي، أيْ أن لؤيًّا على بُعد أكبر من نقطة الاتزان.

14. يجلس عـــليّ على بُعد 1.8 m من مركز الأرجوحة، فعلى أي بعد من مركـــز الأرجوحة يجب أن يجلس عبدالله حتى يتزن؟ علمًا بأنَّ كتلة عليّ 43 kg وكتلة عبدالله 52 kg.

$$F_{\text{عليّ}}\, r_{\text{عليّ}} = F_{\text{عبدالله}}\, r_{\text{عبدالله}}$$

$$r_{\text{عبدالله}} = \frac{F_{\text{عليّ}}\, r_{\text{عليّ}}}{F_{\text{عبدالله}}}$$

$$= \frac{m_{\text{عليّ}}\, g r_{\text{عليّ}}}{m_{\text{عبدالله}}\, g}$$

$$= \frac{m_{\text{عليّ}}\, r_{\text{عليّ}}}{m_{\text{عبدالله}}}$$

$$= \frac{(43\ \text{kg})(1.8\ \text{m})}{52\ \text{kg}}$$

$$= 1.5\ \text{m}$$

15. إذا كان نصف قطر إطار دراجة هوائية 7.70 cm، وأثرت السلســـلة بقوة عمودية مقدارها 35.0 N في الإطار في اتجاه حركة عقارب الساعة فما مقدار العزم اللازم لمنع الإطار من الدوران؟

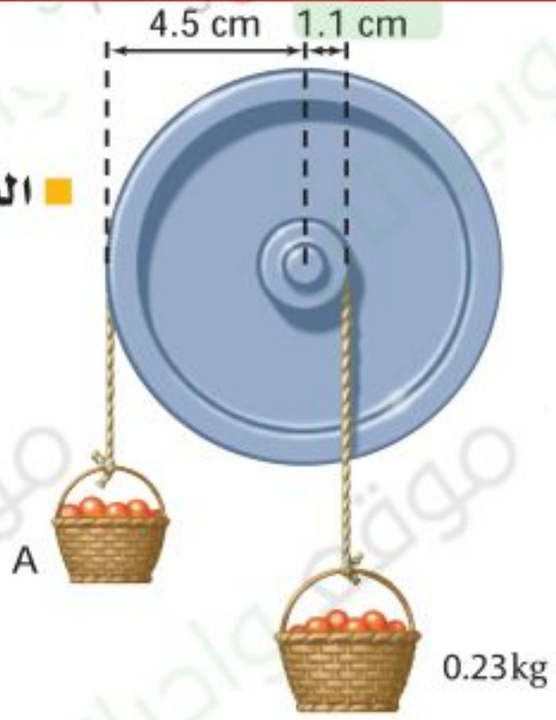
$$\tau_{\text{السلسلة}} = F_g\, r$$

$$= (-35.0\ \text{N})(0.0770\ \text{m})$$

$$= -2.70\ \text{N.m}$$

لذا، يجب أن يؤثر عزم مقداره 2.70 N.m+ لموازنة هذا العزم.

موقع واجباتي



الشكل 6–2

16. عُلقت سـلتا فواكه بحبلين يمران على بكرتين قطراهما مختلفان، فاتزنتا كما في الشكل 6–2. ما مقدار كتلة السلة A؟

$$\tau_1 = \tau_2$$

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$$m_1 g r_1 = m_2 g r_2$$

$$m_1 = \frac{m_2 r_2}{r_1}$$

$$= \frac{(0.23\ \text{kg})\ (1.1\ \text{cm})}{4.5\ \text{cm}}$$

$$= 0.056\ \text{kg}$$

17. افترض أن نصف قطر البكرة الكبرى في السـؤال السابق أصبح 6.0 cm فما مقدار كتلة السلة A؟

$$m_1 = \frac{m_2 r_2}{r_1}$$

$$= \frac{(0.23\ \text{kg})\ (1.1\ \text{cm})}{6.0\ \text{cm}}$$

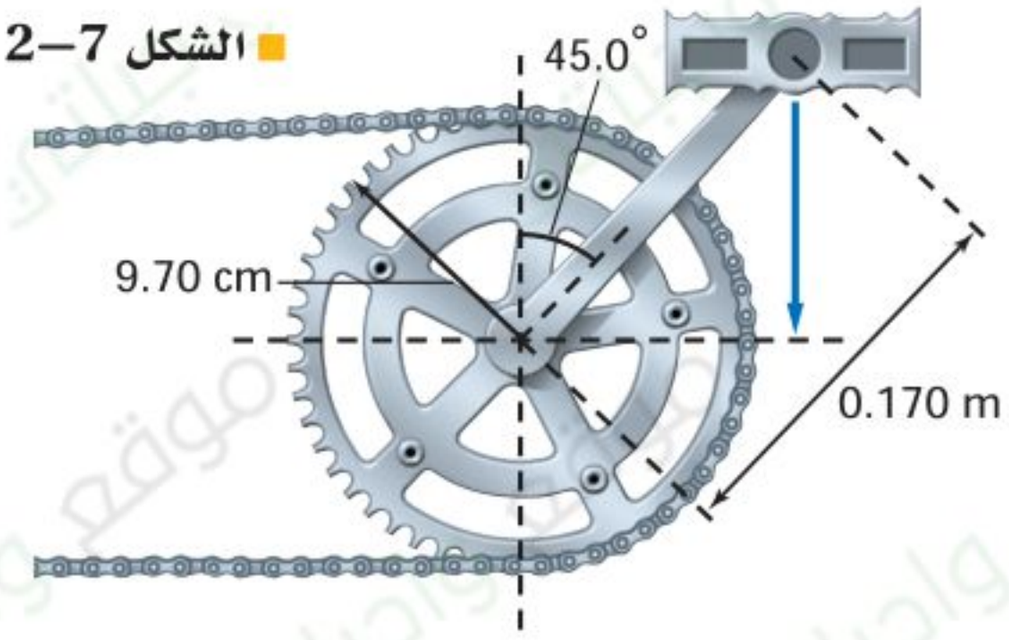
$$= 0.042\ \text{kg}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

18. يقف شـــخص كتلته 65.0 kg على بـــدال دراجة هوائية، فإذا كان طول ذراع التدويـر 0.170 m ويصنع زاوية 45.0° بالنسبة إلى الرأسي كما في **الشـــكل 7–2**. وكانت ذراع التدوير متصلةً بالإطار الخلفي (الذي تديره السلسلة عادة)، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر فيها السلسلة لمنع الإطار من الدوران، علمًا بأن نصف قطر الإطار 9.70 cm؟

الشكل 7–2



$$\tau_{\text{ذراع التدوير}} = -\tau_{\text{السلسلة}}$$

$$F_{\text{ذراع التدوير}}\, r_{\text{ذراع التدوير}} \sin\theta = -F_{\text{السلسلة}}\, r_{\text{السلسلة}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = \frac{-F_{\text{ذراع التدوير}}\, r_{\text{ذراع التدوير}} \sin\theta}{r_{\text{السلسلة}}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = \frac{-mg\, r_{\text{ذراع التدوير}} \sin\theta}{r_{\text{السلسلة}}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = \frac{-(65.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.170\ \text{m})\ (\sin 45.0°)}{0.097\ \text{m}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = 789\ \text{N}$$

موقع واجباتي

19. العزم يريد عبد الرحمن أن يدخل من باب دوّار ساكن، وضّح كيف يدفع الباب ليولد عزمًا بأقل مقدار من القوة المؤثرة؟ وأين يجب أن تكون نقطة تأثير تلك القوة؟

لتوليد عزم بأقل قوة ينبغي عليه دفع الباب مقتربًا ما أمكن من حافة الباب، وبزاوية قائمة على الباب.

20. ذراع القوة حاول فيصل فتح باب، ولم يستطع دفعه بزاوية قائمة، فدفعه بزاوية 55° بالنسبة للعمودي، فقارن بين قوة دفعه للباب في هذه الحالة وبين القوة اللازمة لدفعه عندما تكون القوة عمودية عليه (90°) مع تساوي سرعة الباب في الحالتين.

الزاوية بين القوة ونصف القطر تساوي 35°. العزم يساوي: $\tau = Fr \sin\theta$، ولما كان $\sin 90^\circ = 1$, و $\sin 35^\circ = 0.57$، فإنه ينبغي عليه زيادة القوة بنسبة $\frac{1}{0.57} = 1.75$ للحصول على العزم نفسه.

21. محصلة العزم يسحب شخصان حبلين ملفوفين حول حافة إطار كبير، فإذا 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؟

$$\tau_{\text{المحصلة}} = \tau_1 + \tau_2$$

$$= F_1 r + F_2 r$$

$$= (F_1 + F_2)\left(\frac{1}{2}d\right)$$

$$= (-43\ \text{N} + 67\ \text{N})\left(\frac{1}{2}\right)(2.4\ \text{m})$$

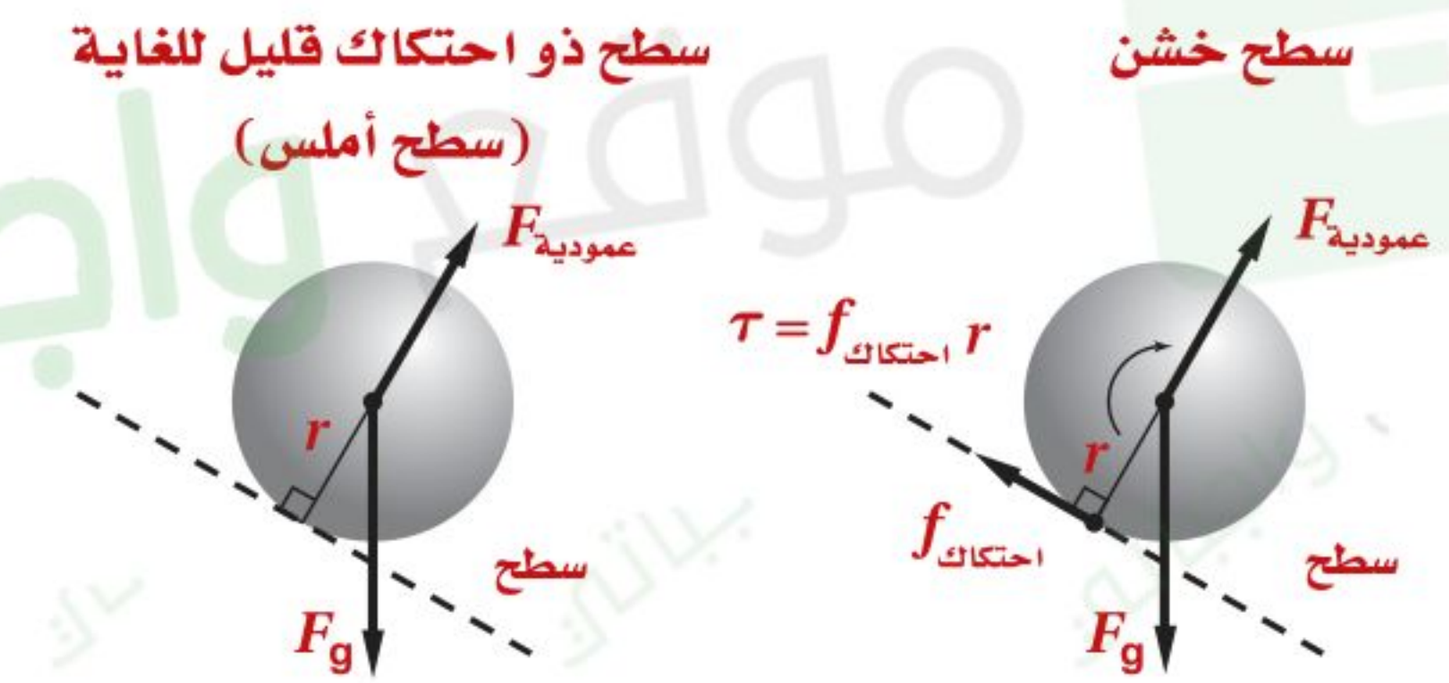
$$= 29\ \text{N.m}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

22. **التفكير الناقد** إذا وضعت كرة عند أعلى سطح مائل مهمل الاحتكاك فسوف تنزلق إلى أسفل السطح دون دوران، ولكن إذا كان السطح خشنًا فإنّ الكرة ستتدحرج في أثناء انزلاقها إلى أسفل. وضح سبب ذلك، مستخدمًا مخطط الجسم الحر.

العزم يساوي: $\tau = Fr \sin\theta$، قوة الاحتكاك توازي السطح وتتعامد مع محور دوران الكرة فتولد عزمًا يجعل الكرة تدور في اتجاه حركة عقارب الساعة، وإذا كان السطح أملس فلا توجد قوة موازية للسطح في هذه الحالة ولا يوجد عزم، لذا لا يوجد دوران. وتذكر أنه قد تم إهمال القوى المؤثرة في نقطة المحور (مركز الكرة).



رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–3 الاتزان Equilibrium

لمـاذا لبعض المركبات قابلية للانقلاب أكثر من غيرهـا عند تعرضها لحادثٍ ما؟ ما الذي يجعل المركبة تنقلب؟ إن السـبب يكمن في تصميم المركبة. وسـوف تتعرّف في هذا الجزء بعض العوامل التي تؤدي إلى انقلاب الأجسام.

الأهداف

- **تُعرّف** مركز الكتلة.
- **توضح** تأثير موقع مركز الكتلة في استقرار الجسم.
- **تتعرف** شروط الاتزان.
- **تصف** كيف يؤدي دوران الأطر المرجعية (محاور الإسناد) إلى ظهور قوى ظاهرية.

