جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم
قطاع الكتب

الفيزيـــاء

للصف الأول الثانوى

لجنة إعداد الكتاب المطور

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف
أستاذ الفيزياء المتفرغ
كلية العلوم - جامعة المنصورة

أ.د. محمد سامح سعيد
أستاذ ورئيس قسم الإلكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

د. مصطفى محمد السيد محمد
أستاذ مساعد بقسم الفيزياء
كلية التربية - جامعة عين شمس

د. طارق محمد طلعت سلامة
مدرس الفيزياء بكلية العلوم - جامعة الزقازيق

أ. كريمة عبدالعليم سيد أحمد
موجه عام الفيزياء بمكتب مستشار العلوم

لجنة مراجعة الكتاب المطور

أ.د. محمد أمين سليمان
أستاذ الفيزياء المتفرغ
كلية العلوم - جامعة القاهرة

أ.د. صبحى رجب عطاالله
أستاذ الفيزياء بكلية العلوم - جامعة الفيوم
ومنتدب بمركز تطوير المناهج

أ. شوقى درويش محرم
مستشار العلوم السابق

د. خالد محمد سيد
دكتور باحث بمركز الامتحانات والتقويم التربوى

أ. إلهام أحمد إبراهيم
مستشار العلوم

لجنة الإعداد والمراجعة قبل التطوير

أ.د. عبدالفتاح أحمد الشاذلى
أ.د. كامل أحمد الدهيمى
أ.د. محمد عبدالهادى كامل العدوى
أ. أسامة عبدالكريم السكرى
أ. على إبراهيم حمودة

لجنة الإعداد الفنى والإخراج بالمركز الاستكشافى للعلوم

أ.د. محمد سامح سعيد

المشرف العام

م. عصام الدين أحمد على
أ. خالد محيى الدين إسماعيل

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم

المقدمة

الفيزياء هى العلم الذى يصف كيف يعمل هذا الكون، والفيزياء هى أم العلوم، فهى علم يتناول فهم ما يجرى حولنا. هذا الكون مبنىّ على عدد قليل من قوانين ومفاهيم علمية لا إثبات لها غير أنها تحكم مجريات الأمور، وتتناسق مع بعضها دون تعارض، فهو علم تجريبى بالدرجة الأولى، وكل اكتشافات العلماء إما لوصف ما هو موجود أو محاولة تفسيره من واقع المفاهيم والقوانين الأولية، ثم محاولة استخدامه فى صورة اختراعات حديثة.

هكذا تقدم الإنسان واستنبط وسائل معينة له فى الحياة. وهذه الوسائل هى التى تسمى التكنولوچيا، إذن فالهندسة والتصنيع والتكنولوچيا كلها فى النهاية مردها إلى عالم الفيزياء. ثورة الإلكترونيات والاتصالات والكمبيوتر، والتقدم الهائل فى الطب، وفى الصناعة، وفى الزراعة، وفى أبحاث الفضاء والليزر والذرة وغيره مرده فى النهاية إلى علم الفيزياء. إذن علم الفيزياء هو الطريق إلى التقدم، لأنه مفتاح فهم قوانين الحياة التى يتعايش معها الإنسان، وكما أن للإنسان لغة يتخاطب بها مع الآخرين، فالكون أيضًا له لغة نتعامل معه بها.

هذه اللغة هى الرياضيات، فالمعادلات الرياضية إنما هى أسلوب مختصر للتعبير عن مفاهيم علمية يمكن وصفها بكلام مسترسل، ولكن يمكن وصفها باختصار بمعادلة رياضية، ولذلك فإن طالب الفيزياء يجب أن يفهم أن وراء المعادلة معنى، وهذا المعنى هو المفهوم العلمى الحقيقى الذى يجب أن يبقى فى ذهنه. لقد بنيت الفيزياء – كسائر العلوم – على جهود علماء عبر التاريخ حتى وصل إلينا رصيد العلم إلى ما توصلنا إليه الآن. والآفاق رحبة ومفتوحة أمام كون لا نعلم عنه إلا القليل. «**سنريهم آياتنا فى الآفاق وفى أنفسهم حتى يتبين لهم أنه الحق**» صدق الله العظيم، وهكذا كلما زاد فهمنا لما حولنا اكتشفنا أكثر وأكثر أنا ما تعلمناه إنما هو قليل «**وما أوتيتم من العلم إلا قليلا**» صدق الله العظيم.

ينقسم هذا الكتاب إلى ثلاث وحدات: الوحدة الأولى هى الميكانيكا، وتشمل: الكميات الفيزيائية، والأبعاد، وقوانين الحركة، وقوانين نيوتن، وقانون

المحتويات

مقدمة

الوحدة الأولى: الميكانيكا :

الفصل الأول : مدخل إلى الفيزياء ١

الفصل الثانى : الحركة ١٠

الفصل الثالث: قوانين نيوتن للحركة ٣٢

الفصل الرابع : قانون الجذب العام ٥٦

الفصل الخامس : قانون بقاء الطاقة ٦٩

الفصل السادس : قانون بقاء كمية الحركة الخطية ٩٤

الفصل السابع : ارتياد الفضاء ١٠٩

الوحدة الثانية : الحرارة :

الفصل الثامن : قياس درجة الحرارة ١٣١

الفصل التاسع : الطاقة الحرارية ١٤٤

الوحدة الثالثة : الكهربية :

الفصل العاشر : الكهربية الاستاتيكية ١٦٢

الفصل الحادى عشر: الكهربية الديناميكية (التيارية) والمغناطيسية ١٨٢

ملاحق :

ملحق ١ الرموز والأعداد ووحدات الكميات الفيزيائية ١٩٩

ملحق ٢ الثوابت الفيزيائية ٢٠٢

ملحق ٣ البادئات القياسية ٢٠٤

ملحق ٤ الجروف الأبجدية اليونانية ٢٠٥

ملحق ٥ أسماء بعض العلماء وإنجازاتهم ٢٠٦

ملحق ٦ بعض مواقع الفيزياء على شبكة الإنترنت ٢١١

الجاذبية، والشغل، والطاقة، ثم ارتياد الفضاء، الوحدة الثانية هى الحرارة، وتشمل: درجة الحرارة، والطاقة الحرارية، والوحدة الثالثة هى الكهربية، وتشمل: الكهربية الإستاتيكية، والكهربية الديناميكية، وكل هذه الظواهر تعرفنا عليها فى حياتنا، فكلنا ندرك الميكانيكا حتى لو لم نكن نعلم قوانينها، وكلنا نعرف الحرارة وندرك أهمية الكهربية فى حياتنا، لكن المهم أن نفهم أكثر ونتعلم وأن نستفيد بما نتعلمه ونطبقه، وندرك أن طريق التعلم لا نهاية له، ولا يمكن أن يلتزم الإنسان بشىء مدى الحياة إلا إذا كان يحبه.

كذلك تمت إضافة بعض المعلومات الإثرائية والصور التوضيحية المصاحبة لها التى تظهر تطبيق النظريات الفيزيائية فى الحياة، وتشد الطالب نحو أهمية ما يتعلمه على أرض الواقع وعلاقته بالتكنولوجيا الحديثة ولا تكون ملزمة له فى الامتحانات فى هذه المرحلة.

ولذلك فإن الهدف من هذا الكتاب هو أن نجعلك أيها الصديق العزيز تحب علم الفيزياء كمدخل للتقدم العلمى والتكنولوچى، وطريق للتحضر والرقى.

فقد يأتى اليوم الذى تصبح فيه عالمًا ومكتشفًا ومخترعًا عظيمًا بإذن الله.

وقد قام المركز الاستكشافى للعلوم بالتجهيزات الفنية والإخراج الفنى لهذا الكتاب طبقًا للمواصفات العالمية للكتب الدراسية المطورة. مع مراعاة ألا يزيد عدد الأسطر فى الصفحة الواحدة على ٢٤ سطرًا لإراحة العين، والإكثار من الصور المعبرة عن المادة العلمية، واستخدام كود ألوان لتحديد المفاهيم المهمة والتطبيقات المختلفة والأمثلة المحلولة والاهتمام بتصميم الغلاف كعامل جذب للطالب.

لجنة إعداد

كتاب فيزياء أولى ثانوى مطور

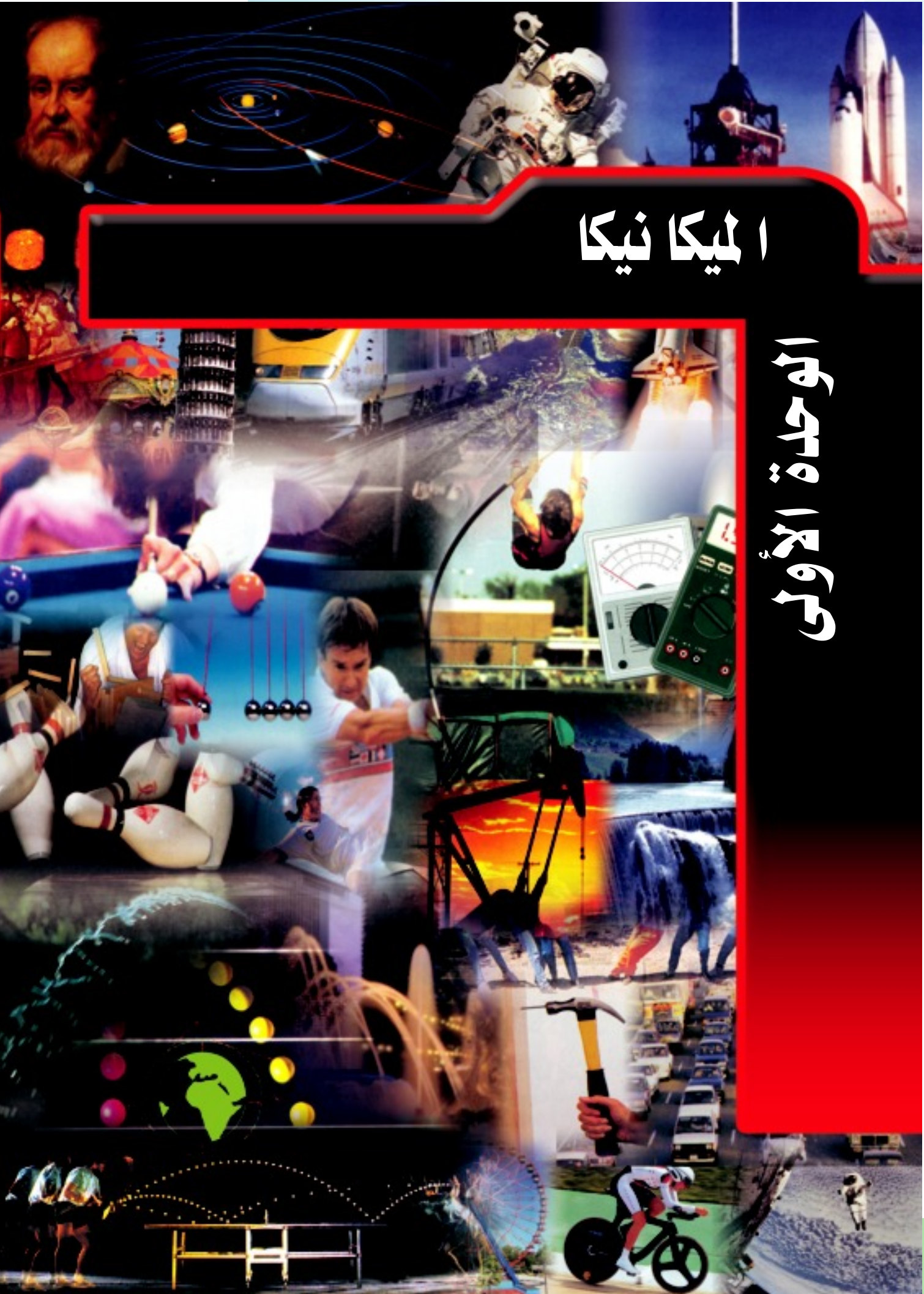
أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف

أ.د. محمد سامح محمد سعيد

د. مصطفى محمد السيد محمد

د. طارق محمد طلعت سلامة

أ. كريمة عبدالعليم سيد أحمد



الميكانيكا

الوحدة الأولى

مطابع روز اليوسف

الفصل الأول

مـــدخـــل إلـــى الفـــيزيـــاء

تعريف علم الفيزياء

الفيزياء Physics : هو العلم الذى يبحث فى تفسير كل الظواهر الطبيعية والكونية، وفهم كيف تعمل الأشياء من خلال استنباط أنماط معينة من السلوك تتكرر تحت نفس الظروف ، وتسمى القوانين الأساسية للكون . وتعتبر هذه القوانين هى المرجع لتفسير أى موقف علمى يستجد. فإذا لم يمكن تفسيره بأى من هذه القوانين ، فإن ذلك قد يكون مقدمة لاكتشاف قانون جديد أو ظاهرة جديدة ، وتعتبر قوانين الفيزياء - وهى قليلة - الأساس الذى يتصرف بمقتضاه الكون، والأساس الذى يشرح كل المشاهد العلمية التى نتعامل معها فى الحياة. ومن ثم تدخل الفيزياء فى كافة المجالات العلمية: الطب، والهندسة، والزراعة، والعلوم. بل إن التفكيرالفيزيائى العلمى والتفكير الفلسفى المنطقى فى الإنسانيات يتلازمان ، وهو ما يسمى الأسلوب العلمى فى التفكير والبحث. ولأن أساس الفيزياء تجريبى Experimental - أى أن التجربة المعملية ونتائجها والاستنتاج المبنى على الملاحظة هى المحك - فإن قوانين الفيزياء الأساسية ليس لها تبرير نظرى ، ولكنها تصف ما هو موجود. وهذه القوانين منسجمة مع بعضها ، مكونة حزمة متكاملة Package ، لا يعارض أحدها الأخر.ومهمة طالب الفيزياء هو أن يفهم هذه القوانين ، ثم يحلل كافة المواقف العلمية بدلالتها . ومن خلال ذلك تتراكم الخبرات الفيزيائية والتى تمهد الطريق نحو الاختراع والابتكار. فكل ما نراه من وسائل تكنولوجية، مثل: التليفزيون، والتليفون المحمول والراديو وغيره مبنى على القوانين الفيزيائية الأساسية.

الكميات الفيزيائية الأساسية

اهم الكميات الفيزيائية الأساسية التى تتعامل معها فى الحياة هى المسافة (أو الطول) والكتلة والزمن والشحنة الكهربية ودرجة الحرارة، وهى الكميات التى لا يمكن استنتاج إحداها بدلالة أخرى.

الميكانيكا

الوحدة الأولى

الفصل الأول

مدخل إلى الفيزياء

تسمى معامل المعايرة Calibration يتميز بالدقة والثبات. فمثلاً تعاير الثانية (وهى وحدة قياس الزمن) بساعة السيزيوم الذرية التى تبلغ دقتها جزءاً من مائة ألف مليون جزء من الثانية ، بحيث يكون الاختلاف بين ساعتى سيزيوم تعملان معاً حوالى ثانية واحدة كل خمسة آلاف سنة.

كما يعاير الكيلو جرام العيارى بإسطوانة من البلاتين والإيريديوم ذات أبعاد محددة ، محفوظة عند صفر سلزيوس (مئوى) موجودة فى باريس وفى معهد المعايرة بمدينة بولدر - كولورادو بالولايات المتحدة وهكذا.

القياس:

تتم عملية القياس Measurement بأجهزة تمت معايرتها والتأكد من دقتها بواسطة الهيئات القياسية فى العالم. وأجهزة القياس متعددة ، بعضها يستخدم مؤشرا ، وتسمى أجهزة تناظرية Analog (شكل ١-١) . وبعضها رقمى Digital (شكل ١-٢) . وبعضها بسيط يعتمد على القراءة المباشرة مثل المتر الشريطى.

(شكل ١-١)

جهاز قياس تناظرى

(شكل ١-٢)

جهاز قياس رقمى

الكميات الفيزيائية المشتقة:

هى كميات يمكن إشتقاقها بدلالة الكميات الفيزيائية الأساسية . ومنها على سبيل المثال: السرعة، والعجلة، والقوة، والطاقة، والشغل، والقدرة، والتيار الكهربى والجهد الكهربى، والمقاومة الكهربية، والسعة الكهربية، وغيرها.

الوحـــدات

لكل كمية فيزيائية أساسية أو مشتقة وحدة تميزها. وهذه الوحدات تخضع لنظام عالمى متفق عليه، وهو النظام المترى الدولى الحديث. فعلى سبيل المثال فإن المسافة أو الطول تقاس بالمتر meter (m) ، والكتلة بالكيلوجرام Kilogram (kg) ، والزمن بالثانية Second (s) والشحنة بالكولوم Coulomb (C) ، أما وحدات بعض الكميات المشتقة فكالآتى:

١- القوة (نيوتن Newton)

٢- الشغل أو الطاقة (جول Joule أو J)

٣- شدة التيار الكهربى (أمبير Ampere أو A)

٤- الجهد الكهربى (فولت Volt أو V)

٥- السعة الكهربية (فاراد Farad أو F)

٦- المقاومة الكهربية (أوم Ohm أو Ω)

وغيرها كثير. وبعض الوحدات قد لا يكون لها اسم مميز. فمثلا السرعة هى متر لكل ثانية (m/s) والعجلة متر لكل ثانية لكل ثانية (m/s^2) ، وغيرها. فهذه الوحدات المميزة ليس لها اسم خاص . ولكن في الفيزياء لابد من كتابة التمييز . لأنه بدونه لا يكون للمقدار معنى. فإذا قلت 4 لا نعرف هل الكمية أوم أو درجة حرارة أو قوة أو سرعة ؟ ولا يمكن إضافة كميات لبعضها إلا إذا كان لها نفس الوحـدة فلا يصح إضافة طاقة إلى سرعة أو إلى قوة وهكذا (ملحق ١).

الوحدات المرجعية:

يوجد لكل وحدة من وحدات قياس الكميات الاساسية نموذج معيارى يحفظ فى معامل خاصة

الأس العشرى:

يعبر عن الكميات الفيزيائية الكبيرة مثلاً 100000 بالطريقة المختصرة 10^5 ، وكذلك الكميات الصغيرة 0.0001 بالطريقة المختصرة 10^{-4} ، فإذا كان لدينا كمية هى حاصل ضرب كميتين $10^5 \times 10^{-4}$ فإن الناتج 10^1 . وإن كان لدينا $\frac{10^5}{10^{-4}}$ فإن الناتج 10^9 وهكذا. كما يطلق على تصغير الوحدات مسميات خاصة مثل $\frac{1}{100}$ من المتر هو السنتميتر (cm)، و $\frac{1}{1000}$ من المتر هو المليمتر (mm)، و $\frac{1}{10^6}$ من المتر هو الميكرومتر (μm) . وتعرف هذه المسميات بالبادئات القياسية (ملحق ٣) . ولابد ان نأخذ هذا فى الاعتبار عند التحويل من وحدة لأخرى . فمثلاً $1mm = 10^{-3}m$ وهكذا.

الحس التقديرى:

من المهم اثناء حل معادلات الفيزياء ان يكون لدينا الحس الفيزيائي بالأعداد. فلا يمكن مثلاً أن نقبل ان يكون جواب مسألة ما مثل كتلة سيارة هو $10^{25}kg$ ، كما لا يجوز أن يكون طول المسافة من القاهرة إلى الإسكندرية $3 \times 10^{-5}m$ ، لابد من استخدام المنطق فى تقدير النتيجة سلفًا، وان نتأمل ما تسفر عنه الحسابات بتفكير منطقى يعتمد على الاحساس الفطرى Common Sense . لذلك فإن الفيزيائى عادة يقدر نتيجة الحسابات تقديرًا تقريبيا بعد انتهائه من إجرائها للتأكد من منطقية النتيجة وعدم الاعتماد تماماً على الآلة الحاسبة Calculator بدون تفكير.

التقريب

يمكن تقريب النتائج فى التجارب العادية . إذا كان لدينا عدد مثل 6.343212153 فيمكن تقريبه إلى 6.34 او 6.343 أو حتى 6.3 حسب المسموح به للتقريب. ففى النهاية لا بد أن نتفهم أن حسابات الكميات الفيزيائية لا يجب أن تكون أكثر دقة من القياسات ذاتها . أما فى القياسات عالية الدقة فإن الوضع يختلف لأن الأجهزة تكون بالغة الدقة حتى أن الزمن مثلاً يقاس بالفمتو ثانية ($10^{-15}s$) . فنحن لا نستطيع أن نرصد إلا فى حدود دقة أجهزة القياس ذاتها.

الدقة والخطأ:

لا يمكن أن تتم عملية القياس بدقة Accuracy 100% . فلابد من نسبة بسيطة للخطأ. والخطأ Error قد يأتى من عدم دقة القياس . وقد يكون ذلك راجعا للجهاز نفسه . فمثلا تكون البطارية التى يستخدمها الجهاز شبه فارغة ، أو يكون الخطأ ناشئا من العامل البشرى أثناء القراءة ، أو عن عوامل بيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة وغيرها . ولكن مهمة الفيزيائى أن يحاول أن يجعل نسبة الخطأ أقل ما يمكن، لأن القياس هو وسيلته الوحيدة للتعامل مع الطبيعة والاستدلال على مقادير الكميات الفيزيائية.

لغة الفيزياء

يلجأ الفيزيائى دائمًا للتعبير عن الكميات الفيزيائية وعلاقتها ببعضها البعض بتمثيل رياضى فى صورة معادلات رياضية . وهذه المعادلات الرياضية هى صورة مختصرة لتوصيف فيزيائى يطول بالكلمات. وهنا لابد أن نتذكر أن المعادلة الفيزيائية إنما تعنى مدلولاً معيناً . وهذا المدلول هو ما نسميه المعنى الفيزيائى Physical Meaning. وفهم هذا المدلول أهم بكثيرمن حفظ المعادلة الرياضية بلا فهم. وهذا المدلول هو ترجمة ما فى الطبيعة من معان يدركها الفيزيائى بحسه ، فيتكون لديه حاسة خاصة نسميها الحاسة الفيزيائية Physical Sense . هذه الحاسة هى التى تقوده فى النهاية إلى الإبداع والاختراع . لأنه إذا استخدم هذه الحاسة فى محلها يستطيع فهم الطبيعة وإجادة لغة الحوار معها، وبالتالى تطويعها.

ومن ثم فإنه يلاحظ أن إلفيزياء مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالتطبيقات فى كل مظاهر الحياة حولنا من الجاذبية إلى الحرارة إلى الكهرباء وغيرها.

فهم الفيزياء جيدًا هو الذى مكن الإنسان من أن يتغلب على الجاذبية وينطلق إلى القمر ، ويطلق الأقمار الصناعية التى تبث عليها القنوات الفضائية. واكتشاف الكهرباء هو الذى مكن الإنسان من اختراع الكمبيوتر والأجهزة الكهربية . واستيعاب قوانين الميكانيكا والحرارة هو الذى مكن الإنسان من اختراع السيارة والطائرة ووسائل النقل الأخرى .

الثوابت الفيزيائية Physical constants

توجد كميات قياسية تمثل علاقات ثابتة بين كميات فيزيائية معينة أو مقادير ثابتة لا تتغير من تجربة لأخرى . وقد يكون لها وحدات ، أو تكون بلا وحدات . وقد تم حصر بعضها فى ملحق خاص (ملحق ٢).

الحروف الإغريقية:

كثير من الكميات الفيزيائية تستخدم حروفًا إغريقية . والسبب فى ذلك كثرة الرموز الفيزيائية وعدم قدرة الرموز اللاتينية على استيعابها. وقد أفرد ملحق خاص لهذه الرموز ومبين طريقة نطقها (ملحق ٤) .

ما نراه وما لا نراه:

قد تكون إحدى صعوبات الفيزياء الجوهرية أننا لا نرى كل الظواهر والكميات الفيزيائية بالعين المجردة، ولكن عدم القدرة على الرؤية بالعين المجردة لا يعنى عدم وجودها، والدليل على ذلك أن اختراع الميكروسكوب مكننا من رؤية البكتريا التى لم يكن من الممكن رؤيتها من قبل، رغم أنها كانت وستظل موجودة. ولذلك فإن رؤيتنا للأجسام تتوقف على دقة أجهزة القياس من ناحية وطبيعة هذه الأجسام من ناحية أخرى. وما لا نراه بالعين قد ندرك وجوده بأثره أو بتأثيره على البيئة التى يوجد فيها ، فالإلكترون مثلاً لا نراه ، ولكننا نستدل على وجوده بما يحدثه من تأثير . وأبسط تأثير نشعر به جميعاً هو التيار الكهربى الذى لا يمكن أن ننكره ، وهو سيل من الإلكترونات. كذلك نحن نستخدم التليفون المحمول ، ولانرى الموجات التى تنطلق منه أو تدخل إليه. إذاً الرؤية أو عدم الرؤية يجب ألا تكون عائقًا أمام فهم الفيزياء والإحساس بها. أما المفاهيم التفصيلية للفيزياء والتى قد تتطلب قدراً من الخيال - مثل طبيعة الذرة أو ما يحدث داخل الترانزستور وخلافه - فإننا نرجع إلى المفاهيم الفيزيائية المرتبطة بالموضوع ، ونتقبل المنطق الذى يفسر السلوك الإلكترونى أو الذرى ، بشرط أن يتفق ذلك التفسير والمنطق مع النتائج التى ترصدها التجارب العملية . وبعض هذه التجارب نستطيع إجراءها بأنفسنا فى المعمل. وبعضها قام به علماء أكفاء ثقات لا بد أن نسلم بصحتها ونصدقها. فالفيزياء هى تراكم خبرات ، ولا يمكن أن يبدأ طالب الفيزياء كل مرة بإعادة اكتشاف ما سبق للعلماء اكتشافه أو التحقق منه . ومن خلال التصديق والتواصل يمكنه أن يضيف فى فترة عمر محدودة إلى الرصيد العلمى، و إلا بدأنا كل مرة من نقطة الصفر ويتوقف التقدم الإنسانى.

نظرة للأمام

مع دراسة الفيزياء لا بد أن يتولد لدينا الإحساس بأن ما ندرسه هو رصيد معلوماتى يمكننا من التطبيق ؛ ولا بد أن يصل هذا الإحساس إلى مرحلة حب الفيزياء، وصولاً إلى اكتشاف ما أو اختراع جديد. ويتطلب ذلك منا دائمًا أن نسأل أنفسنا كيف ولماذا؟ نفكر دائمًا كيف تعمل الأشياء. قد يقال أن الاختراع يأتى بالصدفة . ولكن حتى إذا حدث ذلك ، فإن الصدفة لا يراها إلا من يستحقها ويقدرها

مثـــــال

احسب y تقديرياً . وقارن ذلك بالنتيجة عند استخدام الآلة الحاسبة.

$$y = \frac{1023 \times 0.134 \times 15.3}{403.2}$$

الحـــل

$$y = \frac{1.023 \times 10^3 \times 1.34 \times 10^{-1} \times 1.53 \times 10^1}{4.032 \times 10^2}$$

$$= \frac{1.023 \times 1.34 \times 1.53}{4.032} \times \frac{10^3}{10^2}$$

تقديرياً نجد أن

$$y = \frac{1 \times 1.3 \times 1.5 \times 10}{4} = 5$$

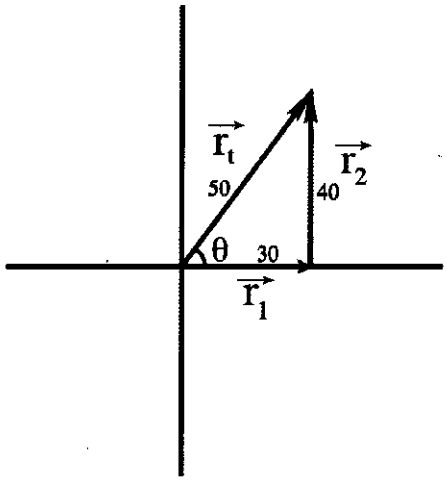
وباستخدام الآلة الحاسبة

$$y = 0.520177 \times 10 = 5.2$$

وهي قريبة مما توقعنا، وإذا استخدامنا للآلة الحاسبة كان صحيحاً.

الكميات القياسية والكميات المتجهة:

بعض الكميات الفيزيائية تسمى مقادير قياسية Scalar، فمثلاً طول المسطرة 30cm ، ولكن إذا قلت انك تحركت 10km ، فلا بد أن تحدد هل تحركت إلى الشرق أو إلى الغرب أو الشمال أو بزاوية معينة، ومثل هذه الكميات تسمى كميات متجهة Vectors. ولابد أن تراعي أننا إذا جمعنا كميتين قياسيتين مثل 30 cm + 40 cm =70 cm ، أما إذا جمعنا كميتين متجهتين مثل 30km في اتجاه الشرق و 40 km في اتجاه الشمال ، فإن المحصلة تكون 50 km في اتجاه زاوية θ مع اتجاه الشرق ظلها يساوى $\frac{4}{3}$ (شكل ١-٣) . ويرمز للمتجه الأول $\overrightarrow{r_1}$ والمتجه الثاني $\overrightarrow{r_2}$ والمحصلة $\overrightarrow{r_t}$. ومقدار المتجه الأول $|\overrightarrow{r_1}|$ وهو 30km ومقدار الثاني $|\overrightarrow{r_2}|$ وهو 40km ، والسهم يعني أن الكمية لها مقدار واتجاه والخطان القصيران الرأسيان يعبر عن المقدار.



شكل (١-٣)
كمية متجهة

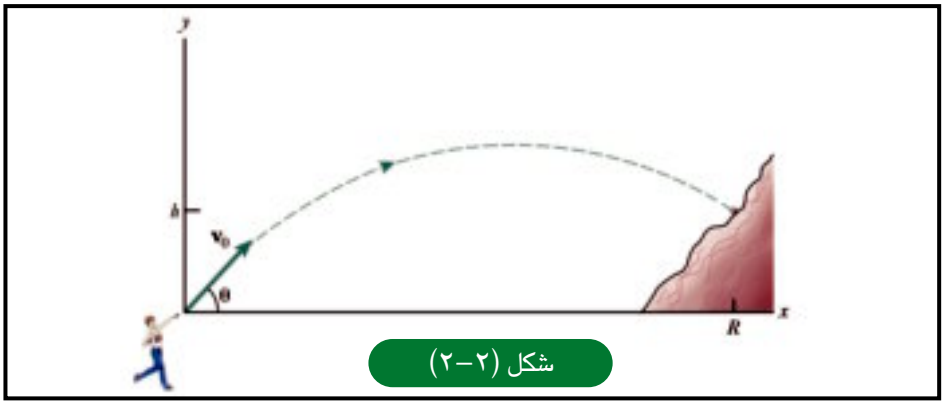
الميكانيكا

الوحدة الأولى

الفصل الثانى

الحركة

(ملحق ٥) . فالرصيد المعلوماتى وتراكم الخبرة هو فى النهاية المكون الأساسى للاختراع (ملحق ٦) . ولن يتحقق ذلك إلا بحب العلم حباً شديداً والاحساس بمتعة البحث . الفيزياء هى طريق التقدم والثروة عن طريق الاختراعات والصناعات الحديثة والأفكار الجديدة. ولهذا ندرس الفيزياء لنفهم طبيعة الحياة والكون من حولنا من ناحية ، ولنستفيد من هذه الدراسة فى التطبيق. لقد برع العلماء المصريون القدامى والعلماء العرب المسلمون فى الفيزياء وغيرها من العلوم، بل كان لهم فضل استنباط كثير من هذه العلوم أصلاً . ومن ثم فنحن مطالبون بفهمها كشرط للتقدم . ولن يأتى ذلك إلا بالإحساس بالفيزياء ، وفهم هذا الكون الذى نحيا فيه ، فنطوع قوانينه ، ونسخر ظواهره ، ونضيف إلى ما وصل إليه غيرنا، وهذه قواعد اللعبة.

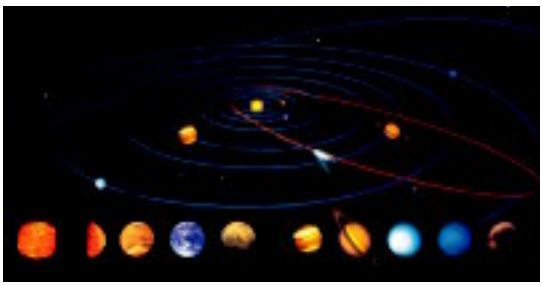


شكل (٢-٢)

قذيفةتتحرك حركة انتقالية فى مسار منحنى

أما الحركة الدورية فهى تتميز بأنها تكرر نفسها كل فترة زمنية محددة، وليس لها نقطة بداية أو نهاية. وهى إما أن تكون حركة دورية فى مسار مغلق - مثل حركة الأقمار حول الكواكب أو حركة الكواكب حول النجوم (شكل ٢-٣) - أو حركة الأرجوحة الدوارة بالملاهى (شكل ٢-٤)، أو تكون حركة دورية ترددية (أو اهتزازية) مثل حركة بندول الساعة (شكل ٢-٥).

ولدراسة حركة الأجسام فلابد من فهم بعض الكميات الفيزيائية الهامة المرتبطة بها مثل الإزاحة والسرعة والعجلة.



شكل (٢-٣)

حركة الكواكب حول الشمس

شكل (٢-٤)

الأرجوحة الدوارة فى الملاهى

شكل (٢-٥)

بندول الساعة

الفصل الثانى

الحركـــة

مقدمة:

هناك حالتان يمكن ان يوجد عليهما الجسم فى الطبيعة، إما ان يكون ساكناً أو متحركاً. فالجسم الساكن هو الذى لا يتغير موضعه بالنسبة لنقطة ثابتة بمرور الزمن. أما الجسم المتحرك فهو الذى يتغير موضعه بالنسبة لنقطة ثابتة بمرور الزمن.

أنواع الحركة

يمكن تقسيم الحركة إلى نوعين أساسيين، حركة انتقالية وحركة دورية. بالنسبة للحركة الانتقالية فهى تتميز بالخصائص التالية:

ان يكون لها نقطة بداية ونقطة نهاية، وقد يكون مسارها خطاً مستقيماً مثل حركة القطار (شكل ٢-١).

(شكل ٢-١)

قطار يتحرك فى حركة انتقالية فى خط مستقيم

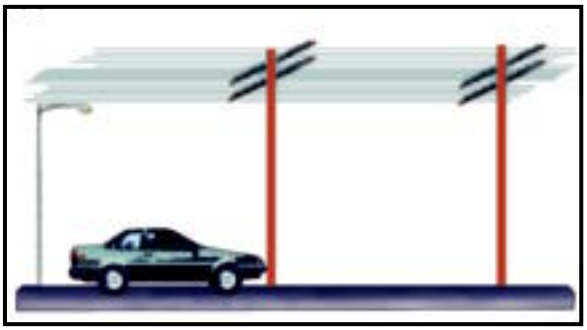
او قد يكون مساراً منحنياً مثل حركة المقذوفات Projectiles، فعندما يقذف جسم بسرعة إبتدائية لأعلى بزاوية وجد انه يسلك مساراً يسمى قطعا مكافئا Parabola كما فى شكل (٢-٢).

السرعة:

إذا تحركت سيارة فى اتجاه ثابت لتقطع مسافة Δx متراً فى زمن Δt ثانية فإن السرعة المتوسطة فى هذا الاتجاه تتعين من العلاقة :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (2\text{-}1)$$

المسافة المقطوعة هنا فى اتجاه ثابت هى الإزاحة ، وهى كما ذكرنا كمية متجهة . وقسمة اى كمية متجهة على كمية قياسية (وهى الزمن فى هذه الحالة) تنتج كمية متجهة. لذلك تكون السرعة بدورها كمية متجهة، وتعرف كما يلى:



شكل (٢-٨)

جسم يتحرك بسرعة منتظمة فى خط مستقيم

السرعة هى المعدل الزمنى للتغير فى الإزاحة، أو بعبارة اخرى هى الإزاحة المقطوعة فى زمن قدره ثانية واحدة، وتقدر السرعة بوحدة هى (m/s).

وهنا ينبغى أيضا أن نفرق بين السرعة ككمية متجهة ومقدار السرعة ككمية قياسية. فالتعبير عن السرعة تعبيرا تاما يتطلب معرفة مقدارها واتجاهها. فى حين أن التعبير عن مقدار السرعة لا يتطلب منا معرفة الاتجاه.

عند دراسة العلاقة بين إزاحة جسم والزمن وتمثيل هذه العلاقة بيانياً فإننا نحصل على :

١ ـ خط مستقيم ، ويدل ذلك على أن الجسم المتحرك يقطع إزاحات متساوية فى ازمنة متساوية، اى يتحرك بسرعة ثابتة (او منتظمة) يمكن حسابها من ميل الخط المستقيم Slope (شكل ٢ ـ ٩).

$$\text{Slope} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v \qquad \text{(الميل)}$$

٢ ـ منحنى ، ويدل ذلك على أن الجسم المتحرك يقطع إزاحات غير متساوية فى ازمنة متساوية، اى يتحرك بسرعة متغيرة، اى انه عند كل لحظة فإن الجسم له سرعة لحظية يمكن الحصول عليها من ميل المماس للمنحنى عند هذه اللحظة (شكل ٢ ـ ١٠).

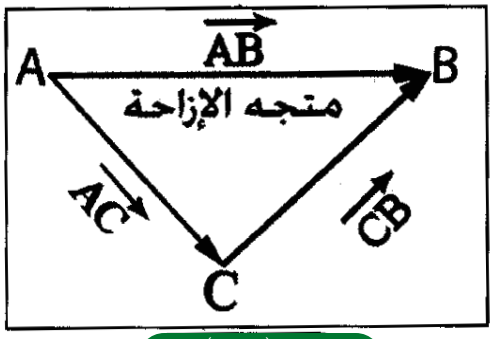
الإزاحة:

عندما يقطع قطار المسافة بين مدينتى القاهرة والأسكندرية، فإن الكمية الفيزيائية التى تعبر عن اقصر مسافة مستقيمة فاصلة بين المدينتين مقداراً واتجاهاً يطلق عليها اسم (الإزاحة)، فالإزاحة هى مسافة مقطوعة فى إتجاه معين. ويوضح شكل (٢-٦) الفرق بين ما نعنيه بالإزاحة وبين ما نعنيه بالمسافة المقطوعة.

شكل (٢-٦)

المسافة الفعلية التى يقطعها القطار بين القاهرة والأسكندرية أكبر من الإزاحة الفعلية بينهما

فإذا تحرك القطار من القاهرة إلى بنها ثم إلى طنطا ثم إلى دمنهور ثم إلى كفر الزيات ثم إلى الأسكندرية، فإن المسافة المقطوعة فعلياً هى مجموع المسافات التى قطعها القطار، أما الإزاحة فتحدد بأقصر مسافة مستقيمة مباشرة من القاهرة إلى الأسكندرية، وهى بالطبع اقل فى قيمتها من مجموع المسافات الفعلية التى قطعها القطار.

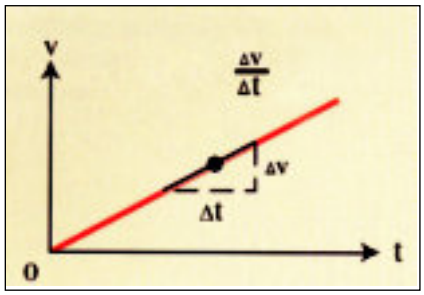


شكل (٢-٧)

تمثيل الكمية المتجهة مقدارا واتجاها

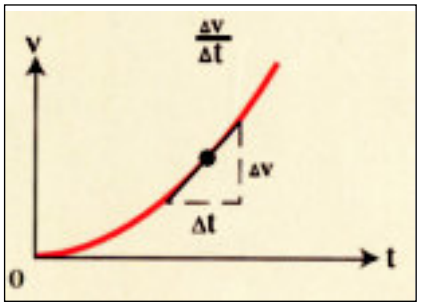
ويتضح من ذلك ان الكميات الفيزيائية إما ان تكون كميات قياسية (مثل المسافة) ، وتعرف بأنها الكميات التى يلزم لتعريفها تعريفاً تاماً معرفة مقدارها فقط. او ان تكون مثل الإزاحة وتسمى كميات متجهة، وتعرف بأنها الكميات التى يلزم لتحديدها معرفة مقدارها واتجاهها.

وعادة ما تمثل الكميات المتجهة بسهم قاعدته عند نقطة البداية (A) ورأسه عند نقطة النهاية (B) (شكل ٢-٧) مثل $\overrightarrow{AB}$.



شكل (٢-١١)

العلاقة البيانية بين السرعة مع الزمن فى حالة العجلة المنتظمة



شكل (٢-١٢)

العلاقة البيانية بين السرعة مع الزمن فى حالة العجلة المتغيرة

معادلات الحركة بعجلة منتظمة:

١ ـ عندما تتغير سرعة جسم بمعدل ثابت من سرعة ابتدائية v_o إلى سرعة نهائية v_t خلال فترة زمنية t فإن العجلة المنتظمة التى يتحرك بها تتعين من العلاقة :

$$a = \frac{v_t - v_o}{t}$$

ومنها :

$$v_t = v_o + a\,t \qquad (2-3)$$

٢ ـ ويكون مقدار الإزاحة (المسافة المقطوعة فى خط مستقيم) خلال الزمن t هى:

$$x = v_{av}t \qquad (2-4)$$

حيث v_{av} هى السرعة المتوسطة وتساوى $\frac{v_o + v_t}{2}$

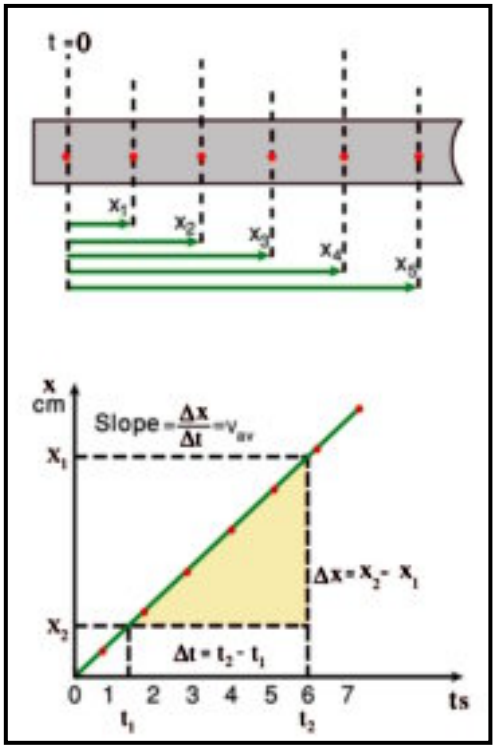
أى أن :

$$x = \left(\frac{v_o + v_t}{2}\right) t$$

وبالتعويض عن v_t من العلاقة (2-3) يكون :

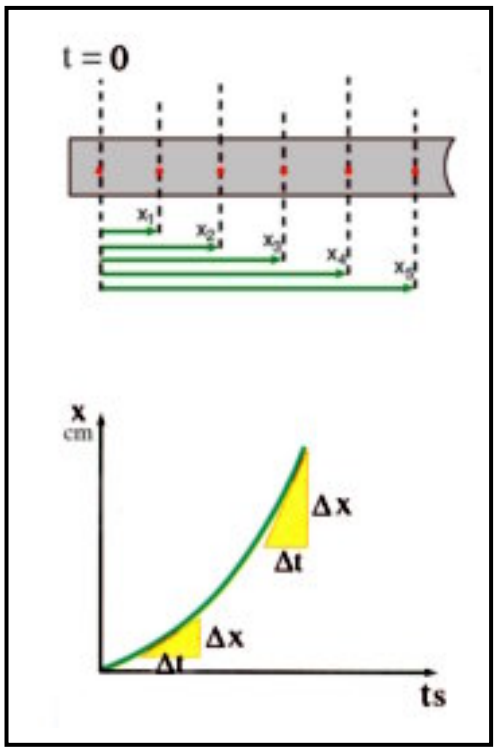
$$x = \left(\frac{v_o + v_o + at}{2}\right) t$$

$$x = \left(\frac{2v_o + at}{2}\right) t$$



شكل (٢-٩)

العلاقة البيانية للإزاحة مع الزمن
فى حالة السرعة المنتظمة



شكل (٢-١٠)

العلاقة البيانية للإزاحة مع الزمن
فى حالة السرعة غير المنتظمة

العجلة:

العجلة هى المعدل الزمنى للتغير فى السرعة ، او بعبارة أخرى هى التغير فى السرعة فى زمن قدره ثانية واحدة. وتقدر بوحدة (m/s^2)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad m/s^2 \qquad (2-2)$$

والعجلة ايضاً كمية متجهة يلزم لتعريفها تعريفاً تاماً معرفة كل من مقدارها واتجاهها.

عند دراسة العلاقة بين سرعة جسم والزمن وتمثيل هذه العلاقة بيانياً نحصل على:

١ـ خط مستقيم ، ويدل ذلك على أن الجسم يتحرك بعجلة منتظمة، حيث تتغير سرعته بمقادير متساوية فى أزمنة متساوية. ويمكن حساب مقدار هذه العجلة من ميل الخط المستقيم (شكل ٢ ـ ١١).

٢ـ منحنى ، ويدل ذلك على أن الجسم يتحرك بعجلة غير منتظمة، حيث تتغير سرعته بمقادير غير متساوية فى أزمنة متساوية. ويمكن حساب مقدار هذه العجلة عند لحظة معينة من ميل المماس لمنحنى السرعة والزمن عند هذه اللحظة (شكل ٢ ـ ١٢).

٢ ـ طائرة جامبو (بوينج ٧٤٧) تلامس أرضية الممر اثناء هبوطها بسرعة ابتدائية 160m/s وتتطلب زمناً قدره 32 s لتتوقف تماماً. احسب العجلة التى تتحرك بها الطائرة خلال تلك الفترة.

الحل :

$$v_o = 160 \text{ m/s} \qquad v_t = 0 \ , t = 32 \text{ s}$$

$$a = \frac{v_t - v_o}{t}$$

$$a = \frac{0 - 160}{32} = -5 \text{ m/s}^2$$

وفى هذه الحالة كما نرى تكون العجلة تناقصية.

٣ ـ قطار يتحرك بسرعة 20m/s^2 بعجلة منتظمة تناقصية 2m/s^2 عند استخدام الكابح (الفرامل) اوجد الزمن اللازم لتوقف القطار والمسافة التى يقطعها منذ استخدام الكابح حتى يتوقف.

الحل :

$$v_o = 20 \text{ m/s} \qquad v_t = 0 \qquad a = -2\text{m/s}^2$$

$$a = \frac{v_t - v_o}{t} = \frac{0 - 20}{t} = -2\text{m/s}^2$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$x = v_o t + \frac{1}{2} at^2$$

$$x = 20 (10) - \frac{1}{2} (2) (10)^2$$

$$= 100 \text{ m}$$

حل آخر:

لإيجاد المسافة المقطوعة دون معرفة الزمن،

$$v_t - v_o = 2 ax$$

$$0 - (20)^2 = 2 (2)x$$

$$x = 100\text{m}$$

٤ـ يتحرك جسم بعجلة متغيرة طبقاً للمنحنى المبين بالشكل فى ضوء البيانات الموجودة على الرسم حدد:

$$x = v_o t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (2-5)$$

وبالرجوع إلى العلاقة (2-3) يتبين أن :

$$t = \frac{v_t - v_o}{a} \qquad (2-6)$$

وبالتعويض عن t من العلاقة (2-6) فى العلاقة (2-5) :

$$x = v_o \left(\frac{v_t - v_o}{a}\right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_t - v_o}{a}\right)^2$$

$$x = \frac{v_o v_t - v_o^2}{a} + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_t^2 + v_o^2 - 2 v_t v_o}{a^2}\right)$$

$$x = \frac{2 v_o v_t - 2 v_o^2}{2a} + \frac{v_t^2 + v_o^2 - 2 v_o v_t}{2a}$$

$$x = \frac{v_t^2 - v_o^2}{2a}$$

$$v_t^2 = v_o^2 + 2ax \qquad (2-7)$$

تسمى المعادلات (2-3) و (2-5) و (2-7) معادلات الحركة لجسم يتحرك بعجلة منتظمة. وعندما تكون السرعة النهائية أكبر من السرعة الابتدائية تكون العجلة موجبة، وتسمى عجلة تزايدية. وعندما تكون السرعة النهائية أقل من السرعة الابتدائية تكون العجلة سالبة وتسمى عجلة تناقصية.

أمثلة

١ ـ تتحرك سيارة بسرعة ابتدائية 15 m/s لتصل سرعتها خلال 2.5 ثانية إلى سرعة نهائية 20 m/s احسب العجلة التى تتحرك بها خلال تلك الفترة بفرض أن التغير فى السرعة كان منتظما.

الحل

$t = 2.5$ s $\qquad v_t = 20$ m/s $\qquad v_o = 15$ m/s

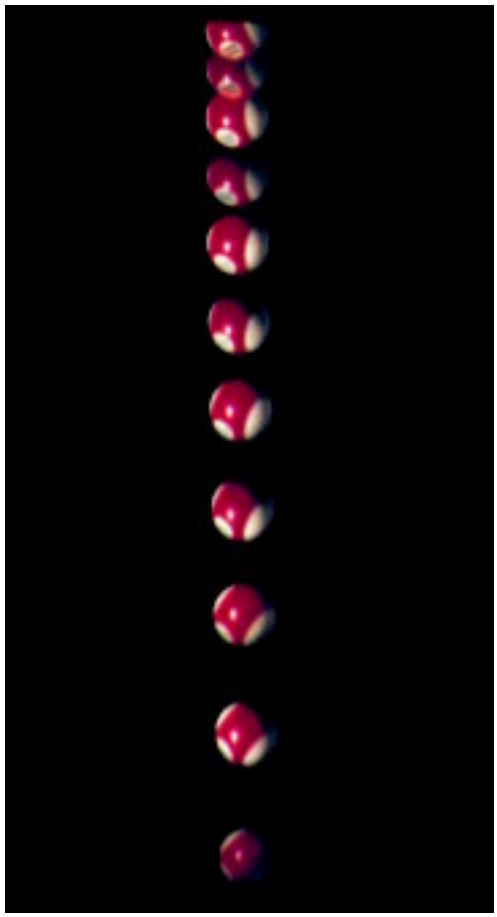
$$a = \frac{v_t - v_o}{t}$$

$$a = \frac{20 - 15}{2.5}$$

$a = 2 m/s^2$ والعجلة تزايدية

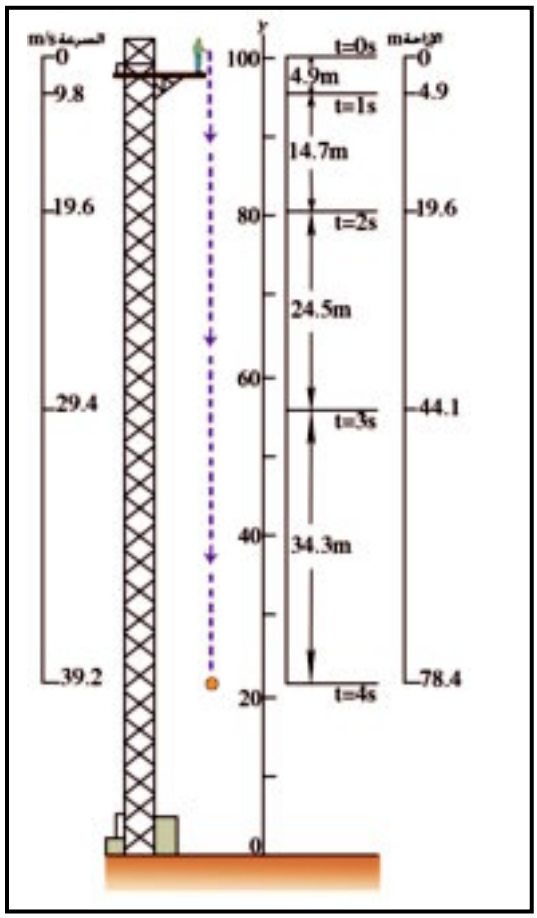
(٢-٧) السقوط الحر : Free Fall

عندما يسقط جسم من مكان مرتفع عن سطح الأرض، فإن هذا الجسم يبدأ حركته من سكون متجهاً إلى أسفل تحت تأثير قوة جذب الأرض له وتتزايد سرعته تدريجيا حتى تصل إلى أقصى قيمة لها عند لحظة اصطدامه بالأرض. وفى حالة عدم وجود مقاومة الهواء فإن هذا الجسم يتحرك بعجلة منتظمة تعرف بعجلة السقوط الحر أو عجلة الجاذبية الأرضية. ويوضح الشكل (٢ ـ ١٣) صورة لكرة تسقط سقوطاً حراً تم التقاطها بطريقة التصوير الزمنى السريع (التصوير الستروبى Stroboscopic Camera) وفيه تفتح وتغلق آلة التصوير على فترات زمنية متساوية، بحيث تظهر جميع اللقطات على نفس الصورة.ويوضح الشكل (٢ ـ ١٤) صورة لكرة تسقط سقوطاً حراً منذ لحظة سقوط الكرة من ارتفاع كبير والسرعة المناظرة . ومن هذه النتائج يمكن حساب عجلة الجاذبية بأكثر من طريقة.



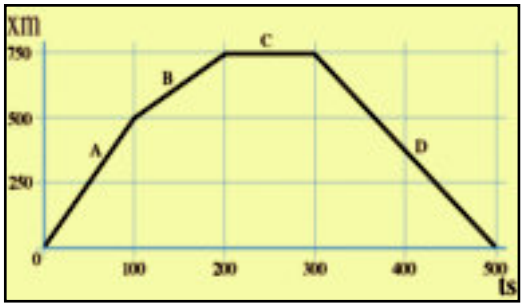
شكل (٢-١٣)

صورة بالكاميرا السريعة لجسم يسقط سقوطا حرا من السكون



شكل (٢-١٤)

قيم المسافة والسرعة لكتلة تسقط سقوطا حرا من السكون فى أزمنة متساوية



(أ) متى يكون الجسم أسرع ما يمكن؟

(ب) ما هى أبعد نقطة يصل إليها الجسم؟

(جـ) متى يكون الجسم فى حالة السكون؟

(د) قيمة إزاحة الجسم عند الفترات الزمنية التالية:

من 0 - 200 ، 100 - 300 ، 300 - 500 ، 0 - 500

(هـ) أحسب السرعة فى كل من القطاعات A , B , C , D

(و) احسب المسافة الكلية التى قطعها الجسم.

الحل:

(أ) تكون سرعة الجسم أكبر ما يمكن خلال الـ 100 ثانية الأولى من بداية الحركة (أكبر ميل).

(ب) أبعد نقطة يصل إليها الجسم المتحرك تقع على بعد 750 m من نقطة بداية الحركة.

(جـ) يكون الجسم فى حالة السكون فى الفترة ما بين 200s إلى 300s من لحظة بدء الحركة.

(د) إزاحة الجسم فى الفترة من :

0 - 200 ثانية = 750 m

100 - 200 ثانية = 250 m

300 - 500 ثانية = -750 m

0 - 500 ثانية = 0 m

(هـ) السرعة فى القطاع A تساوى 5m/s

السرعة فى القطاع B تساوى 2.5 m/s

السرعة فى القطاع C تساوى 0 m/s

السرعة فى القطاع D تساوى -3.75 m/s

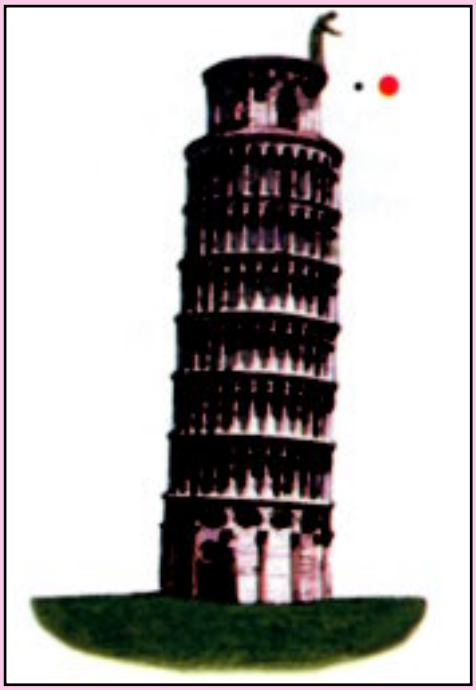
(و) المسافة الكلية التى قطعها الجسم المتحرك هى :

750 + 750 = 1500 m

معلومات إثرائية

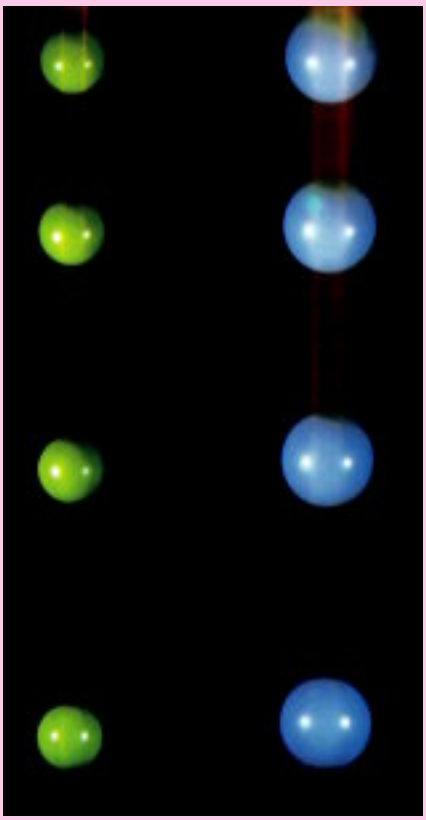
أيهما يصل أولا

يروى أن جاليليو أجرى تجربة هامة بأن صعد أعلي برج بيزا والقى حجرين مختلفين فى الكتلة .فلاحظ أنهما يرتطمان بالأرض فى نفس اللحظة .ولأن الفترة الزمنية التى استغرقها هذا السقوط قصيرة .فأراد إجراء نفس التجربة مع تقليل سرعة السقوط وذلك بأستخدام منحدر مائل .فإذا اعتبرنا الاحتكاك للجسمين على المنحدر واحد فلاحظ أيضا وصول الكتلتين إلى أسفل المنحدر فى نفس اللحظة (لماذا) قم انت بالتأكد بنفسك



شكل (٢-١٧)

برج بيزا



شكل (٢-١٨)

عند سقوط كرتين مختلفين فى الكتلة سقوطا حرا من السكون فإنهما يصلان معا (بإهمال مقاومة الهواء)

١ ـ طريقة الرسم البيانى للعلاقة (السرعة ـ الزمن) (شكل ٢-١٥) والعلاقة (مسافة - مربع زمن) (شكل ٢-١٦). والعلاقة فى كل من الحالتين يمثلها خط مستقيم ميله a = g ، حيث g هى عجلة الجاذبية الأرضية وتساوى $9.8\ m/s^2$

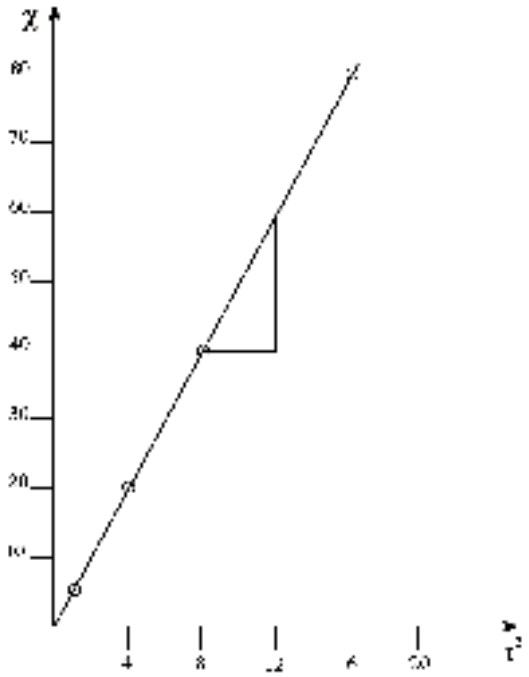
٢ ـ باستخدام العلاقة :

$$v_t^2 - v_0^2 = 2ax = 2gx$$

$$v_0 = 0$$

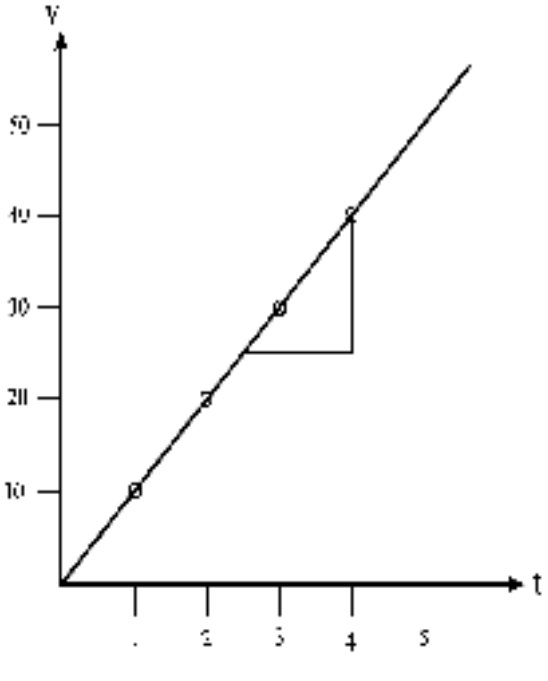
$$g = \frac{v_t^2}{2x} = 9.8 m/s^2$$

من ذلك نتبين أن عجلة الجاذبية الأرضية تساوى $9.8m/s^2$، وتختلف هذه القيمة اختلافاً طفيفاً من موقع لآخر على سطح الأرض. وتطبق معادلات الحركة السابقة حركة الأجسام تحت تأثير الجاذبية الأرضية مع مراعاة أن g تمثل عجلة الجاذبية الأرضية، x تمثل المسافة الرأسية ومراعاة أن العجلة تكون إشارتها موجبة عندما يلقى الجسم ليتحرك إلى أسفل، وتكون إشارتها سالبة عندما يقذف الجسم راسياً إلى أعلى عكس اتجاه الجاذبية الأرضية.



شكل (٢-١٥)

العلاقة البيانية بين السرعة والزمن



شكل (٢-١٦)

العلاقة البيانية بين المسافة ومربع الزمن

أمثلة

١ـ قذف جسم راسياً إلى أعلى بسرعة ابتدائية 98 m/s، اوجد أقصى ارتفاع يصل إليه، واحسب الزمن اللازم لذلك علما بأن عجلة الجاذبية الأرضية $9.8\ m/s^2$

الحل :

$$v_0 = 98\ m/s\ ,\ v_t = 0\ ,\ g = 9.8\ m/s^2$$

(أ) لإيجاد أقصى ارتفاع ($v_t = 0$)

$$v_t^2 - v_0^2 = 2gx$$

$$0 - (98)^2 = 2\ (-9.8)x$$

$$x = \frac{98 \times 98}{2 \times 9.8} = 490\ m$$

(ب) لإيجاد الزمن

$$g = \frac{v_t - v_0}{t}$$

$$-9.8 = \frac{0 - 98}{t}$$

$$\therefore\ t = 10\ s$$

تجربة رقم (١)

تعيين العجلة التى يتحرك بها جسم

تقوم فكرة التجربة على السماح لكرة معدنية صغيرة نسبيا بالحركة على مستوى مائل يصل طوله إلى مترين تقريبا. وللحصول على نتائج ملموسة من هذه التجربة يفضل الا تزيد زاوية الميل عن حد معين (30° مثلاً) حتى يمكن تجنب انزلاق الكرة على السطح المائل فضلاً عن دورانها.

الجهاز المستخدم موضح فى الشكل (٢ ـ ٢٠). ونظرا لأن الجسم يبدأ حركته من سكون فى كل مرة تكون المسافة $d = \frac{1}{2}at^2$ ، حيث a العجلة، t الزمن الذى يستغرقه الجسم فى قطع المسافة d منذ بداية الحركة.

شكل (٢-١٨ب)

عند سقوط كرة وريشة سقوطا حرا
من السكون فإنهما يصلان معا
(بأهمال مقاومة الهواء)

جاليليو

شكل (٢-١٩)

جاليليو يجرى تجربة المستوى
المائل

٧ ـ من هذه النتائج نرسم علاقة بيانية بين مربع الزمن ممثلا على المحور السينى والمسافة ممثلة على المحور الصادى، هل العلاقة يمثلها خط مستقيم؟ وإن كان ذلك فما الذى يمثله ميل هذا الخط المستقيم؟ وهل يمكن الاستفادة من هذه النتيجة فى ايجاد العجلة التى تتحرك بها الكرة؟

تجربة رقم (٢)

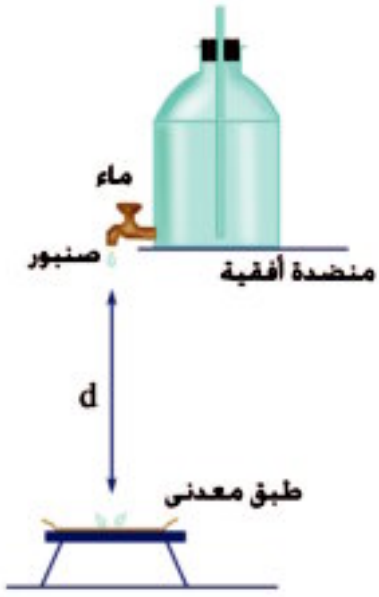
تعيين عجلة الجاذبية الأرضية باستخدام قطرات ماء تسقط سقوطاً حراً

يمكن تعيين عجلة الجاذبية الأرضية g بسهولة من تعيين الفترة الزمنية التى تستغرقها قطرة ماء تسقط سقوطا حراً مسافة رأسية معينة حيث أن القطرة تبدأ حركتها من سكون فإن المسافة الرأسية x التى تقطعها تعين من العلاقة.

$$x = d = \frac{1}{2} gt^2$$

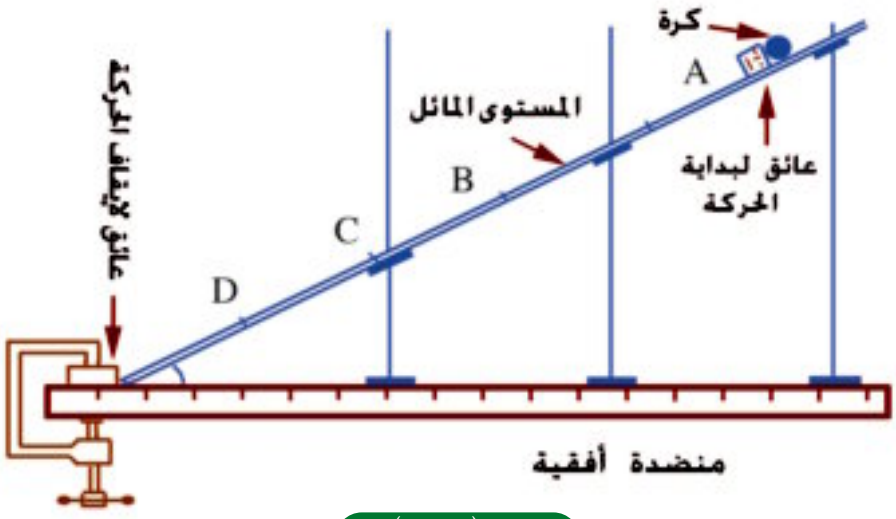
من هذه العلاقة نتبين انه إذا أمكننا تعيين كل من x , t بدقة فإنه يمكننا حساب g أيضا بدقة الغرض من تصميم هذه التجربة هو البحث عن وسيلة تمكننا من تعيين زمن سقوط قطرة الماء بأقل خطأ ممكن.