المفردات

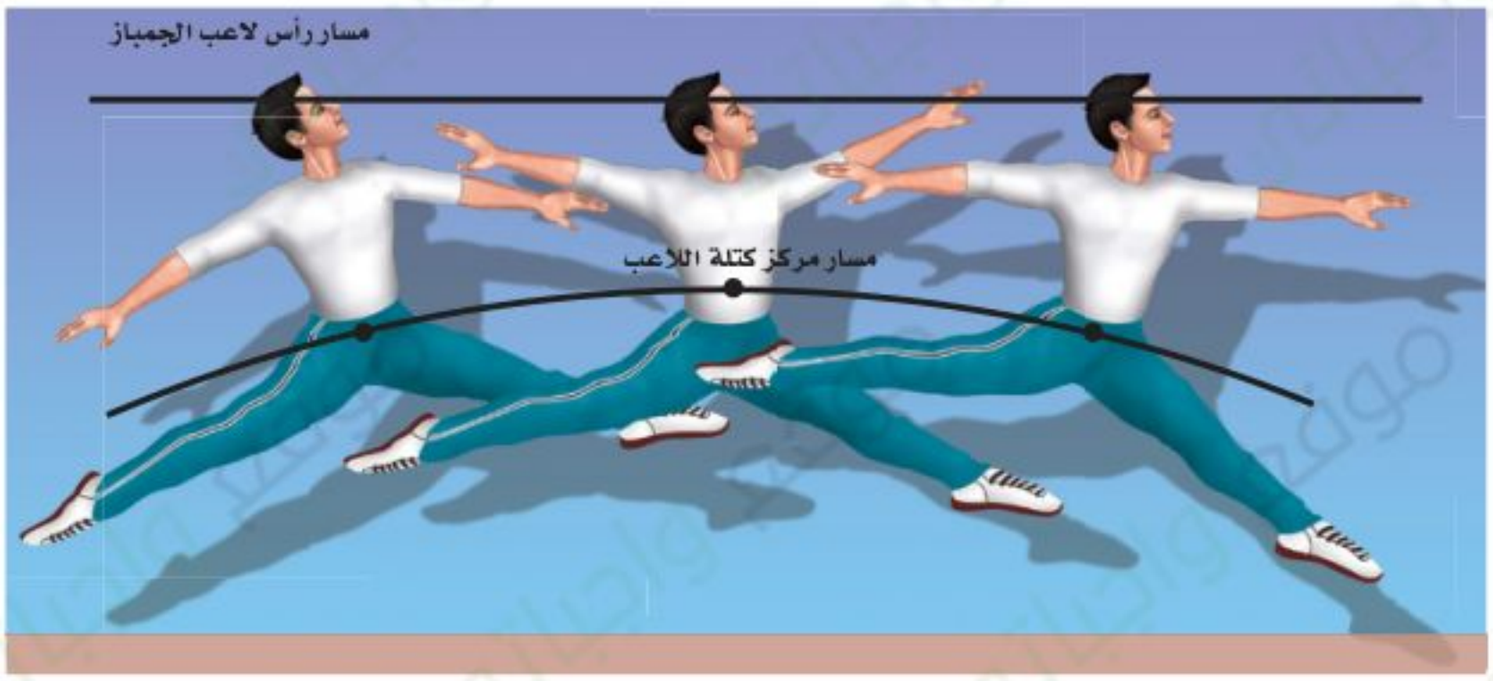
مركز الكتلة
القوة الطاردة المركزية
قوة كوريوليس

مركز الكتلة The Center of Mass

كيف يدور الجسـم حول مركز كتلته؟ قد يدور مفتاح الشـد حول مقبضه أو حول أحد طرفيه، فهل تتحرك أي نقطـة ماديـة على مفـتاح الشد في مسار مستقيم؟ يوضـح **الشكل 8a–2** حركة مفتاح الشد، ويمكنك ملاحظة أن هناك نقطة واحدة تسلك مسارًا في صورة خطّ مستقيم، كما لو أنه استعيض عن مفتاح الشد بجسم نقطي موضوع في تلك النقطة. إن **مركز الكتلة** لجسـم ما عبارة عن نقطة في الجسـم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسيم النقطي.

تحديد موقع مركز الكتلة كيف تحدّد موقع مركز الكتلة لجسم ما؟ أولاً علِّق الجسم من أي نقطة، وعندما يتوقف الجسـم عن التأرجح يكون مركز الكتلة على الخط الرأسي المرسوم من نقطة التعليق، كما في **الشـكل 8b–2**. ارسم هذا الخط، ثم علِّق الجسم مرة أخرى من أي نقطة. ارسم خطًّا رأسـيًّا من نقطة التعليق الجديدة، ومرة أخرى سيكون مركز الكتلة على الخط المسـتقيم تحت نقطة التعليق. وهذا يعني أن مركز الكتلة في النقطة التي يتقاطع فيها الخطان. إن مفتاح الشـد والمضرب –في المثال السـابق– وكل الأجسام التي تتحرك حركة دورانيـة حرة إنما تدور حور محور يمر خلال مركز كتلتهـا. والآن، أين يقع مركز الكتلة لشخص ما؟

الشـكل 8–2 يكون مسار مركز الكتلة لمفتاح الشد خطًا مستقيمًا (a). يمكن إيجاد مركز الكتلة لجسم مثل مضرب تنس بتعليقه من أي نقطة ثم تكرار تعليقه من نقطة أخرى (b). النقطة التي تتقاطع عندها الخطوط المرسومة هي مركز كتلة المضرب (c).



الشكل 9–2 الحركة الرأسية لرأس لاعب الجمباز أقل من الحركة الرأسية لمركز الكتلة، حيث إنّ الرأس والجذع يتحركان أفقيًا تقريبًا، فيبدو ذلك وكأنه تحليق في الهواء.

مركز الكتلة لجسم الإنسان بالنسبة لشخص يقف ويداه متدليتان يكون مركز الكتلة على بعد سنتمترات أسفل السرة في منتصف المسافة بين جزأي الجسم الأمامي والخلفي. ويكون أعلى من ذلك قليلًا لدى الأطفال الصغار؛ لأن رأس الطفل الصغير يكون كبيرًا بالنسبة إلى جسمه. ولأن جسم الإنسان مرن فإن مركز كتلته غير ثابت؛ فإذا رفعت يديك فوق رأسك فإن مركز كتلتك يرتفع من 6 cm إلى 10 cm. فمثلاً يبدو لاعب الجمباز وكأنه يحلِّق في الهواء؛ وذلك بتغيير مركز كتلته عندما يقفز، فهو يرفع ذراعيه ورجليه في الهواء، كما في **الشكل 9–2**، مما يؤدي إلى رفع مركز كتلته إلى أعلى، ويكون مسار مركز الكتلة على شكل قطع مكافئ، لذا يبقى رأس اللاعب على الارتفاع نفسه تقريبًا لوقت طويل نسبيًّا.

تطبيق الفيزياء

قفزة فوسبري

هناك تقنية في القفز بالزانة تسمى قفزة فوسبري، وهي تسمح للاعب بالمرور فوق العارضة دون أن يمسها عندما يكون عند أعلى موضع له. وهذا ممكن لأن مركز كتلة اللاعب يكون عند أسفل العارضة عندما ينقلب فوقها، بحيث يكون ظهره في اتجاهها.

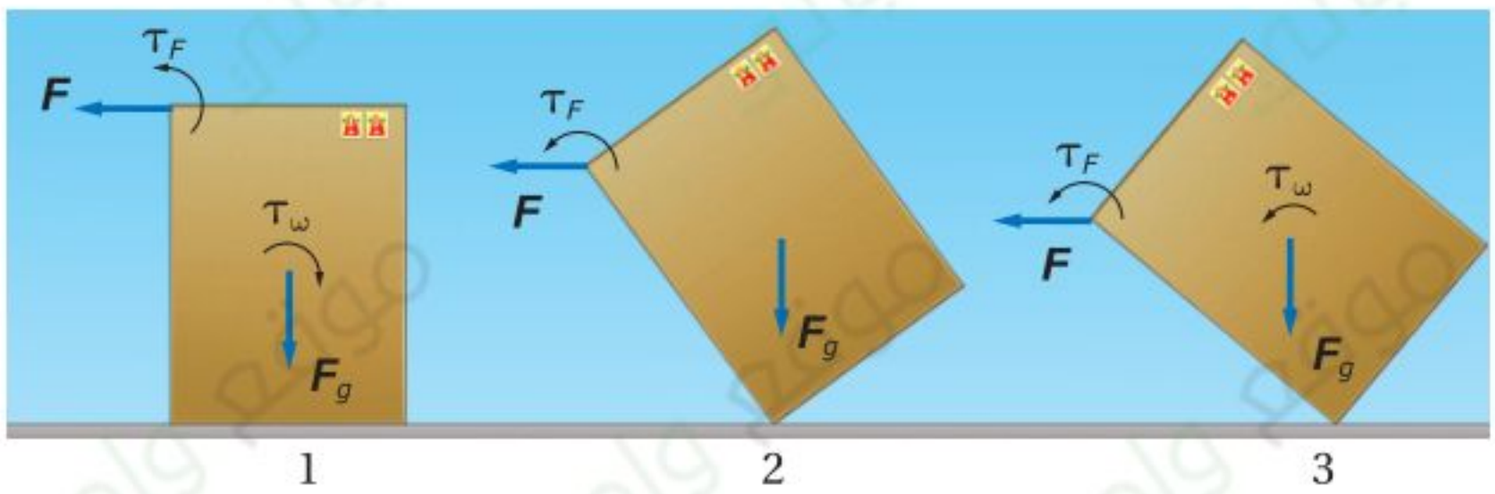
مركز الكتلة والاستقرار (الثبات) Center of Mass and stability

ما العوامل التي يعتمد عليها استقرار مركبة أو تعرضها للانقلاب أو الدوران عند تعرضها لحادثٍ ما؟ لكي تتعرف كيفية حدوث ذلك فكر في عملية قلب صندوق. لماذا ينقلب الصندوق المرتفع القليل العرض أسرع من الصندوق المنخفض والعريض؟ لقلب صندوق، كما في **الشكل 10–2**.

1- يجب تدويره حول إحدى حوافه (زواياه)، بحيث تؤثر في أعلى الصندوق بقوة F لتولد عزما τ_F،ويؤثر وزن الصندوق في مركز الكتلة بقوة F_g فتولد عزما معاكسا τ_ω.

2- يُصبح مركز الكتلة فوق النقطة الداعمة(الإسناد) مباشرة يصبح τ_ω صفرا، ويبقى تأثير العزم الخارجي فقط، وبدوران الصندوق أكثر يبتعد مركز الكتلة عن النقطة الداعمة.

3-يُؤثر العزمان في الاتجاه نفسه، فينقلب الصندوق بسرعة.



الشكل 10–2 توضح الأسهم المنحنية اتجاه العزم الناتج عن القوة المؤثرة لقلب الصندوق.

الاستقرار يُعد الجسم في حالة استقرار إذا احتاج إلى قوة خارجية لقلبه أو تحريكه؛ فالصندوق في **الشكل 10–2** يبقى مستقرًّا ما دام اتجاه العزم الناتج عن وزنه τ_w يُبقيه مستقرًّا على قاعدته. ويتحقق ذلك عندما يكون مركز كتلة الصندوق فوق قاعدته. ولقلب الصندوق أو تدويره يجب تدوير مركز كتلته حول محور الدوران حتى يبتعد مركز الكتلة عن القاعدة، ولتدوير الصندوق يجب أن ترفع مركز كتلته. لذلك كلما كانت قاعدة الجسم عريضة كان أكثر استقرارًا (يتطلب قلبه تسليط عزم يدور مركز الكتلة مسافة طويلة حتى يصبح خارج القاعدة)، فعندما تقف في حافلة، وتتمايل في أثناء سيرها فإنك تباعد بين قدميك قليلًا بحيث تزيد المسافة بينهما لتتجنب السقوط.

لماذا تنقلب السيارات؟ يُبين **الشكل 11–2** سيارتين توشكان على الانقلاب. لاحظ أن السيارة ذات الارتفاع الأكبر يكون مركز كتلتها مرتفعًا، لذلك يؤدي ميل قاعدتها قليلاً إلى خروج مركز كتلتها عن القاعدة، فتنقلب السيارة، وكلما كان مركز كتلة الجسم منخفضًا تكون السيارة أكثر استقرارًا.

أمّا أنت فتكون أكثر استقرارًا عندما تقف مستويًا على قدميك. فإذا وقفت على أصابع قدميك فإن مركز كتلتك يتحرك مباشرة إلى الأمام، ويصبح فوق مقدمة القدمين، وتكون في حالة أقل استقرارًا. وفي لعبة الجودو وألعاب الدفاع عن النفس الأخرى يستخدم اللاعب فيها العزم لتدوير الخصم، بحيث لا يكون مركز كتلته فوق قدميه، مما يجعله في وضع أقل استقرارًا أو ثباتًا.

نستنتج مما سبق أنه إذا كان مركز الكتلة خارج قاعدة الجسم كان الجسم غير مستقر، ويدور أو ينقلب دون تأثير عزم إضافي، وإذا كان مركز الكتلة فوق قاعدة الجسم فإن الجسم يكون مستقرًّا، وإذا كانت قاعدة الجسم ضيقة ومركز الكتلة فوق القاعدة فإن الجسم يكون مستقرًّا، إلا أنّ أي قوة صغيرة تجعله ينقلب أو يدور.

شرطا الاتزان Conditions of Equilibrium

إذا كان قلم الحبر ساكنًا، فماذا يحتاج لكي يبقى كذلك؟ يمكن أن تحمله بيدك بحيث يكون في وضع رأسي، أو تضعه على الطاولة، أو على أي سطح آخر، أي يجب أن تؤثر في القلم بقوة إلى أعلى حتى تعادل قوة الجاذبية التي تؤثر فيه إلى أسفل. كما يجب أن تمنعه من الدوران، كأن تمسك به بيدك. ويُعد الجسم في حالة اتزان ميكانيكي إذا كانت سرعة الجسم المتجهة وسرعته الزاويّة المتجهة صفرًا، أو ثابتتين. وحتى يكون الجسم في حالة اتزان ميكانيكي يجب توافر شرطين:

الأول: يجب أن يكون في حالة اتزان انتقالي، أيْ أن محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma F=0$.

الثاني: يجب أن يكون في حالة اتزان دوراني، أيْ أن محصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma \tau=0$.

■ **الشكل 11–2** مركز كتلة السيارة الصفراء أعلى من مركز كتلة السيارة الرمادية. وكلما كان مركز كتلة السيارة مرتفعًا احتجنا إلى ميل أقل لجعله يتحرك خارج القاعدة مسببًا انقلابها.