الجهاز المستخدم موضح بالشكل (٢ ـ ٢١) حيث تتساقط قطرات الماء من فوهة الصنبور على الطبق المعدنى قطرة بعد أخرى. ويسمع لارتطام قطرات الماء مع سطح الطبق أصوات تبدو كطرقات متتالية. يمكن بطبيعة الحال التحكم فى تدفق الماء من الصنبور حتى يتوافق صوت ارتطام قطرة الماء على سطح الطبق مع بدء سقوط القطرة التالية لها من الفوهة. وفى هذه الحالة يكون الزمن الذى يستغرقه سقوط القطرة مساويا للزمن بين أى قطرتين متتاليتين من الصنبور. ولقياس هذا الزمن بدقة كافية تقاس الفترة الزمنية لتساقط 50 قطرة مثلا أو 100 قطرة. وبقسمة الفترة الزمنية الكلية على عدد القطرات ينتج الزمن



شكل (٢-٢١)

تعيين عجلة الجاذبية الإرضية باستخدام قطرات ماء تسقط سقوطا حرا



شكل (٢-٢٠)

تجربة لتعيين عجلة الجاذبية باستخدام
جسم ينحدر على مستوى مائل

طريقة العمل :

١ ـ نهيء المستوى المائل للعمل بحيث يميل على الأفقى بزاوية تساوى 20° تقريبا.

٢ ـ نضع الكرة المعدنية عند أعلى نقطة على المستوى فى المجرى الخاص.

٣ ـ نرفع العائق من أمام الكرة لتتحرك فى المجرى الخاص ونعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل إلى النقطة A.

٤ ـ نكرر العمل السابق عدة مرات (أربع مرات على الأقل) وفى كل مرة نسجل الزمن الذى تستغرقه الكرة منذ بداية حركتها حتى تصل إلى النقطة A ثم نعين متوسط هذا الزمن.

٥ ـ نكرر العمل السابق لتعيين متوسط الزمن الذى تستغرقه الكرة منذ بداية حركتها حتى تصل إلى النقطة B ثم C ثم النقطة D وهكذا..

٦ ـ نقيس بالمسطرة المسافة إلى A ثم B وكذلك المسافة إلى C ثم D.

تلخيص

- عندما يغير الجسم موضعه فى الفضاء مع الزمن يقال انه يتحرك.
- الإزاحة هى كمية فيزيائية تعبر عن المسافة الفاصلة بين نقطتين مقداراً واتجاها او مسافة مقطوعة فى اتجاه ما.
- السرعة هى المعدل الزمنى للتغير فى الإزاحة او هى الإزاحة المقطوعة فى زمن قدره واحد ثانية.
- عندما يتحرك جسم فى خط مستقيم بسرعة منتظمة فإنه يقطع مسافات متساوية فى ازمنة متساوية.

السرعة المتوسطة = $\frac{\text{الإزاحة المقطوعة}}{\text{الزمن اللازم}}$

- السرعة اللحظية v = ميل المماس للمنحنى عند تلك اللحظة = $\frac{\Delta x}{\Delta t}$

حيث Δx التغير فى الإزاحة، Δt زمن التغير عند تلك اللحظة.

- العجلة هى المعدل الزمنى للتغير فى السرعة او هى التغير فى السرعة فى زمن قدره ثانية واحدة.
- العجلة $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

حيث Δv التغير فى السرعة، Δt زمن التغير عند تلك اللحظة

- الإزاحة والسرعة والعجلة كميات متجهة.
- المسافة والزمن كميات قياسية.
- الكمية المتجهة هى الكمية التى يلزم لتعريفها تعريفا تاما معرفة كل من مقدارها واتجاهها.
- الكمية القياسية هى الكمية التى يلزم لتعريفها تعريفا تاما معرفة مقدارها فقط.
- معادلات الحركة بعجلة منتظمة هى:

$$v_t = v_0 + at$$
$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$
$$v_t^2 - v_0^2 = 2ax$$

- عندما يسقط جسم تحت تأثير قوة جذب الأرض له فإنه يتحرك بعجلة منتظمة تسمى عجلة الجاذبية الأرضية وتساوى $9.8\ m/s^2$

المطلوب، وهو زمن سقوط القطرة خلال المسافة من فوهة الصنبور إلى سطح الطبق.

خطوات التجربة:

١ـ يهيأ الجهاز للعمل بالكيفية الموضحة (شكل ٢ ـ ٢١) بحيث تكون المسافة بين فوهة الصنبور وسطح الطبق $d(m)$.

٢ ـ نتحكم فى الصنبور بعناية حتى تصطدم او ترتطم قطرة الماء مع سطح الطبق فى نفس اللحظة التى تبدأ فيها القطرة التالية فى السقوط (يمكن إجراء هذه الخطوة بسهولة بملاحظة القطرات المتساقطة من فوهة الصنبور مع الاستماع للقطرات التى ترتطم مع سطح الطبق).

٣ ـ فى الحالة المشار إليها فى الخطوة السابقة نوجد بواسطة ساعة إيقاف الزمن اللازم لسقوط 50 قطرة متتالية. ومن ذلك نوجد الزمن الذى يمضى بين أى قطرتين متتاليتين وليكن هذا الزمن t حيث.

$$t = \frac{\text{الزمن الكلى}}{\text{عدد القطرات}}$$

وهو نفسه الزمن المطلوب ، أى الزمن الذى تستغرقه القطرة لتسقط مسافة راسية $d(m)$.

٤ ـ نكرر العمل السابق عدة مرات ومن ثم نوجد متوسط الزمن الذى يمضى بين قطرتين متتاليتين وهو بالتالى متوسط الزمن الذى تستغرقه القطرة لتسقط المسافة الراسية $d(m)$.

٥ ـ نعين قيمة عجلة الجاذبية الأرضية g من العلاقة.

$$g = \frac{2d}{t^2}$$

(ب) حالة جسم ساكن.

(ج) حالة جسم متحرك بسرعة تتزايد مع الزمن.

(د) حالة جسم متحرك بسرعة تتناقص مع الزمن.

(٧) يمثل الشكل المرسوم (٢ ـ ٢٣)

(أ) حالة جسم يتحرك بسرعة ثابتة.

(ب) حالة جسم يتحرك بسرعة متغيرة.

(ج) حالة جسم ساكن.

(د) حالة جسم يتحرك بسرعة تتناقص مع الزمن.

(٨) يمثل الشكل المرسوم (٢ ـ ٢٤)

(أ) حالة جسم يتحرك بسرعة ثابتة.

(ب) حالة جسم يتحرك بسرعة متغيرة.

(ج) حالة جسم ساكن.

(د) حالة جسم يتحرك بسرعة تتزايد مع الزمن.

(٩) يمثل الشكل المرسوم (٢ ـ ٢٥)

حالة جسم يتحرك لعجلة

(أ) منتظمة.

(ب) غير منتظمة.

(ج) منتظمة تزايدية.

(د) منتظمة تناقصية.

(١٠) راكب دراجة بدأ حركته من سكون بعجلة منتظمة ($1.5\ m/s^2$) تصل سرعته إلى 7.5m/s خلال مسافة قدرها

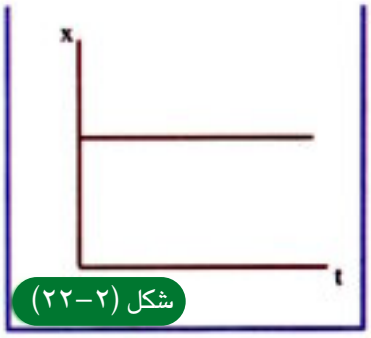
(أ) 18.75 m

(ب) 187.5 m

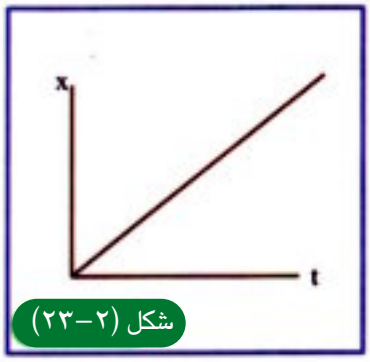
(ج) 1875 m

(د) 11.25 m

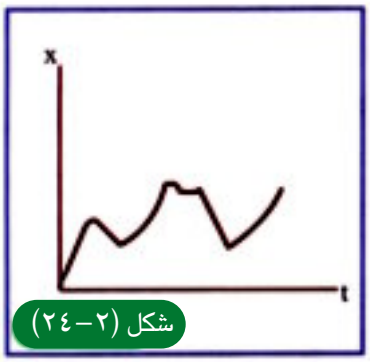
(١١) يتحرك جسم من سكون بعجلة منتظمة ($2m/s^2$) تكون سرعته عندما يقطع مسافة 100 m هى:



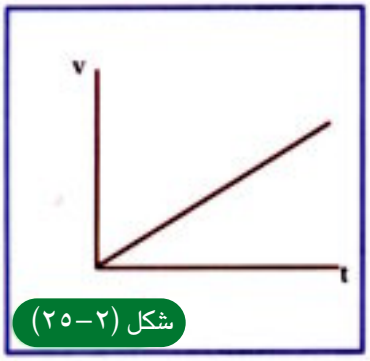
شكل (٢-٢٢)



شكل (٢-٢٣)



شكل (٢-٢٤)



شكل (٢-٢٥)

أسئلة وتمارين

أولاً: ضع علامة ✔ أمام العبارة الصحيحة

(١) الكمية المتجهة يلزم لتعريفها تعريفاً تاماً :

(أ) معرفة مقدارها فقط. (ب) معرفة اتجاهها فقط.

(ج) معرفة مقدارها واتجاهها معاً. (د) لا توجد إجابة صحيحة مما سبق.

(٢) الكمية القياسية يلزم لتعريفها تعريفاً تاماً :

(أ) معرفة مقدارها فقط. (ب) معرفة اتجاهها فقط.

(ج) معرفة مقدارها واتجاهها معاً. (د) لا توجد إجابة صحيحة مما سبق.

(٣) السرعة هى :

(أ) نسبة التغير فى العجلة إلى زمن التغير.

(ب) نسبة التغير فى الإزاحة إلى زمن التغير.

(ج) نسبة التغير فى المسافة بالنسبة لزمن التغير.

(د) المسافة مضروبة فى زمن التغير.

(٤) العجلة هى :

(أ) نسبة التغير فى السرعة إلى زمن التغير.

(ب) نسبة التغير فى الإزاحة إلى زمن التغير.

(ج) نسبة السرعة إلى الزمن.

(د) السرعة مضروبة فى الزمن.

(٥) العجلة التزايدية نتيجتها :

(أ) زيادة السرعة الابتدائية عن السرعة النهائية.

(ب) زيادة السرعة النهائية عن السرعة الابتدائية.

(ج) عدم تغير السرعة النهائية عن السرعة الابتدائية.

(د) الا تتغير سرعة الجسم مع الزمن.

(٦) يمثل الشكل المرسوم (٢ ـ ٢٢)

(أ) حالة جسم متحرك بسرعة ثابتة.

(أ) 50 m/s

(ب) 20 m/s

(ج) 150 m/s

(د) 200 m/s

(١٢) يتحرك جسم من سكون بعجلة منتظمة ($2m/s^2$) ليقطع مسافة 100 m فى زمن يساوى:

(أ) 5 s

(ب) 20 s

(ج) 2.5 s

(و) 10 s

(١٣) قذف جسم رأسيا إلى أعلى بسرعة ابتدائية 63 m/s يكون أقصى ارتفاع يصل إليه:

(عجلة الجاذبية الأرضية $9.8\ m/s^2$)

(أ) 617.4 m

(ب) 101.25 m

(ج) 202.5 m

(د) 222.5 m

ثانياً: أكمل العبارات الآتية

(أ) الإزاحة هى : .....

(ب) السرعة هى : .....

(ج) العجلة هى : .....

(د) الكمية المتجهة هى : .....

(هـ) الكمية القياسية هى : .....

(و) $v_t = v_0 + ...$

(ز) $x = ... + \frac{1}{2} gt^2$

(ح) $v_t^2 - ..... = 2gx$

ثالثاً: استنتج العلاقة

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

الميكانيكا

الوحدة الأولى

الفصل الثالث

قوانين نيوتن للحركة

معلومات إثرية

أبو البركات (ابن ملكا)

أبو البركات أبن ملكا
١٠٧٢-١١٥٢ العراق

(من كتاب فى صحبة العلماء- إصدار المركزالأستكشافى للعلوم صـ ٢٦-٢٧)

هو أبو البركات أوحد الزمان هبة الله بن على بن ملكا، نشأ فى بغداد ،وكان أمهر الأطباء فى عصره، حتى أنه لقب بأوحد الزمان فى الطب. وكان فى خدمة المستنجد بالله الخليفة العباسى فى ذلك الوقت، وتوفى بمدينة همذان، عندما كان يعالج السلطان سعود بن محمد ملك شاه. ونقل جثمانة ليدفن فى بغداد . ومن أهم مؤلفات أبو البركات بن ملكا: كتاب «اختصار التشريح من كلام جالينوس» وكتاب«مقالة فى سبب ظهور الكواكب ليلاً واختفائهانهاراً» ،وكتاب «الأقرباذين» ،و يتألف هذا الكتاب من ثلاث مقالات ،و وكتاب «رسالة فى العقل وماهيته» ،وكتاب«المعتبرفى المحكمة» . ومعنى هذا أن ابن ملكا لم يقتصر دوره عن كونه طبيباً ماهراً فى أمور الطب والعلاج،بل كان شأنه كشأن الكثير من العلماء العرب ، الذين أحاطوا بصنوف العلم. ولابن ملكا أراء جديرة بالاهتمام ،إذ أنها كانت سابقة لأوانها، وقد ثبت بعد ذلك صحتها . ومن هذه الأراء ما جاء فى كتابه المعتبر فى الحكمة « فى الجزء الخاص بالطبيعيات»:

١- يقول ابن ملكا فى الفصل العاشر من الكتاب والخاص بالحركة . «إن المتحرك جسم وإن المحركغير جسم لا محالة،ومعنى هذا أن سبب الحركة للأجسام المتحركة إنما هي القوي المحركة لتلك الأجسام. أي أن الحركة لا تتم إلا فى وجود جسم مادى متحرك وقوة محركة».

٢- يتحدث ابن ملكا فى الفصل الرابع عشر عن الخلاء (أى الفراغ بلغة العلم المعاصر). فقول :«لامقاومة فى الخلاء. فالمرمى فيه(أى الجسم المتحرك فيه) لا تلقى قوته ما يبطلها ،و هى لاتبطل بنفسها ، لأن الشئ لا يبطل ذاته، وإذ لا مقاومة

الفصل الثالث
قوانين نيوتن للحركة

مقـــدمة

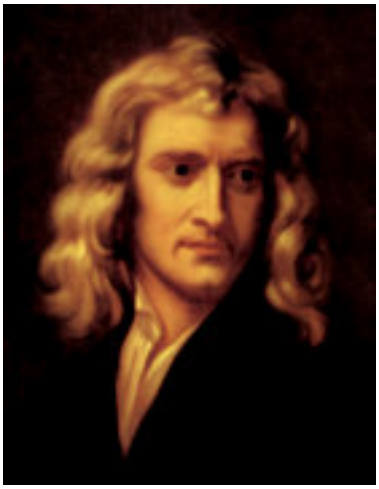
لعلنا ندرك جميعا فى حياتنا العملية قوانين نيوتن دون أن نعرفها رياضيا. فإذا كنا فى سيارة تتحرك بسرعة منتظمة وتوقفت فجأة ، نلاحظ أننا نندفع إلى الأمام ، كما لو كانت أجسامنا تعودت على الحركة بسرعة منتظمة (شكل ٣-١) . وهذا ما يسمى القصور الذاتى Inertia ، ولذلك لابد من ربط الحزام . كذلك إذا دارت السيارة في منحني دائري شديد الانحناء، فإننا نميل ونندفع نحو باب السيارة، إذا ملأنا دلوا بالماء وربطناه بخيط وأدرناه بسرعة كبيرة فإن الماء لا يسقط. وإذا أردنا أن نتعلم الميكانيكا أكثر، فما علينا إلا أن نذهب إلى مدينة الملاهى (شكل ٣-٢) . هذه الظواهر كلها يحكمها قوانين نيوتن للحركة.

تعد قوانين نيوتن للحركة ثمرة للنتائج التى توصل إليها أحد أمهر علماء العرب، وهو أبو البركات «ابن ملكا» فى القرن الثالث عشر ، حيث كان له آراء جديرة بالاهتمام ، إذ أنها كانت سابقة أوانها، وقد ثبت بعد ذلك صحتها.

شكل (٣-١)

عند إيقاف سيارة يندفع السائق إلى الأمام بالقصور الذاتى

القانون الأول لنيوتن:



نيوتن

وينص على ما يلى :

يبقى الجسم الساكن ساكنا ويبقى الجسم المتحرك فى خط مستقيم متحركا بسرعة منتظمة ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالته.

الشق الأول من هذا القانون ندركه بسهولة من خلال ملاحظاتنا اليومية. فالجسم الساكن يبقى ساكناً ما لم تؤثر عليه قوة تحركه. على سبيل المثال، فإن كتابا موضوعا فوق المنضدة سيظل فى موضعه إلى أن تمتد إليه يد تحركه او تنقله من موضعه. كذلك الشق الثانى نلاحظه فى الحياة. فمثلاً راكب الدراجة (شكل ٣ - ٤) الذى يحرك البدال يجعل الدراجة تنطلق على الطريق. وإذا أوقف حركة البدال تقل سرعة الدراجة تدريجيا أن تتوقف تماما خلال مسافة معينة، تطول أو تقصر تبعاً لنعومة أو خشونة الطريق. أى أن قوى الاحتكاك بين إطار الدراجة والطريق تلعب دوراً هاماً. فعندما تكون هذه القوى صغيرة تزداد المسافة التى تتوقف بعدها الدراجة، وبعبارة أخرى إذا انعدمت قوى الإحتكاك فإنه من المفروض أن تستمر الدراجة متحركة فى خط مستقيم بسرعة منتظمة.

شكل (٣-٤)

دراجة تتحرك فى خط مستقيم ثم توقف حركة البدال

يتطلب القانون الأول لنيوتن على هذا الأساس غيبة القوى الخارجية التى تؤثر على الجسم بمعنى أن:

$$\Sigma F = 0 \qquad (3 - 1)$$

والرمز Σ يعنى محصلة القوى. وهذه هى الصيغة الرياضية للقانون الأول. وخاصية احتفاظ الجسم بحالته من السكون أو الحركة فى خط مستقيم بسرعة ثابتة يطلق عليها اسم القصور الذاتى للجسم (Inertia)، لأن الجسم يكون قاصرا عن تغيير حالته بنفسه. ونحن لا نجد صعوبة تذكر فى تحريك جسم كتلته صغيرة، فى حين أننا نجد صعوبة كبيرة فى تحريك جسم كتلته كبيرة. من هذا ندرك أن القصور الذاتى لجسم ما يزداد بازدياد كتلته. ويمكن من هذا المثال أن نصل إلى تعريف لكتلة الجسم بإجراء تجربة بسيطة تتم فيها مقارنة القصور الذاتى لجسمين.

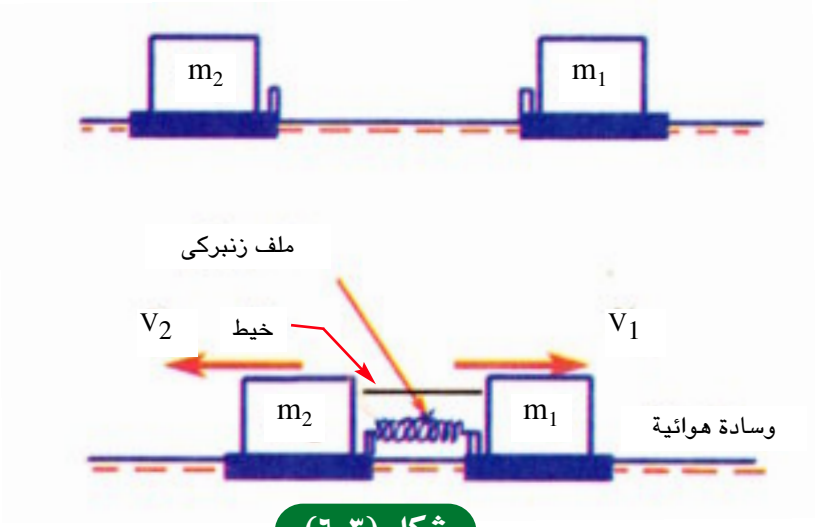
فى الخلاء فالمرمى فيه يتحرك أبداً».. وهذا القول يطابق القانون الأول من قوانين الحركة لاسحق نيوتن القائل: «إن كل جسم متحرك يبقى متحركا فى خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حركته». والخلاء الذى ينادى به أبوالبركات هو الفراغ الخالى من المقاومة، أى الفضاء الخارجى، وهو بذلك حطم فكرة الأثير من قبل أن تولد. ولو كان علماء الغرب فطنوا إلى كلامه لما اخترعوا وهو الأثير الذى عطل مسيرة العلم زمنا طويلا. إذ لم ينطلق العلم الحديث إلا عندما أبطل ماكسويل ولورنز ومايكلسون وأينشتين تماما فكرة الأثير، وأثبتت أعمالهم أن الضوء لا يحتاج فى انتقاله إلى وسط مادى. ثم يوضح الكتاب فى الفصل الرابع والعشرين أن بين كل حركتين متضادتين سكونا. ويؤيد كلامه بحلقة مشدودة بين مصارعين ولكنها فى حالة سكون، مما يدل على تعادل القوتين اللتين تشدان الحلقة فى اتجاهين متضادين. وهذا هو القانون الثالث من قوانين نيوتن. وهكذا نجد أن الذى اكتشف قوانين الميكانيكا كان طبيب عربى قبل نيوتن بأربعة قرون.

شكل (٣-٢)

عند التحرك على منحني نندفع إلى الخارج

شكل (٣-٣)

تعلم الميكانيكا فى مدينة الملاهى



شكل (٣-٦)

تجربة لقياس النسبة بين كتلتين

نقطع الخيط فجأة. عندئذ يعمل الملف الزنبركى على دفع الركابين ليتباعد أحدهما عن الآخر. حيث يندفع الركاب (١) نحو اليمين بسرعة v_1 يمكن تقديرها، ويندفع الركاب (٢) نحو اليسار بسرعة v_2 ، ثم نوجد النسبة $\frac{v_2}{v_1}$. نكرر العمل السابق عدة مرات مع استخدام ملفات زنبركية متفاوتة الصلابة أو المرونة، وفى كل مرة نوجد النسبة $\frac{v_2}{v_1}$ نجد أن ،

$$\frac{v_2}{v_1} = \text{مقدار ثابت.}$$

وبإيجاد النسبة $\frac{m_1}{m_2}$ نجد أن:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

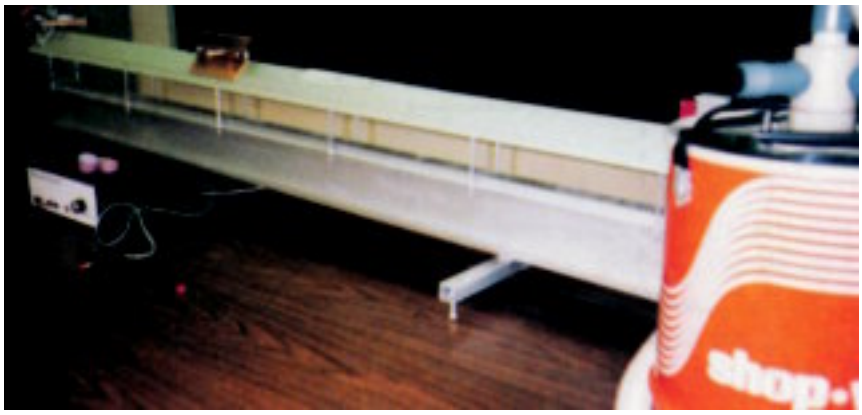
ومن هذه العلاقة نتبين أن:

١ - الجسم الذى تكون كتلته أكبر فى هذه التجربة تكون سرعته أقل والعكس صحيح.

٢ - هذه الطريقة تعطينا النسبة بين كتلتى الجسمين متى علمنا النسبة بين مقلوب سرعتيهما.

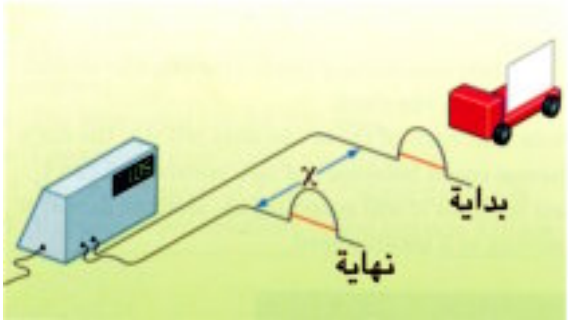
٣ - بوضع الكتلة $m_2 = 1kg$ يمكن تعيين الكتلة m_1 وذلك بعد تعيين السرعتين v_1 , v_2 حيث يكون ،

$$m_1 = (1kg)\ \frac{v_2}{v_1}$$



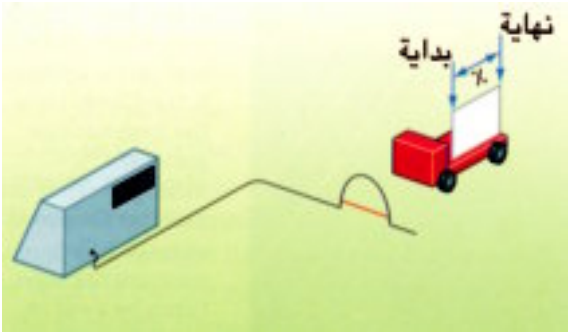
شكل (٣-٥أ)

الوسادة الهوائية



شكل (٣-٥ب)

بوابتان ضوئيتان



شكل (٣-٥جـ)

بوابة واحدة ضوئية

تجربة: القصور الذاتى

قبل إجراء التجربة نتعرف أولا على الوسادة الهوائية Air Track ، وهى عبارة عن أنبوبة يتحرك فوقها مجموعة ركابات. وتوجد بالأنبوبة فتحات يندفع فيها الهواء لتقليل الاحتكاك بين الركابات والأنبوبة. ونستخدم بوابات ضوئية بحيث يمكن قياس سرعة جسم عن طريق قياس الزمن بين لحظتى مرور مقدمة الركاب فى كل من البوابتين، أو قياس الزمن بين لحظتى مرور مقدمة الركاب ومؤخرته فى حالة استخدام بوابة واحدة (شكل ٣-٥). ويمكن باستخدام هذه الوسادة الهوائية إيجاد تعريف لكتلة الجسم كما يلى:

نختار ركابين (١)، (٢) على وسادة هوائية الأول كتلته m_1 والثانى كتلته m_2 ، ونضع بين الركابين ملفا زنبركيا، ثم ندفع الركابين ليقترب أحدهما من الآخر. نتيجة لذلك ينضغط الملف الزنبركى كما فى شكل (٣ - ٦) ثم نربط الركابين بخيط وهما فى هذا الوضع.

فأى كمية من هاتين الكميتين تعبر عن حاصل ضرب كتلة الجسم فى سرعته . ومثل هذه الكمية تسمى كمية حركة الجسم P_L أى أن كمية حركة الجسم كمية متجهة ووحدتها kgm/s.

$$P_L = mv \qquad (3-2)$$

مفهوم القوة:

تبعا للقانون الأول لنيوتن تبقى السرعة ثابتة (تساوى صفرا عندما يكون الجسم ساكنا) طالما أن الجسم معزول تماماً عن الوسط المحيط. لكن إذا تأثر الجسم بمؤثر خارجى قد تتغير سرعته مقداراً أو اتجاها أو كلاهما. هذا المؤثر الذى أدى إلى تغيير سرعة الجسم يسمى القوة.

شكل (٣-٧)
الاتزان الاستاتيكى

ومن الممكن أن تؤثر قوتان أو أكثر على جسم ما دون أن تغير من حالته التى هو عليها من سكون أو حركة ، إذ أن هذه القوى يلاشى تأثير بعضها تأثير البعض الآخر، بعبارة أخرى تكون محصلة هذه القوى ΣF تساوى الصفر. ويسمى هذا الوضع الاتزان الاستاتيكى Static Equilibrium. وهذا يعنى انه يلزم لتغيير حالة الجسم وجود قوة محصلة لا تساوى الصفر . وتسمى قوة غير متزنة. وعلى هذا الأساس يمكن إعادة صياغة القانون الأول لنيوتن كما يأتى:

فى غياب قوة محصلة مؤثرة يبقى الجسم الساكن ساكنا ، ويبقى الجسم المتحرك فى خط مستقيم متحركا بسرعة منتظمة فى خط مستقيم .

القانون الثانى لنيوتن:

ينص القانون الثانى لنيوتن على ما يلى :

القوة المحصلة المؤثرة على جسم ما تساوى المعدل الزمنى للتغير فى كمية حركة هذا الجسم.

ويكون اتجاه القوة (وهى كمية متجهة) هو نفسه اتجاه كمية الحركة.

تعرف هذه الكتلة بالكتلة القصورية Inertial Mass، نوضح هذا بالمثال التالى :

مثـــــال

فى تجربة الارتداد للركابين كانت كتلة احدهما تساوى 1kg ، بينما كانت كتلة الآخر مجهولة ويتحرك بسرعة 1.5m/s ، ما قيمة الكتلة المجهولة إذا كانت الكتلة (1kg) تتحرك بسرعة 4.5 m/s ؟

الحل :

الكتلة المجهولة = m_1 ، وسرعتها $v_1 = 1.5m/s$

والكتلة المعلومة $m_2 = 1kg$ ، وسرعتها $v_2 = 4.5m/s$

$$m_1 = (1kg)\ \frac{v_2}{v_1} = 3\ kg$$

تطبيقات القصور الذاتى

هناك العديد من الملاحظات اليومية تعتبر تطبيقاً مباشراً للقصور الذاتى منها:

١ - اندفاع الركاب إلى الخلف إذا تحركت السيارة فجأة إلى الأمام.

٢ - اندفاع الركاب إلى الأمام إذا توقفت السيارة فجأة.

فعندما تتحرك السيارة فجأة إلى الأمام يحاول الركاب الاحتفاظ بحالة السكون التى كانوا عليها، مما يسبب اندفاعهم إلى الخلف . وعندما تتوقف السيارة فجأة يحاول الركاب الاحتفاظ بحالة الحركة التى كانوا عليها مما يسبب اندفاعهم إلى الأمام.

لذلك يطلق على القانون الأول لنيوتن اسم قانون القصور الذاتى.

كمية الحركة الخطية Linear Momentum

إذا رجعنا للعلاقة الأخيرة فى الفقرة السابقة وهى :

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

ومنها نجد أن.

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

مثـــــال

أثرت قوتان متساويتان على كتلتين مختلفتين الأولى m_1 مجهولة، والأخرى m_2 معلومة ومقدارها 1kg ، فاكتسبت الأولى عجلة مقدارها $2m/s^2$ والثانية عجلة مقدارها $8m/s^2$

فما مقدار الكتلة المجهولة؟

الحل :

$$m_1 = ?? \, , \, m_2 = 1 \text{ kg}, \, a_1 = 2m/s^2 \cdot a_2 = 8 \text{ m/s}$$

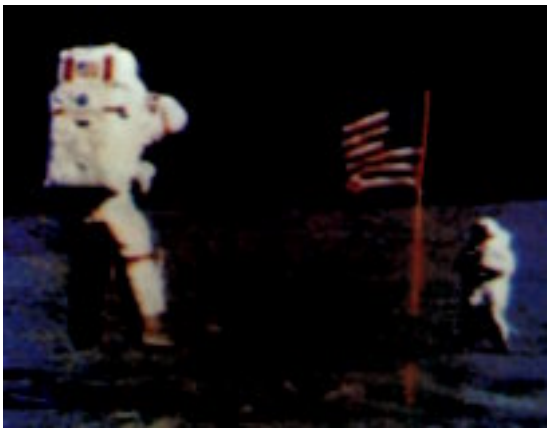
$$\therefore m_1 = 1\text{kg} \times \frac{a_2}{a_1}$$

$$= 1 \text{ kg} \ \frac{8m/s^2}{2m/s^2} = 4 \text{ kg}$$

الكتلة والوزن Mass and weight

تعرف الكتلة القصورية لجسم بمقاومة هذا الجسم لتغيير سرعته . أى أن كتلة الجسم تعتبر مقياساً لقصوره الذاتى . وتقدر الكتلة بوحدة الكيلو جرام.

نعنى بوزن الجسم قوة جذب الأرض له. وبهذا يكون الوزن مختلفا تماما عن الكتلة. فالوزن قوة وبالتالى يكون الوزن كمية متجهة فى حين أن الكتلة كمية قياسية.



شكل (٣-٨)

يستطيع رائد الفضاء القفز على سطح القمر لمسافة أعلى بكثير مما يستطيعه على سطح الأرض

ويتعين وزن الجسم من العلاقة :

$$F_g = mg \qquad (3 - 5)$$

حيث F_g وزن الجسم وm كتلته و g عجلة الجاذبية الأرضية.

وحيث أن عجلة الجاذبية الأرضية تتغير قليلاً من موضع لآخر على سطح الأرض ، فإن وزن الجسم يتغير تبعا لذلك فى حين تظل كتلته ثابتة . ولكن يمكن بصفة عامة اعتبار عجلة الجاذبية $g=9.8ms^{-2}$ ثابتة على سطح الأرض أو بالقرب منه ، أى عند الارتفاعات القريبة من سطح الأرض.

أى أن:

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} \qquad (3 - 3)$$

حيث $\Delta P_L = \Delta (mv)$ التغير فى كمية الحركة و Δt زمن التغير . وعندما تكون كتلة الجسم ثابتة يمكن كتابة العلاقة السابقة على الصورة:

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

لكن $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ هى المعدل الزمنى للتغير فى السرعة أى العجلة.

$$\therefore F = ma \qquad (3 - 4)$$

من هذه العلاقة نتبين أن العجلة التى يتحرك بها جسم ما تتناسب طرديا مع القوة المحصلة المؤثرة عليه.

فى النظام الدولى وحدة القوة هى النيوتن (N) وهو يعادل $kg\ m/s^2$. والنيوتن هو القوة التى إذا أثرت على جسم كتلته 1kg تكسبه عجلة مقدارها $1m/s^2$. كما يمكن استخدام العلاقة السابقة أيضا لتعطينا مفهوم الكتلة كما يلى :

إذا أثرت قوتان متساويتان على جسمين كتلتاهما m_1 , m_2 يكتسب الجسمان عجلتين مختلفتين هما a_1, a_2 على الترتيب ويكون :

$$F = m_1 a_1 = m_2 a_2$$

$$m_1 a_1 = m_2 a_2$$

$$m_1 = m_2 \times \frac{a_2}{a_1}$$

فإذا كانت $m_2 = 1kg$

$$m_1 = (1kg) \times \frac{a_2}{a_1}$$

وتعرف هذه الكتلة بالكتلة التثاقلية. وتستخدم العلاقة السابقة فى إيجاد كتلة مجهولة m . ونوضح هذا بالمثال التالى:

القانون الثالث لنيوتن:

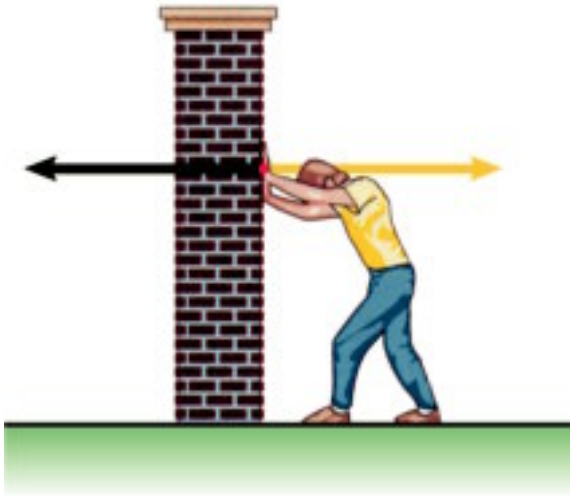
ينص القانون الثالث لنيوتن على ما يلى:

عندما يؤثر جسم ما على جسم آخر بقوة فإن الجسم الآخر يؤثر على الجسم الأول بقوة مساوية لها فى المقدار ومضادة لها فى الاتجاه.

فإذا رمزنا للقوة التى يؤثر بها جسم مثل A على جسم مثل B بالرمز F_1 وللقوة التى يؤثر بها الجسم B على الجسم A بالرمز F_2

$$F_1 = - F_2 \qquad (3 - 6)$$

مما هو جدير بالذكر أن القانون الثالث لنيوتن يتعلق دائما بقوتين متبادلتين بين جسمين مختلفين. لذلك إذا كانت القوة الأولى بمثابة فعل فإن القوة الثانية تكون رد فعل.



شكل (٣-٩)

رجل يدفع الجدار بقوة والجدار يرد بقوة مساوية ومضادة

فى شكل (٣-٩) يدفع رجل A الجدار B بقوة F_{AB} ، بينما يرد الجدار بقوة F_{BA} على الرجل وهى القوة التى يشعر بها الرجل. ولكن يلاحظ أن الجدار فى حالة اتزان فلا يتحرك.

فى شكل (٣-١٠) يقوم فريقان بشد الحبل. فى الوضع(٣-١١٠) يحدث اتزان، وفي الوضع (٣-١٠ب) يتغلب فريق على الآخر ، فتكون هناك قوة محصلة وبالتالى عجلة.

$F_1 = F_2$

الحبل فى حالة اتزان

شكل (٣-١٠أ)

ونظرا لأن عجلة الجاذبية على سطح القمر تساوى $\frac{1}{6}$ عجلة الجاذبية الأرضية ، فإن وزن الجسم على سطح القمر يعادل $\frac{1}{6}$ وزنه على سطح الأرض. فجسم كتلته 1000kg يزن 9800N على سطح الأرض ويزن على سطح القمر 1633N تقريباً

أمثـــــلة

١ - ما قوة الجاذبية المؤثرة على شخص كتلته 70kg عندما يكون فى سيارة تتحرك بعجلة $4m/s^2$ علما بأن عجلة الجاذبية $g = 9.8\ m/s^2$ ؟

الحل :

$$m = 70kg\ ,\ g = 9.8\ m/s^2$$

$$F_g = mg = 70 \times 9.8 = 686\ N$$

ومع أن الشخص يتأثر بالقوة المسببة للعجلة $4m/s^2$ إلا أن وزنه لا يتأثر بها إذ أنها تعمل فى الاتجاه الأفقى.

٢ - تتولى رافعة (ونش) سحب سيارة بقوة 3000N ليكسبها عجلة $3m/s^2$ أوجد كتلة ووزن السيارة. حيث عجلة الجاذبية $9.8m/s^2$

الحل :

$$F = 3000N\ ,\ a = 3\ m/s^2$$

$$F = ma$$

$$3000 = m \times 3$$

$$m = 1000\ kg$$

ويتعين الوزن من العلاقة :

$$F_g = mg = 1000 \times 9.8 = 9800\ N$$

٣ - طائرة جامبو كتلتها $2 \times 10^5\ kg$ وقوى الدفع الناتجة عن محركاتها النفاثة الأربعة هى $8 \times 10^5 N$ ما العجلة التى تتحرك بها الطائرة على ممر الإقلاع ؟

الحل :

$$F = 8 \times 10^5\ N\ ,\ m = 2 \times 10^5\ kg,$$

$$F = ma$$

$$8 \times 10^5 = 2 \times 10^5 \times a$$

$$a = 4\ m/s^2$$

معلومة إثرائية

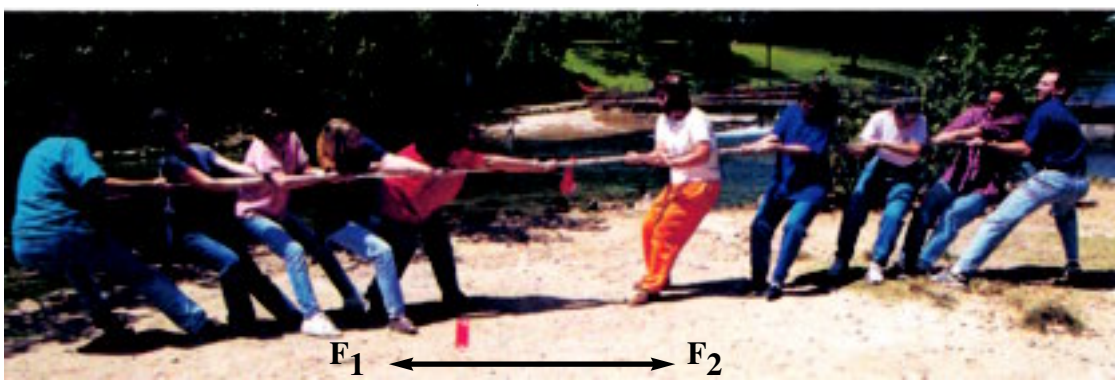
الفقير الهندى

يضع الحواة على صدورهم لوحاً به مسامير عديدة، ثم يضعون فوق اللوحة ثقلاً كبيراً، ومع ذلك لا ينفذ المسامير خلال أجسامهم ولا يصيبهم أى أذى «لماذا؟».

شكل (٣-١٢)

سرير المسامير

تتوزع القوة على مجموع مساحات رؤوس المسامير فيقل تأثيرها على الجسم، ويتزن رد فعل الجسم مع القوة الضاغطة لكل مسمار فلا ينفذ المسمار فى الجسم.



$F_1 > F_2$

فريق يتغلب على الآخر فتتولد قوة وبالتالى عجلة

شكل (٣-١٠ب)

فى شكل (٣-١١أ) يدق شخص مسمارا باستخدام مطرقة حديدية . عندما تدق المطرقة علي المسمار فإنها تؤثر عليه بقوة F_1 ، والمسمار يرد بقوة مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه . ثم يؤثر المسمار على قطعة الخشب بقوة F_2 ، ويرد الخشب علي المسمار بقوة مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه، ولكن لماذا يتحرك المسمار داخل الخشب ، ألا توجد حالة اتزان؟ إذا اعتبرنا المسمارمعزولا عما حوله، فإن عليه قوتان قوة من المطرقة تدفعه إلى داخل الخشب وقوة الخشب تدفعه إلي خارجه. ولكز لأن القوتين غير متساويتين فإن المسمار يندفع في الخشب بسبب محصلة القوتين.

المطرقة تؤثر على المسمار بقوة والمسمار يؤثر على المطرقة بقوة مساوية ومضادة

شكل (٣-١١أ)

ينفذ المسمار فى الخشب نتيجة إختلاف قيمة رد فعل الخشب عن قوة الطرق على المسمار

شكل (٣-١١ب)

الحركة فى مسار دائرى

تتحرك كثير من الأجسام فى مسارات دائرية أو شبه دائرية . فالأرض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس فى مدارات شبه دائرية. وكذلك فى الملاهى تتحرك الارجوحة الدوارة فى مدار دائرى (شكل ٣-١٤).

شكل (٣-١٤)
الأرجوحة الدوارة

القوة الجاذبة المركزية:

عندما يتحرك جسم ما فى دائرة بسرعة مقدارها ثابت يقال أن الجسم يتحرك حركة دائرية منتظمة. ومع أن مقدار سرعة الجسم على طول محيط الدائرة ثابت ، إلا أن اتجاه السرعة يتغير باستمرار. وتغير اتجاه السرعة يعنى وجود عجلة، وهذا يتطلب وجود قوة تؤثر بدورها على الجسم . ويكون اتجاه هذه القوة نحو مركز الدائرة. ولهذا تعرف باسم القوة الجاذبة المركزية Centripetal Force. وبدونها لا يمكن أن توجد الحركة الدائرية.

ويمكن بيان دور هذه القوة بطريقة مباشرة كما يلى:

نأخذ المقلاع (حجر يدور فى دائرة تحت تأثير قوة شد إلى الداخل) ونحركه ، ثم نترك الحبل حراً

معلومة إثرائية

فهمك للقصور الذاتى
يؤمنك شر الحوادث

تزداد صعوبة تحكم السائق فى إيقاف سيارته بصورة مفاجئة إذا كانت سرعتها كبيرة! وذلك بسبب زيادة قصورها الذاتى بدرجة كبيرة، حيث يظهر ذلك فى انزلاق الإطارات على الطريق بعد توقفها عن الحركة، مما يؤدى إلى زحف السيارة إلى الأمام لمسافة تزداد قيمتها كلما كانت سرعة السيارة كبيرة قبل توقفها، لذلك يراعى ترك مسافة فاصلة كافية بين السيارات وبعضها أثناء السير تجنبا للتصادم عند التوقف المفاجئ، هذا فضلاً عن وجود ما يسمى زمن الإستجابة الذى يختلف من شخص لآخر، وهو الفترة الزمنية الفاصلة بين رؤية الحدث والإستجابة لتفاديه، هذه الفترة – وإن كانت صغيرة نسبيا «حوالى من 0.2 –0.5 ثانية» – إلا أنها مع السرعة العالية للسيارة تؤدى إلى زيادة المسافة المقطوعة خلالها، وبالتالى القرب من الجسم المراد تفاديه ولأخذ سرعة استجابة الكابح «الفرملة» فى الاعتبار نأخذ الزمن $2s$ «احسب المسافة الجديدة».

شكل (٣-١٣)

ترك مسافة فاصلة بين سيارتك والسيارة التى امامها
يجنبك التصادم عند الوقوف المفاجىء

العجلة المركزية

إذا أردنا حساب القوة الجاذبة المركزية اللازمة لبقاء جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة علينا أولاً حساب العجلة التى يتحرك بها هذا الجسم والتى تعرف باسم العجلة المركزية Centripetal Acceleration ويرمز لها بالرمز a_c.

وتحسب هذه العلاقة

$$a_c = \frac{v_o^2}{r} \qquad (3 - 7)$$

وهذه هى العجلة المركزية. وهى متجهة دائما نحو المركز.

مقدار القوة الجاذبة المركزية

تبعا لقانون نيوتن الثانى $F = ma$ تكون القوة الجاذبة التى تؤثر على جسم كتلته m يتحرك حركة دائرية منتظمة هى:

$$F_c = ma_c = \frac{mv_o^2}{r} \qquad (3 - 8)$$

وذلك باستخدام المعادلة (7- 3)

ومن هذه العلاقة نتبين أن القوة الجاذبة المركزية تتناسب طردياً مع كتلة الجسم ومع مربع السرعة التى يتحرك بها حول محيط الدائرة ، بينما تتناسب عكسياً مع نصف قطر المسار الدائرى.

القوة الطاردة المركزية

علمنا مما سبق أن القوة المركزية التى تؤثر على جسم يدور فى دائرة تكون دائما فى اتجاه العجلة نحو المركز، ولكن طبقا لقانون نيوتن الثالث يكون للقوة الجاذبة المركزية رد فعل مساو لها فى المقدار

نلاحظ أن الحجر ينطلق فى اتجاه مماس للدائرة الأصلية (شكل ٣-١٥) .

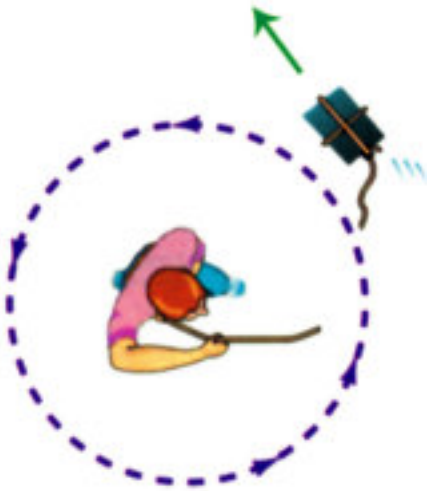
فالقوة الجاذبة المركزية تؤثر حيث توجد حركة دائرية ، إذ أن هذه القوة تكون مطلوبة لتغيير اتجاه حركة الجسم من موضع لآخر على طول المسار الدائرى.

شكل (٣-١٥أ)

حركة دائرية منتظمة

شكل (٣-١٥ب)

انقطع الحبل وتلاشت قوة الجذب المركزية



شكل (٣-١٥جـ)

عند انفلاته يتحرك الحجر فى اتجاه المماس

تـلخيـص:

- القانون الأول لنيوتن يبقى الجسم الساكن ساكناً ، ويبقى الجسم المتحرك فى خط مستقيم متحركاً بسرعة منتظمة ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالته.
- الصيغة الرياضية للقانون الأول لنيوتن $\Sigma F = O$
- القصور الذاتى لجسم هو خاصية ميل الجسم للاحتفاظ بحالته من السكون أو تحركه بسرعة منتظمة فى خط مستقيم .
- يسمى القانون الأول لنيوتن باسم (قانون القصور الذاتى).
- الكتلة القصورية تعد بمثابة القياس الكمى للقصور الذاتى له أو هى مقاومة الجسم لتغيير سرعته.
- يمكن تعيين الكتلة m_1 بدلالة كتلة أخرى $m_2=1kg$ بمعرفة سرعتيهما v_2,v_1 من العلاقة :

$$m_1 = (1kg) \times \frac{v_2}{v_1}$$

- كمية حركة الجسم $=mv$ وتقاس بوحدة $kg\ ms^{-1}$

حيث كتلته m وسرعته v .

- القوة، هى مؤثر يؤثر على الجسم يؤدى إلى تغيير سرعته .
- القانون الثانى لنيوتن: القوة المحصلة المؤثرة على جسم ما تساوى المعدل الزمنى للتغير فى كمية حركته.

$$F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

حيث $\Delta(mv)$ التغير فى كمية الحركة، Δt زمن التغير.

صيغة أخرى :

- القانون الثانى لنيوتن، القوة المحصلة المؤثرة على جسم ما تساوى حاصل ضرب كتلة الجسم × العجلة التى يتحرك بها . ويكون اتجاه القوة فى نفس اتجاه العجلة.

$$F = ma$$

يمكن من قانون نيوتن الثانى الوصول إلى مفهوم للكتلة التثاقلية للجسم.

ومضاد لها في الاتجاه . وقد اصطلح علي تسميتة بالقوة الطاردة المركزية Centrifugal Force. وهى تعمل على الجسم بحيث تحاول إبعاده عن المركز. لذلك يستفاد من هذه القوة الطاردة فى العديد من التطبيقات منها تجفيف الملابس والفصل المركزى بالمعامل الطبية وصنع غزل البنات ، وكذلك فى لعبة البرميل الدوار فى الملاهى، حيث يلتصق الأطفال بجدار البرميل مع حركته الدائرية السريعة (شكل ٣ - ١٨)

شكل (٣-١٨)
فى لعبة البراميل يلتصق الأطفال بالجدار

أمثلة:

١- أوجد القوة الجاذبة المركزية التى تؤثر على سيارة كتلتها 1000kg تدور فى منحنى نصف قطره 50m إذا كان مقدار سرعتها 5m/s

الحل :

$$m = 1000\ kg \quad , \quad v = 5\ m/s \quad , \quad r = 50\ m$$

$$F_c = m\frac{v_o^2}{r}$$

$$F_c = 1000 \times \frac{(5)^2}{50}$$

$$F_c = 500\ N$$

٢- جسم كتلته 0.5kg يتحرك حول محيط دائرة نصف قطرها 2m بسرعة خطية ثابتة مقدارها 10m/s ، اوجد العجلة المركزية والقوة الجاذبة المركزية المؤثرة على الجسم

الحل :

$$m = 0.5\ kg,\ v = 10\ m/s\ ,\ r = 2m$$

$$a_c = \frac{v_o^2}{r} = \frac{10^2}{2} = 50\ m/s^2$$

$$F_c = ma_c$$

$$= 0.5 \times (50) = 25\ N$$

أسئلة و تمارين

(١) أكمل العبارات الآتية:

١ - القانون الأول لنيوتن .....

٢ - القانون الثانى لنيوتن .....

٣ - القانون الثالث لنيوتن .....

٤ - القصور الذاتى لجسم .....

٥ - القوة .....

٦ - النيوتن هو .....

٧ - وزن الجسم هو .....

٨ - العجلة المركزية = ...

٩ - القوة الجاذبة المركزية = ...

(٢)- ضع علامة ✔ أمام العبارة الصحيحة

١ - الكتلة :

(أ) كمية متجهة.

(ب) كمية قياسية.

(جـ) كمية قياسية وحدتها الكيلوجرام.

(د) هى الوزن.

٢ - الوزن :

(أ) كمية متجهة.

(ب) كمية قياسية.

(جـ) يساوى الكتلة.

(د) كمية متجهه وحدتها النيوتن.

٣ - القانون الثانى لنيوتن ينص على أن :

(أ) الجسم الساكن يبقى ساكناً والجسم المتحرك فى خط مستقيم يبقى متحركاً بسرعة ثابتة ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالته.

(ب) القوة المحصلة = الكتلة × العجلة.

نعين الكتلة m_1 بمعرفة كتلة أخرى $m_2 = 1kg$. وعجلة تحركهما a_1، a_2 ثم التعويض فى العلاقة :

$$m_1 = (1kg) \times \frac{a_2}{a_1}$$

● النيوتن، (N) هو وحدة قياس القوة. وهو القوة التى إذا أثرت على جسم كتلته 1kg تكسبه عجلة مقدارها $1m/s^2$، ويكافىء $kg\ m/s^2$

● الوزن، هو قوة جذب الأرض للجسم.

$$F_g = mg$$

حيث m الكتلة و g عجلة الجاذبية الأرضية.

● القانون الثالث لنيوتن : عندما يؤثر جسم ما على آخر بقوة فإن الجسم الآخر يؤثر على الجسم الأول بقوة مساوية لها فى المقدار ومضادة لها فى الاتجاه.

أو لكل فعل رد فعل مساو له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه.

● الصيغة الرياضية للقانون الثالث لنيوتن.

$F_1 = - F_2$ لجسمين فى حالة سكون.

● العجلة المركزية $a_c = \frac{v_o^2}{r}$

حيث v_o السرعة المدارية الثابتة (السرعة الخطية حول محيط الدائرة) r نصف قطر المدار.

● القوة الجاذبة المركزية $F_c = ma_c$

حيث m كتلة الجسم الذى يتحرك فى المسار الدائرى و a_c العجلة المركزية.

الميكانيكا

الوحدة الأولى

الفصل الرابع

قانون الجذب العام

(جـ) لكل فعل رد فعل مساو له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه.

(د) هو قانون القصور الذاتى.

٤ - تتعين العجلة المركزية من العلاقة :

(أ) $\frac{v_o}{r^2}$ (ب) $v_o^2 r$ (جـ) $\frac{v_o^2}{r}$ (د) $\frac{v_o^2}{r^2}$

٥ - القوة الجاذبة المركزية تساوى :

(أ) (الكتلة) × (العجلة الخطية).

(ب) (الكتلة) × (العجلة المركزية).

(جـ) (الكتلة) × (العجلة الزاوية).

(د) الشغل مقسوما على الإزاحة.

٦ - فى تجربة الارتداد لكرتين (أو ركابين) على وسادة هوائية كانت سرعة الكرة المجهولة تساوى 8m/s وسرعة الكرة معلومة الكتلة (1kg) هى 16m/s عندئذ تكون الكتلة المجهولة هى:

(أ) $\frac{1}{2}$kg (ب) 1.5kg

(جـ) 1kg (د) 2kg

٧ - عندما أثرت قوتان متساويتان على جسمين الأول كتلته مجهولة فتحرك بعجلة $5m/s^2$ والثانى كتلته 1kg فتحرك بعجلة $2.5m/s^2$ عندئذ تكون الكتلة المجهولة هى:

(أ) $\frac{1}{2}$kg (ب) 1kg

(جـ) 1.5kg (د) 2kg

٨ - جسم كتلته 6kg فى حالة سكون موجود فوق سطح املس اثرت عليه قوة مقدارها 18N فحركته بعجلة تساوى:

(أ) $\frac{1}{2}$ m/s^2 (ب) $3m/s^2$

(جـ) 6 m/s^2 (د) $1.5m/s^2$

ومنه:

$$G = \frac{Fd^2}{m_1 m_2}$$

وعندما تكون m (kg) , d (m) , F (N) تكون الوحدات التى يميز بها ثابت الجذب العام هى Nm^2/kg^{-2}

من العلاقة السابقة يمكن تعريف ثابت الجذب العام كما يأتى:

ثابت الجذب العام يقدر بقوة الجذب بين جسمين كرويين كتلة كل منهما 1kg والمسافة بين مركزيهما متر واحد ($G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$).

مثـــــال

احسب قوة الجذب بين كرتين كتلتاهما 10 kg و 5 kg والمسافة بين مركزيهما 0.5m علما بأن ثابت الجذب العام $6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

الحل :

$$m_1 = 10kg \quad m_2 = 5kg, \quad d = 0.5m \quad , \quad G = 6.67 \times 10^{-11}$$

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$$F = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{10 \times 5}{(0.5)^2} = 1.334 \times 10^{-8}\ N$$

بعض تطبيقات قانون الجذب العام

تعيين كثافة الأرض

نعلم أن:

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

لذلك يلزمنا لتعيين كثافة الأرض معرفة كل من كتلة الأرض وحجمها. ويتطلب هذا معرفة نصف قطر الأرض . وفيما يلى نوضح كيف يمكن قياس نصف قطر الأرض، وبالتالى كيف يمكن حساب كتلتها وحجمها حتى يتسنى لنا تعيين كثافتها.

الفصل الرابع

قانون الجذب العام

مقدمة

قيل أن نيوتن فكر فى قوى الجاذبية حينما لاحظ سقوط تفاحة من فوق شجرتها نحو الأرض. وبغض النظر عن صدق أو عدم صدق هذه القصة فإن نيوتن توصل إلى بعض الأفكار الأساسية التى تمكن من خلالها من صياغة قانون الجذب العام.

١ - فالتفاحة تسقط بسبب قوة جذب الأرض لها - وهذه حقيقة معروفة - لكن الجديد الذى افترضه نيوتن أن التفاحة بدورها تجذب الأرض.

٢ - ربما يمتد مدى جذب الأجسام لبعضها البعض إلى مسافات كبيرة. وعلى أساس هذا الافتراض توجد قوى تجاذب بين الأرض والقمر مثلا، وقوى تجاذب بين الشمس وأى كوكب من الكواكب التى تدور فى فلكها... إلخ.

٣ - افترض نيوتن أن قوى الجاذبية تتوقف على كتل الأجسام المتجاذبة كما تتوقف على المسافة الفاصلة بينها.

قانون الجذب العام:

ويمكن نظرياً وعملياً إثبات أن :

١ - قوة التجاذب بين جسمين كتلتيهما m_1, m_2 تتناسب طرديا مع حاصل ضرب هاتين الكتلتين أى أن :

$$F \propto m_1 m_2 \qquad (4 - 1)$$

٢ - قوة التجاذب بين جسمين تتناسب تناسبا عكسيا مع مربع المسافة بينهما أى أن:

$$F \propto \frac{1}{d^2} \qquad (4 - 2)$$

٣ - من الخطوتين السابقتين يمكن استنتاج أن:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2} \qquad (4 - 3)$$

حيث G ثابت التناسب، ويعرف باسم ثابت الجذب العام. والمعادلة (3 - 4) تعرف باسم قانون الجذب العام لنيوتن.

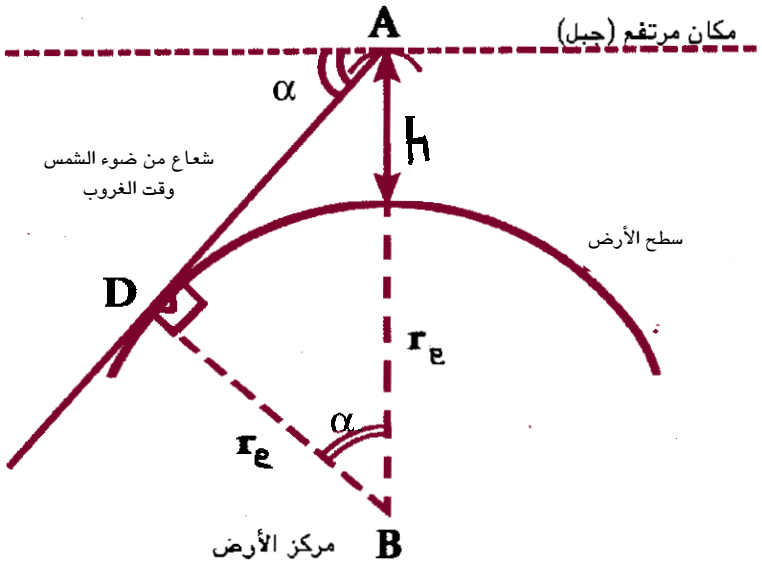
ومن ذلك يمكن إيجاد نصف قطر تكور سطح الأرض حيث يكون،

$$r_e = \frac{C}{2\pi} =$$

$$= \frac{40000}{2 \times 22/7} = 6360 \text{ km}$$

٢ ـ طريقة البيرونى

ابتكر البيرونى (أبو الريحان محمد - أحد ألمع العقول فى تاريخ العلم) طريقة لقياس نصف قطر الأرض ، تعتمد فكرتها على اختيار أحد الجبال العالية التى تطل على مياه بحر أو تطل على سهل منبسط . وبقياس ارتفاع الجبل عن سطح البحر أو السهل ـ وليكن L km ـ ثم بقياس زاوية ميل أشعة الشمس وقت الغروب ولتكن هذه الزاوية α (الشكل ٤ - ٢)، عندئذ تكون الزاوية المركزية = α أيضا ومن هندسة الشكل نجد أن،



شكل (٤-٢)

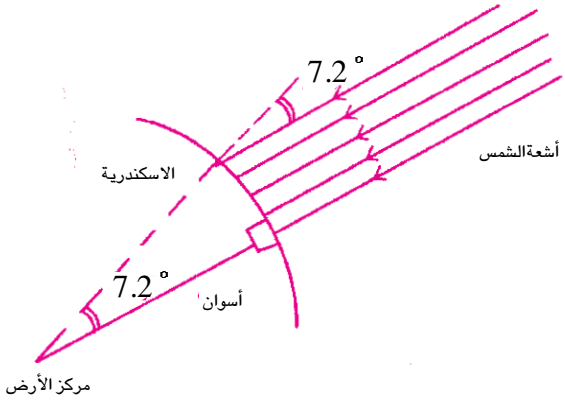
طريقة البيرونى لقياس نصف قطر الأرض

ايجاد نصف قطر تكور الأرض

توجد عدة طرق لقياس نصف قطر تكور الأرض نتعرض لاثنتين منها هما:

١ - طريقة ايراتوثينس :

قام ايراتوثينس وهو أحد علماء الإسكندرية عام ٢٥٠ قبل الميلاد بقياس طول محيط الأرض بطريقة تعتمد على تغير ميل أشعة الشمس فى وقت محدد من موضع لآخر.



شكل (٤-١)

طريقة إيراثوثينس لقياس نصف قطر الأرض

ففى ظهر يوم 21 يونيو تكون أشعة الشمس عمودية تماما فوق أسوان. وفى نفس الوقت قام إيراتوثينس بقياس ميل أشعة الشمس عند الإسكندرية ووجد انها تميل بزاوية تساوى 7.2° (شكل ٤ - ١). وبقياس المسافة بين أسوان والإسكندرية وهى تساوى 800 km تقريباً (بالوحدات التى نستخدمها نحن الآن) يمكن قياس طول محيط الأرض C حيث يكون:

$$\frac{7.2}{360} = \frac{\text{طول القوس (المسافة بين أسوان والإسكندرية)}}{\text{طول محيط الأرض}}$$

$$\therefore \quad \frac{800}{C} = \frac{1}{50}$$

ومن هنا نتبين أن :

$$C = 800 \times 50 = 40000 \text{ km}$$

حساب حجم الأرض:

$$V_{ol} = \frac{4}{3}\ \pi\ r_e^3$$

$$r_e = 6.36 \times 10^6 m$$

وبالتعويض عن r بهذه القيمة نجد أن:

$$V_{ol} = \frac{4}{3}\left(\frac{22}{7}\right) \times (6.36 \times 10^6)^3 = 1.078 \times 10^{21} m^3$$

حساب الكثافة:

من معرفة كتلة الأرض $(5.98 \times 10^{24}\ kg)$ وحجم الأرض $(1.078 \times 10^{21} m^3)$

يمكن حساب الكثافة ρ كما يلى :

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة (m)}}{\text{الحجم } (V_{ol})}$$

$$\rho = \frac{5.98 \times 10^{24}}{1.078 \times 10^{21}}$$

$$\rho = 5.54 \times 10^3\ kg/m^3$$

ملاحظة :

متوسط كثافة القشرة الأرضية أقل من هذه القيمة وبالتالى يمكن استنتاج أن باطن الأرض يحتوى على مواد أكبر كثافة.

$$\frac{BD}{AB} = \cos\alpha$$

$$\frac{r_e}{r_e + h} = \cos\alpha$$

$$r_e (1 - \cos\alpha) = L \cos\alpha$$

$$r_e = \frac{L \cos\alpha}{1 - \cos\alpha}$$

من هذه العلاقة نتبين انه بمعلومية كل من h و α يمكن حساب نصف قطر تكور سطح الأرض r.