تجربة

التدوير والاستقرار

1. قص قرصين من الكرتون المقوى قطراهما 10 cm و 15 cm.
2. استخدم قلم رصاص ذا ممحاة ليس لها حواف، وإذا كانت كذلك فافركها على ورق لكي تزيل الحواف المستقيمة.
3. دوّر قلم الرصاص حول نفسه، وحاول أن تجعله يقف على الممحاة. كرّر هذه الخطوة عدة مرات، وسجل ملاحظاتك.
4. ادفع قلم الرصاص برفق في مركز القرص الأول (10 cm).
5. دوّر القلم والقرص معًا محاولاً جعل القلم يقف على الممحاة.
6. حرّك القرص على نقاط مختلفة على القلم وأدرهما معًا، وسجل ملاحظاتك.
7. كرّر الخطوات 6–4 مع القرص الآخر 15 cm.

التحليل والاستنتاج

8. **رتب المحاولات التجريبية الثلاث تصاعديًا بحسب استقرارها.**

قلم رصاص من دون قرص، قلم رصاص مع قرص 10 cm، قلم رصاص مع قرص 15 cm

9. **صف موقع مركز كتلة قلم الرصاص.**

مركز الكتلة لقلم الرصاص في الوسط أو في مركز القلم.

10. **حلّل تأثير موقع القرص في الاستقرار.**

قد تختلف الإجابات، لأن طبق الكرتون يزيد الكتلة، وعندما يوضع قريبًا من الطاولة، يخفض من مركز كتلة الأجسام . ومن الصعب أن ينقلب القلم مع القرص نتيجة القصور الدوراني.

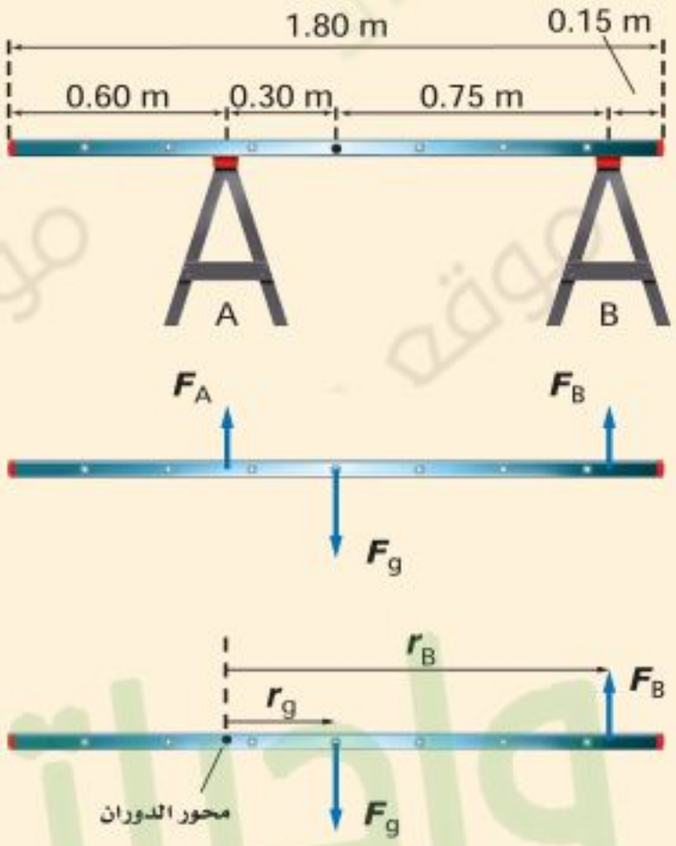
موقع واجباتي

مثـــــال 3

الاتزان الميكانيكي سُلّم خشبي كتلته 5.8 kg وطوله 1.80 m يستقر أفقيًّا على حاملين داعمين. يبعد الحامل الأول A مسافة 0.60 m عن طرف السلّم، ويبعد الحامل الثاني B مسافة 0.15 m عن الطرف الآخر له. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الحاملين في السلّم؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع، ثم اختر محور الدوران عند النقطة التي تؤثر فيها إحدى القوتين المجهولتين؛ وذلك لتقليل المجاهيل في المعادلة؛ حيث عزم القوة حول محور دورانها صفرًا. اختر النقطة التي تؤثر فيها F_A في السُلّم محور دوران، فيكون العزم الناتج عن هذه القوة F_A صفرًا.



المعلوم	المجهول
$m = 5.8\ \text{kg}$	$F_A = ?$
$\ell = 1.8\ \text{m}$	$F_B = ?$
$\ell_A = 0.60\ \text{m}$	
$\ell_B = 0.15\ \text{m}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابته (منتصف الطول والعرض)، ومحصلة القوة المؤثرة في السلم هي مجموع القوى المؤثرة فيه.

بما أن السلم في حالة اتزان ميكانيكي إذا نطبق شرطي الاتزان الميكانيكي.

أولاً: السلم في وضع اتزان انتقالي. لذا محصلة القوى المؤثرة فيه صفر

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + F_g$$

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + (-F_g)$$

$$0.0\ \text{N} = F_A + F_B - F_g$$

$$F_A = F_g - F_B$$

مستخدمًا المعادلة $r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$

أوجد F_A

أوجد العزم الناشئ عن F_B ، F_g

τ_g في اتجاه حركة عقارب الساعة

τ_B في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة

محصلة العزوم هي مجموع كل العزوم المؤثرة في الجسم.

$$\tau_g = -r_g F_g$$

$$\tau_B = +r_B F_B$$

$$\tau_{\text{محصلة}} = \tau_B + \tau_g$$

ثانياً :السلم في وضع اتزان دوراني لذا فإن

$0.0\ \text{N.m} = \tau_B + \tau_g$

$\tau_B = -\tau_g$

$r_B F_B = r_g F_g$

$F_B = \frac{r_g F_g}{r_B}$

$= \frac{r_g m\, g}{r_B}$

$F_A = F_g - F_B$

$F_A = F_g - \frac{r_g m\, g}{r_B}$

$= mg - \frac{r_g m\, g}{r_B} = (1 - \frac{r_g}{r_B})\, mg$

عوض مستخدمًا τ_B ، τ_g

أوجد F_B

عوض مستخدمًا $F_g = mg$

استخدم العلاقة $F_A = F_g - F_B$ وعوض F_B ، F_g

عوض مستخدمًا $F_B = \frac{r_g F_g}{r_B}$

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابتة في مركزه.

ويمكنك التوصل من الرسم إلى أن

$r_g = 0.30\ \text{m}$

$r_B = 1.05\ \text{m}$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

احسب F_B :

$F_B = \frac{r_g m\, g}{r_B}$

عوض مستخدمًا $r_g = 0.30\ \text{m}, g = 9.80\ \text{m/s}^2, m = 5.8\ \text{kg}, r_B = 1.05\ \text{m}$

$F_B = \frac{(0.30)(5.8\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)}{(1.05\ \text{m})} = 16\ \text{N}$

احسب F_A:

عوض مستخدمًا $m = 5.8\ \text{kg}$ ، $r_g = 0.30\ \text{m}$

$r_B = 1.05\ \text{m}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$F_A = mg\left(1 - \frac{r_g}{r_B}\right)$

$= (5.8\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (1 - \frac{(0.30\ \text{m})}{(1.05\ \text{m})})$

$= 41\ \text{N}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوى بوحدة النيوتن.
- **هل الإشارات المستخدمة صحيحة؟** نعم؛ فالقوتان إلى أعلى.
- **هل الجواب منطقي؟** مجموع القوتين لأعلى يساوي وزن السلّم، والقوة التي يؤثر بها الحامل القريب من مركز الكتلة هي القوة الأكبر، وهذا صحيح.

23. يتزن لوح خشبي كتلته 24 kg وطوله 4.5 m على حاملين، أحدهما تحت مركز اللّـــوح مباشرة، والثاني عند الطرف. ما مقـــدار القوتين اللتين يؤثر بهما كل من الحاملين الرأسيين في اللوح؟

اختر مركز كتلة اللوح على أنه محور الدوران. ولما كان طرف اللوح الذي لا حامل تحته ولا داعم لا يؤثر بأي عزم، فإن طرف اللوح الآخر المدعوم بالحامل يجب ألا يؤثر بأي عزم كذلك؛ لذا فإن كل القوة المؤثرة مصدرها الحامل الذي يقع تحت مركز اللَوح، وهذه القوة مساوية لوزن اللوح الخشبي:

$$F_{\text{المركز}} = F_g = (24\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 2.4 \times 10^2\ \text{N}$$

$$F_{\text{الطرف}} = 0\ \text{N}$$

موقع واجباتي

24. يتحرك غطاس كتلته 85 kg نحو الطرف الحر للوح القفز، فإذا كان طول اللّوح 3.5 m وكتلته 14 kg، وثبت بداعمين، أحدهما عند مركز الكتلة، والآخر عند أحد طرفي اللّوح، فما مقدار القوة المؤثرة في كل داعم؟

اختر مركز كتلة لوح القفز على أنه محور الدوران. إن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في لوح القفز تؤثر كليًّا في الداعم الموجود أسفل مركز الكتلة.

$$\tau_{\text{الطرف}} = -\tau_{\text{الغطاس}}$$

$$F_{\text{الطرف}}\, r_{\text{الطرف}} = -F_{\text{الغطاس}}\, r_{\text{الغطاس}}$$

$$F_{\text{الطرف}} = \frac{-F_{\text{الغطاس}}\, r_{\text{الغطاس}}}{r_{\text{الطرف}}}$$

$$= \frac{-m_{\text{الغطاس}}\, g\, r_{\text{الغطاس}}}{r_{\text{الطرف}}}$$

$$= \frac{-(85\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)(1.75\ \text{m})}{1.75\ \text{m}}$$

$$= -8.3 \times 10^2\ \text{N}$$

لحساب القوة المؤثرة في الداعم الموجود عند مركز الكتلة، لاحظ أنه لما كان اللوح لا يتحرك فإن:

$$F_{\text{الطرف}} + F_{\text{المركز}} = F_{\text{الغطاس}} + F_g$$

لذا فإن

$$F_{\text{المركز}} = F_{\text{الغطاس}} + F_g - F_{\text{الطرف}}$$

$$= 2F_{\text{الغطاس}} + F_g$$

$$= 2m_{\text{الغطاس}}\, g + m_{\text{اللوح}}\, g$$

$$= g(2m_{\text{الغطاس}} + m_{\text{اللوح}})$$

$$= (9.80\ \text{m/s}^2)\ (2(85\ \text{kg}) + 14\ \text{kg})$$

$$= 1.8 \times 10^3\ \text{N}$$

موقع واجباتي

دوران الأطر المرجعية Rotating Frames of Reference

عندمـــا تركب عربة دوّارة في مدينـــة الألعاب، وتدور بك بسرعة، تشـــعر كأن قوة كبيرة تدفعك إلى الخارج. وإذا وجدت حصاة على أرضية العربة، فســـوف تتسارع إلى خارجها دون أن تؤثر فيها قوة خارجية في الاتجاه نفســـه. ولا تتحرك هذه الحصاة في خط مستقيم، ولا نســـتطيع تطبيق قوانين نيوتن هنا؛ لأن الأطر المرجعية الدوّارة أطر متسارعة، وقوانين نيوتن تطبق فقط في حالة الأطر المرجعية غير المتسارعة (القصورية).

إنّ دراســـة الحركة في إطار مرجعي يتحرك حركـــة دورانية شيء مهمٌّ؛ لأنّ الأرض تدور. وتأثـــير دوران الأرض قليل جدًّا لا يُمكن ملاحظته في الصف أو المختبر، ولكنّه ذو أهمية وتأثير كبيرين في الغلاف الجوي، ومن ثم في الطقس والمناخ.

القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force

إذا ثُبّت أحد طرفي نابض في مركز منصّة دوّارة، وثُبت جسم في الطرف الآخر للنابض فإن الشـــخص المراقب الذي يقف على المنصة سيلاحظ أن الجسم يشدّ النابض، أيْ أنه سيظن أنّ هناك قوة تؤثر في الجسم وتسحبه إلى الخارج بعيدًا عن مركز المنصة. وتُسمى هذه القوة الظاهرية **القوةَ الطاردةَ المركزيةَ**، وهي قوة غير حقيقية؛ لأنّه لا توجد قوة تدفع الجســـم إلى الخارج، ولكنك تشعر بالفعل بأنك تُدفع إلى الخارج عندما تكون في سيارة تتحرك على مسار دائري. فإذا كانت القوة الطاردة المركزية غير حقيقية فما تبرير شعورك بالاندفاع بعيدًا عن مركز الدوران؟ كما تعلمت سابقًا فإن للأجسام قصورًا ذاتيًّا؛ حيث تميل الأجسام المتحركة إلى الاســـتمرار في الحركة في سرعة ثابتة وفي خط مستقيم، ولذلك يميل الجسم المتحرك في مسار دائري إلى الخروج عن مســـاره عند كل نقطة ليتحرك بسرعة ثابتة وفي خط مستقيم غير أن القوة التي تســـحبه في اتجاه المركز (القوة الجاذبة المركزية) تجبره على الاســـتمرار في مساره الدائري. ويمكن أن نستنتج مما سبق أن الأجسام المتحركة في مسارات دائرية تخضع لقوة حقيقية تســـحبها في اتجاه المركز، أما الدفع إلى الخارج فلا توجد قوة تســـببه، وإنما هو

موقع واجباتي

ناتج عن القصور الذاتي للأجسام. وفي حالة المنصة الدوارة يرى الشخص الواقف على الأرض أن الجسم يتحرك في مسار دائري ويتسارع نحو المركز بسبب قوة النابض، ويعبر عن تسارعه المركزي بعلاقة $a_c = \frac{v^2}{r}$. ويمكن كتابته بدلالة السرعة الزاوية المتجهة على النحو التالي: $a_c = \omega^2 r$؛ حيث يعتمد التسارع المركزي على المسافة من مركز الدوران، وعلى مربع السرعة الزاويّة المتجهة.

قوة كوريوليس The Coriolis Force

يظهر التأثير الثاني للدوران في **الشكل 12–2**. افترض أن شخصًا يقف في مركز قرص دوّار، ويقذف كرة إلى حافته الخارجية. لندرس الحركة الأفقية للكرة كما يراها مراقبان، على أن تهمل الحركة الرأسية للكرة في أثناء سقوطها.