وما اسهل إجراء هذه التجربة فى وقتنا الراهن بالاستعانة بطائرة هليوكوبتر تحلق على ارتفاع ثابت h من سطح الأرض او سطح الماء ثم قياس زاوية ميل اشعة الشمس α وقت الغروب.

حساب كتلة الأرض:

إذا فرضنا أن كتلة مقدارها واحد كيلوجرام عند سطح الأرض فإن قوة التجاذب بينها وبين الأرض تتعين من قانون الجذب العام لنيوتن اى ان:

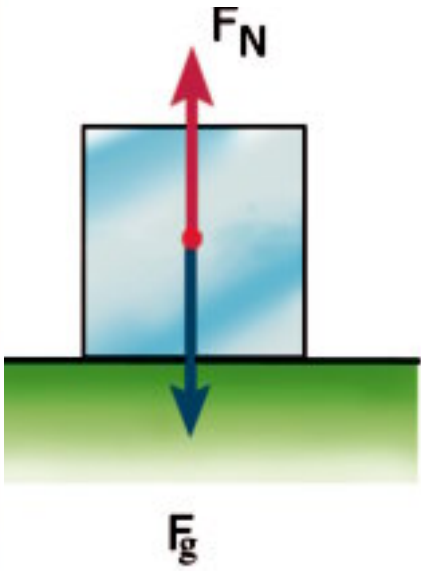
$$F = \frac{G m_1 m_2}{r_e^2}$$

$$F = 6.67 \times 10^{-11} \frac{m_1 \times 1}{(6.36 \times 10^6)^2}$$

ولكن قوة جذب الأرض لهذه الكتلة تساوى وزنها اى ان:

$$F = F_g = m_1 g = 1 \times 9.8 \text{ N}$$

وبربط العلاقتين معا يمكن حساب كتلة الأرض لنجد انها تساوى 5.98×10^{24}kg وبالتالى فإن العجلة التى تؤثر بها الأرض على كتلة 1kg هى مقلوب كتلة الأرض، ولذا يمكن إهمالها فلا تتحرك الأرض نحو الكتلة.



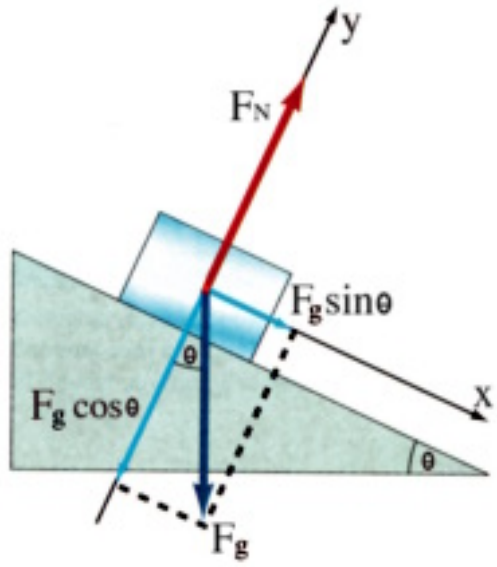
شكل (٤-٤أ)

اتزان الجسم على سطح أفقى أملس

أما اذا كان المستوى المرتكز عليه الجسم يميل بزاوية θ على الأفقى فإنه فى هذه الحالة يختل توازنه وينزلق لأسفل بفعل تأثير قوة جذب الأرض له. ولحساب قيمة هذه القوة لابد من تحليل متجه قوة وزن الجسم الذى يؤثر راسياً لأسفل إلى مركبتين احداهما فى اتجاه المستوى المائل - وهى المسئولة عن انزلاق الجسم لأسفل وقيمتها $F_g \sin\theta$-والأخرى فى اتجاه عمودى على المستوى ، وهى تتزن مع قوة رد فعل المستوى على الجسم الأعلى وقيمتها $F_g \cos\theta$ (شكل ٤ - ٤ب).

ويلاحظ هنا أن مركبة الوزن تعتمد فقط على قيمة زاوية ميل المستوى θ، فكلما زادت هذه الزاوية زادت مركبة الوزن لانزلاق الجسم، وقلت مركبة الوزن المؤثرة على المستوى إلى أن تصل قيمة زاوية الميل إلى $\theta = 90^\circ$ ، عندئذ ينعدم تأثير مركبة وزن الجسم على المستوى ، وينعدم بالتالى رد فعل المستوى على الجسم. كما تكون $(F_g \sin\theta = F_g)$، أى يصبح وزن الجسم بالكامل هو المسئول عن الانزلاق. وفى هذه الحال يعامل إنزلاق الجسم معاملة السقوط الحر.

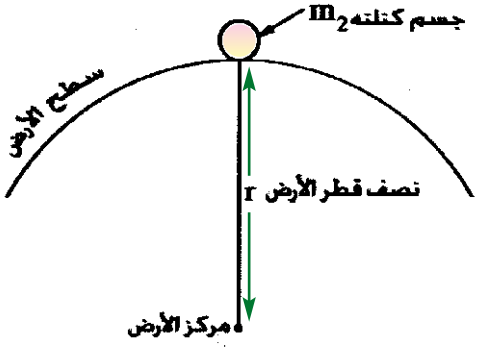
ويلاحظ تأثير زاوية الميل المستوى على حركة الاجسام عليها عند صعود وهبوط السيارات على الكبارى، فكلما زادت زاوية ميل سطوح الكبارى واجه السائق صعوبة شديدة، حيث يضطر إلى زيادة الضغط على دواسة البنزين لزيادة دفع المحرك للسيارة للتغلب على قوة الانزلاق المؤثرة عليها لاسفل بفعل الجاذبية الأرضية. كما يجد أيضاً صعوبة فى عملية الهبوط، حيث يضطر إلى الضغط على دواسة الفرامل لتقليل قوة اندافع السيارة لأسفل بفعل الانحدار حتى لا تختل بيده عجلة القيادة وتنقلب السيارة.



شكل (٤-٤ب)

انزلاق الجسم على سطح مائل أملس

تعيين عجلة الجاذبية الأرضية (g) :



شكل (٤-٣)
(حساب عجلة الجاذبية الأرضية)

بفرض وجود كتلة m_2 على سطح الأرض ، فإن هذه الكتلة تبعد مسافة r_e عن مركز الأرض (حيث r_e هى نصف قطر الأرض وذلك بإهمال ابعاد الكتلة m_2 إذا ما قورنت بأبعاد الأرض). فإذا كانت كتلة الأرض m_1 ، فمن قانون الجذب العام تكون قوة الجذب المتبادل بين الأرض والكتلة m_2 هى:

$$F = G \frac{m_1}{r_e^2} m_2$$

وحيث أن وزن الجسم هو قوة جذب الأرض له، فإن القوة التى تجذب بها الأرض الكتلة m_2 هى وزنها أى أن:

$$F_g = g\, m_2$$

من العلاقتين السابقتين يتضح أن عجلة الجاذبية الأرضية هى:-

$$g = \frac{G\, m_1}{r_e^2} \qquad (4 - 4)$$

وتعتبر هذه العلاقة صحيحة لجميع الأجسام المستقرة على سطح الأرض أو الموجودة على ارتفاعات قريبة منه، حيث يمكن اهمال البعد بين مركز أى من هذه الأجسام وسطح الأرض، اذا ما قورن بقيمة نصف قطر الأرض (احسب g من العلاقة 4 - 4).

الحركة على مستوى أملس مائل على سطح الأرض

إذا وضع جسم كتلته m على مستوى أفقى أملس، فإنه يكون متزنا تحت تاثير قوة جذب الأرض له لأسفل ـ أى وزنه $F_g = mg$ ـ ورد فعل المستوى عليه لأعلى F_N، طبقاً لقانون نيوتن الثالث. وبذلك تكون محصلة القوى المؤثرة عليه صفرا (شكل ٤ - ١٤).

تلخيص

● قانون الجذب العام لنيوتن هو :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2} (N)$$

حيث F قوة التجاذب الكتلى بين جسمين كتلتاهما m_1, m_2 وتفصل بين مركزيهما مسافة d و G ثابت الجذب العام.

● قوة التجاذب الكتلى بين جسمين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما وهذا هو منطوق قانون الجذب العام لنيوتن.

● ثابت الجذب العام ثابت كونى $G = 6.67 \times 10^{-11} Nm^2/kg^2$

عجلة الجاذبية الأرضيه (g) تحسب من العلاقة :

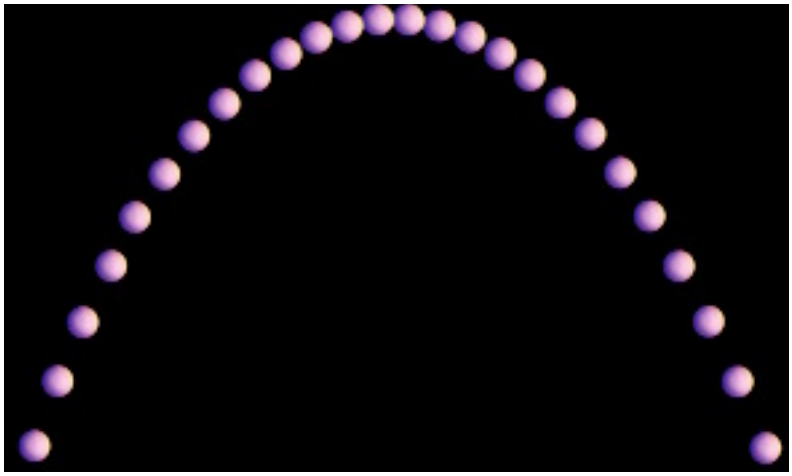
$$g = G \frac{m}{r_e^2}$$

وهذه العلاقة صحيحة لأى جسم مستقر على سطح الأرض أو على أبعاد قريبة من سطحه.

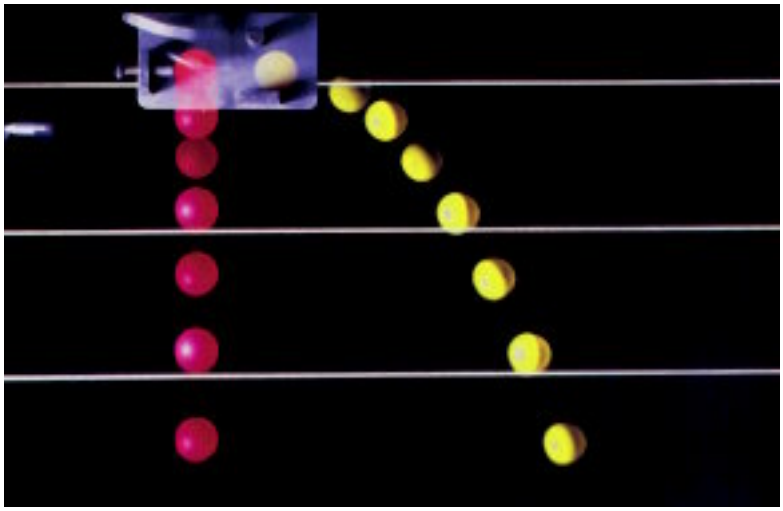
● يعتمد إنحدار الاجسام علىٰ المستويات المائلة على قيمة زاوية ميل هذه المستويات على الوضع الأفقى (مع اهمال قوى الاحتكاك)، حيث تزاداد مركبة القوة المسئولة عن الانحدار كلما زاد الميل إلى أن تصبح اكبر مايمكن عندما تصل زاوية الميل إلى 90°

مسار المقذوفات Projectiles

عند قذف جسم بسرعة ابتدائية لأعلى بزاوية وجد انه يسلك مساراً يسمى قطع مكافىء Parabola (شكل ٤-١٥). عند سقوط جسمين أحدهما بسرعة أفقية ابتدائية والآخر فى اتجاه رأسى بسرعة ابتدائية صفر فإن المسافة الرأسية واحدة فى الأزمنة المتساوية (لماذا؟)



شكل (٤-١٥أ)



شكل (٤-٥ب)

حركة مقذوفات باستخدام الكاميرا السريعة

أ) جسم مقذوف لأعلى بزاوية

ب) جسم يسقط سقوطا حرا بسرعة أفقية ابتدائية وجسم آخر يسقط رأسيا بسرعة ابتدائية صفر

٣ - احسب قوة جذب الشمس للأرض إذا كانت كتلة الأرض $M_e = 6 \times 10^{24}$ kg وكتلة الشمس $m_s = 2 \times 10^{30}$ kg ومتوسط المسافة بين مركزيهما $r_{es} = 1.5 \times 10^{11}$m وثابت الجذب العام 6.67×10^{-11} Nm^2/kg^2

$(3.56 \times 10^{22}N)$

ثالثاً : اكمل كلاً من العبارات الآتية:

(أ) ثابت الجذب العام هو .....

(ب) ينص قانون الجذب العام لنيوتن على .....

رابعاً أسئلة المقال :

- اشرح طريقة يمكن بواسطتها قياس نصف قطر الأرض.

أسئلة وتمارين

أولاً : ضع علامة √ أمام العبارة الصحيحة فى كل مما يأتى :

١ - قوة الجذب بين كتلتين تتناسب :

(أ) طرديا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيا مع المسافة بينهما.

(ب) عكسيا مع حاصل ضرب كتلتيهما وطرديا مع مربع المسافة بينهما.

(جـ) طرديا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

(د) طرديا مع حاصل ضرب كتلتيهما ومع مربع المسافة بينهما.

٢ - كرتان كتلتاهما 8kg و 20 kg المسافة بين مركزيهما 0.2m وبفرض أن ثابت الجذب العام هو G فإن قوة التجاذب الكتلى بينهما بالنيوتن هى :

(أ) 40 G

(ب) 8 G

(جـ) 4000 G

(د) 8000 G

ثانياً المسائل :

١ - احسب نسبة الجاذبية على سطح القمر إلى الجاذبية على سطح الأرض إذا علمت ان كتلة الأرض $M_e = 6 \times 10^{24}kg$ ونصف قطرها $r_e = 6 \times 10^6m$ وكتلة القمر $M_m = 7.36 \times 10^{22}kg$ ونصف قطره $r_m = 1.74 \times 10^6m$ (1 : 6.86)

٢ - احسب قوة جذب الأرض للقمر إذا كانت كتلة الأرض 6×10^{24} kg وكتلة القمر $M_m = 7.36 \times 10^{22}kg$ وثابت الجذب العام 6.67 x 10-11 Nm2/kg2 ومتوسط المسافة بين مركزى الأرض والقمر $r_{em} = 3.8 \times 10^8m$ $(2 \times 10^{20}N)$

الفصل الخامس

قانون بقاء الطاقة

الشغل:

يرتبط الشغل الميكانيكي ببذل جهد ويتطلب عاملين متلازمين

١- قوة مؤثرة. ٢- ازاحة فى اتجاه القوة.

بعبارة أخرى، عندما تؤثر قوة على جسم لتحركه مسافة ما على طول خط عمل القوة يقال ان القوة تبذل شغلا.

ويتوقف مقدار الشغل المبذول على مقدار كل من القوة المؤثرة والمسافة التى يتحركها الجسم فى اتجاه القوة. وإذا رمزنا للشغل بالرمز W وللقوة بالرمز F وللمسافة التى يتحركها الجسم فى اتجاه القوة بالرمز d، فإن :

$$W = Fd \qquad (5\text{-}1)$$

ويوضح الشكل (٥ - ١) عدة أمثلة للشغل

شكل (٥-١(أ))

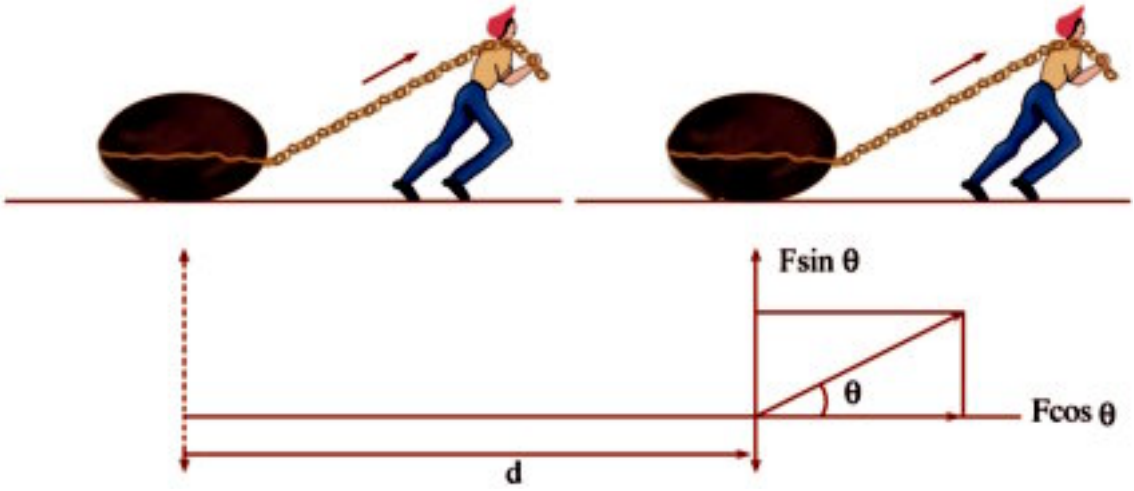
السائق يبذل شغلا فى دفع السيارة المعطلة

الميكانيكا

الوحدة الأولى

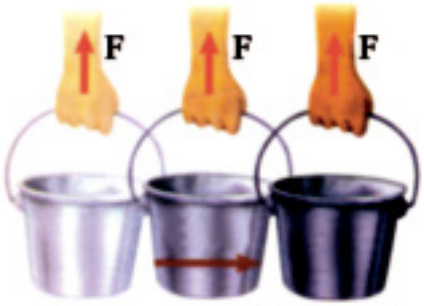
الفصل الخامس

قانون بقاء الطاقة



شكل (٥-٢)

الشغل الناتج عن قوة تميل بزاوية على اتجاه الإزاحة



شكل (٥-٣أ)

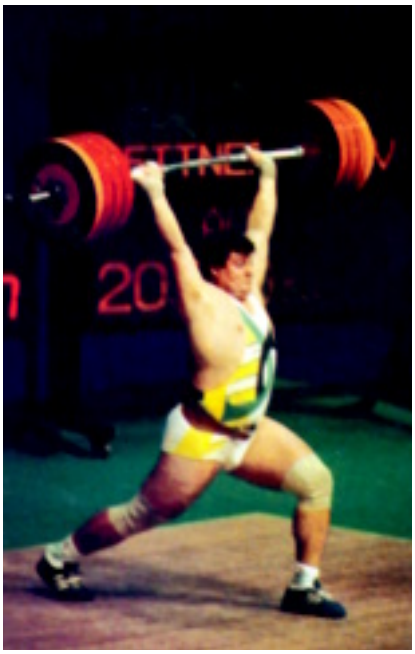
القوة عمودية على اتجاه الإزاحة لذلك الشغل يكون مساويا صفرا

شكل (٥-٣ب)

القوة تكون فى نفس اتجاه الإزاحة لذلك يكون الشغل له قيمة

ومن هذه العلاقة يتضح أن زاوية ميل القوة على اتجاه حركة الجسم تحت تأثير هذه القوة تؤثر تأثيرا فعالا فى قيمة الشغل المبذول لتحريك الجسم فى هذا الاتجاه، حيث يصبح فى أقصى قيمة له عندما يكون $\theta=0^\circ$ (اتجاه القوة منطبق على اتجاه الحركة) بينما تنعدم قيمته عندما يكون $\theta=90^\circ$ (أى أن اتجاه القوة عمودى على اتجاه الحركة) أى أن القوة فى هذه الحالة لا تبذل شغلا فى هذا الاتجاه بالرغم من تأثيرها على الجسم. أمثلة ذلك كثيرة نذكر منها:

ملخص يحمل دلوا مليئا بالماء يسير به مسافة أفقية يكون الشغل المبذول فى اتجاه الحركة من



شكل (٥-١ب)

اللاعب يبذل شغلا فى رفع الأثقال

شكل (٥-١جـ)

الكتلة الحديدية تبذل شغلا فى هدم المبنى

الوحدة التى يقدر بها الشغل:

عندما تكون القوة مقدرة بالنيوتن، والمسافة مقدرة بالمتر فإن الشغل يقدر بالجول (joul(j والجول هو الشغل الذى تبذله قوة مقدارها نيوتن واحد لتحرك جسما مسافة مقدارها متر واحد فى اتجاه القوة.

ويوضح شكل (٥ – ٢) جسما يتحرك على سطح أفقى أملس (عديم الاحتكاك) تحت تأثير قوة f تميل على السطح بزاوية (θ) وحساب الشغل المبذول فى هذه الحالة يتطلب تحليل القوة إلى مركبتين، إحداهما موازية لاتجاه الحركة ومقدارها F cos θ والأخرى عمودية عليها ومقدارها F sin θ، وهذه تتزن مع وزن الجسم F g كما هو موضح بالشكل.
ويتعين الشغل المبذول عندما يتحرك الجسم مسافة أفقية D من العلاقة:

$$W = (F \cos) d$$

$$\boxed{W = F d \cos} \qquad (5\text{-}2)$$

أمثـــــلة

١ – أحسب الشغل الذى يبذله عامل بناء يرفع كمية من الأسمنت كتلتها **50 Kg** من الطابق الأول إلى الطابق الرابع على ارتفاع **10m** علما بأن عجلة الجاذبية **10N/ kg**

الحل:

$$F = mg = 50 \times 10 = 500\ N$$
$$W = FD$$

حيث **d** المسافة الرأسية

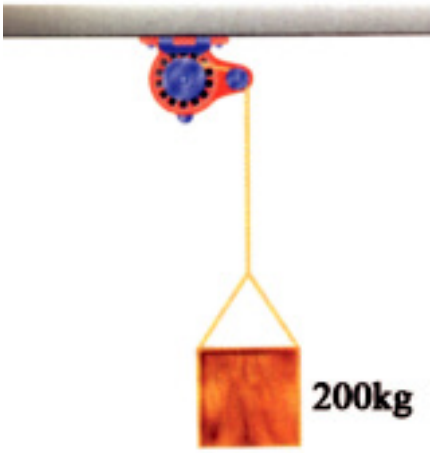
$$W = 500 \times 10 = 5 \times 10^3\ J$$

٢ – شخص يهذب حديقة باستخدام آلة قص الحشائش يؤثر على يد الآلة التى تميل على الأرض بزاوية $60°$ احسب الشغل المبذول فى تهذيب شريط من الحديقة طوله **30m** بقوة تساوى $20N$

الحل:

$$W = Fd \cos \theta$$
$$= (20)\ (30) \cos 60$$
$$= 330\ J$$

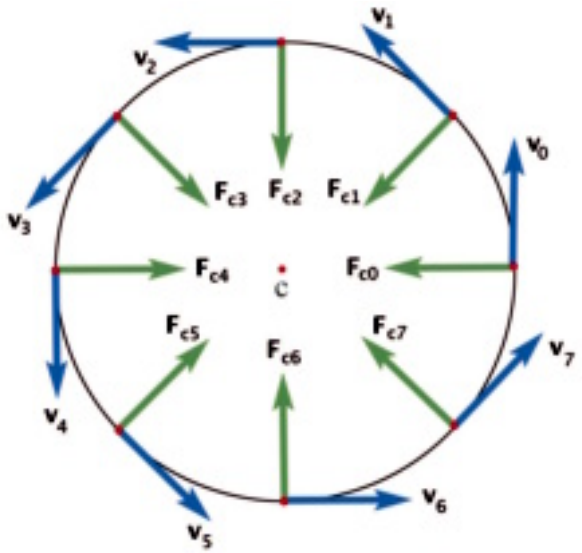
القوة التى يؤثر بها الشخص على الدلو صفرا، إذ يكون اتجاه الحركة عموديا على اتجاه هذه القوة المؤثرة على الدلو والتى تتزن بدورها مع قوة جذب الأرض له، (شكل ٥ – ٣) وهذا بخلاف الحالة إذا ما كان يحمل دلوا ويصعد سلما (٥–٣ب) أو عند رفع ثقل باستخدام محرك وبكرة (شكل ٥–٣حـ).



شكل (٥-٣جـ)

يتطلب الشغل أن تكونالإزاحة فى نفس اتجاه عمل القوة

٢– القوة الجاذبة المركزية المؤثرة على جسم أثناء حركته المدارية فى مسار دائرى لا تبذل شغلا أثناء حركة الجسم، إذ أنها تكون عمودية دائما على اتجاه حركة الجسم (المماس لمحيط الدائرة) كما فى شكل (٥ – ٤) ولذلك لا تلزم طاقة لدوران القمر حول الأرض أو الأرض حول الشمس أو القمر الصناعى حول الأرض (الفصل السابع).



شكل (٥-٤)

القوة الجاذبة المركزية لا تبذل شغلا أثناء حركة الجسم المدارية

منها:

١- البحث عن مصادر جديدة للفحم وزيادة الاعتماد عليه كبديل مؤقت للبترول (شكل ٥ - ٩).

٢- التوسع فى استخدام المساقط المائية الطبيعية أو الصناعية كالسدود والخزانات لتوليد الكهرباء (شكل ٥ - ١٠) وهذه طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة.

٣- استخدام الطاقة النووية فى الحصول على الكهرباء، وإن كان لها بعض المخاطر مثل التسرب الإشعاعى كما حدث فى تشرنوبل (شكل ٥ -١١).

شكل (٥-١٠)

السدود كوسيلة للحصول على الطاقة

شكل (٥-١١)

الطاقة النووية

الطاقة فى حياتنا اليومية

من الصعب أن نعطى تعريفا عاما للطاقة، ومع ذلك يمكننا الاستعانة بالتعريف الذى اصطلح الناس عليه من خبراتهم اليومية، وهو أن الطاقة هى إمكانية عمل شغل وبالتالى تقدر الطاقة بوحدة الجول وهى نفسها وحدة الشغل. ولقد نمت الحاجة إلى الطاقة بنمو وتطور المجتمعات البشرية ففى المجتمعات البدائية تتمركز حاجة الإنسان للطاقة غالبا فى الطعام الذى يحصل عليه من الحيوانات والنباتات. ومع تطور المجتمع وما صاحب هذا التطور من تقدم حضارى وتقنى (تكنولوجى) حدث تغيير كبير فى احتياجات هذا المجتمع من الطاقة، كما حدث تغير كبير فى مصادرها، ففى القرن التاسع عشر كانت الأخشاب تلعب دورا رئيسيا كمصدر من مصادر الطاقة وسرعان ما تقلص هذا الدور باكتشاف الفحم، ثم باكتشاف البترول. ومع بداية القرن العشرين أخذ الاعتماد على البترول كمصدر رئيسى للطاقة يتزايد (شكل ٥ – ٨) ونظرا لتضاعف معدلات الاستهلاك فإن مخزون البترول معرض للنضوب خلال فترة محدودة قد تزيد قليلا أو تقل قليلا عن **50** عاما لذلك أصبح البحث عن البديل ضرورة حتمية ولقد اتخذت خطوات هامة فى هذا السبيل.

شكل (٥-٨)

البترول كمصدر للطاقة

شكل (٥-٩)

الفحم كمصدر للطاقة

شكل (٥-١٤)

تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربية

أمل الإنسان فى سد احتياجاته المستقبلية من الطاقة (شكل ٥ – ١٤) وهذه أيضا طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة.

تحولات الطاقة

إذا للطاقة صور متعددة منها الطاقة الميكانيكية (طاقة وضع وطاقة حركة) والطاقة الحرارية والطاقة الكهربية والطاقة النووية والطاقة الضوئية وغيرها ويمكن لأى صورة من صور الطاقة أن تتحول إلى الأخرى، بحيث تظل كمية الطاقة ثابتة. وهو مبدأ معروف باسم قانون بقاء الطاقة **Law Of Conservation of Energy** ينص قانون بقاء الطاقة على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث.

الطاقة الميكانيكية

ويمكن التأكد من صحة قانون بقاء الطاقة من خلال دراستنا للطاقة الميكانيكية لجسم. وهى بدورها تساوى مجموع طاقتى الجهد (الوضع) والحركة له.

طاقة الوضع

رفعنا جسما كتلته **m** مسافة رأسية **d** إلى أعلى فوق سطح الأرض نحتاج إلى بذل شغل.

شكل (٥-١٢)

الرياح كمصدر للطاقة

٤- الاستفادة من حركة الرياح فى تشغيل المراوح الهوائية التى يمكن أن يستفاد بها فى تشغيل مولدات الكهرباء (شكل ٥ - ١٢) وتعتبر طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة.

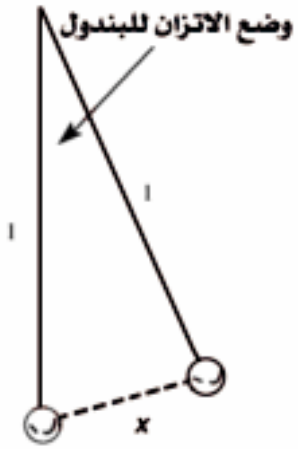
٥- استخدام ظاهرتى المد والجزر لمياه البحر فى توليد الكهرباء (شكل ٥ - ١٣)، وهى طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة.

٦- التوسع فى الرقعة الزراعية لضمان إمداد الإنسان باحتياجاته للطاقة الحيوية المستمدة من الغذاء.

٧- الاهتمام بالطاقة المستمدة من الشمس والاستفادة بها على الوجه الأكمل ويعد هذا هو.

شكل (٥-١٣)

استغلال ظاهرتى المد والجذر لتوليد الكهرباء



شكل (٥-١٥جـ)

طاقة وضع مختزنة فى بندول مزاح عن وضع الاتزان

شكل (٥-١٥د)

طاقة وضع مختزنة فى ماء مرتفع عن سطح الأرض

شكل (٥-١٥هـ)

طاقة وضع مختزنة فى جسم مرفوع لأعلى

يتعين من العلاقة:

$$W = fg\ d$$

$$F\ g - mg$$

ولكن

حيث g عجلة جاذبية الأرض

$$W = Mgd$$

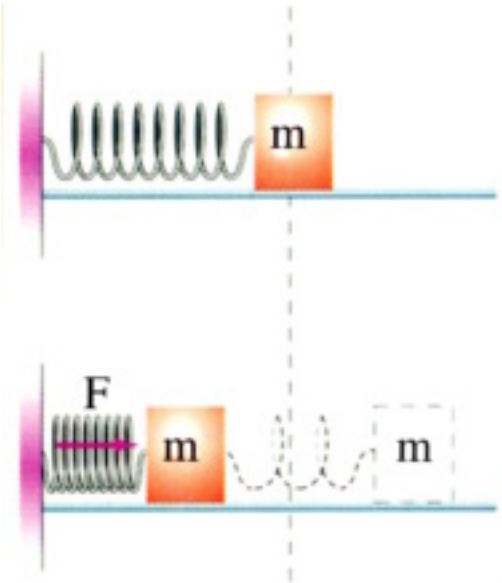
هذا الشغل يكتسبه الجسم. وفى هذه الحالة يختزن الجسم قدرا من الطاقة نتيجة لرفعه إلى أعلى مسافة رأسية. يطلق على الطاقة التى يختزنها الجسم بسبب موضعه اسم طاقة الوضع (pE) **Potential Energy**

$$\boxed{PE = mgd} \qquad (5\text{-}3)$$

طاقة الوضع فى الحالة الموضحة هنا هى طاقة جهد الجاذبية. كما أن الطاقة المختزنة فى ملف زنبركى نتيجة لاستطالته (عند جذب الكرة المعلقة فيه إلى الخارج) أو انكماشه (عند دفعها إلى الداخل) وهى طاقة وضع أيضا. يوضح شكل (٥ – ١٥) أمثلة لطاقة وضع مختزنة.

شكل (٥-١٥أ)

طاقة وضع مختزنة فى قوس مشدود



شكل (٥-١٥ب)

طاقة وضع مختزنة فى زنبرك مضغوط

$$F_B = \frac{h}{\mathrm{L}} F_g$$

$$= \frac{F_g}{10}$$

وبذلك تكون الكفاءة الميكانيكية للمدرج

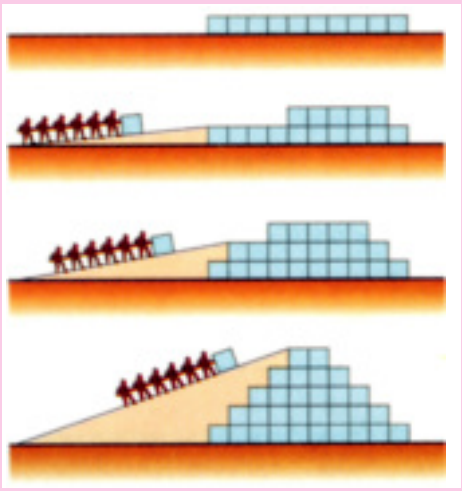
Mechanical Advantage η

$$\eta = \frac{F_g}{F_B} = \frac{\mathrm{L}}{h} = \frac{1}{\sin\theta}$$

وكلما كانت الزاوية θ صغيرة كانت القوة اللازمة لرفع الحجر F_B صغيرة.