إذا كان المراقب واقفًا خارج القرص، كما هو موضح في **الشكل 12a–2**، فسيرى الكرة تتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة المقدار إلى طرف القرص الخارجي. أما المراقب الآخر الذي على القرص ويدور معه، فسيرى الكرة تتحرك في مسار منحنٍ بسرعة ثابتة مقدارًا، كما هو موضح في **الشكل 12b–2**، حيث يبدو أن هناك قوة تحرف الكرة عن مسارها، هذه القوة الظاهرية تُسمى **قوة كوريوليس**، وكما في القوة الطاردة المركزية، فإنّ قوة كوريوليس ليست حقيقية. ويعود سبب الإحساس بتأثيرها إلى أننا نلاحظ الانحراف في الحركة الأفقية عندما نكون في إطار مرجعي دوّار.

قوة كوريوليس الناشئة عن دوران الأرض افترض أن مدفعًا يطلق قذيفة من نقطة على خط الاستواء نحو الشمال. فإذا أطلقت القذيفة في اتجاه الشمال مباشرة، فسيظهر لها مركّبة سرعة في اتجاه الشرق؛ بسبب دوران الأرض، ويكون مقدار هذه المركبة عند خط الاستواء أكبر منه عند أي خط عرض آخر؛ لذا فإنه في أثناء حركة القذيفة شمالاً فإنها تتحرك أيضًا نحو

■ **الشكل 12–2** قوة كوريوليس توجد فقط في الأطر المرجعية الدوّارة.

موقع واجباتي

■ **الشكل 13–2** يرى مراقب على الأرض أن القذيفة التي تطلق إلى الشمال تنحرف إلى يمين الهدف بسبب قوة كوريوليس.

الشرق بسرعة أكبر من النقاط التي تحتها على الأرض. ومن ثم ستسقط القذيفة شرق الهدف المقصود، انظر إلى **الشكل 13–2**. إن المراقب الذي في الفضاء سيلاحظ دوران الأرض، بينما المراقب الذي على الأرض سيفسر انحراف القذيفة عن هدفها بسبب تأثير قوة كوريوليس. أما الأجسام المتحركة نحو خط الاستواء فستنحرف بسبب قوة كوريوليس الظاهرية نحو الغرب، أي ستسقط القذيفة غرب الهدف المقصود عند قذفها نحو الجنوب.

الربط مع الأرصاد الجوية

إنّ اتجاه الرياح حول مناطق الضغط المرتفع والضغط المنخفض ناتجة عن قوة كوريوليس؛ حيث تتجه الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض. وبسبب قوة كوريوليس تنحرف الرياح القادمة من الجنوب إلى شرق مناطق الضغط المنخفض في نصف الكرة الأرضية الشمالي، بينما تنحرف الرياح القادمة من الشمال إلى غرب مناطق الضغط المنخفض؛ لذا تدور الرياح في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض في نصف الكرة الأرضية الشمالي. أما في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فتدور الرياح في اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض.

لنعد إلى العربات التي تتحرك حركة دورانية في مدينة الألعاب، هذه العربات تهز الركاب؛ لأنهم في أطر مرجعية متسارعة في أثناء حركة العربة. إن القوى التي يشعر بها ركاب الأفعوانية عند أسفل المنحدر وأعلاه، وعندما تتحرك رأسيًّا إلى أسفل تعود إلى التسارع الخطي.

تُحقق القوة الطاردة المركزية الإثارة والمتعة في العربات والألعاب الدوارة والمسارات المتعرجة في الأفعوانيات.

موقع واجباتي

25. **مركز الكتلة** هل يمكن أن يكون مركز كتلة جسم في نقطة خارج الجسم؟ وضح ذلك.

نعم، يتحرك الجسم كما لو أن جميع كتلته مركزة في مركز الكتلة.

لا يوجد شيء في التعريف يتطلب أن تكون كتلة الجسم أو جزء منها في مركز الكتلة.

26. **استقرار الجسم** لماذا تكون المركبة المعدّلة التي أضيف إليها نوابض لتبدو مرتفعة، أقل استقرارًا من مركبة مشابهة غير معدّلة؟

يرتفع مركز كتلة المركبة ولكن لا تزداد أبعاد قاعدتها، وهذا من شأنه أن يجعل مركز كتلة المركبة خارج قاعدتها عند تمايلها.

27. **شرطا الاتزان** أعط مثالاً على جسم في الحالات التالية:

a. متزن دورانيًّا، ولكنه غير متزن انتقاليًّا.

كتاب ساقط دون دوران.

b. متزن انتقاليًّا، ولكنه غير متزن دورانيًّا.

لعبة أرجوحة أفقية غيرمتزنة، حيث تدور لعبة الأرجوحة حتى تضرب قدم اللاعب بالأرض.

موقع واجباتي

28. **تعيـين مركز الكتلة** وضح كيف يمكنك إيجاد مركز كتلة كتاب الفيزياء؟

اربط خيطًا بإحدى زوايا الكتاب، وعلّقه، ثم ارسم خطا على امتداد الخيط. ثم اربط الخيط بزاوية أخرى من زوايا الكتاب، وعلّقه ثانية، وارسم خطا آخر على امتداد الخيط. عندئذ سيكون مركز الكتلة في نقطة تقاطع الخطين.

29. **دوران الأطـر المرجعيـة** إذا وضعت قطعة نقد على قرص دوّار، وبدأت في الانزلاق إلى الخارج عند زيادة سرعة دورانها، فما القوى المؤثرة فيها؟

كتلة الأرض تؤثر بقوة إلى أسفل، في حين يؤثر سطح القرص الدوّار بقوتين: الأولى إلى أعلى لتوازن قوة الجاذبية، والثانية إلى الداخل وهي الناشئة بسبب الاحتكاك والتي تعطي قطعة النقد تسارعها المركزي. ولا يوجد هناك قوة إلى الخارج، وإذا لم يكن هناك قوة احتكاك فستتحرك قطعة النقد في خط مستقيم.

30. **التفكير الناقد** عندما تستخدم الكوابح ينخفض الجزء الأمامي للسيارة إلى أسفل. لماذا؟

تؤثر الطريق بقوة في الإطارات مما يؤدي إلى توقف السيارة. ولما كان مركز الكتلة فوق الطريق فإنه توجد محصلة عزم تؤثر في السيارة تحاول تدويرها في الاتجاه الذي يجعل مقدمتها تنخفض إلى أسفل.

موقع واجباتي

مختبر الفيزياء

الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني

عند صيانة البنايات العالية تستخدم السقالات وتثبّت من الخارج. ولكي تُثبّت السقالات وتكون آمنة يجب أن تكون في اتزان انتقالي واتزان دوراني. لاحظ أنه إذا أثرت قوتان أو أكثر في السقالة يمكن أن تُحدث كل منها حركة دورانية حول طرفيها، أي تخل باتزانها. تؤثر كتلة السقالة إذا كانت موزعة بانتظام في مركزها. وفي حالة الاتزان الانتقالي لا تتسارع السقالة؛ فالقوى التي في اتجاه الأعلى مساوية للقوى التي في اتجاه الأسفل.

وللحصول على اتزان دوراني لابد أن يكون مجموع العزوم في اتجاه حركة عقارب الساعة يساوي مجموع العزوم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة عند أي نقطة دوران.

سؤال التجربة

ما الشروط اللازمة للاتزان عندما تؤثر قوتان متوازيتان في جسم؟

الأهداف

- **اجمع البيانات** حول القوى المؤثرة في السقالة ونظمها.
- **صف** العزم في اتجاه حركة عقارب الساعة وفي عكس اتجاه حركتها.
- **قارن** بين الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني.

احتياطات السلامة

- كن حذرًا من سقوط الكتل.

المواد والأدوات

مسطرة مترية	ميزانان نابضيان بتدريج 5N
حاملان حلقيان رأسيان	ملزمتان قابلتان للحركة
كتلة تعليق 500 g	كتلة تعليق 200 g

الخطوات

سنعتبر الميزان الأيسر هو نقطة الدوران المحورية pivot point في هذه التجربة؛ حيث تقاس ذراع القوة من هذه النقطة.

1. ضع الحاملين الحلقيين على بُعد 80.0 cm أحدهما من الآخر.
2. ثبّت كلتا الملزمتين على حامل حلقي.
3. تأكد أن تدريج الميزانين النابضيين صفر قبل استخدامهما، وإذا كانا بحاجة إلى ضبط فاطلب مساعدة المعلم.
4. علق كلًّا من الميزانين بملزمة قابلة للحركة ومثبتة على الحامل.
5. ثبّت المسطرة المترية باستخدام الخطافين في نهاية النابضين، على أن يكون النابض الأيسر عند العلامة 10 cm، والنابض الأيمن عند العلامة 90 cm.
6. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.
7. علق الكتلة 500 g على المسطرة المترية عند العلامة 30 cm؛ حيث تكون هذه النقطة على بعد 20 cm من الميزان الأيسر.
8. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.
9. علق الكتلة 200 g على المسطرة المترية عند العلامة 70 cm، حيث تكون هذه النقطة على بعد 60 cm من الميزان الأيسر.

موقع واجباتي

عينة بيانات

بيانات جدول 1

الأجسام المضافة	المسافة من الميزان الأيسر (m)	قراءة الميزان الأيسر (N)	قراءة الميزان الأيمن (N)
المسطرة المترية	0.40	0.40	0.40
كتلة 500 g	0.20	4.1	1.7
كتلة 200 g	0.60	4.6	3.1

بيانات جدول 2

الأجسام المضافة	τ_c	τ_{cc}	ذراع القوة (m)	القوة (N)
المسطرة المترية	×		0.40	0.80
كتلة 500 g	×		0.20	4.9
كتلة 200 g	×		0.60	2.0
الميزان الأيمن		×	0.80	3.1

بيانات جدول 3

الأجسام المضافة	τ_c (N.m)	τ_{cc} (N.m)
المسطرة المترية	0.32	
كتلة 500 g	0.98	
كتلة 200 g	1.2	
الميزان الأيمن		2.5
$\Sigma\tau$	2.5	2.5

التحليل

1. **احسب** أوجد كتلة المسطرة المترية.

كتلة المسطرة = مجموع قراءتي الميزانين الأيمن والأيسر.

2. **احسب** أوجد القوة أو الوزن الناتج عن كل جسم، وسجل قيمته في جدول البيانات 2. اقرأ القوة المؤثرة في النابض الأيمن، وسجلها في جدول البيانات 2.

لاحظ عينة البيانات.

3. استخدم النقطة التي عُلق عندها الميزان الأيسر بوصفها نقطة دوران محوري، وحدِّد جميع القوى التي تسبب دوران السقالة في اتجاه حركة عقارب الساعة أو في عكس اتجاه حركتها، وضع إشارة × عند هذه القوى في جدول البيانات 2.

4. سجل طول ذراع القوة لكل من هذه القوى من نقطة الدوران المحورية في جدول البيانات 2.

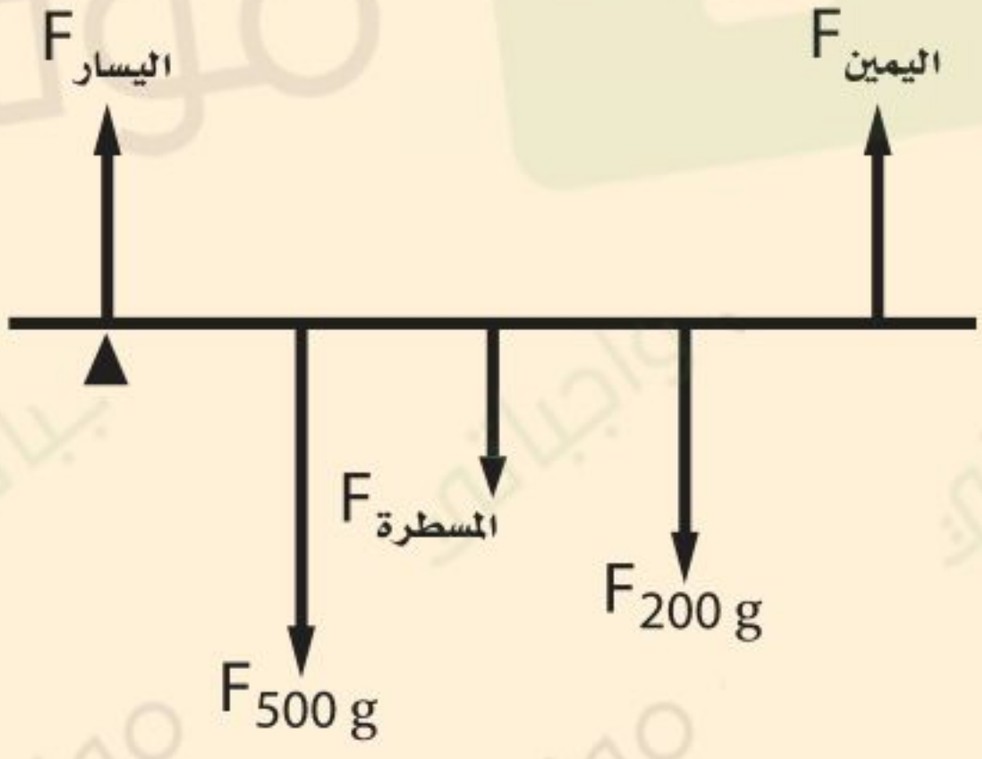
5. **استخدم الأرقام** احسب العزم لكل جسم، وذلك بضرب القوة في طول ذراع القوة، وسجل هذه القيم في جدول البيانات 3.

الاستنتاج والتطبيق

1. هل النظام في وضع اتزان انتقالي؟ كيف عرفت ذلك؟

النظام في حالة اتزان انتقالي لأن النظام لا يتسارع.

2. ارسم مخطّط الجسم الحر لهذا النظام، مبينًا جميع القوى على الرسم.



3. قارن بين مجموع العزوم في اتجاه حركة عقارب الساعة ومجموع العزوم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

العزم في اتجاه حركة عقارب الساعة والعزم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة متساويا المقدار تقريبًا.

4. ما النسبة المئوية للفرق بين $\Sigma \tau_c$ (مجموع العزوم السالبة) و $\Sigma \tau_{cc}$ (مجموع العزوم الموجبة)؟

ستختلف الإجابات.

التوسع في البحث

استخدم كتلاً إضافية في مواضع تختارها باستشارة المعلم، وسجل البيانات التي تحصل عليها.

سوف تختلف الإجابات اعتمادًا على الكتل المختارة ومواقعها.

الفيزياء في الحياة

ابحث في متطلبات الأمن والسلامة لاستخدام السقالة في منطقتك وتركيبها وفكها.

سوف تختلف الإجابات. ستتضمن الإجابات معلومات مرتبطة مباشرة مع التجربة. على سبيل المثال:

- يتطلب تثبيت السقالات الثابتة فوق ارتفاع 38.1 m والسقالات الدوارة فوق ارتفاع 18.3 m تصميمًا دقيقًا من مهندس ماهر. كما يجب إحكام الربط، ووضع الركائز الداعمة والاهتمام بالتقوية أو الإسناد للتأكد من السلامة والاتزان عند تركيب السقالة.
- ارتفاع السقالة نسبة إلى الحد الأدنى لعرض القاعدة، وتأثير الرياح، واستخدم أسلاك التثبيت، والقاعدة الموضوعة فوق السقالة ليقف عليها العاملون، والأحمال الإضافية الموضوعة عليها؛ جميع ما سبق يحدد ثبات السقالة واستقرارها.
- يجب ألا يتجاوز ارتفاع عقدة الربط السفلى للسقالة أربعة أضعاف الحد الأدنى لعرض القاعدة، ويتكرر الربط بعد كل 7.9 m إلى أعلى. ويكون الربط قريبًا من قمة السقالة ما أمكن، وفي كل الأحوال لا يقل عن أربعة أضعاف الحد الأدنى لعرض قاعدة السقالة من أعلى.

التقنية والمجتمع

الاستقرار في السيارات الرياضية

The Stability of Sport - Utility Vehicles

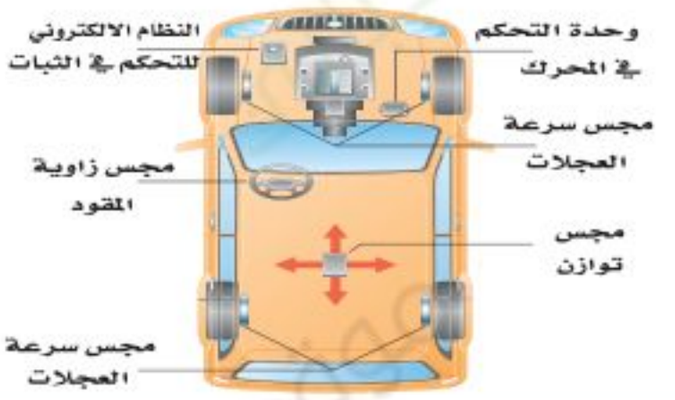
لماذا تكون السيارات الرياضية أكثر عرضة للانقلاب؟ يعتقد الكثيرون أن كبر حجم السيارة الرياضية يجعلها أكثر استقرارًا وأمانًا. إلا أن هذه السيارة مثلها مثل السيارات العالية الأخرى –ومنها سيارات الشحن– أكثر عرضة للانقلاب من السيارات العادية.

المشكلة أنّ للسيارات الرياضية مركز كتلة مرتفعًا يجعلها أكثر قابلية للانقلاب. وهناك عامل آخر يؤثر في الانقلاب هو معامل الاتزان الاستاتيكي؛ وهو نسبة عرض المسار إلى ارتفاع مركز الكتلة، حيث يعرّف عرض المسار (Track width) بأنه نصف المسافة بين الإطارين الأماميين. وكلما كان معامل الاتزان الاستاتيكي أكبر كان للسيارة قدرة أكبر على البقاء في وضع رأسي. وفي معظم السيارات الرياضية يكون مركز الكتلة أعلى من سيارات الركاب العادية بمسافة تتراوح بين 13 cm و15 cm ، ويكون معامل عرض المسار للسيارات الرياضية مقاربًا لقيمته في السيارات العادية. افترض أن معامل الاتزان لسيارة رياضية 1.06 ولسيارة عادية 1.43، فيكون احتمال انقلاب السيارة الرياضية في أي حادث 37 % بحسب الإحصاءات، في حين يكون احتمال انقلاب سيارة الركاب العادية 10.6 %.

وليست المشكلة كلها في معامل الاتزان الاستاتيكي؛ فظروف الطقس وسلوك السائق وخصائص القصور الذاتي وأنظمة التعليق الحديثة وعوامل أخرى مرتبطة مع المركبة –ومنها الإطارات وأنظمة التوقف– جميعها لها دور في انقلاب السيارة.

إن معظم حوادث الانقلاب تحدث عندما تنحرف السيارة عن الطريق وتقع في حفرة أو تسير على تراب ناعم أو أي سطح غير منتظم، وهذا يحدث عادة عندما يكون السائق غير منتبه أو يقود السيارة بسرعة كبيرة. إلا أن السائق الحذر يقلل كثيرًا من وقوع حوادث الانقلاب؛ وذلك من خلال الانتباه المستمر والالتزام بالسرعة المحددة. وعلى الرغم من الأهمية المتكافئة لكل من الظروف الجوية وسلوك السائق، إلا أن قوانين الفيزياء توضح أن السيارات الرياضية خطرة جدًّا.

ما الإجراءات المتخذة لمعالجة المشكلة؟ تصمم بعض السيارات الحديثة في الوقت الحاضر بحيث يكون عرض مسارها كبيرًا، أو سقفها قويًّا، أوتكون مزودة بوسائد هوائية جانبية إضافية لها مجسات تبقيها منتفخة 6 s بعكس الوضع الطبيعي وهو جزء من ثانية. كل ذلك لحماية الركاب عندما تنقلب السيارة أكثر من مرة.



وهناك تقنيات حديثة واعدة تُسمى النظام الإلكتروني للتحكم في الثبات (ESC) الذي يستخدم لمنع حدوث الانقلاب؛ إذ يحوي هذا النظام جهازًا إلكترونيًّا حساسًا يعطي إشارات عندما تبدأ السيارة في الدوران لأسباب خارجة عن السيطرة، وكذلك عندما تبدأ في الانزلاق لأسباب تحت السيطرة؛ حيث يطبق نظام ESC بشكل آلي الفرامل على واحد أو أكثر من الإطارات، فيعيد التوازن إلى السيارة، ويجعلها في الاتجاه الصحيح.

والقيادة السليمة للسيارة هي مفتاح الحل لمشكلة حوادث السيارات، ومعرفة قوانين الفيزياء التي تبحث في حوادث الانقلاب والعوامل الأخرى تساعد كثيرًا على تثقيف السائق وجعله يقود سيارته بصورة آمنة.

التوسع

1. **كوِّن فرضية** عند تعرض عدة سيارات لحادث، تكون السيارات الرياضية عادة أفضل من سيارات الركاب العادية المشتركة في الحادث. فسر ذلك.

السيارات الرياضية أثقل من معظم سيارات الركاب؛ كما أنها مرتفعة أكثر لذلك عادة ما يكون الركاب في موقع أعلى من منطقة التأثير الأكبر للصدمة.

2. **ناقش** يُعد نظام ESC تقنية حديثة لإنقاذ حياة الركاب، فهل يجب أن يكون إلزاميًّا في السيارات الرياضية كلها؟ ولماذا؟

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

2–1 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

المفردات

- الراديان
- الإزاحة الزاويّة
- السرعة الزاويّة المتجهة
- التسارع الزاويّ

المفاهيم الرئيسة

- يقاس الموقع الزاوي وتغيراته بالراديان، وتكون الدورة الكاملة الواحدة 2π rad.
- يُعبر عن السرعة الزاويّة المتجهة بالمعادلة الآتية: $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$
- يُعبر عن التسارع الزاويّ بالمعادلة الآتية: $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$.
- عند دوران جسم صلب فإن كلاً من الإزاحة والسرعة والتسارع الزاوي يرتبط مع الإزاحة والسرعة والتسارع الخطي عند أي نقطة على الجسم بالمعادلات الآتية:

$$a = r\alpha \qquad v = r\omega \qquad d = r\theta$$

2–2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

المفردات

- ذراع القوة
- العزم

المفاهيم الرئيسة

- تتغير السرعة الزاويّة المتجهة لجسمٍ ما عندما يؤثر فيه عزم.
- يعتمد العزم على مقدار القوة المؤثرة، والمسافة من محور الدوران المستخدم والزاوية بين اتجاه القوة ونصف القطر من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. $\tau = Fr\sin\theta$

2–3 الاتزان Equilibrium

المفردات

- مركز الكتلة
- القوة الطاردة المركزية
- قوة كوريوليس

المفاهيم الرئيسة

- مركز كتلة جسم هو نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسيم النقطي.
- يكون الجسم ثابتًا ضد الانقلاب إذا كان مركز كتلته فوق قاعدته.
- يكون الجسم في وضع اتزان ميكانيكي إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك إذا كانت محصلة العزوم المؤثرة فيه صفرًا.
- القوى الطاردة المركزية قوى ظاهرية تظهر عندما تحلل حركة جسم يتحرك حركة دورانية باستخدام نظام إحداثيات يدور مع الجسم.
- قوة كوريوليس هي قوة ظاهرية تبدو كأنها تحرف جسم متحرك عن مساره بخط مستقيم ولا يمكن ملاحظتها إلا في نظام إحداثيات يدور مع الجسم.

الفصل 2
التقويم

خريطة المفاهيم

31. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية:
التسارع الزاويّ، نصف القطر، التسارع المماسي (الخطي)، التسارع المركزي.

إتقان المفاهيم

32. يدور إطار دراجة هوائية بمعدل ثابت 25 rev / min. فهل تقل سرعتها الزاوية المتجهة أم تزداد أم تبقى ثابتة؟ (1–2)

تبقى ثابتة.

33. يدور إطار لعبة بمعدل ثابت 5 rev /min. فهل تسارعها الزاوي موجب أم سالب أم صفر؟ (1–2)

صفر.

34. هل تدور جميع أجزاء الأرض بالمعدل نفسه؟ وضح ذلك. (1–2)

نعم؛ لأن كل أجزاء الجسم الصلب تدور بالمعدل نفسه.

35. يدور إطار دراجة بمعدل ثابت 14 rev /min. فهل يكون اتجاه التسارع الكلي لنقطة على الإطار إلى الداخل، أم إلى الخارج، أم مماسيًّا، أم صفرًا؟ (1–2)

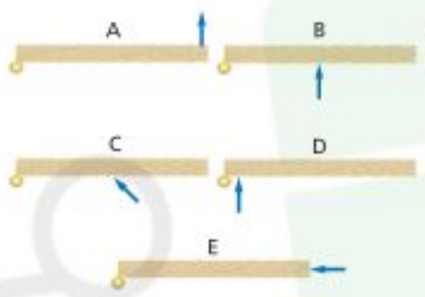
نحو الداخل (مركزي)

الفصل 2
التقويم

36. لماذا يُعد عـــزم الدوران أهم من القوة عند محاولة شـــدّ البرغي؟ (2-2)

يجب أن ينتج تسارع زاوي لشد البرغي.
ويمكن أن تؤثر عزوم مختلفة في مفتاح
الشد باستخدام أطوال مختلفة.

37. رتب العزوم المؤثرة في الأبواب الخمسة في الشكل 14-2 من الأقل إلى الأكبر. ولاحظ أنّ مقدار القوة هو نفسه في الأبواب كلها. (2-2)



الشكل 14-2

A > B > C > D > E = 0

38. لمعايرة العجلات توضع عجلة السيارة على محور دوران رأسي، وتضـــاف إليها أثقال لجعلها في وضع أفقي. لماذا تكافئ عمليةُ وضع الأثقـــال على العجلة عمليةَ تحريك مركز كتلتها حتى يصبح في منتصفها؟ (2-3)

عندما تتزن العجلة بحيث لا تدور
في أي اتجاه، فعندئذٍ لا يؤثر فيها عزم.
وهذا يعني أن مركز الكتلة في نقطة المركز
(محور الدوران).

39. يقود سائقٌ سيارةً بطريقة خطرة؛ حيث يقودها على إطارين جانبيين فقط. فأين يكون مركز كتلة السيارة؟ (2-3)

يكون مباشرة فوق الخط الواصل بين
النقطتين اللتين يلامس الإطاران
عندهما الأرض. ليس هناك محصلة عزم
تؤثر في السيارة، لذا فهي متزنة ومستقرة مؤقتًا.

40. لماذا تتزن عندما تقف على أطراف أصابع قدميك حافيًا، ولا تستطيع الاتزان إذا وقفت مواجهًا للجدار وأصابع قدميك تلامسه؟ (2-3)

يجب أن يكون مركز كتلتك فوق نقطة
الدعم. ولكن مركز كتلتك تقريبًا في
مركز جسمك، لذا فإن نصف جسمك
تقريبًا يجب أن يكون أمام رؤوس
أصابعك وأنت واقف عليها، والنصف
الآخر يكون خلفها. أما إذا كانت
رؤوس أصابعك مقابل الحائط، فلا
يكون أي جزء من جسمك أمام رؤوس
أصابعك.

41. لماذا يظهر لاعب الجمباز وكأنه يطير في الهواء عندما يرفع ذراعيه فوق رأسه في أثناء القفز؟ (2-3)

يحرك مركز كتلته قريبًا من رأسه.

الفصل 2 التقويم

42. لماذا يكون احتمال انقلاب سيارة لها إطارات أقطارها كبيرة أكبر من احتمال انقلاب سيارة ذات إطارات أقطارها صغيرة؟ (3–2)

مركز الكتلة للسيارة ذات الإطارات الكبيرة يقع عند نقطة أعلى مما في السيارات ذات الإطارات الصغيرة؛ لذا يمكن أن تنقلب دون أن تميل كثيرًا.

تطبيق المفاهيم

43. ناقلا حركة، أحدهما صغير والآخر كبير، متصلان معًا ويدوران كما في الشكل 15 – 2. قارن أولاً بين سرعتيهما الزاويّتين المتجهتين، ثم بين السرعتين الخطيتين لسنّين متصلين معًا.