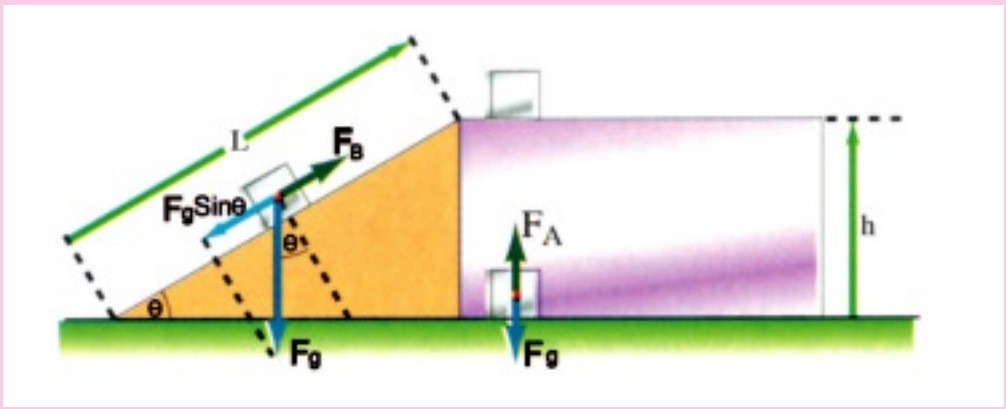
يلاحظ أن القوة تصغر بنسبة زيادة المسافة بحيث يبقى الشغل ثابتا لنفس الارتفاع **h**.

وتذكرنا الكفاءة الميكانيكية بالآلات البسيطة مثل الرافعة (شكل ٥–١٨)



شكل (١٦)

بناء الاهرامات



شكل (٥-١٧)

حساب الكفاءة الميكانيكية للمدرج

شكل (٥-١٨)

العتلة

(رافعة من النوع الأول)

معلومة إثرائية

بناء الأهرامات

يحتوى هرم خوفو على 2.5 مليون كتلة من الحجارة تزن كل منها ما بين 2 إلى 70 طن (Ton = 103 Kg 1) ويبلغ ارتفاعه حوالى 140 مترا فكيف تم بناء هذا الصرح العظيم؟

استقر الرأى على أن الهرم بنى باستخدام مدرجات من الرمال فبعد أول طبقة من الأحجار أنشئ مدرج من الرمال للوصول إلى مستوى الطبقة التالية (شكل ٥ – ١٦) وفائدة استخدام المدرج تظهر إذا افترضنا أن قطعة واحدة من الحجارة وزنها Fg ومطلوب رفعها مسافة H من الأرض فإذا تم رفعها مباشرة فإن الشغل المبذول هو

$$w_1 = F_A\, h = F_g\, h$$

حيث F_A هى القوة اللازمة لرفع قطعة الحجر ولكن إذا كانت قطعة الحجر على مستوى مائل فإن مركبة الوزن فى اتجاه المستوى هى $F_B = F_g \sin\theta$ (شكل ٥ –١٧).

وبذلك يكون الشغل المبذول لتحريك حجر مسافة L فى اتجاه المستوى:

$$W_2 = F_B\, \mathrm{L}$$

وحيث إن الارتفاع Hثابت فى حالة إذا ما تم رفع قطعة الحجر رأسيا أو على مستوى مائل لأنه فى الحالتين يتم بذل شغل ضد الجاذبية (زيادة طاقة الوضع) بمقدار Mgh لذلك فإن:

$$W_2 = W_1$$

$$F_B \mathrm{L} = F_g h$$

فتكون القوة اللازمة لدفع كتلة الحجر أعلى المدرج

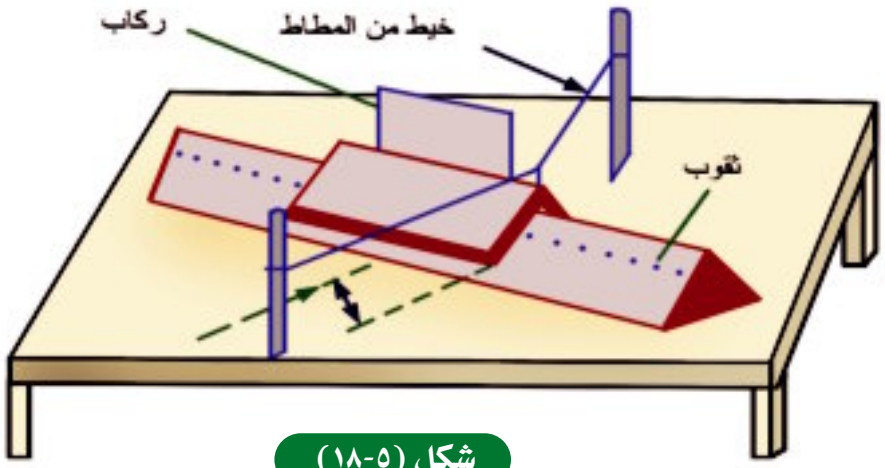
$$F_B = \frac{h}{\mathrm{L}} F_g$$

فإذا كان L =2h فإن:

$$F_B = \frac{h}{\mathrm{L}} F_g = \frac{F_g}{2}$$

وإذا زاد طول المدرج إلى $\mathrm{L} = 10h$

تجربة لقياس طاقة الحركة



شكل (٥-١٨)

قياس طاقة الحركة باستخدام وسادة هوائية

يوضح شكل (٥ – ١٩) الجهاز المستخدم لهذا الغرض. وهو ركاب يمكن تحريكه على وسادة هوائية إلى الخلف مسافة معينة **AB** بواسطة خيط مرن، ثم يحرر الخيط المرن، فيندفع عائدا إلى موضعه الأصلى دافعا أمامه الركاب وتقاس سرعة الركاب أثناء حركته على الوسادة الهوائية باستخدام خلية كهروضوئية وساعة كهربية وتكرر التجربة عدة مرات مع تغيير كتلة الركاب **M** وتعيين السرعة **v** التى يتحرك بها فى كل مرة مع مراعاة أن الشغل المبذول على الركاب ثابت فى كل مرة عند تثبيت المسافة.

وبرسم علاقة بيانية بين مربع السرعة (V^2) ممثلا على المحور الرأسى ومقلوب الكتلة $\frac{1}{m}$ ممثلا على المحور الأفقى نجد أن العلاقة البيانية يمثلها خط مستقيم ومنه نتبين أن:

$$V^2 \propto \frac{1}{m}$$

$$mV^2 = \text{ثابت}$$

المقدار الثابت هنا يساوى ضعف طاقة الحركة وبالتالى تكون:

$$\text{طاقة الحركة للجسم} = \frac{1}{2}mv^2$$

وطاقة الحركة هنا ثابتة لأن طاقة الوضع المختزنة فى الخيط المرن ثابتة باعتبار المسافة المزاحة فى الخيط **AB** ثابتة.

طاقة الحركة لجسم:

إذا أدرنا محرك سيارة لتبدأ حركتها من السكون لتقطع مسافة معينة فى خط مستقيم وبفرض أن العجلة التى تتحرك بها السيارة خلال هذه المسافة عجلة ثابتة فإن:

$$V_t^2 - V_0^2 = 2ax$$

حيث V_0 السرعة الابتدائية = صفر لأن السيارة بدأت حركتها من السكون ؟؟؟ السرعة النهائية a العجلة.

$$V_t^2 = 2ax$$

$$X = \frac{V_t^2}{2a}$$

ومنها

ويضرب الطرفين فى f، حيث F القوة المؤثرة فى السيارة أثناء حركتها

$$Fx = \frac{1}{2}\frac{F}{a}V_t^2$$

ومن قانون نيوتن الثانى:

$$\frac{F}{a} = m$$

ومن العلاقتين السابقتين ينتج أن:

$$Fx = \frac{1}{2}mv^2$$

حيثm الكتلة التثاقلية للسيارة وv هى سرعة السيارة فى أى لحظة.

الطرف الأيسر يمثل الشغل المبذول وهو الطاقة اللازمة لتحريك السيارة – والطرف الأيمن يمثل الصورة التى تحول إليها الشغل المبذول والمعروفة باسم طاقة الحركة للجسم **Kinetic Energy (KE)**

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (5\text{-}4)$$

أى أن طاقة الحركة لجسم تتناسب طرديا مع كتلته ومربع سرعته.

شكل (٥-٢٢)

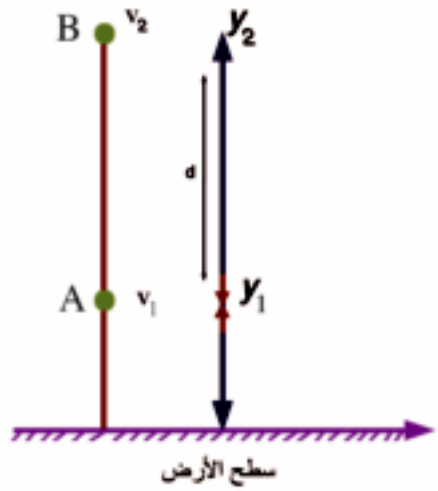
التحول المتبادل بين طاقتى الوضع والحركة فى الوثب العالى

قانون بقاء الطاقة:

عندما نقذف جسما كتلته m إلى أعلى فى عكس اتجاه مجال الجاذبية فإن الشغل المبذول على الجسم أثناء ارتفاعه يعمل على:

١- زيادة طاقة الوضع له.

٢- نقص طاقة الحركة له.



شكل (٥-٢٠)

تحقيق قانون بقاء الطاقة فى صورتها الميكانيكية

والعلاقة السابقة يعبر عنها تعبيرا رياضيا صحيحا على النحو التالى:

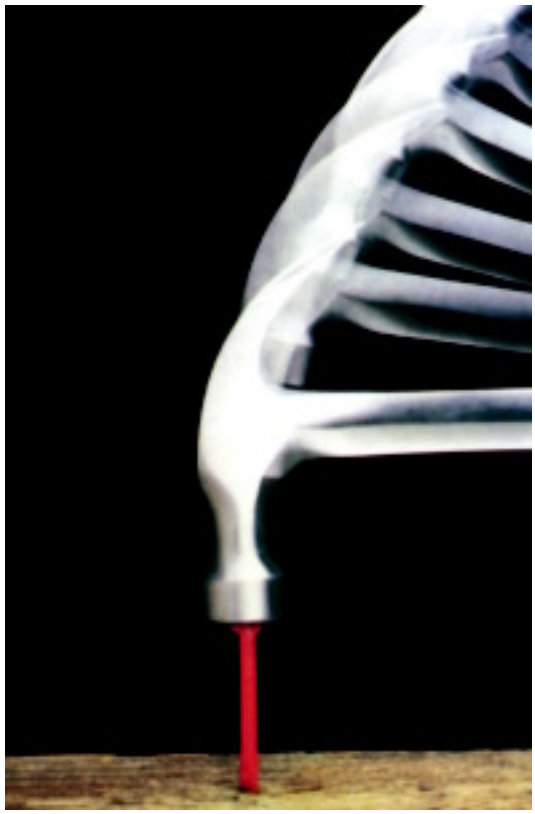
$$mg(y2 - y1) = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2)$$

$$\boxed{mg(y2 - y1) = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2)} \qquad (5-5)$$

ويمثل الطرف الأيمن مجموع طاقتى الوضع والحركة للجسم عند النقطة (A) ويمثل الطرف الأيمن مجموع طاقتى الوضع والحركة له عند (B) ومن هذا نتبين أن:

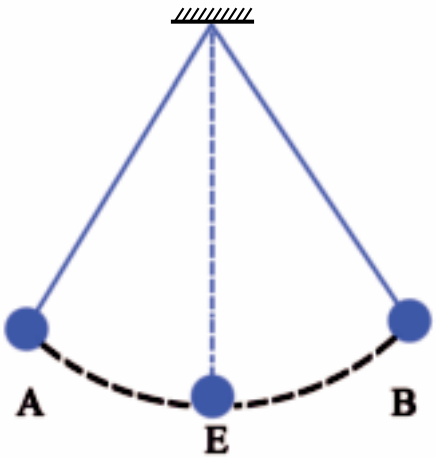
شكل (٥-٢٤)

طاقة الوضع فى الكتلة الحديدية تتحول إلى طاقة حركة



شكل (٥-٢٥)

تتحول طاقة الوضع فى المطرقة إلى طاقة حركة



شكل (٥-٢٦)

تبادل طاقتى الوضع والحركة فى البندول البسيط

مجموع طاقتى الوضع والحركة يساوى مقدارا ثابتا ومما سبق نتبين إمكانية تحول إحدى صور الطاقة إلى صورة أخرى مثال ذلك تحول طاقة الوضع إلى طاقة حركة والعكس صحيح، بحيث يظل مجموعها ثابتا ويمكن بالمثل إثبات أن تحول صورة من صور الطاقة إلى صورة أخرى يخضع لنفس المبدأ ولكنها لا تفنى ولا تستحدث من عدم (قانون بقاء الطاقة).

شكل (٥-٢٣)

التحول المتبادل بين طاقتى الوضع والحركة فى الساقية

وجدير بالذكر أن مجموع طاقتى الوضع والحركة لجسم ما يسمى بالطاقة الميكانيكية له.

الطاقة الميكانيكية لجسم = طاقة الوضع للجسم + طاقة الحركة له.

وتوجد أمثلة كثيرة لتحويل الطاقة من طاقة وضع إلى طاقة حركة وفى شكل (٥-٢٢) يختزن اللاعب طاقة وضع فى الزانة أثناء الوثب العالى فى ألعاب القوى لتعينه فى الوثبة.

وفى الساقية (شكل ٥-٢٣) تتحول طاقة الوضع للماء أعلى الساقية إلى طاقة حركة. وفى شكل (٥-٢٤) تتحول طاقة الوضع فى الكتلة الحديدية إلى طاقة حركة تدمر المبنى. وفى شكل (٥-٢٥) تتحول طاقة الوضع فى المطرقة إلى طاقة حركة. وفى شكل (٥-٢٦) تتحول طاقة الوضع فى البندول إلى طاقة حركة، وبالعكس وتسمى حركة اهتزازية.

تلخيص

الشغل كمية قياسية وهو حاصل ضرب (مقدار القوة) × (مقدار الإزاحة فى اتجاه القوة) الوحدة التى يقاس بها الشغل هو الجول.

$$W = Fd$$
$$W = Fd\cos\theta \quad \text{أو}$$

حيث θ الزاوية بين d, F

- الجول هو الشغل الذى تبذله قوة مقدارها واحد نيوتن لتحرك جسما مسافة متر واحد فى اتجاه القوة.
- الطاقة هى إمكانية بذل شغل وتقاس أيضا بالجول.
- طاقة الوضع لجسم **PE = mgd**

حيث **m** كتلة الجسم، **g** عجلة الجاذبية الأرضية و**d** المسافة الرأسية

- طاقة الحركة لجسم = $KE = \frac{1}{2}mv^2$

حيث **m** كتلة الجسم، **v** سرعته

- الطاقة الميكانيكية لجسم = طاقة الوضع له + طاقة الحركة له.

$$mgd + \frac{1}{2}mv^2$$

- يمكن لأى صورة من صور الطاقة أن تتحول إلى صورة أخرى.

فطاقة الوضع مثلا يمكن أن تتحول إلى طاقة حركة، بحيث يكون النقص فى إحداهما مساويا للزيادة فى الأخرى.

- قانون بقاء الطاقة: الطاقة لا تفنى ولا تستحدث.

أمثلة:

١- جسم كتلته ١g يسقط من السكون من ارتفاع ٥ ما هى السرعة التى يصل بها إلى الأرض؟
(اعتبر عجلة الجاذبية $10m/s^2$)

الحل

$$PE_1 + KE_1 = PE_2 + KE_2$$
$$mgd + \frac{1}{2}mv_1^2 = 0 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

وحيث إن الجسم يسقط من السكون أى $(V_1 = 0)$

$$mgd = \frac{1}{2}mv_2^2$$
$$mv_2^2 = 2gd$$
$$v_2^2 = 2 \times 10 \times 5$$
$$v_2 = 10m/s$$

٢- جسم كتلته $1kg$ قذف لأعلى بسرعة ابتدائية $10m/s$ احسب أقصى ارتفاع يصل إليه.

الحل

باعتبار PE_1 عند سطح الأرض تساوى صفرا و KE_1 تساوى $KE_2 \frac{1}{2}mv_1^2$ تساوى صفرا

بينما $PE_2 = mgd$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = PE_2$$
$$\frac{1}{2}mv_1^2 = mgd$$
$$h = \frac{1}{2}\frac{v_1^2}{g} = \frac{1}{2} \times \frac{(10)^2}{10} = 5m$$

٣- mgd ٤- mv^2

(هـ) طاقة الحركة تساوي:

١- mgd ٢- $m(v - v_2)$

٣- $\frac{1}{2}mv^2$ ٤- v^2

(و) الطاقة الميكانيكية هى:
١- مجموع طاقتى الوضع والحركة للجسم
٢- طاقة الوضع للجسم فقط
٣- طاقة الحركة للجسم فقط.
٤- الطاقة الداخلية للجسم

(ز) قانون بقاء الطاقة يعنى:
١- إمكانية تحول صورة من صور الطاقة إلى صورة أخرى مع زيادة الطاقة الكلية للمجموعة.
٢- إمكانية تحول صورة من صور الطاقة إلى صورة أخرى مع نقص فى الطاقة الكلية للمجموعة.
٣- إمكانية تحول صورة من صور الطاقة إلى صورة أخرى دون تغير فى الطاقة الكلية للمجموعة.
٤- عدم إمكانية تحول صورة من صور الطاقة إلى صورة أخرى.

(ح) إذا كانت عجلة الجاذبية الأرضية $10m/s^2$ فإن الزيادة فى طاقة وضع طالب كتلته ٥٠ **g** تسلق جبلا إلى ارتفاع خمسة أمتار تساوى.

١- 2500 ٢- 25 **J**

٣- 2500**N** ٤- 1 **J**

٢- المجموعات الآتية يمكن إكمالها بأكثر من عبارة صحيحة ضع علامة بجوار العبارات الصحيحة فى كل مجموعة:

(أ) إذا أثرت قوة على جسم فإن الشغل المبذول يساوى صفرا إذا:
١- كان اتجاه القوة عموديا على اتجاه حركة الجسم
٢- كانت حركة الجسم فى الاتجاه المضاد للقوة.
٣- لم تتمكن القوة من تحريك الجسم.

اسئلة وتمارين

أولا: أكمل العبارات الآتية

(أ) الشغل = ...

(ب) وحدة قياس الشغل هى: . . . .

(جـ) الشغل الذى تبذله قوة مقدارها نيوتن واحد على جسم لتحركه مترا واحدا فى اتجاهها هو. . . .

(د) الطاقة هى. . . . . .

(هـ) وحدة قياس الطاقة هى. . . .

(و) طاقة الوضع =. . . . .

(ز) طاقة الحركة =. . . . . .

(ح) الطاقة الميكانيكية لجسم = ...

(ط) ينص قانون بقاء الطاقة على أن. . . .

(ى) كمية التحرك لجسم هى. . . . . .

ثانيا اختر الإجابة الصحيحة فيما يلى

١- المجموعات الآتية يمكن إكمال كل منها بعبارة واحدة صحيحة، ضع علامة (✓) بجوار هذه العبارة:

(أ) الجول هو وحدة قياس:

١- كمية التحرك ٢- القوة

٣- الشغل ٤- الدفع

(ب) الطاقة هى:

١- إمكانية التأثير بقوة ٢- إمكانية بذل الشغل.

٣- معدل بذل الشغل ٤- معدل التغيير فى كمية الحركة.

(ج) كمية التحرك هى:

١- مقدار الشغل الذى يبذله الجسم ٢- طاقة الحركة للجسم.

٣- حاصل ضرب كتلة الجسم فى سرعته. ٤- الطاقة الميكانيكية للجسم

(د) طاقة وضع جسم على ارتفاع (d) مترا من سطح الأرض هو:

١- mgv ٢- $\frac{1}{2}2mv$

٤- كانت القوة هى قوة الفرامل.

(ب) فى مساقط المياه يكون:

١- طاقة وضع الماء أعلى المسقط أكبر من طاقة وضعه فى قاع المسقط.

٢- مقدار النقص فى طاقة وضع الماء نتيجة سقوط الماء يتحول إلى طاقة حرارية.

٣- زيادة طاقة حركة الماء على حساب النقص فى طاقة وضعه.

٤- طاقة حركة الماء فى نهايتها العظمى عند قاع المسقط المائى.

(جـ) إذا صعد شخص من الدور الأرضى إلى الدور الثالث على السلالم:

١- فإن طاقة وضعه تزداد.

٢- فإنه يبذل شغلا للتغلب على وزنه.

٣- فإن الزيادة فى طاقة وضعه تتوقف على الزمن الذى استغرقه فى صعود السلم.

(د) إذا هبطت من الدور الخامس إلى الدور الأرضى بواسطة المصعد مرة وعلى السلم مرة أخرى

فإن:

١- النقص فى طاقة وضعك فى الحالة الأولى يكون أكبر منه فى الحالة الثانية.

٢- مقدار النقص فى طاقة وضعك يختلف باختلاف ارتفاع الدور الخامس عن الأرض.

٣- النقص فى طاقة وضعك لا يتغير فى الحالتين.

٤- النقص فى طاقة وضعك فى الحالة الثانية يكون أكبر منه فى الحالة الأولى.

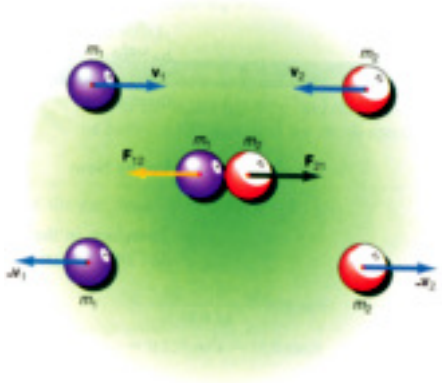
الميكانيكا

الوحدة الأولى

الفصل السادس

قانون بقاء كمية الحركة الخطية

وعلى ذلك إذا كان التغير فى كمية الحركة الخطية للجسم الأول هى $m_1 (\acute{v}_1 - v_1)$ حيث v_1 سرعة الجسم الأول قبل التصادم و $\acute{v}_1$ وهى سرعة الجسم الأول بعد التصادم. والتغير فى كمية الحركة الخطية للجسم الثانى هى $(\acute{v}_2 - v_2)$ m_2، حيث v_2 وهى سرعة الجسم الثانى قبل التصادم . و $\acute{v}_2$ هى سرعة الجسم الثانى بعد التصادم.



شكل (٦-٢)
تصادم جسمان

$$m_1 (\acute{v}_1 - v_1) = - m_2 (\acute{v}_2 - v_2)$$

$$m_1\acute{v}_1 + m_2\acute{v}_2 = m_1v_1 + m_2v_2 \qquad (6-2)$$

أى أن كمية الحركة للجسمين قبل التصادم تساوى كمية الحركة للجسمين بعد التصادم. وهذا ما يسمى قانون بقاء كمية الحركة الخطية Law of Conservation of Linear Momentum

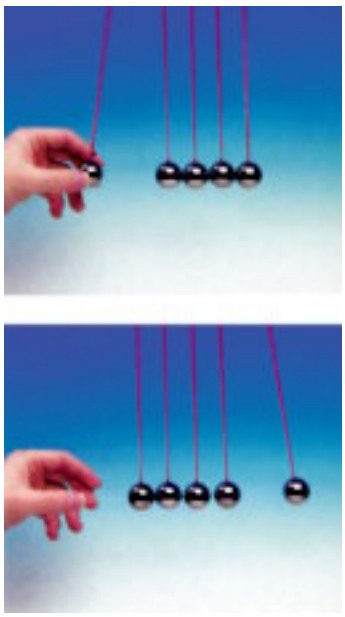
التصادمات المرنة وغير المرنة:

تلعب التصادمات بين الاجسام دورا هاما فى تفسير كثير من الظواهر من ناحية واستنتاج بعض القوانين أو العلاقات من ناحية أخرى. والتصادمات نوعان :

١- تصادمات مرنة Elastic Collisions

٢- تصادمات غير مرنة Inelastic Collisions

فى شكل (٦ - ٣) عندما ترتطم كرة معدنية معلقة بخيط بعدد من كرات معدنية متساوية الكتلة كل منها معلق بخيط، فإن هذه الكرة تسكن وتنطلق آخر كرة فى الصف. ولتفسير مايحدث نستعين ببندولين بسيطين كالموضحين بالشكل (٦ - ٤). والبندول البسيط عبارة عن كرة معدنية معلقة رأسيا بخيط طرفه العلوى مثبت، وبجذب الكرة اليسرى إلى اليسار (شكل ٦-٤) نبذل شغلا يختزن على هيئة طاقة وضع . وبترك الكرة حرة وهى فى موضعها الجديد ترتد عائدة إلى موضعها الأصلى مصطدمة مع الكرة اليمنى. وهنا



شكل (٦-٢)
تصادم مرن

الفصل السادس
قانون بقاء كمية الحركة الخطية

مقدمة

سبق ان تعرفنا على كمية الحركة الخطية Linear Momentum(P_L) على أنها حاصل ضرب الكتلة فى السرعة. هذه الكمية تلعب دوراً هاماً فى الميكانيكا، حيث أنها تعبر عما يمتلكه الجسم المتحرك من إمكانية تأثير عند التصادم مع جسم آخر. فإذا كانت سيارة تتحرك بسرعة واصطدمت بسيارة اخرى (شكل ٦-١) فإن تأثيراً تدميرياً يحدث ويزداد هذا التأثير بزيادة الكتلة والسرعة لكل من الجسمين المتصادمين.

إذاً فكمية الحركة تعبر عن التأثير التدميرى عند التصادم. ويلاحظ ان قانون نيوتن الثانى يرتبط بمعدل التغير في كمية الحركة ، إذ أن القوة هى التى تسبب هذا التغير فى زمن معين - أى أن القوة ماهى إلا المعدل الزمنى لتغير كمية الحركة - وعلى ذلك فإن،

$$F = ma = m\,\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

وإذا كانت m ثابتة فإن ،

$$F = \frac{\Delta mv}{\Delta t} = \frac{\Delta P_L}{\Delta t}$$

وفى الواقع فإن هذه هى الصورة الأعم لقانون نيوتن الثانى، أى أن القوة هى المعدل الزمنى لتغير كمية الحركة الخطية

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} \qquad (6-1)$$

شكل (٦-١)
سيارة تتحرك بسرعة وأصطدمت بسيارة أخرى

مفهوم بقاء كمية الحركة الخطية:

إذا تصادم جسمان (شكل ٦ - ٢) ، فمن قانون نيوتن الثالث فإن الجسم الأول يؤثر على الجسم الثانى بقوة F_{12} والجسم الثانى يؤثر على الجسم الأول بقوة F_{21}. ومن ثم فإن

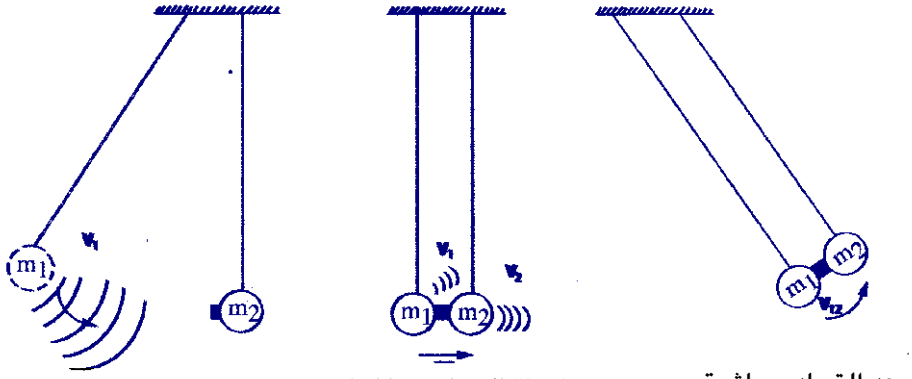
$$F_{21} = -F_{12}$$

$$\frac{\Delta P_{L1}}{\Delta t} = \frac{-\Delta P_{L2}}{\Delta t}$$

$$\Delta P_{L1} = -\Delta P_{L2}$$

مساويا لمجموع طاقتى الحركة للكرتين بعد التصادم مباشرة أى لايوجد فقد فى طاقة الحركة قبل وبعد التصادم.

ومثل هذا النوع من التصادم يطلق عليه اسم «تصادم مرن»، ومن أمثلته تصادم كرات البلياردو (شكل ٦ - ٥)



شكل (٦-٦)

تفسير التصادم غير المرن

وبتكرار التجربة السابقة مع إدخال تعديل بسيط على الكرة الثانية بتغطية موضع التصادم بقطعة خفيفة من الصلصال أو البلاستيسين، حتى يمكن إهمال كتلتها بالنسبة لكتلة هذه الكرة (شكل ٦-٧). فى هذه الحالة يلاحظ أنه بعد التصادم لا تتوقف الكرة الأولى عن الحركة ، وإنما تتحرك الكرتان معا فى نفس الاتجاه ولكن بسرعة أبطأ كثيرا، ولحساب السرعة التى تتحرك بها الكرتان، نحسب أيضا كمية الحركة قبل التصادم وبعده مباشرة.

$$m_1 v_1 + 0 = (m_1 + m_2)\, v'_{1,2}$$

$$v'_{1,2} = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

ونظراً لأن $m_1 = m_2$ نجد إن

$$v'_{12} = \frac{1}{2} v'_1$$

وبالتالى تكون طاقة حركة الكرتين قبل التصادم مباشرة أكبر من طاقة الحركة لهما بعد التصادم مباشرة.

مثل هذا النوع من التصادم يطلق عليه اسم «تصادم غير مرن» Inelaslic Collision . ومعظم التصادمات التى تحدث من حولنا تصادمات غير مرنة ، حيث يتحول الفاقد فى طاقة الحركة إلى صورة أخرى أو أكثر. فقد يكون التصادم غير المرن مصحوبا بحدوث صوت أو ارتفاع فى درجة حرارة الجسمين المتصادمين أو حدوث تشوه فى شكل كل منهما . إلى آخره ومثال ذلك لعبة البولنج باعتبار أن الطاقة تضيع فى الاحتكاك (شكل ٦-٧).

نلاحظ توقف الكرة الأولى عن الحركة وانطلاق الكرة الثانية بنفس السرعة متحركة نحو اليمين لتصل إلى نفس الارتفاع الذى كانت عليه الكرة الأولى قبل تركها حرة.

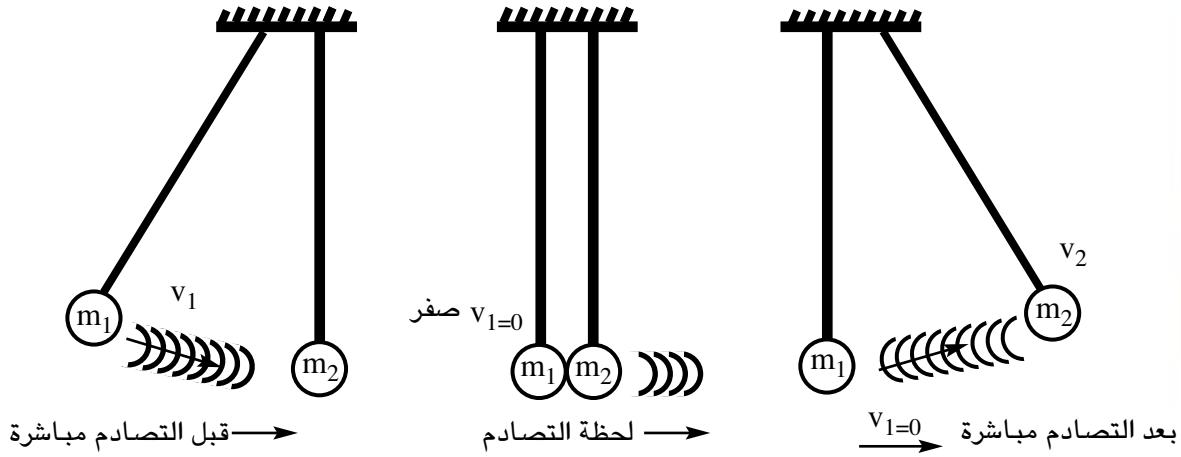
وفى محاولة لتفسير ما رأينا يمكن الاستعانة بحساب كمية الحركة لكل من الكرتين قبل وبعد التصادم مباشرة.

كمية الحركة قبل التصادم = كمية حركة الكرة الأولى + كمية حركة الكرة الثانية

$$m_1v_1 + O$$

كمية الحركة بعد التصادم = كمية حركة الكرة الأولى + كمية حركة الكرة الثانية

$$O + m_2v_2$$



شكل (٦-٤)

تفسير التصادم المرن

شكل (٦-٥)

لعبة البلياردو (تصادم مرن)

ونظرا لأن التصادم لا يمكن أن يبدد كمية حركة، فإننا نكتب،

كمية حركة الكرتين قبل التصادم مباشرة = كمية حركتهما بعد التصادم مباشرة

$$m_2v_2 = m_1v_1$$

ونظراً لأن كتلتى الكرتين متساويتان، تكون سرعة الكرة الثانية بعد التصادم مساوية لسرعة الكرة الأولى قبله.