■ الشكل 15–2

السرعتان الخطيتان للأسنان متماثلتان. وتكون السرعتان الزاويتان مختلفتين لأن نصفي القطر مختلفان و $\omega = \frac{v}{r}$.

44. **الدوران في حوض الغسالة** ما مبدأ عمل الغسالة؟ وكيف يؤثر دوران الحوض في الغسيل؟ اشرح ذلك بدلالة القوى على الملابس والماء.

يخضع الماء والملابس في حوض الغسالة لتسارعات مركزية كبيرة. تؤثر أسطوانة الدوران بقوى في الملابس. ولكن عندما يصل الماء إلى الثقوب في أسطوانة الدوران لا تؤثر فيه قوى مركزية للداخل، وعندئذٍ يتحرك بخط مستقيم خارج أسطوانة الدوران.

45. **الإطار المثقوب** افترض أن أحد إطارات سيارة والدك قد ثُقب، وأخرجت العدة لتساعده ووجدت أن هناك مشكلة في مقبض مفتاح الشد المستخدم لفك صمولة البراغي الثابتة، وأنه من المستحيل فك الصواميل، فاقترح عليك والدك عدة طرائق لزيادة العزم المؤثر لفكها. اذكر ثلاث طرائق يمكن أن يقترحها عليك والدك؟

ضع ماسورة إطالة في طرف مفتاح الشد لزيادة طول ذراع القوة، أو أثّر بقوتك بزاوية قائمة بالنسبة إلى مفتاح الشد، أو زد القوة المؤثرة بالوقوف على طرف مفتاح الشد مثلاً.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 2

46. الألعاب البهلوانية يسير لاعب بهلواني على حبل حاملاً قضيبًا يتدلى طرفاه أسفل مركزه. انظر إلى **الشكل 16 – 2**. كيف يؤدي القضيب إلى زيادة اتزان اللاعب؟

تلميح: *ابحث في مركز الكتلة.*

■ **الشكل 16–2**

تدلي طرفي القضيب يجعل مركز الكتلة يقترب من السلك، مما يقلل من عزم الدوران المؤثر في اللاعب ويزيد من ثباته. ويؤدي تقليل العزم المؤثّر إلى تقليل التسارع الزاوي إذا أصبح اللاعب في حالة عدم اتزان. كذلك يستطيع اللاعب استعمال القضيب لإزاحة مركز الكتلة من أجل الاتزان.

47. لعبة الحصان الدوّار عندما كان أحمد يجلس على لعبة الحصان الدوار، قذف مفتاحًا نحو صديقه الواقف على الأرض لكي يلتقطه. هل يجب عليه قذف المفتاح قبل أن يصل النقطة التي يقف عندها صديقه بوقت قصير، أم ينتظر حتى يصبح صديقه خلفه مباشرة؟ وضح ذلك.

بما أن له سرعة متجهة مماسّيّة نحو الأمام فإن المفتاح سينطلق من يده بتلك السرعة المتجهة، لذا يتعين عليه قذفه قبل ذلك.

48. لماذا نهمل القوى التي تؤثر في محور دوران جسم ما في حالة اتزان ميكانيكي عند حساب محصلة العزم عليه؟

العزم الناتج عن هذه القوى يساوي صفرًا؛ لأن طول ذراع القوة يساوي صفرًا.

49. لماذا نجعل عادةً محور الدوران عند نقطة تؤثر بها قوة أو أكثر في الجسم عند حل مسائل في الاتزان الميكانيكي؟

هذا يجعل العزم الناتج عن القوة يساوي صفرًا، مما يقلل عدد العزوم التي يجب أن تحسب.

إتقان حل المسائل

2–1 وصف الحركة الدورانية

50. نصف قطر الحافة الخارجية لإطار سيارة 45 cm وسرعته 23 m /s. ما مقدار السرعة الزاوية للإطار بوحدة rad /s؟

$$v = r\omega$$

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

$$= \frac{23\ \text{m/s}}{0.45\ \text{m}} = 51\ \text{rad/s}$$

51. يدور إطار بحيث تتحرك نقطة عند حافته الخارجية مسافة 1.5 m. وإذا كان نصف قطر الإطار 2.50 m كما في **الشكل 17–2** فما مقدار الزاوية (بوحدات radians) التي دارها الإطار؟

■ **الشكل 17–2**

$$d = r\theta$$

$$\theta = \frac{d}{r}$$

$$= \frac{1.50\ \text{m}}{2.50\ \text{m}}$$

$$= 0.600\ \text{rad}$$

تقويم الفصل 2

52. أديرت عجلة قيادة سيارة بزاوية قدرها 128°. انظر **الشكل 18–2**، فإذا كان نصف قطرها 22 cm فما المسافة التي تتحركها نقطة على الطرف الخارجي لعجلة القيادة؟

■ الشكل 18–2

$$d = r\theta$$

$$= (0.22\ \text{m})\ (128^\circ)\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{360^\circ}\right) = 0.49\ \text{m}$$

53. **المروحة** تدور مروحة بمعدل 1880 rev /min أي (1880 دورة كل دقيقة).

a. ما مقدار سرعتها الزاويّة المتجهة بوحدة rad /s؟

$$\omega = \left(1880\ \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right)\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{\text{rev}}\right)\left(\frac{\text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$

$$= 197\ \text{rad/s}$$

b. ما مقدار الإزاحة الزاويّة للمروحة خلال 2.50 s؟

$$\theta = \omega t$$

$$= (197\ \text{rad/s})(2.50\ \text{s})$$

$$= 492\ \text{rad}$$

54. تناقص دوران المروحة في السؤال السابق من 475 rev /min إلى 187 rev /min خلال 4.00 s، ما مقدار تسارعها الزاويّ؟

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

$$= \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{(187\ \text{rev/min} - 475\ \text{rev/min})}{4.00\ \text{s}}$$

$$\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{\text{rev}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$

$$= -7.54\ \text{rad/s}^2$$

55. إطار سيارة نصف قطره 9.00 cm كما في **الشكل 19–2**، يدور بمعدل 2.50 rad /s. ما مقدار السرعة الخطية لنقطة تقع على بعد 7.00 cm من مركز الدوران؟

■ الشكل 19–2

$$v = r\omega$$

$$= (7.00\ \text{cm})(2.50\ \text{rad/s})$$

$$= 17.5\ \text{cm/s}$$

تقويم الفصل 2

56. الغسالة غسالة قطر حوضها 0.43 m، لها سرعتان: الأولى تدور بمعدل 328 rev / min، والأخرى بمعدل 542 rev / min.

a. ما مقدار نسبة التسارع المركزي لسرعة الدوران الأسرع والأبطأ؟ تذكر أن $a_c = \frac{v^2}{r}$، و $v = rw$

$$\frac{a_{\text{الأسرع}}}{a_{\text{الأبطأ}}} = \frac{(r\omega_{\text{الأسرع}})^2}{(r\omega_{\text{الأبطأ}})^2}$$

$$= \frac{(542\ \text{rev/min})^2}{(328\ \text{rev / min})^2}$$

$$= 2.73$$

b. ما نسبة السرعة الخطية لجسم على سطح الحوض لكل من السرعتين؟

$$\frac{v_{\text{الأسرع}}}{v_{\text{الأبطأ}}} = \frac{\omega_{\text{الأسرع}}\, r}{\omega_{\text{الأبطأ}}\, r}$$

$$= \frac{\omega_{\text{الأسرع}}}{\omega_{\text{الأبطأ}}}$$

$$= \frac{542\ \text{rev/min}}{328\ \text{rev/min}}$$

$$= 1.65$$

57. أوجد القيمة القصوى للتسارع المركزي بدلالة g للغسالة في السؤال السابق.

$$a_c = \omega^2 r\left(\frac{1\ \text{g}}{9.80\ \text{m/s}^2}\right)$$

$$= \left(542\ \text{rev / min}\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{\text{rev}}\right)\left(\frac{1\text{min}}{60\ \text{s}}\right)\right)^2$$

$$\left(\frac{0.43\ \text{m}}{2}\right)\left(\frac{1\text{g}}{9.80\ \text{m/s}^2}\right)$$

$$= 71\ \text{g}$$

58. استخدم جهاز الطرد المركزي الفائق السرعة لفصل مكونات الدم، بحيث يولّد تسارعًا مركزيًّا مقداره 0.35×10^6 g على بُعد 2.50 cm من المحور. ما مقدار السرعة الزاوية المتجهة اللازمة بوحدة rev /min؟

$$a_c = \omega^2 r$$

$$\omega = \sqrt{\frac{a_c}{r}}$$

$$= \sqrt{\frac{(0.35\times10^6)\ (9.80\ \text{m/s}^2)}{0.025\ \text{m}}}$$

$$\left(\frac{\text{rev}}{2\pi\ \text{rad}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)$$

$$= 1.1\times10^5\ \text{rev/min}$$

تقويم الفصل 2

2–2 ديناميكا الحركة الدورانية

59. **مفتاح الشد** يتطلب شدّ برغي عزمًا مقداره 8.0 N.m، فإذا كان لديك مفتاح شد طوله 0.35 m. ما مقدار أقل قوة يجب التأثير بها في المفتاح؟

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

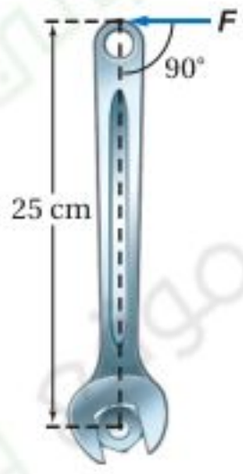
$$F = \frac{\tau}{r \sin \theta}$$

لأقل قوة ممكنة تكون الزاوية 90.0°، لذا فإن:

$$F = \frac{8.0 \text{ N.m}}{(0.35 \text{ m})\ (\sin 90.0°)}$$

$$= 23 \text{ N}$$

60. ما مقدار العزم المؤثر في برغي والناتج عن قوة مقدارها 15 N تؤثر عموديًّا في مفتاح شدّ طوله 25 cm؟ انظر الشكل 20 – 2.



الشكل 20–2

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

$$= (15 \text{ N})(0.25 \text{ m})(\sin 90.0°)$$

$$= 3.8 \text{ N.m}$$

2–3 الاتزان

61. تبين مواصفات سيارة أن وزنها موزع بنسبة 53 % على الإطارات الأمامية و 47 % على الإطارات الخلفية، فإذا كان طول لوح قاعدة سيارة 2.46 m، فأين يكون مركز كتلة السيارة؟

افترض أن مركز كتلة السيارة على بعد يساوي x من مقدمة السيارة، وأن وزن السيارة يساوي F_g.

$$\tau_{\text{مقدمة}} = \tau_{\text{مؤخرة}}$$

$$F_{\text{مقدمة}}\, r_{\text{مقدمة}} = F_{\text{مؤخرة}}\, r_{\text{مؤخرة}}$$

$$(0.53\, F_g)\, x = (0.47\, F_g)\ (2.46 \text{ m} - x)$$

$$x = 1.16 \text{ m}$$

تقويم الفصل 2

62. لوح كتلته 12.5 kg وطوله 4.00 m، رفعه أحمد من أحد طرفيه، ثم طلب المساعدة، فاستجاب له جواد.

a. ما أقل قــوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللّوح؟

يستطيع جواد رفع نصف الكتلة عند الطرف المقابل للطرف الذي رفعه أحمد.

$$F_{\text{أقل}} = mg$$

$$F \left(\frac{1}{2}\right) (12.5\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 61.2\ \text{N}$$

b. ما أكبر قوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللّوح؟

سوف يرفع الكتلة كلها،عند مركز كتلة اللوح (الوسط).

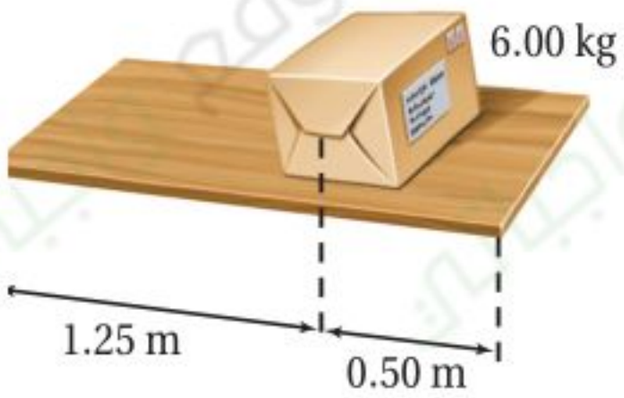
$$F_{\text{أكبر}} = mg$$

$$= (12.5\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 122\ \text{N}$$

تقويم الفصل 2

63. يرفع شخصان لوحًا خشبيًّا من طرفيه إلى أعلى، فإذا كانت كتلة اللّوح 4.25 kg وطوله 1.75 m، ويوضع على بُعد 0.50 m من طرفه الأيمن صندوق كتلته 6.00 kg. انظر **الشكل 21–2**. ما القوتان اللتان يؤثر بهما الشخصان في اللّوح؟



■ **الشكل 21–2**

في حالة الاتزان، محصلة القوى جميعها تساوي صفرًا، ومحصلة العزوم حول أي محور دوران تساوي صفرًا أيضًا.

$$F_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{اللوح}} + F_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$\tau_{\text{يسار}} + \tau_{\text{يمين}} + \tau_{\text{اللوح}} + \tau_{\text{الصندوق}} = 0$$

يمكننا اختيار محور الدوران ليكون في موقع إحدى القوى المجهولة ($F_{\text{يسار}}$)، فيكون العزم الناتج عن تلك القوة يساوي صفرًا، وبهذه الطريقة يتم تبسيط العمليات الحسابية.

$$F_{\text{يسار}} r_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} r_{\text{يمين}} + F_{\text{اللوح}} r_{\text{اللوح}} + F_{\text{الصندوق}} r_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$F_{\text{يسار}} r_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} r_{\text{يمين}} + m_{\text{اللوح}} g r_{\text{اللوح}} + m_{\text{الصندوق}} g r_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$F_{\text{يسار}}(0) + F_{\text{يمين}}(1.25\ \text{m} + 0.50\ \text{m}) + (4.25\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)\left(\frac{1.25\ \text{m} + 0.50\ \text{m}}{2}\right) +$$

$$(6.00\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)(1.25\ \text{m}) = 0$$

$$F = 63\ \text{N}$$

وبتعويض النتيجة السابقة في معادلة القوة:

$$F_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{اللوح}} + F_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$F_{\text{يسار}} = -F_{\text{يمين}} - F_{\text{اللوح}} - F_{\text{الصندوق}}$$