وبالتالى تكون طاقة الحركة للكرة الأولى قبل التصادم مباشرة تساوى طاقة الحركة للكرة الثانية بعد التصادم مباشرة. وبعبارة أخرى يكون مجموع طاقتى الحركة للكرتين قبل التصادم مباشرة

مجموع كميتى حركة الجسمين قبل التصادم مباشرة يساوى مجموع كميتى حركتهما بعد التصادم مباشرة.

(٥-٥) الدفع Impulse

من القانون الثانى لنيوتن نعلم أن القوة تساوى المعدل الزمنى للتغير فى كمية الحركة أى أن:

$$F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

$$F\Delta t = \Delta(mv) \qquad (6\text{-}3)$$

أى أن التغير فى كمية حركه جسم يساوى حاصل ضرب القوة المؤثرة فى الزمن الذى تؤثر القوة خلاله.

ويطلق على الكمية $F\Delta t$ اسم الدفع I_{imp}

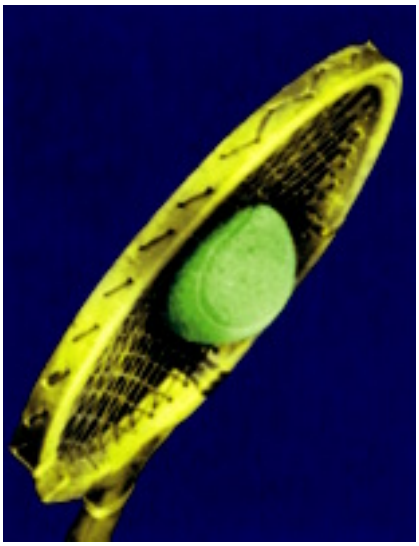
$$I_{imp} = F\Delta t = \text{الدفع} \qquad (6\text{-}4)$$

ولهذه الكمية أهمية بالغة عند دراسة التصادم بين جسمين حيث تكون القوة المؤثرة غير ثابتة . فعندما يضرب لاعب التنس الكرة بمضربه (شكل ٦ - ٩) تختلف القوة المؤثرة على الكرة من لحظة لأخرى اثناء عملية التصادم (ضرب الكرة بالمضرب) . وفى مثل هذه الحالة نهتم فقط بمتوسط القوة كمقدار ينشأ عنه التغير فى كمية الحركة.

ونظرا لعدم معرفتنا فى معظم الأحوال بمتوسط القوة المؤثرة أو زمن تأثيرها، نهتم بدراسة التغير فى كمية الحركة والذى يمثل بدوره «الدفع».

فالدفع المؤثر على جسم هو التغير فى كمية الحركة له ،

ووحدته $kg\ ms^{-1}$ أو Ns



شكل (٦-٩)

لاعب التنس يستخدم مفهوم الدفع

تطبيقات على الدفع

١- يدرك لاعب التنس أنه يلزم مواصلة الدفع على الكرة بعد ضربها، وذلك لاطالة الفترة الزمنية Δt التى تكون فيها الكرة ملامسة للمضرب، وبالتالى يزداد الدفع ، ومن ثم يزداد التغير فى كمية الحركة، وبالتالى تزداد سرعة الكرة وتقطع مسافة أطول (شكل ٦ - ١٠).

٢- نفس الشىء بالنسبة للاعب كرة القدم إذ يلزم أن يوجه القوة التى يؤثر بها على الكرة إما لإيقافها أو لمواصلة دفعها (شكل ٦ - ١١).

شكل (٦-٧)

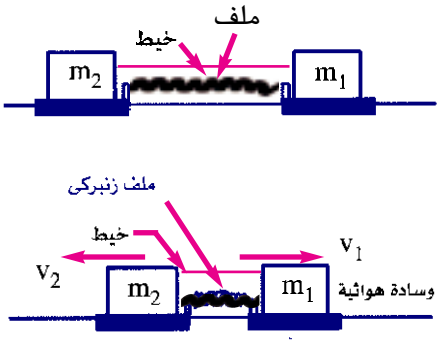
لعبة البولنج

تصادم غير مرن

تجربة لإثبات بقاء كمية الحركة:

يمكن استنتاج قانون بقاء كمية الحركة من دراسة تصادم جسمين فى بعد واحد أو فى بعدين . ونكتفى هنا بحالة واحدة وهى تصادم جسمين فى بعد واحد.

لذلك يستعان بوسادة هوائية طولية كالمبينة فى شكل (٦ - ٨) مع استخدام ركابين كتلتاهما m_1 ، m_2 . يوضع بين الركابين ملف زنبركى، ويربط الركابان معاً بخيط ، بحيث يكون الملف الزنبركى منضغطا والركابان فى حالة سكون. عندئذ تكون كمية الحركة لهما = صفر.



شكل (٦-٨)

استنتاج قانون بقاء كمية الحركة

يحرق الخيط فيندفع الركابان متحركين فى اتجاهين متضادين بفعل الشغل الناتج عن طاقة الوضع للملف الزنبركى. وتقاس سرعة كل من الركابين على الوسادة الهوائية بالاستعانة بخلية كهروضوئية وساعة كهربية ، ولتكن سرعة الركاب الأول v_1 وسرعة الركاب الثانى v_2 .

وبحساب كمية الحركة لهما وهى $m_1 v_1$ ، $(-m_2 v_2)$ و مع الأخذ فى الاعتبار أن كمية الحركة كمية متجهة.

بجمع كميتى الحركه للركابين نجد أن :

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0$$

من نتائج هذه التجربة البسيطة نجد ان :

٤- عند خروج غازات مشتعلة من مؤخرة صاروخ او محرك طائرة نفاثة فإنه من قانون نيوتن الثانى،

$$F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

ولأن كل من m وv متغيرة فإن

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} + v \frac{\Delta m}{\Delta t} = o$$

ولأن القوة الخارجية صفر

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = - v \frac{\Delta m}{\Delta t} = F_i$$

وهذه القوة F_i التى تسبب تسارع الصاروخ وهى قوة ذاتية ناشئة عن إندفاع الغازات الى الخارج ، سمى قوة الدفع لها Thrus Force وتناسب مع معدل خروج الغازات اى تناقص كتلتها.

٥- فائدة حزام الأمان فى السيارات إعطاء الدفع الذى يجعل كمية حركة السائق صفراً عند تصادم فلا يصيبه أذى (شكل ٦ - ١٣).

٦- اذا اسقط جسم على رأس شخص ما فإنه يصاب بأذى ، ولكن إذا إرتد Bounce الجسم من على سه فإنه يصاب بأذى اكبر، لأن الدفع فى هذه الحالة يتضاعف (لماذا؟)

٧- لاعب الكراتيه يمكن أن يستجمع قوته فى تحطيم كتلة خشبية ولكن بشرط الا يحدث ارتداد لاكسر ذراعه (شكل ٦ - ١٤) (لماذا؟).

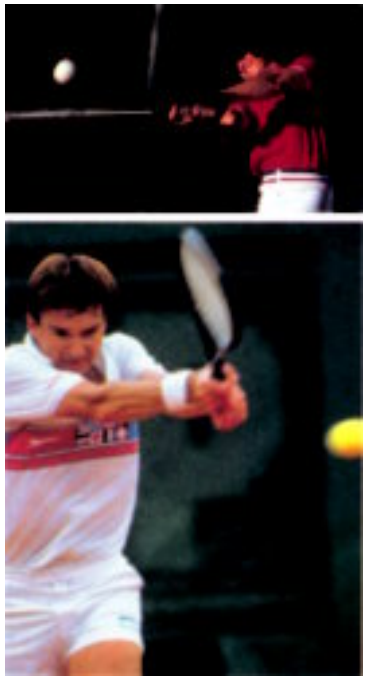
شكل (٦-١٣)

حزام الامان يجعل كمية حركة السائق صفراً عند التصادم

شكل (٦-١٤)

لاعب الكراتيه يجب ألا يسمح بالارتداد

١- عند انطلاق طلقة من مسدس (شكل ٦ - ١٢) يحدث إرتداد حسب قانون نيوتن الثالث ، وتكون سرعة الرصاصة v_b والسرعة الارتدادية v_g مرتبطين بالعلاقة $m_b v_b = -m_g v_g$ (شكل ٦ - ١٢). حيث m_g هى كتلة المسدس ويشعر الشخص الذى اطلق الرصاصة بالدفع فى يده.



شكل (٦-١٠)
إطالة زمن التلامس بمواصلة الدفع

شكل (٦-١١)
لاعب الكرة يحسب القوة التى يؤثر بها على الكرة

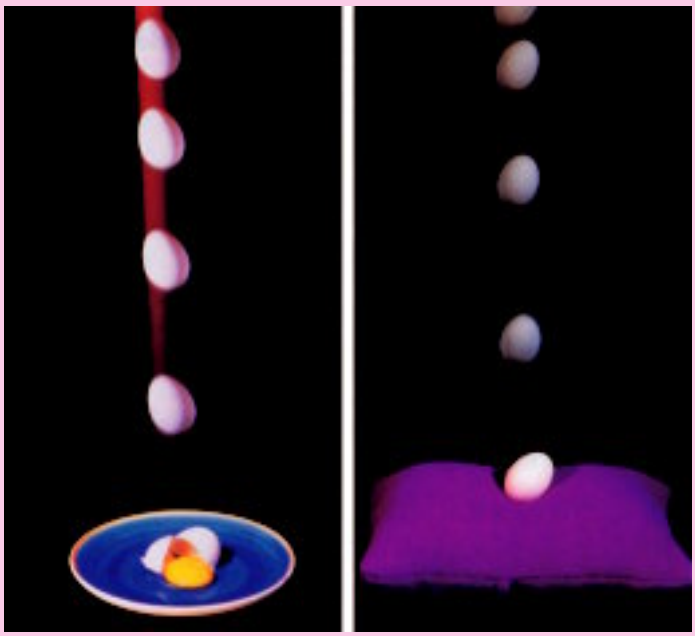
شكل (٦-١٢)
إرتداد مسدس بعد اطلاق القذيفة منه

معلومة إثرائية

قصة بيضة

إذا سقطت بيضة (شكل ٦ –١٦) من ارتفاع على سطح معدنى فإنها تتهشم، أما إذا سقطت من نفس الارتفاع على وسادة فإنها لاتتهشم رغم أن التغيير فى كمية الحركة – وبالتالى الدفع – فى الحالتين واحد. فسرعة البيضة النهائية صفر فى الحالتين.

السبب فى ذلك أن زمن التلامس مع السطح المعدنى صغير جدا، فتكون القوة كبيرة بحيث تكسر البيضة. أما فى حالة الوسادة فإن زمن التلامس كبير والقوة تكون صغيرة فلا تكسر البيضة.



شكل (٦-١٦)

ارتطام بيضة بسطح معدنى وبوسادة

معلومة إثرائية

ماذا يحدث إذا لم تربط حزام الأمان فى السيارة؟

بدراسة تأثير التصادمات على سيارة تتحرك بسرعة 90 km/hr(شكل ٦-١٥) وجد أنه عند تلامس مقدمة السيارة بجسم ثابت تم الاصطدام به، فإن سرعة هذا الجزء الكلية صفر، بينما سائر مكونات السيارة مازالت تتحرك بسرعة 90 km/hr، وبعد 0.01S فإن مقدمة السيارة تخترق الجسم الثابت لمسافة 3-4m، وبعد 0.02s يرتفع سقف سطح الأرض وتنطلق مؤخرة السيارة والسائق للأمام، وتتكسر ركبتاه، حيث يتحرك السائق بسرعة السيارة الابتدائية، وبعد 0.03s يرتفع جسم السائق، بينما يتحرك صدره للأمام نحو عجلة القيادة وترتبط ركبتاه المهمشتان نحو التابلوه، وتلتوى عجلة القيادة، وبعد 0.04s تكون مقدمة السيارة قد تحطمت تماما بعمد 60cm، بينما مؤخرة السيارة مازالت منطلقة بسرعة 55km/hr، فترتفع مؤخرة السيارة فى الهواء، بينما مازال السائق متحركا بسرعة 90km/hr، وبعد 0.05s يرتطم صدر السائق بعمود عجلة القيادة بسرعة 90km/hr فتتحطم الضلوع داخل الرئة وتقطع الشرايين ويمتلئ تجويف الصدر بالدم.

وبعد 0.06s ترتطم رأس السائق بالزجاج الأمامى وتغوص العجلات الخلفية فى الأرض فتتوقف السيارة. ويموت السائق فى أقل من ثانية واحدة.

شكل (٦-١٥)

ماذا يحدث عند الإصطدام

الحـــل :

مجموع كميتى حركة الجسمين قبل التصادم = مجموع كميتى الحركة لهما بعد التصادم.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

$$v_2 = 0 \ , \ v'_1 = v'_2 = 0.5 \text{ m/s}$$

$$1(3) + 0 = 1\ (0.5) + m_2(0.5)$$

$$m_2 = \frac{2.5}{0.5} = 5\text{kg}$$

٣- فى صاروخ تندفع النواتج الغازية للاشتعال من فتحة محركه بمعدل 1300 kg . وسرعة انطلا هذه النواتج هى 50000 m/s بالنسبة للصاروخ. ما هى قوة الدفع التى تعطى للصاروخ ؟

الحـــل :

$$F\Delta t = m_1v - m_2v$$

$$\Delta t = 1\text{s}$$

$$\therefore F\Delta t = (\Delta m)v$$

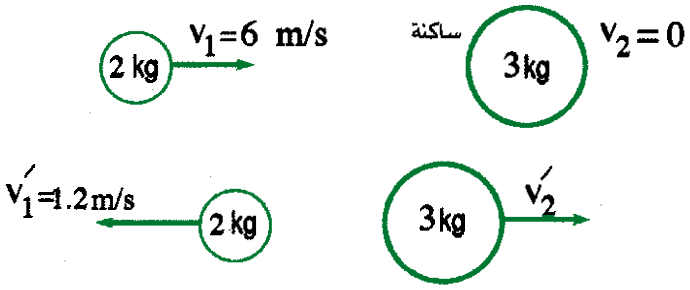
$$Fx1 = 1300 \times 50000$$

$$F = 65 \times 10^6 \text{ N}$$

ورد فعلها على الصاروخ مساو لها فى المقدار ومضاد لها فى الاتجاه.

أمثلة:

١- مستخدما الشكل التالى استنتج قيمة سرعة الكتلة 3 kg بعد التصادم.



لحـــل :

التغير فى كمية حركة الجسم الأول + التغير فى كمية حركة الجسم الثانى = صفر

$$(m_1v'_1 - m_1v_1) + (m_2v'_2 - m_2v_2) = 0$$

$$2(-1.2) - 2(6) + 3v_2 - 3 \times 0 = 0$$

$$-2.4 - 12 + 3\,v'_2 = 0$$

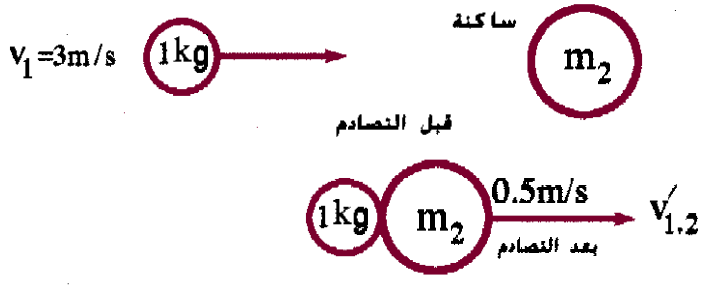
$$3v'_2 - 14.4 = 0$$

$$v'_2 = \frac{14.4}{3}$$

$$= 4.8 \text{ m/s}$$

٢- جسم كتلته 1 kg يتحرك بسرعة 3 m/s نحو جسم ساكن كتلته مجهولة . وبعد اصطدامهما معا تحركا كجسم واحد بالكيفية الموضحة فى الشكل.

إذا كانت سرعة الجسمين معا بعد التصادم هى 0.5 m/s فأوجد كتلة الجسم الآخر.



أسئلة وتمارين:

أولاً : أكمل العبارات الآتية :

(١) كمية الحركة لجسم هى .....

(٢) ينص قانون بقاء كمية الحركة على أن .....

(٣) عندما لا يحدث فقد فى الطاقة الميكانيكية نتيجة لتصادم فإن هذا التصادم يكون تصادما .....

ثانياً : اختر الإجابة الصحيحة :

(١) الدفع هو :

أ - F_y ب - mv

جـ - $1/2\ mv^2$ د - $F\Delta t$

(٢) ينص قانون بقاء كمية الحركة لجسمين متصادمين معزولين عما سواهما على ان :

أ- المجموع الكلى للتغير فى كميتى حركة الجسمين لا يساوى صفرا.

ب- كمية حركة الجسم الأول = كمية حركة الجسم الثانى.

جـ- المجموع الكلى لكميتى حركة الجسمين تساوى مقدارا ثابتا قبل التصادم وبعد التصادم.

د- كمية حركة الجسم الأكبر كتلة اكبر من كمية حركة الجسم الأقل كتلة.

(٣) عند انطلاق القذيفة من القاذف يكون :

أ- مجموع طاقتى حركة القذيفة والقاذف = صفرا.

ب- مجموع كميتى حركة القذيفة والقاذف = صفرا.

جـ- كمية حركة القذيفة اكبر من كمية حركة القاذف.

د- كمية حركة القذيفة اقل من كمية حركة القاذف.

(٤) تعتمد فكرة عمل الصاروخ على :

أ- بقاء طاقة الحركة فقط. ب - بقاء كمية الحركة.

جـ- بقاء الطاقة الميكانيكية فقط. د - بقاء الطاقة.

ثالثا : أسئلة المقال :

إذا اصطدم جسم كتلته 2M kg وسرعته v m/s بجسم آخر ساكن كتلته M kg فتحرك الأول اثر التصادم مباشرة بسرعة 1/3 vm/s وتحرك الجسم الثانى بسرعة 4/3v m/s اشرح كيف يمكنك توضيح كل من قانونى بقاء كمية الحركة وبقاء الطاقة من نتائج هذه التجربة مع التعليل.

تلخيص:

- الدفع يساوى التغير فى كمية الحركة = $F \Delta t = \Delta (mv)$
- قانون بقاء كمية الحركة ينص على ما يلى :

يكون التغير الكلى فى كميتى حركة جسمين معزولين عما سواهما يساوي صفرا ، أو يظل مجموع كميتي حركة جسمين ثابتاً قبل التصادم وبعده أى أن :

مجموع كميتى حركة جسمين قبل التصادم = مجموع كميتى حركة الجسمين بعد التصادم

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

حيث m_1 الجسم الأول، m_2 كتلة الجسم الثاني ، v_1 , v'_1 سرعتا الجسم الأول قبل التصادم وبعده وv_2 , v'_2 سرعتا الجسم الثانى قبل التصادم وبعده علي الترتيب.

وعند التعويض فى العلاقة الثانية ينبغى مراعاة إشارة السرعة باعتبارها كمية متجهة فعندما تكون السرعة نحو اليمين تكون اشارتها موجبة . وعندما تكون نحو اليسار تكون اشارتها سالبة.

الفصل السابع

ارتياد الفضاء

مقـــدمة

ظل ارتياد الفضاء فكرة تداعب عقول البشر وحلماً يراودهم لعدة قرون. صحيح أن الإنسان جال فى الفضاء بنظره وحدق فى نجوم السماء. ووجه منظاره (التلسكوب) نحو القمر فاكتشف فيه جبالاً وسهولاً. كما وجهه نحو المشترى Jupiter ليكتشف أقماره وتوابعه، وإلى زحل Saturn ليرى حلقاته التى تجعل هذا الكوكب أكثر الكواكب بهاء. ومع ازدياد معرفة الإنسان بالكون نما خياله لتظهر مؤلفات كثيرة عن رحلات الفضاء يمتزج فيها الخيال بالمعارف الفلكية الحديثة.

وجاء يوم ٤ أكتوبر عام ١٩٥٧ ليحدث الاتحاد السوفيتى هزة فى العالم كله حين أطلق قمره الصناعى الأول سبوتنك Sputnik-1 . تلقى الناس هذا النبأ فى دهشة وانبهار، وتراءت أمامهم أولى الخطوات نحو ارتياد الفضاء. كتلة سبوتنك حوالى 83.6 kg على هيئة كرة قطرها 58 cm، تدور حول الأرض فى مدار على هيئة قطع ناقص على ارتفاع حوالى 950 kg، ويتم دورته فى 96.2 minutes ، ولم يكد العالم يفيق من دهشته حتى أطلق الاتحاد السوفيتى القمر الصناعى Sputnik-2 وذلك فى ٣ نوفمبر عام ١٩٥٧، حاملاً الكلبة لايكا لتدور حول الأرض. كما أنه مزود ببعض الأجهزة العلمية لاكتشاف الفضاء. بلغت كتلة هذا القمر أكثر قليلاً من نصف طن، ثم أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية قمرها الصناعى الأول فى يناير ١٩٥٨ (ديسكفرى) أى المستكشف.

ولقد شهدت الفترة التى أعقبت ذلك تنافسا هائلا بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتى فى مجال ارتياد الفضاء. نجحت الدولتان فى ارسال رواد من البشر . يورى جاجارين (أبريل عام ١٩٦١) أول رائد من البشر. تلته أعداد غفيرة من الرواد من الدولتين. ورب قائل أن الأموال التى تنفق فى أبحاث الفضاء بلا جدوى. والحقيقة أن سباق الفضاء هو الذى دفع التكنولوچيا فى كافة المجالات على الأرض، وعزز أركان القوى العظمى فى العالم، حيث انعكست أبحاث الفضاء على الالكترونيات والطب والليزر والصناعات المتقدمة على وجه العموم وأيضاً فى المجالات العسكرية والنقل المدنى والاتصالات والكمبيوتر.

وخطا الإنسان خطوة أخرى على طريق ارتياد الفضاء حينما أصبح نيل أرمسترونج Armstrong أول رجل تطأ قدماه القمر (٢٠ ابريل ١٩٦٩). لقد كان هذا أحد الإنجازات الهائلة لوكالة الفضاء الأمريكية NASA، استخدمت فى هذه الرحلة مركبة الفضاء (ابوللو - ١١). التى أطلقت فى مدار

الميكانيكا

الوحدة الأولى

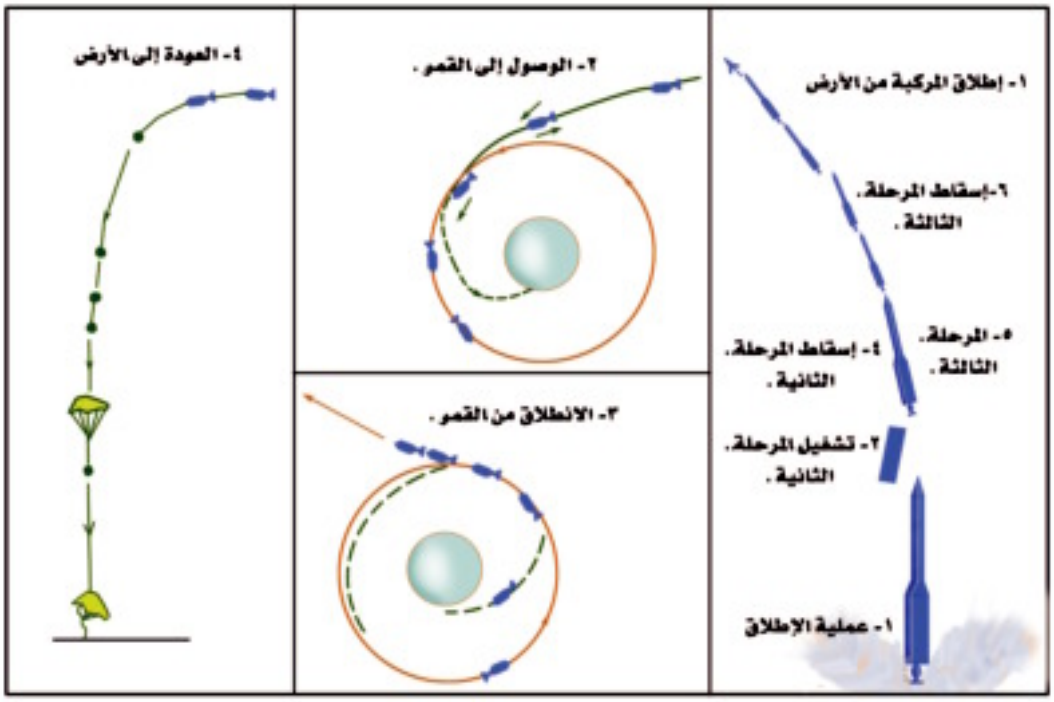
الفصل السابع

ارتياد الفضاء

لمدة دقيقتين ونصف فقط بعد انطلاقه، ثم تنفصل بعد نفاذ وقودها عن بقية الصاروخ.

تبدأ المرحلة الثانية العمل بمجرد انفصال المرحلة الأولى، وهى بدورها مزودة بخمسة محركات تولد دفعا يقل كثيرا عن دفع المرحلة الأولى. ولكنه كاف لزيادة سرعة الصاروخ. وحينما يفرغ وقودها تنفصل بدورها لتبقى المرحلة الثالثة فقط بما تحمله.

يبدأ وقود المرحلة الثالثة فى الاشتعال بمجرد انفصال المرحلة الثانية. وهذه المرحلة مزودة بمحرك واحد يدفع الصاروخ إلى السرعة اللازمة التى تسمح بوضع مركبة الفضاء أبوللو فى مدارها الصحيح، وهو ما يوضحه الشكل (٧ - ٢).

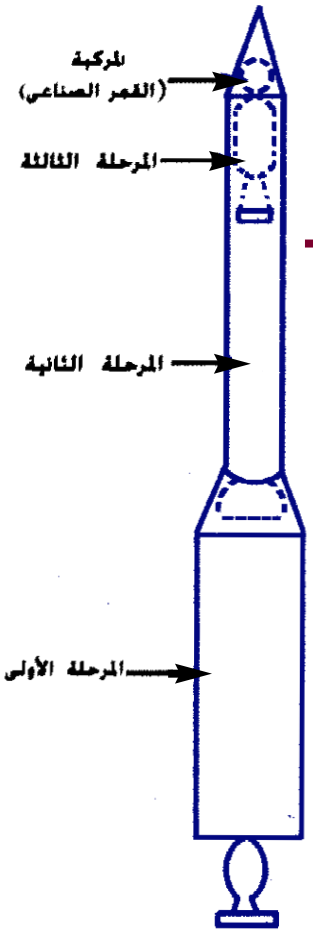


شكل (٧-٢)

مراحل انطلاق الصاروخ

دائرى حول الأرض. وبعد دورتين اكتسبت سرعة تكفيها للتخلص من مجال جاذبية الأرض، فاتخذت طريقها لمدة أربعة أيام نحو القمر. مضت تطوف حول القمر مقتربة منه شيئاً فشيئاً. مستخدمة فى ذلك صواريخها العكسية لتقلل من سرعتها . وفى اليوم الثالث عشر للدوران انفصلت عن المركبة الأم (المعروفة باسم كولومبيا Coulombia) المركبة القمرية النسر Eagle عند ارتفاع 15 km من القمر. بدأت النسر فى إطلاق آلات الهبوط للنزول على سطح القمر. ليخرج منها رائدا الفضاء أرمسترونج ثم الدرين ليمضيا على سطح القمر ٢١ ساعة يقلعان بعدها بمركبتهما النسر فى طريق العودة إلى المركبة كولومبيا. التى أخذت طريقها عائدة إلى الأرض. وتوالت الرحلات الفضائية لاكتشاف المزيد. وأصبح من المتاح أن تصطحب هذه الرحلات بعض الراغبين فى ذلك فى مقابل مادى باهظ.

هكذا بدأ الإنسان خطواته الأولى فى مجال ارتياد الفضاء يتحقق حلمه الذى راوده.



شكل (٧-١)

رسم تخطيطى لصاروخ ساتورن متعدد المراحل

الصاروخ متعدد المراحل

يسند إلى الصاروخ مهمة وضع القمر الصناعى فى مداره حول الأرض أو تحرير مركبة فضاء من جاذبية الأرض لتقوم برحلتها فى الفضاء متخذة طريقها إلى القمر أو الزهرة أو المريخ أو حتى المشترى أو زحل. وبقدر المهمة الموكولة، تزداد الحاجة إلى الصاروخ متعدد المراحل.

ومـوضح بالشكل (٧ - ١) أحـد الصـواريخ العـمـلاقـة لأمريكية من طراز ساتورن ، ويتكون من مراحل ثلاثة - وهو الصاروخ الذى حمل أبوللو إلي القمر - طوله 42 x 5 =10 m وكتلته عند إطلاقه أكثر من 3×10^6 kg

تزود المرحلة الأولى من هذا الصاروخ بخمسة محركات يبلغ طولها كلها 42 m تولد دفعا بقوة هائلة. وتعمل هذه المـرحلة

$$F = 1300 \times 50000$$

$$F = 65 \times 10^6 \text{ N}$$

ورد فعلها على الصاروخ مساو لها فى المقدار ومضاد لها فى الاتجاه وهو الذى يدفع الصاروخ للأمام.

سرعة الهروب من الجاذبية الأرضية Escape Velocty:

عندما نريد إطلاق صاروخ من سطح الأرض بحيث يتمكن هذا الصاروخ من الهروب أو الإفلات من مجال الجاذبية الأرضية لينطلق إلى الفضاء الخارجى، ينبغى أن تكون طاقة الحركة بعد انطلاقه مساوية لطاقة الوضع له عند سطح الأرض أو تزيد أى أن :

$$\frac{1}{2} mv^2 = mgr_e$$

حيث V_{esc} نصف قطر الأرض ، m كتلة الصاروخ ، g عجلة الجاذبية أى أن :

$$V_{esc} = \sqrt{2gr_e} \qquad (7\text{-}1)$$

مثـــــال

أوجد سرعة الهروب لصاروخ علما بأن عجلة الجاذبية = $9.8 m/s^2$ ، ونصف قطر الأرض = $6.36 \times 10^6 m$

الحـــل :

$$v^2 = 2gr_e$$

$$= 2 \times 9.8 \times 6.36 \times 10^6$$

$$v = 11.16 \times 10^3 m/s$$

$$= 11.16 \text{ km/s}$$

أى أن أى صاروخ يراد له أن يفلت من جاذبية الأرض ينبغى أن تفوق سرعته 11.16 km/s عند سطح الأرض.

الأقمار الصناعية:

تنقسم الأقمار الصناعية إلى نوعين رئيسيين: النوع الأول الأقمار الثابتة Geostationary ، وتكون هذه الأقمار ثابتة فى مكانها مع دوران الأرض، والنوع الثانى هو الأقمار المتحركة Polar، ومن حيث تطبيقات الأقمار الصناعية يمكن تقسيمها إلى أنواع عديدة منها ما يستخدم فى الاتصالات، مثل

محرك الصاروخ

لكل مرحلة محركاتها ، فللمرحلة الأولى عدد أكبر من المحركات لدفع الصاروخ خلال طبقات الهواء الأكثف والتغلب على مقاومتها الكبيرة لحركة الصاروخ. بينما يكون للمرحلة الأخيرة محرك واحد. فضلا عن أن تصميم الصاروخ يراعى انقاص ضغط الهواء على كل جزء من أجزائه إلى أقل ما يمكن، ويكون شكله الخارجى مدبّباً . ويعتمد الصاروخ فى عمله على قانون حفظ كمية الحركة، فالوقود المشتعل تندفع نواتج احتراقه من مؤخرة الصاروخ بكمية حركة هائلة فيندفع الصاروخ فى الاتجاه المضاد بكمية حركة هائلة مماثلة (شكل ٧-٣).

شكل (٧-٣)
لحظة إنطلاق الصاروخ
شكل (٦-١أ)

مثـــــال

تندفع النواتج الغازية للاشتعال من فتحة محرك الصاروخ بمعدل 1300 kg/s وسرعة هذه النواتج هى 50000 m/s بالنسبة للصاروخ. ما هى قوة الدفع التى تعطى للصاروخ؟

الحل :

باعتبار سرعة انطلاق الغاز اللحظية بالنسبة للصاروخ v كمية ثابتة، والتغير فى كتلة الغاز المشتعلة فى زمن Δt هو

$$\Delta m = m_1' - m_2'$$

فإن دفع الغازات بالنسبة للصاروخ = التغير فى كمية حركة الغازات $\Delta (mv)$ هو:

$$\Delta (mv) = m_1 v - m_2 v$$

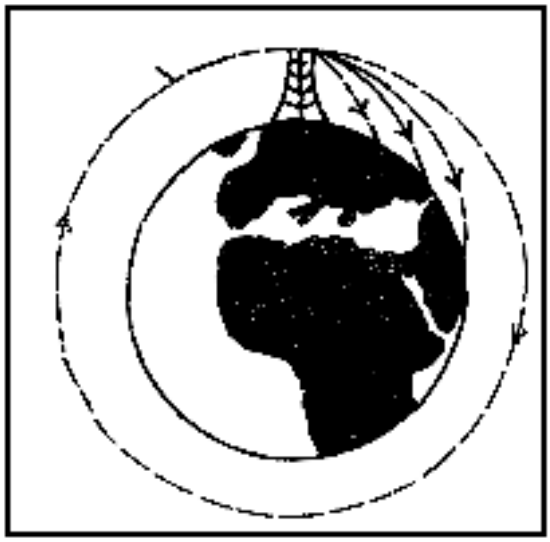
$$= (m_1 - m_2) v$$

$$\Delta (mv) = F \Delta t$$

$$v \Delta m = F \Delta t$$

$$v \frac{\Delta m}{\Delta t} = F$$

الحركة الدائرية لوصف حركته. وعندئذ يكون $mg = m\frac{v^2}{r_s}$ ، حيث m كتلة القمر الصناعى، g عجلة الجاذبية الأرضية، فإن سرعته المدارية v_o ، هى $v = \sqrt{gr_o}$ حيث r_o هى نصف قطر المدار



شكل (٧-٤)

انطلاق جسم بسرعات مختلفة فى اتجاه أفقى من قمة برج

أمثـــــلة

١ - احسب سرعة القمر الصناعى ليستمر فى دورانه حول الأرض في مدار ثابت.