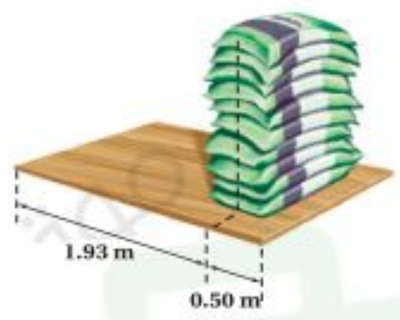
$$= -F_{\text{يمين}} - m_{\text{اللوح}}\,g - m_{\text{الصندوق}}\,g$$

$$= -(63\ \text{N}) - (4.25\ \text{kg})\,(-9.80\ \text{m/s}^2) - (6.00\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 37\ \text{N}$$

مراجعة عامة

64. التربة الرملية وضعت عشرة أكياس مملوءة بتربة رملية يزن كل منها 175 N بعضها فوق بعض، على بُعد 0.5 m من الطرف الأيمن لقطعة خشبية طولها 2.43 m. انظر **الشكل 22–2**، فرفع شخصان طرفي القطعة من نهايتيها إلى أعلى. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الشخصين في القطعة الخشبية مع إهمال وزنها؟



■ الشكل 22–2

في حالة الاتزان، محصلة القوى جميعها تساوي صفرا، ومحصلة العزوم تساوي صفرًا أيضًا.

$$F_{\text{أكياس}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{يسار}} = 0$$

$$\tau_{\text{أكياس}} + \tau_{\text{يمين}} + \tau_{\text{يسار}} = 0$$

اختر موقع القوة ($F_{\text{يمين}}$) على أنها محور الدوران، وذلك حتى تجعل عزم تلك القوة يساوي صفرًا.

$$\tau_{\text{يسار}} = -\tau_{\text{أكياس}}$$

$$-F_{\text{يسار}}\, r_{\text{يسار}} = -F_{\text{أكياس}}\, r_{\text{أكياس}}$$

$$F_{\text{يسار}} = \frac{-F_{\text{أكياس}}\, r_{\text{أكياس}}}{-r_{\text{يسار}}}$$

$$F_{\text{يسار}} = \frac{(10)(175\ \text{N})(0.50\ \text{m})}{2.43\ \text{m}}$$

$$= 3.6\times10^{2}\ \text{N}$$

وبتعويض النتيجة السابقة في معادلة القوة:

$$F_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{أكياس}} = 0$$

$$F_{\text{يمين}} = -F_{\text{يسار}} - F_{\text{أكياس}}$$

$$= -3.6\times10^{2}\ \text{N} - 10(-175\ \text{N})$$

$$= 1.4\times10^{2}\ \text{N}$$

65. يوضح **الشكل 23 – 2** أسطوانة قطرها 50 m في حالة سكون على سطح أفقي، فإذا لف حولها حبل ثم سحب، وأصبحت تدور دون أن تنزلق

a. فما المسافة التي يتحركها مركز كتلة الأسطوانة عند سحب الحبل مسافة 2.5 m بسرعة ثابتة؟

يكون مركز الكتلة دائمًا فوق نقطة الاتصال مع السطح للأسطوانة المنتظمة؛ لذا تحرك مركز الكتلة 2.50 m.

b. وإذا سحب الحبل مسافة 2.5 m خلال زمن 1.25 s فما سرعة مركز كتلة الأسطوانة؟

$$v = \frac{d}{t}$$

$$= \frac{(2.50\ \text{m})}{(1.25\ \text{s})}$$

$$= 2.00\ \text{m/s}$$

c. ما السرعة الزاوية المتجهة للأسطوانة؟

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

$$= \frac{2.00\ \text{m/s}}{\left(\frac{1}{2}\right)(50\ \text{m})}$$

$$= 8\times10^{-2}\ \text{rad/s}$$

66. **القرص الصلب** يدور قرص صلب في حاسوب حديث 7200 rev /min (دورة لكل دقيقة). فإذا صمّم على أن يبدأ الدوران من السكون ويصل إلى السرعة الفعّالة خلال 1.5 s. فما التسارع الزاوي للقرص؟

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{(7200\ \text{rev/min} - 0\ \text{rev/min})}{1.5\ \text{s}}$$

$$\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{\text{rev}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$

$$= 5.0\times10^{2}\ \text{rad/s}^2$$

67. **عداد السرعة** تقيس معظم أجهزة قياس السرعة في السيارات السرعة الزاوية للحركة، ثم تحولها إلى سرعة خطية، فكيف تؤثر زيادة قطر الإطارات في قراءة عداد السرعة؟

تقل السرعة الزاوية بزيادة القطر، وبالتالي تقل قراءة عداد السرعة.

68. يسحب صندوق على الأرض باستخدام حبل مربوط بالصندوق على ارتفاع h من الأرض، فإذا كان معامل الاحتكاك 0.35 وارتفاع الصندوق 0.50 m وعرضه 0.25 m فما مقدار القوة اللازمة لقلب الصندوق؟

افترض أن كتلة الصندوق تساوي M، ومركز كتلة الصندوق على بعد 0.25 m فوق سطح الأرض. يكون الصندوق على وشك الانقلاب عندما تكون العزوم المؤثرة فيه متساوية.

$$\tau_{\text{حبل}} = \tau_{\text{احتكاك}}$$

$$F_{\text{حبل}}\, r_{\text{حبل}} = F_{\text{احتكاك}}\, r_{\text{احتكاك}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{F_{\text{احتكاك}}\, r_{\text{احتكاك}}}{r_{\text{حبل}}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{\mu M g\, r_{\text{احتكاك}}}{r_{\text{حبل}}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{(0.35)\ \text{M}\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.25\ \text{m})}{h - 0.25\ \text{m}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{(0.86\ \text{m}^2/\text{s}^2)\ \text{M}}{h - 0.25\ \text{m}}$$

لاحظ أنه عندما تسحب الصندوق من عند مركز كتلته، يصبح المقام صفرًا. وهكذا تستطيع السحب بأي مقدار من القوة ولا ينقلب الصندوق.

تقويم الفصل 2

69. إذا كان طول عقرب الثواني في ساعة يد 12 mm فما سرعة دورانه؟

$$v = r\omega$$

$$= (0.012\ \text{m})\left(\frac{-2\pi\ \text{rad}}{\text{min}}\right)\left(\frac{\text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$

$$= -1.3 \times 10^{-3}\ \text{m/s}$$

70. **عارضة خشبية** إذا اشتريت عارضة خشبيّة طولها 2.44 m، وعرضها 10 cm، وسمكها 10 cm، في حين اشترى زميلك عارضة خشبية مماثلة وقطعها إلى قطعتين طول كل منهما 1.22 m، انظر إلى **الشكل 24–2**، ثم حمل كل منكما ما اشتراه من الخشب على كتفيه.

الشكل 24–2

a. فأيكما يرفع ما اشتراه من الخشب بطريقة أسهل؟ ولماذا؟

بما أن الكتلتين متساويتان فإن وزنيهما متساويان أيضًا. لذا، يلزم القوة نفسها، وتؤثر إلى أعلى لرفع كل من الحملين.

b. إذا كان كل منكما يؤثر بعزم بيديه ليمنع الخشب من الدوران، فأي الحملين يُعدّ منعه من الدوران أسهل؟ ولماذا؟

منع القطعة الخشبية الأطول من الدوران أسهل؛ لأن كتلتها موزعة على مسافة أطول (لها أكبر عزم قصور ذاتي).

71. **اللّوح المسطح** يحمل ماجد وعدي لوحًا مسطحًا طوله 2.43 m، ووزنه 143 N. فإذا كان ماجد يرفع أحد طرفي اللّوح بقوة 57 N

a. فما القوة التي يجب أن يؤثر بها عدي لرفع اللوح؟

$$F_{\text{عدي}} = F_g - F_{\text{ماجد}}$$

$$= 143\ \text{N} - 57\ \text{N}$$

$$= 86\ \text{N}$$

b. أي أجزاء اللّوح يجب أن يرفعه عدي؟

اختر نقطة الدوران عند النقطة التي يرفع فيها ماجد اللوح المسطّح.

$$\tau_{\text{عدي}} = \tau_g$$

$$F_{\text{عدي}}\, r_{\text{عدي}} = F_g r_g$$

$$r_{\text{عدي}} = \frac{F_g r_g}{F_{\text{عدي}}}$$

$$= \frac{(143\ \text{N})\left(\frac{2.43\ \text{m}}{2}\right)}{86\ \text{N}}$$

$$r_{\text{عدي}} = 2.0\ \text{m}$$

وعلى عدي أن يرفع اللوح على بعد 2.0 m من طرف اللوح الذي يرفعه ماجد.

72. عارضة فولاذية طولها 6.50 m، ووزنها 325 N تستقر على دعامتين المسافة بينهما 3.00 m، وبُعد كل من الطرفين عن الدعامتين متساوٍ. فإذا وقفت سوزان في منتصف العارضة وأخذت تتحرك نحو أحد الطرفين فما أقرب مسافة تتحركها سوزان لهذا الطرف قبل أن تبدأ العارضة في الانقلاب إذا كان وزن سوزان 575 N؟

تبعد كل دعامة مسافة 1.75 m عن طرف العارضة. اختر نقطة الدوران على أنها إحدى الدعامتين عند الطرف الأقرب لسوزان. سيكون مركز كتلة العارضة على بعد 1.50 m من تلك الدعامة. ستبدأ العارضة في الانقلاب عندما يكون عزم سوزان ($\tau_{\text{سوزان}}$) مساويًا لعزم مركز كتلة العارضة ($\tau_{\text{مركز كتلة العارضة}}$)، وسيكون الوزن كله على الدعامة الأقرب إلى سوزان.

$$\tau_{\text{مركز كتلة العارضة}} = \tau_{\text{سوزان}}$$

$$r_{\text{مركز كتلة العارضة}} F_{\text{مركز كتلة العارضة}} = r_{\text{سوزان}} F_{\text{سوزان}}$$

$$r_{\text{سوزان}} = \frac{r_{\text{مركز كتلة العارضة}} F_{\text{مركز كتلة العارضة}}}{F_{\text{سوزان}}}$$

$$= \frac{(325\ \text{N})\left(\frac{3.00\ \text{m}}{2}\right)}{575\ \text{N}}$$

$$= 0.848\ \text{m}$$

تستطيع سوزان أن تتحرك حتى تصبح على بُعد 0.848 m من الدعامة، أو $0.90\ \text{m} = 0.848 - 1.75$ من الطرف.

التفكير الناقد

73. تطبيق المفاهيم نقطة على حافة إطار تتحرك حركة دورانية.

a. ما الشروط التي تجعل التسارع المركزي صفرًا؟

عندما $\omega = 0.0$

b. ما الشروط التي تجعل التسارع المماسي (الخطي) صفرًا؟

عندما $\alpha = 0.0$

c. هل يمكن ألا يساوي التسارع الخطي صفرًا عندما يكون التسارع المركزي صفرًا؟ وضح ذلك.

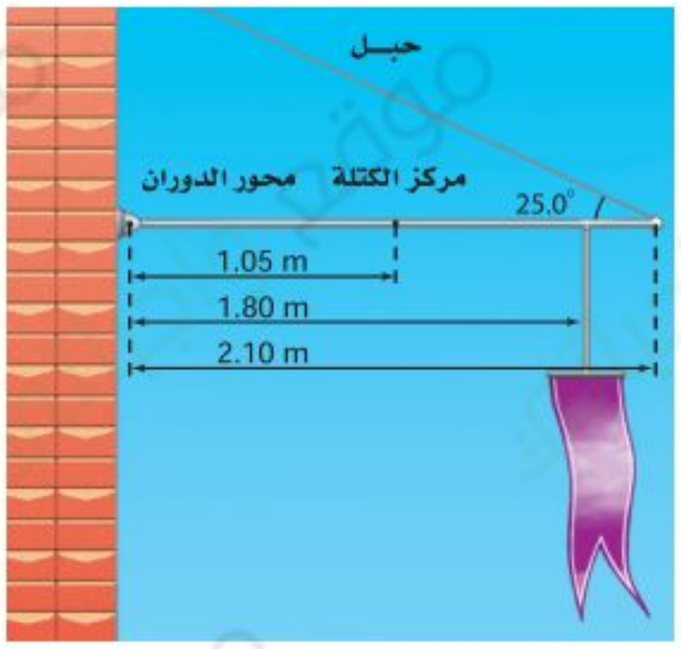
عندما تكون $\omega = 0.0$ لحظيًّا، غير أن α ليست صفرًا، حيث تستمر ω في التغير.

d. هل يمكن ألا يساوي التسارع المركزي صفرًا عندما يكون التسارع الخطي صفرًا؟ وضح ذلك.

نعم، مادامت ω ثابتة ولكنها ليست صفرًا.

تقويم الفصل 2

74. التحليل والاستنتاج تتدلى راية كبيرة من سارية أفقية قابلة للدوران حول نقطة تثبيتها في جدار كما في **الشكل 25–2**، إذا كان طول السارية 2.10 m، ووزنها 175 N، ووزن الراية 105 N، وعُلِّقت على بُعـــد 1.80 m من محور الدوران (نقطة التثبيت في الجدار) فما قوة الشد في الحبل الداعم للسارية؟



■ الشكل 25–2

يمكننا استخدام العزوم لإيجاد المركّبة الرأسية لقوة الشد ($F_{شدy}$). فالعزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة متزنة مع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة

$$\tau_{\text{في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة}} = \tau_{\text{في اتجاه حركة عقارب الساعة}}$$

$$\tau_{\text{الحبل}} = \tau_{\text{السارية}} + \tau_{\text{الراية}}$$

$$F_{شدy}\, r_{\text{الحبل}} = F_{\text{السارية}}\, r_{\text{السارية}} + F_{\text{الراية}}\, r_{\text{الراية}}$$

$$F_{شدy} = \frac{F_{\text{السارية}}\, r_{\text{السارية}} + F_{\text{الراية}}\, r_{\text{الراية}}}{r_{\text{الحبل}}}$$

الشد الكلي يساوي:

$$F_{\text{شد}} = \frac{F_{شدy}}{\sin 25^\circ} = \frac{F_{\text{السارية}}\, r_{\text{السارية}} + F_{\text{الراية}}\, r_{\text{الراية}}}{r_{\text{الحبل}} \sin 25^\circ}$$

$$= \frac{(175\ \text{N})(1.05\ \text{m}) + (105\ \text{N})(1.80\ \text{m})}{(2.10\ \text{m}) \sin 25^\circ}$$

$$= 420\ \text{N}$$

تقويم الفصل 2

75. التحليل والاستنتاج يتدلى مصباح من سلسلة معلقة بقضيب أفقي قابل للدوران حول نقطة اتصاله بجدار، ومشدود من طرفه الآخر بحبل، انظر **الشكل 26–2**. إذا كان وزن القضيب 27 N، ووزن المصباح 64 N

a. فما العزم المتولد من كل قوة؟

■ الشكل 26–2

$$\tau_g = -F_g r \sin\theta$$

$$= -(27\ \text{N})(0.22\ \text{m})(\sin 90.0°)$$

$$= -5.9\ \text{N.m}$$

$$\tau_{\text{المصباح}} = -F_{\text{المصباح}} r \sin\theta$$

$$= -(64\ \text{N})(0.33\ \text{m})(\sin 90.0°)$$

$$= -21\ \text{N.m}$$

b. ما قوة الشد في الحبل الداعم لقضيب المصباح؟

يمكننا استخدام العزوم لإيجاد المركّبة الرأسية لقوة الشد ($F_{\text{شد y}}$).

العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة متزنة مع العزوم

التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

$$\tau_{\text{في اتجاه حركة عقارب الساعة}} = \tau_{\text{في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة}}$$

64

$$F_{\text{شدy}}\, r_{\text{الحبل}} = F_{\text{القضيب}}\, r_{\text{القضيب}} + F_{\text{المصباح}}\, r_{\text{المصباح}}$$

$$F_{\text{شدy}} = \frac{F_{\text{القضيب}}\, r_{\text{القضيب}} + F_{\text{المصباح}}\, r_{\text{المصباح}}}{r_{\text{الحبل}}}$$

الشد الكلي يساوي:

$$F_{\text{شد}} = \frac{F_{\text{شدy}}}{\sin 105^\circ} = \frac{F_{\text{القضيب}}\, r_{\text{القضيب}} + F_{\text{المصباح}}\, r_{\text{المصباح}}}{r_{\text{الحبل}} \sin 105^\circ}$$

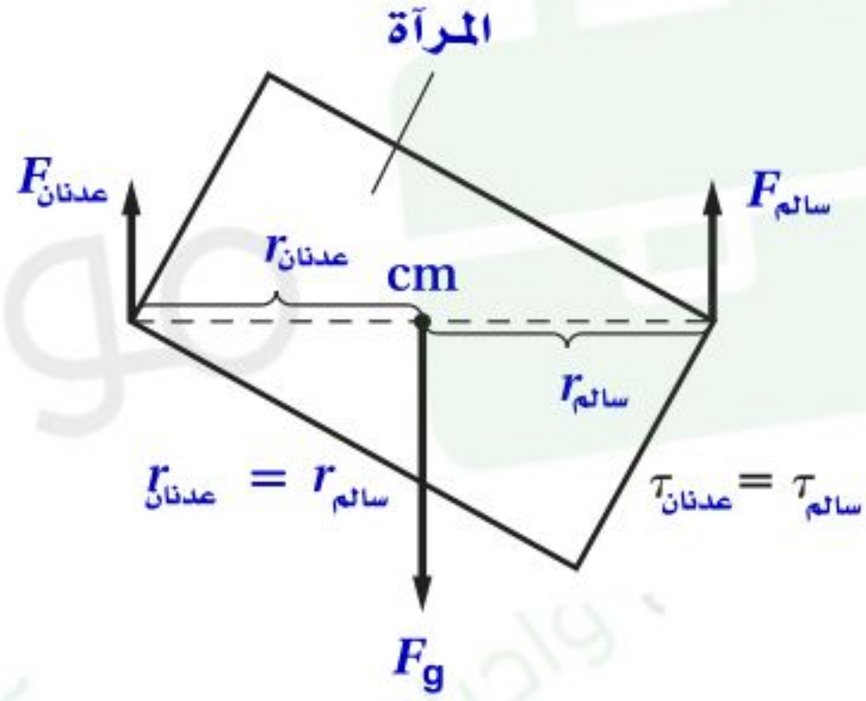
$$F_{\text{شد}} = \frac{(27\ \text{N})\left(\frac{0.44\ \text{m}}{2}\right) + (64\ \text{N})\ (0.33\ \text{m})}{(0.44\ \text{m})\ \sin 105^\circ}$$

$$F_{\text{شد}} = 64\ \text{N}$$

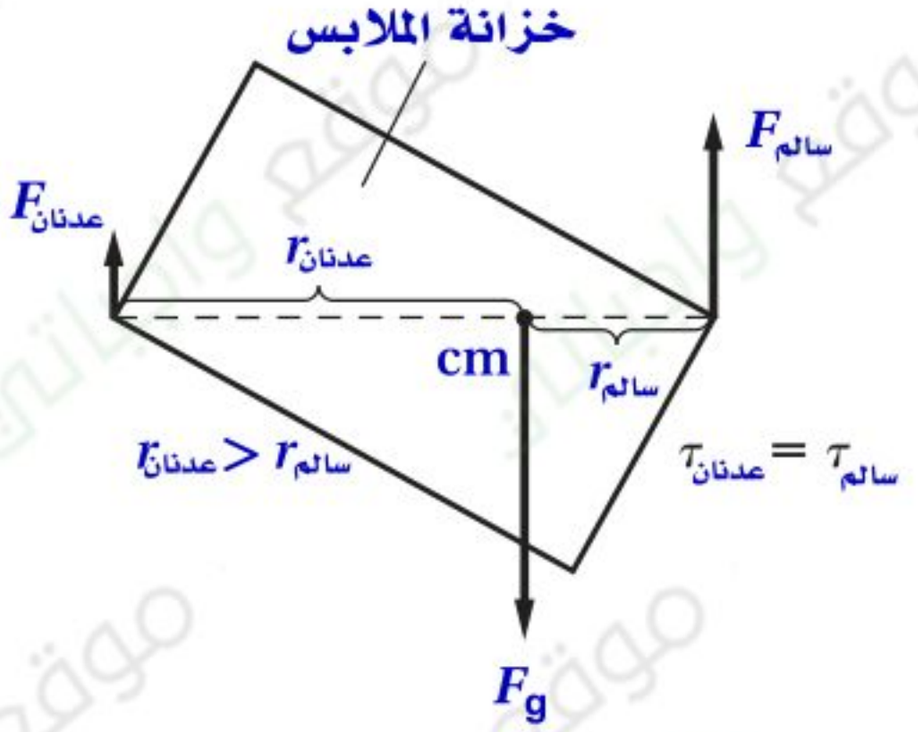
تقويم الفصل 2

76. التحليل والاستنتاج ينقل عدنان وسالم الأجسام الآتية إلى أعلى السلم: مرآة كبيرة، وخزانة ملابس، وتلفازًا، حيث يقف سالم عند الطرف العلوي، ويقف عدنان عند الطرف السفلي. وعلى افتراض أن كليهما يؤثر بقوى رأسية فقط.

a. ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا فيه سالمًا وعدنان يؤثران بالقوة نفسها في المرآة.

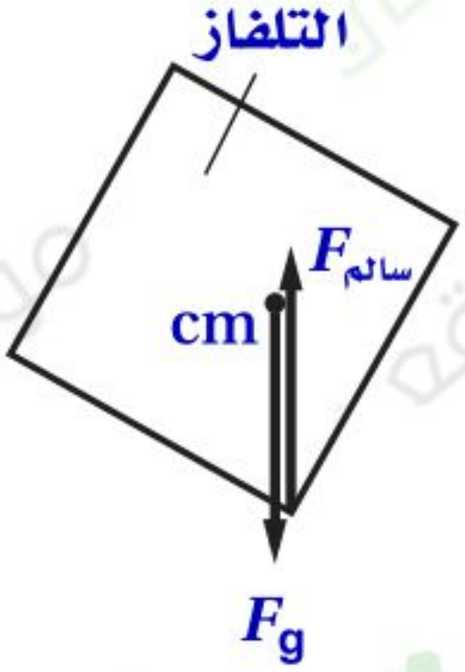


b. ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا فيه عدنان يؤثر بقوة أكبر في أسفل خزانة الملابس.



c. أين يكون مركز كتلة التلفاز لكي يحمل سالم الوزن كله؟

مباشرة فوق المكان الذي يرفع منه عدنان.



الكتابة في الفيزياء

77. يعرف علماء الفلك أنه إذا كان التابع الطبيعي (كالقمر) قريبًا جدًّا من الكوكب فإنه سيتحطم إلى أجزاء بسبب قوى تسمى قوى المدّ والجزر. وبالمثل فإنّ الفرق بين قوتي الجاذبية الأرضية على طرفي القمر الاصطناعي القريب من الأرض والبعيد عنها أكبر من قوة تماسكه. ابحث في حد روش Roche limit، وحدّد بعد القمر عن الأرض ليدور حولها عند حد روش.

إذا كانت كثافة التابع تساوي كثافة الكوكب كان حد روش Roche limit يساوي نصف قطر الكوكب 2.446 مرة. وحد روش Roche للأرض يساوي 18,470 km.

78. تصنف محركات السيارات وفق عزم الدوران الذي تنتجه. ابحث عن سبب الاهتمام بعزم الدوران وقياسه.

تتسارع السيارة بسبب القوة التي تؤثر بها الأرض في الإطارات، وتنتج هذه القوة عن المحرك عن طريق تدوير محور الإطارات. والعزم المؤثر في الإطار يساوي القوة المؤثرة في حافة الإطار مضروبة في نصف قطره، وقد تغير نواقل الحركة القوة المؤثرة لكنها لا تغير العزم؛ لذا فإن مقدار العزم المتولد من المحرك ينتقل إلى الإطارات.

مراجعة تراكمية

79. تحركت زلاجة كتلتها 60.0 kg بسرعة 18.0 m / s في منعطف نصف قطره 20.0 m. كم يجب أن يكون الاحتكاك بين الزلاجة والجليد حتى تجتاز المنعطف؟

$$F_{\text{احتكاك}} = F_{\text{محصلة}} = \frac{mv^2}{r}$$

$$= \frac{(60.0\ \text{kg})(18.0\ \text{m/s})^2}{20.0\ \text{m}} = 972\ \text{N}$$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يبين الشكل صندوقين عند نهايتي لوح خشبي طوله 3.0 m، يرتكز عند منتصفه على دعامة تمثل محور دوران، فإذا كانت كتلة الصندوق الأيسر $m_1 = 25\ kg$ وكتلة الصندوق الأيمن $m_2 = 15\ kg$، فما بعد النقطة التي يجب وضع الدعامة عندها عن الطرف الأيسر لكي يتزن اللّوح الخشبي والصندوقان أفقيًّا؟

(A) 0.38 m
(B) 0.60 m
(C) 1.1 m
(D) 1.9 m

2. أثرت قوة مقدارها 60 N في أحد طرفي رافعة طولها 1.0 m، أما الطرف الآخر للرافعة فيتصل بقضيب دوّار متعامد معها، بحيث يمكن تدوير القضيب بدفع الطرف البعيد للرافعة إلى أسفل. فإذا كان اتجاه القوة المؤثرة في الرافعة يميل 30° فما العزم المؤثر في الرافعة؟

$(\sin 30^\circ = 0.5 ،\cos 30^\circ = 0.87 ،\tan 30^\circ = 0.58)$

(A) 30 N.m
(B) 52 N.m
(C) 60 N.m
(D) 69 N.m

3. يحاول طفل استخدام مفتاح شدّ لفك برغي في دراجته الهوائية. ويحتاج فك البرغي إلى عزم مقداره 10 N.m وأقصى قوة يستطيع أن يؤثر بها الطفل عموديًّا في المفتاح 50 N. ما طول مفتاح الشد الذي يجب أن يستخدمه الطفل حتى يفك البرغي؟

(A) 0.1 m
(B) 0.15 m
(C) 0.2 m
(D) 0.25 m

4. تتحرك سيارة قطر كل إطار من إطاراتها 42 cm فتقطع مسافة 420 m. أي مما يأتي يبين عدد الدورات التي يدورها كل إطار عند قطع هذه المسافة؟

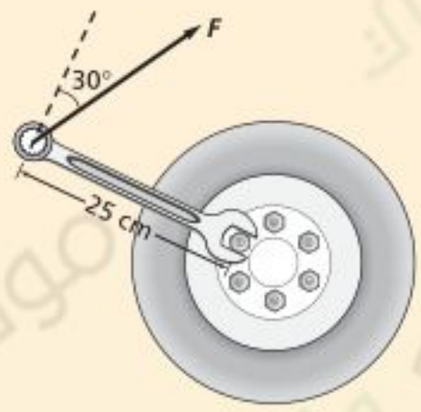
(A) $\frac{5.0 \times 10^1}{\pi}$ rev
(B) $\frac{1.0 \times 10^2}{\pi}$ rev
(C) $\frac{1.5 \times 10^2}{\pi}$ rev
(D) $\frac{1.0 \times 10^3}{\pi}$ rev

5. إذا كان قطر إطاري جرّار زراعي 1.5 m، وقاد المزارع الجرّار بسرعة خطية 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

الأسئلة الممتدة

6. استخدام مفتاح شد طوله 25 cm لفك صامولة برغي في إطار سيارة. انظر الشكل أدناه. وسُحب الطرف الحر للمفتاح إلى أعلى بقوة مقدارها $2.0 \times 10^2\ N$، وتميل بزاوية 30°، كما هو مبين في الشكل. ما مقدار العزم المؤثر في مفتاح الشد؟ $(\sin 30^\circ = 0.5 ،\cos 30^\circ = 0.87)$



43.5 N.m