الحـل :

لكى يستقر القمر الصناعى فى مداره الدائرى فلابد أن يكون تحت اتزان قوتين، قوة جذب الأرض له وهى،

$$F = \frac{Gm_e m}{r_o^2}$$

حيث r_o هو نصف قطر المدار. والقوة الثانية هى القوة الجاذبة المركزية centripetal force

$$F = m\ \frac{v_o^2}{r_o}$$

حيث V_o هى السرعة المدارية للقمر، من المعادلتين

$$v_o^2 = \frac{Gm_e}{r_o}$$

$$v_o = \sqrt{\frac{Gm_e}{r_o}}$$

اى ان السرعة المدارية تناسب عكسياً مع الجذر التربيعى لنصف قطر المدار وإذا اعتبرنا القوتين

الأقمار التى تنقل المكالمات التليفونية، وإشارات المعلومات ومحطات التليفزيون، والأقمار التى تستخدم فى التطبيقات العسكرية، والأقمار التى تستخدم فى الاستشعار عن بعد Remote Sensing، والتى تصور سطح الأرض، وترصد الثروات الطبيعية Earth Resources. كذلك توجد أقمار صناعية لرصد الأحوال الجوية كمحطات رصد جوى Meteorology، كما توجد أقمار صناعية لأبحاث الفضاء، وتوجد حالياً محطة مدارية لإجراء التجارب الفيزيائية ISS، ودراسة الظواهر المختلفة فى ظروف انعدام الوزن، والذي يتحقق عندما تتساوى عجلة الجاذبية بالعجلة المركزية.

والشروط الأساسية لاستقرار القمر الصناعى الثابت فى مداره، والذى يطلق عليه مدار الوقوف Parking Orbit هى

١ - أن يكون فى مستوى خط الإستواء وهو فى مداره.

٢ - اتجاه الدوران يكون فى نفس اتجاه دوران الأرض.

٣ - الزمن الدورى وهو في مداره يكون متساوياً تماما مع الزمن الدورى للأرض عند دورانها حول محورها، وهو 24 hr.، وبالتالى يبقى على نفس الارتفاع من على الأرض، وهى فى حالة الدوران.

٤ - المسافة هى 36000 km من مستوى سطح الأرض.

حركة الأقمار الصناعية حول الأرض:

توجد أمثلة عديدة للحركة الدائرية . أحد هذه الأمثلة تجده فى حركة الأقمار الصناعية حول الأرض. ويمكن النظر إلىٌ القمر الصناعى فى مداره كجسم يسقط سقوطاً حراً نحو الأرض، ومع ذلك لا يقترب منها على الإطلاق. فحركته تتأثر بالجاذبية، مثلما تتأثر حركة الأجسام الأخرى القريبة من الأرض بالجاذبية. فعند إسقاط جسم من برج ومع إهمال مقاومة الهواء سيسقط هذا الجسم سقوطا حراً نحو الأرض. وإذا قذف هذا الجسم من قمة البرج فى اتجاه أفقى فإنه لا يلبث أن يسقط سقوطا حرا عند نقطة تقع على مسافة معينة من قاعدة البرج. ومع زيادة السرعة التى يقذف بها تزداد المسافة التى يقطعها قبل أن يصل إلى سطح الأرض.

ولإدراك هذه الحقيقة نأخذ فى الاعتبار شكل (٧ - ٤). وبالتالى إذا بلغت سرعة انطلاق الجسم حداً معيناً فإنه سيسقط سقوطاً حراً على طول مسار منحنى بكيفية معينة تجعل بعده أو ارتفاعه عن سطح الأرض المنحنى ثابتا. وهكذا يأخذ الجسم فى الدوران متخذا مساراً شبه دائرى حول الأرض. ،نظرا لأن القمر الصناعى يتخذ حول الأرض مسارا دائرياً تقريباً، فإنه يمكن استخدام معادلات

وهذا هو طول المحيط. أما زمن الدورة T فهو $\frac{\text{طول المحيط}}{\text{السرعة}}$

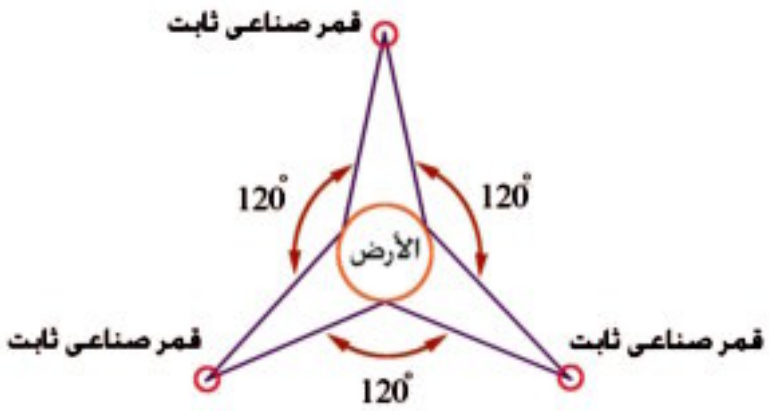
$$T = \frac{4.21\times10^{7}}{8.1\times10^{3}} = 5.2\times10^{3}\,s$$

$$= \frac{5.2\times10^{3}}{60} = 86.65\ \text{min}$$

أى أنه يدور دورة كاملة حول الأرض فى زمن حوالى ساعة ونصف.

الأقمار الصناعية الثابتة: Geostationary Satellites

تتخذ الأقمار الصناعية الثابتة مسارا دائريا ثابتا حول خط الاستواء وتكون ثابتة فى مواقعها بالنسبة للأرض إذا كان زمن دورة القمر الصناعى مساوية لزمن دورة الأرض حول نفسها، وأول من فكر فى ذلك هو كاتب الخيال العلمى آثر كلارك Clarke ، حيث تصور انه بالإمكان تغطية الكرة الأرضية بثلاثة أقمار صناعية على زوايا 120° بالنسبة لبعضها (شكل ٧-٥). وقد تحقق حلم كلارك. وتستخدم هذه الأقمار حاليا فى بث البرامج التليفزيونية الفضائية ونقل المكالمات التليفونية واتصالات الجيل الجديد من التليفونات المحمولة التي تتصل بالقمر الصناعي مباشرة لتمكنك من الاتصال بأي مكان فى العالم. وهكذا يتحول الخيال العلمى إلى حقيقة.



شكل (٧-٥)

نموذج كلارك لتوزيع الأقمار الصناعية الثابتة حول الأرض

فإن :

$$mg = m' \frac{v_o^2}{r_o}$$

$$V_o = \sqrt{g' r_o}$$

حيث

$$g' = \frac{Gm_e}{r_o^2}$$

هى عجلة الجاذبية للسقوط الحر عند المدار وهى ليست $9.8m/s^2$ لاختلاف الارتفاع عن سطح الأرض.

٢ - قمر صناعى يدور حول الأرض فى مدار دائرى على ارتفاع 940km من سطح الأرض. احسب سرعته المادية وقارها بسرعة الهروب إذا كانت كتلة الأرض 6×10^{24}

$G = 6.67 \times 10^{-11} Nm^2/kg^2$, $re = 6360km$

الحـل :

$$V_o = \sqrt{G \frac{m_e}{r_o}} \quad , \quad G = 6.67 \times 10^{-11} Nm^2 / Kg^2$$

$m_e = 6 \times 10^{24} Kg$, $r_o = 6360 + 940 = 7300km = 7.3 \times 10^6 m$

$$V_o = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{7.3 \times 10^6}} \quad 7.4\ 10^3 m/s = 7.4 Km/s$$

بينما سرعة الهروب $V_{esc} = \sqrt{2gr_e} = 11.16\ Km/s$

٣ - يتخذ قمر صناعى مداراً دائرياً حول الأرض على ارتفاع $h = 300Km$ فوق سطح الأرض، فإذا كان نصف قطر الأرض $r_e = 6400km$ فاحسب سرعته المدارية، وكذلك الزمن اللازم ليتم درة كاملة، حيث أن عجلة السقوط الحر $9.8m/s^2$

الحـل :

$$ro = r_e + h$$
$$= 6400 + 300 = 6700\ km = 6.7 \times 10^6 m$$

$$Vo = \sqrt{gr_o}$$
$$= \sqrt{9.8 \times 6.7 \times 10^6}$$
$$= 8.1 \times 10^3\ m/s$$

وهذه هى السرعة الخطية التى يتحرك بها القمر الصناعى فى مداره حول الأرض، ولإيجاد زمن الدورة الكاملة له نحسب أولاً المسار الدائرى = $2\pi ro$

طول المسار الدائرى $2\pi r_o = 2 \times \frac{22}{7}\ 6.7 \times 10^6$

$$= 42.1 \times 10^7 m$$

$$F_T = F_g + ma$$

$$F_T > F_g$$

شكل (٧-٦ ب)

المصعد يتحرك لأعلى بعجلة (a)

$$F_g - F_T = ma$$

$$F_T < F_g$$

شكل (٧-٦جـ)

المصعد يتحرك لأسفل بعجلة (a)

فى هذه الحالة فإن الكتلة لا يكون لها وزن. ومعنى ذلك أن الجسم الساقط سقوطاً حراً ينعدم وزنه. وتنطبق هذه الظاهرة على رجال المظلات عند سقوطهم سقوطاً حراً (شكل ٧-٧) . ويلاحظ أن الكتل الساقطة فى نفس اللحظة تظل متزامنة.

(أ)

(ب)

شكل (٧-٧)

سقوط حر بالمظلات

انعدام الوزن

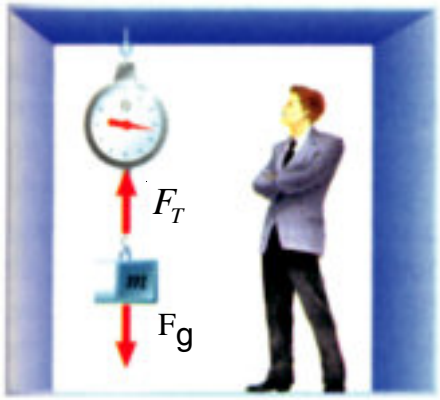
إذا تصورنا شخصا داخل مصعد ومعه ميزان (شكل ٧-١٦أ) زنبركى وكتلة m ، وكان المصعد ساكنا أى أن محصلة القوة على الكتلة صفر. فإذا كان وزن الكتلة F_g وقوة الشد فى الميزان F_T

فإن $F_T - F_g = 0$

أى أن $F_T = F_g$

وإذا كان المصعد يتحرك بسرعة ثابتة فيبقى الحال على ما هو عليه

أى $F_T = F_g$



$F_T = F_g$

$a = 0$

شكل (٧-١٦أ)

شخص داخل المصعد والمصعد ساكن

اما إذا كان المصعد يتحرك لأعلى بعجلة (شكل ٧-١٦ب) فإن $F_T - F_g = ma$

$$F_T = F_g + ma$$

وهكذا يقرأ الميزان الزنبركى وزنا اكبر وهو ما يسمى الوزن الظاهرى. وإذا كان المصعد يتحرك لأسفل (شكل ٧-١٦ج) بعجلة a

$$F_g - F_T = ma$$

$$F_T = F_g - ma$$

فإن الوزن الظاهري يكون اقل

وفى حالة حركة المصعد لأسفل بعجلة تساوي عجلة الجاذبية فإن a = g

$$F_T = F_g - mg$$

وحيث أن $F_g = mg$

$$F_T = 0$$

الحياة فى سفينة فضاء

لا شك أنها تجربة فريدة أن تعيش بلا وزن، بالطبع داخل سفينة الفضاء فإن هناك أكسجين ، وضغط يعادل ضغط الجسم، فلا يستدعي الأمر ارتداء بدلة الفضاء داخل السفينة. كل شيء عادى داخل سفينة الفضاء إلا الجاذبية. ولذلك لا تستطيع أن تشرب إلا باستخدام الماصة (شكل ٧-١٠)، كما يمكن رفع جسم كبير بأصبع واحد (شكل ٧-١١). كما يمكنك القفز لارتفاعات كبيرة والبقاء معلقا (شكل ٧-١٢).

شكل (٧-١٠)

السوائل لا تسرى لأسفل داخل سفينة الفضاء

شكل (٧-١١)

يسهل حمل الأثقال فى سفينة الفضاء

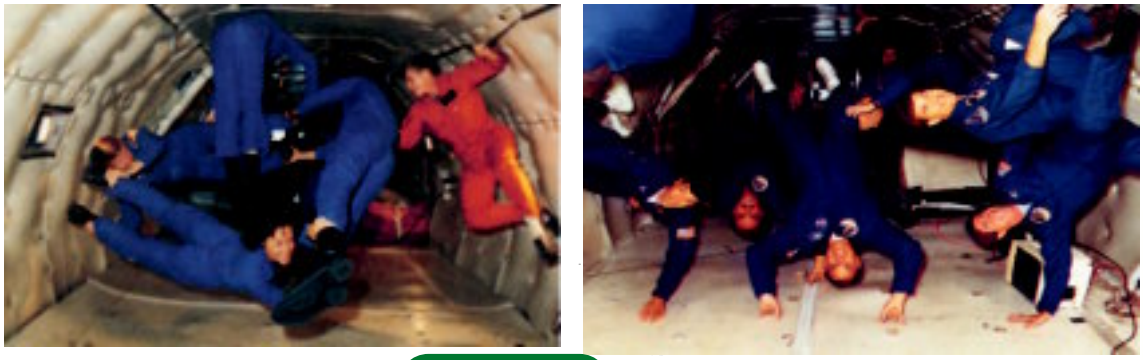
شكل (٧-١٢)

صورة شخص معلقا داخل سفينة فضاء

سقوط حر بالمظلات

ولذلك فعند تدريب رواد الفضاء على انعدام الوزن فإنهم يستقلون طائرة بلا مقاعد تحلق على ارتفاع 10.5km ، ثم تهبط بسرعة إلي ارتفاع 7.3km بالسقوط الحر ، فيشعر الرواد بانعدام الوزن لمدة 20s (شكل ٧-٨)، كما يمكن إجراء تجارب انعدام الوزن عن طريق استخدام أحواض ماء، حيث تتزن قوة الطفو مع وزن الجسم (شكل ٧-٩).

فى سفينة الفضاء فإن قوة الجذب تقل بسبب بعد المسافة عن الأرض، أما فى مركبة الفضاء التى تدور حول الأرض فإن انعدام الوزن يعود إلي دوران المركبة في مدار دائري ثابت حول الأرض، وهو حالة من حالات السقوط الحر التي لا يصل فيها الجسم أبدا إلى الأرض بسبب المدار الدائرى.



شكل (٧-٨)

انعدام الوزن فى طائرة تسقط سقوطا حرا

خارج سفينة الفضاء

عند الخروج من سفينة الفضاء فلابد من ارتداء بدلة الفضاء والتي تحتفظ بالأكسجين لمدة حوالي سبع ساعات. ولكن الطريف أنك ستكون معلقا بين السماء والأرض فإذا أردت التحرك بعيدا عن السفينة، فلابد من استخدام المحرك النفاث الموجود بمقعدك (شكل ٧-١٦)، وذلك بتطبيق قانون نيوتن الثالث، وهو نفس فكرة المحرك النفاث او الصاروخ أصلا. كما يمكنك العمل خارج السفينة (شكل ٧-١٧). لن تسقط فأنت الآن قمر صناعى بذاتك.

شكل (٧-١٦)

يمكن ان تشاهد الأرض وأنت على مقعد نفاث متحرك خارج السفينة

(أ)

(ب)

شكل (٧-١٧)

العمل خارج السفينة

كما يمكنك إجراء تجارب عملية في سفينة الفضاء مثل الزراعة وغيرها (شكل ٧-١٣ أ ، ب ، جـ).

ومن التجارب الطريفة تطبيق القانون الثالث لنيوتن، فإذا دفع رائد الفضاء كتلة للأمام فإنه يندفع للخلف بنفس القوة (شكل ٧-١٤).

أما قانون نيوتن الثاني فيظهر حتما في لحظة الانطلاق ولحظة الهبوط حيث يتعرض الجسم لعجلة شديدة التأثير (شكل ٧-١٥).

شكل (٧-١٤)

تطبيق قانون نيوتن الثالث فى الفضاء

شكل (٧-١٥)

تأثير العجلة فى لحظة الأنطلاق

وهذه الأقمار الصناعية يمكن أن ترصد كل ما على الأرض. ولذلك تستخدم فى أعمال التجسس والاستطلاع وتوجيه الصواريخ واكتشاف ثروات الأرض .

وتستمد هذه الأقمار طاقتها من الطاقة الشمسية باستخدام خلايا ضوئية وبطاريات شمسية Solar Cells .

غزو الفضاء

بدأ رصد الفضاء بالتلسكوبات . وتطورت التلسكوبات إلى تلسكوب فضائى اسمه هبل Hubble .

واتجه الاهتمام إلى استكشاف الشمس ثم كواكب المجموعة الشمسية مثل الزهرة Venus . والمريخ Mars وعطارد Mercury .

بل واتجه البحث إلى الكواكب البعيدة مثل المشترى Jupiter ، وزحل Saturn ، ويورانوس Uranus ، وبلوتو Pluto ، ونبتون Neptune .

مركبات الفضاء Space Vehicles

من أهم مركبات الفضاء المكوك الفضائي Space Shuttle (شكل ٧-١٨) . وبإمكانه القيام برحلة الفضاء والعودة إلى الأرض مع تكرار الرحلة.

شكل (٧-١٨)

المكوك الفضائى

ويوضح شكل (٧-١٩أ) لحظة انطلاق المكوك. ويوضح شكل (٧-١٩ب) عودة المكوك إلي الأرض مع استخدام مظلة (باراشوت) لتقليل سرعته.

كما توجد مركبات فضائية على هيئة محطات او مدن فضائية مثل مير Mir وسيوز Soyuz (شكل ٧-٢١) حيث يحيا فيها رواد الفضاء حياة طريفة (شكل ٧-٢٠).

وحديثا تم إطلاق المحطة الفضائية الدولية ISS بالتعاون المشترك بين الولايات المتحدة وروسيا وبعض دول أوروبا واليابان وكندا والبرازيل.

وبالإضافة إلى ذلك فإنه يتم إطلاق أقمار صناعية بصفة مستمرة فى مجال الاتصالات ويتم إطلاقها ففى مداراتها باستخدام صواريخ مثل إيريان Arian (شكل ٧-٢٣).

أسئلة وتمارين

أولاً : اختر الإجابة الصحيحة:

١ - القوة الجاذبة المركزية التى تؤثر على القمر الصناعى، الذى يدور حول الأرض في مدار ثابت بعده r_o متر من مركز الأرض وبسرعة v_o

أ - $G\frac{m}{r_o^2}$

ب - $G\frac{m}{r_o}$

ج - $m \times \frac{v_o}{r_o^2}$

د - $m \times \frac{v_o^2}{r_o}$

٢ - إذا كانت كتلة الأرض $6 \times 10^{24}kg$ وثابت الجذب العام $6.67 \times 10^{-11}\ N\ m^2/kg^2$ واطلق قمر صناعى كتلته 4000kg ليدور على ارتفاع 440km من سطح الأرض وباعتبار نصف قطر الأرض 6360km تكون السرعة الخطية التى يتحرك بها القمر الصناعى في مداره هى :

أ - $15.34 \times 10^3\ m/s$

ب - $7.74 \times 10^3\ m/s$

ج - $8.67 \times 10^3\ m/s$

د - $6.76 \times 10^3\ m/s$

٣ - مستخدماً البيانات المعطاه فى المسألة السابقة تكون قوة جذب الأرض للقمر الصناعى هى :

أ - 173.096 N

ب - 1730.96 N

جـ - 17309.6 N

د - 173096 N

٤ - تتعين سرعة هروب اى جسم من الجاذبية الأرضية v_{esc} بواسطة العلاقة :

أ - $v_{esc} = \sqrt{\frac{Gm}{r_e}}$

تلخيـــــــص

- حركة الأقمار الصناعية حول الأرض : يمكن النظر إلى القمر الصناعى فى مداره كجسم يسقط سقوطاً حراً نحو الأرض، فلا تصل إليها لأنها فى مدار دائرى ثابت ومع ذلك يظل على ارتفاع ثابت من سطح الأرض.

- تتعين سرعة القمر الصناعى المدارية من العلاقة :

$mg' = m\frac{v_o^2}{(r_o+r_e)}$ حيث m كتلة القمر الصناعى، g' عجلة الجاذبية الأرضية عند مدار القمر الصناعى، v سرعته المدارية و r_o نصف قطر المدار.

ومنها : $V_o = \sqrt{g'(r_e + h)}$

- نصف قطر مدار القمر الصناعى = نصف قطر الأرض + ارتفاع القمر الصناعى عن سطح الأرض.

- تتعين سرعة الهروب من الجاذبية الأرضية من العلاقة $v_{esc} = \sqrt{2g\, r_e}$

حيث g عجلة الجاذبية عند سطح الأرض $(9.8 m/s^2)$، r_e نصف قطر الأرض.

ب - $v_{esc} = \sqrt{2gr_e}$

ج - $v^2_{esc} = gd$

د - $v_{esc} = 2gd$

٥ - قمر صناعى يدور حول الأرض في مسار دائرى تقريباً على ارتفاع 400km من سطح الأرض فإذا كان نصف قطر الأرض 6400km تكون سرعته المدارية هى (عجلة السقوط الحر $10m/s^2$)

أ - 8163 m/s

ب - 816.3 m/s

ج - 81.63 m/s

د - 8.163 m/s

٦ - إذا كانت سرعة هروب صاروخ كتلته (1 ton = 10^3kg) 20 ton من الجاذبية الأرضية هى 11.2km/s فإن سرعة هروب حجر كتلته 200g من الجاذبية الأرضية بفرض إهمال مقاومة الهواء هى:

أ - 1.12 km/s ب - 11.2 km/s

جـ - 1120 km/s د - 112.0 km/s

٧ - أطلق صاروخ من الأرض بسرعة 15km/s فماذا يحدث

أ) يصعد حتى تكون سرعته صفر فيعود إلي الأرض.

ب) يصعد حتى يصل إلى مدار بعيد يدور فيه حول الأرض.

جـ) يصعد ليخرج من الغلاف الجوى.

د) ينفجر بعد ارتفاعه عن سطح الأرض.

الحرارة

الوحدة الثانية

الفصل الثامن

قياس درجة الحرارة

مقدمة:

من المعروف أن أى مادة جامدة أو سائلة أو غازية تتكون من جزيئات. والجزىء كما هو معروف أيضا أصغر جزء من المادة يمكن أن يوجد فى حالة انفراد. ويحمل الخواص الكيميائية المميزة لها ، ونجد من الضرورى قبل دراسة الطاقة الحرارية أن نعرض لأهم فروض النظرية الجزيئية فى تركيب المادة وهى،

١- المادة تتكون من جزيئات.

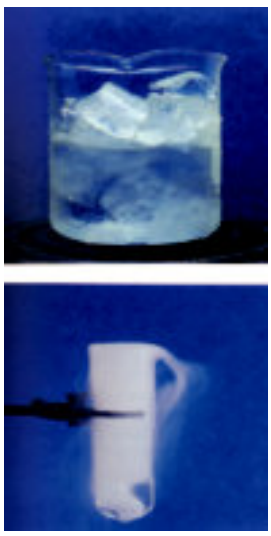
٢- توجد بين الجزيئات مسافات فاصلة تعرف باسم المسافات الجزيئية وهى صغيرة جدا فى الجوامد وأكبر قليلا فى السوائل وكبيرة نسبيا فى الغازات.

٣- ترتبط جزيئات المادة بعضها ببعض بقوى تعرف باسم قوى التماسك الجزيئية. وقوى التماسك الجزيئية (أو الترابط) كبيرة جدا فى الجوامد وصغيرة جدا فى الغازات.

٤- جزيئات المادة فى حالة حركة مستمرة، قد تكون اهتزازية حول مواضعها الأصلية كما فى الجوامد، أو قد تكون انتقالية كما فى السوائل والغازات. ومجموع طاقتى الوضع والحركة لجزيئات جسم ما يسمى الطاقة الداخلية له.

تأثير الحرارة:

من مظاهر تأثير الحرارة تغير حالات المادة من صلب إلى سائل وإلى غاز والعكس (شكل ٨ - ١) . ومن



شكل (٨-١)

تغير الحالة بتأثير الحرارة

شكل (٨-٢أ)

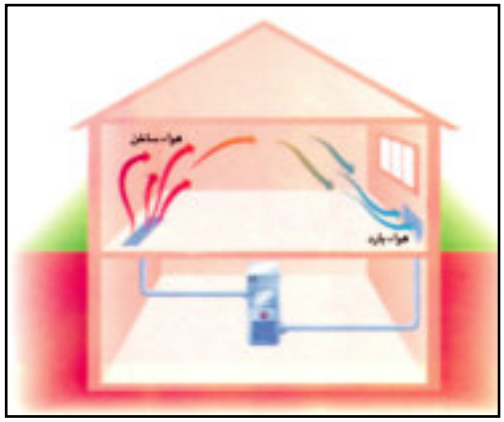
فواصل التمدد بين الكتل الخرسانية فى الطريق

الحرارة

الوحدة الثانية

الفصل الثامن

قياس درجة الحرارة

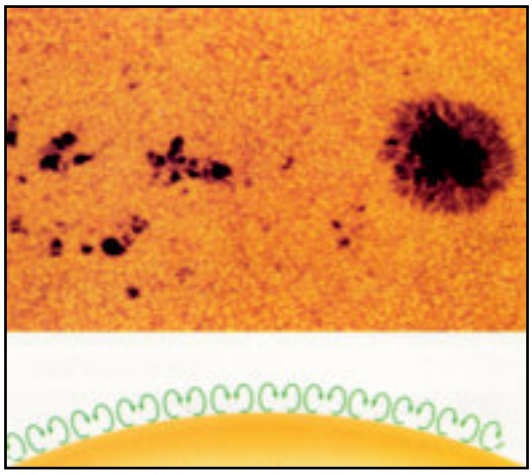


شكل (٨-٣)

صعود الهواء الساخن لأعلى وهبوط الهواء البارد لأسفل

شكل (٨-٤أ)

تكون العواصف

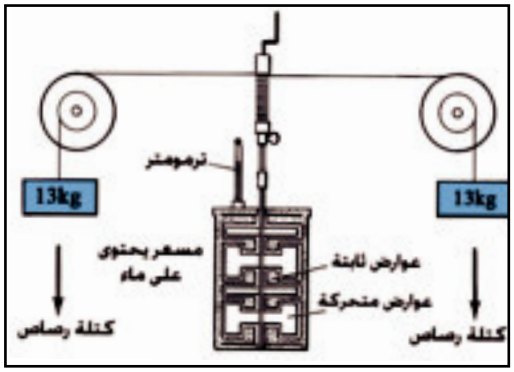


شكل (٨-٤ب)

تيارات الحمل على سطح الشمس تؤدى إلى البقع الشمسية

الشغل الميكانيكى والطاقة الحرارية.

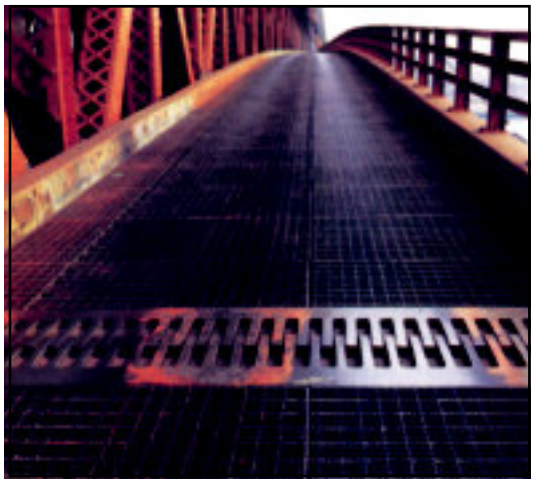
يرجع الفضل فى معرفتنا لطبيعة العلاقة بين الشغل الميكانيكى والطاقة الحرارية إلى جول Joule (١٨١٨ - ١٨٨٩م) الذى أفنى معظم حياته فى إجراء تجاربه لتحويل الشغل الميكانيكى إلى طاقة داخلية للماء مما يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارته. والجهاز الذى استخدمه موضح فى الشكل (٨-٥). فثمة ثقلان من الرصاص يتصلان بخيط متين ملفوف حول محور



شكل (٨-٥)

تحويل الشغل الميكانيكى إلى طاقة حرارية

المعلوم أن معظم المواد تتمددبالحرارة وتنكمش بالبرودة. ويرجع ذلك إلى تأثر المسافات الجزيئية للمادة بالحرارة ، إذ تزداد هذه المسافات بالحرارة نتيجة زيادة اهتزاز الجزيئات ، وبالتالى زيادة المسافات البينية . وبسبب هذا التمدد يؤخذ دائمًا فى الاعتبار عند تصميم الكبارى وقضبان السكك الحديدية والمنشآت المعدنية ترك فواصل للتمدد (شكل ٨-٢) .



شكل (٨-٢ب)

فواصل التمدد فى الكبارى

شكل (٨-٢جـ)

عدم وجود فواصل تمدد يؤدى إلى انبعاج القضبان

شكل (٨-٢د)

تثبيت القضبان يؤدى إلى ان يكون التمدد أفقياً ورأسياً وليس طولياً

ومن تأثير الحرارة أيضًا تيارات الحمل ، حيث يصعد الهواء الساخن لأعلى ويهبط الهواء البارد لأسفل (شكل ٨ - ٣). وتؤدى مثل هذه التيارات إلى حدوث العواصف (شكل ٨ - ٤) .

إذا كان النظامان (أ. ب) كل على حده فى حالة إتزان حرارى مع نظام ثالث جـ، يكون النظامان (أ، ب) فى حالة اتزان حرارى أحدهما مع الآخر. النظام الثالث الذى يمكن به مقارنة حالتى النظامين (أ، ب) قد يكون الترمومتر، والترمومتر هو الوسيلة المستخدمة لقياس درجة الحرارة.

وحدات قياس درجة الحرارة:

تقاس درجة الحرارة بأكثر من وحدة:

١- مقياس سلزيوس Celsius (°C) ، وفيه يعتبر درجة تجمد الماء هى درجة 0°C ودرجة غليان الماء هى درجة 100°C

٢- مقياس فهرينهيت Fahrenheit (°F) ، حيث يعتبر درجة تجمد الماء 32°F ودرجة غليان الماء 212°F ، وللتحويل من الدرجة الفهرنهيتية إلى السيليزية تستخدم العلاقة الآتية

$$t\,^{\circ}C = \frac{5}{9}\,(t\,^{\circ}F - 32)$$

حيث تكون درجة حرارة الإنسان الطبيعى 37°C أى 98.6 °F

٣- مقياس كلفن Kelvin(T°K) وهو المقياس المطلق، وللتحويل من درجة السيلزية الى الدرجة الكلفنية تستخدم العلاقة:

$$T^{\circ}K = t^{\circ}C + 273$$

ومن ذلك يكون درجة الصفر سلزيوس هى 273 °K ، ويعتبر مقياس كلفن هو المقياس المعتمد لتقدير درجات الحرارة فى النظام الدولى للقياس، لذلك تعتبر من وحدات القياس الأساسية.

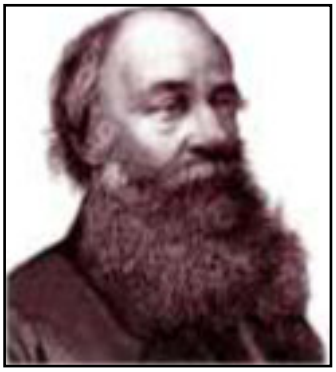
قياس درجة الحرارة:

توجد أنواع عديدة من الثرمومترات تستخدم لقياس درجة الحرارة. وتبنى فكرة عملها على تغيير بعض الخواص الفيزيائية بانتظام مع تغيير درجة الحرارة ومنها.

١- **الثرمومتر السائل** ومن أمثلته الثرمومتر الزئبقى والثرمومتر الكحولى (شكل ٨-٦أ).

٢- **الثرمومتر الغازى** ومن أمثلته الثرمومتر الغازى ذو الحجم الثابت (شكل ٨-٦ب) .

٣- **الثرمومتر البلاتينى** ويعمل على خاصية تغيير مقاومة سلك من البلاتين مع تغيير درجة حرارته (شكل ٨-٦جـ) .



جول

دوران لمروحة بها ثمانية عوارض تدور داخل وعاء نحاسى ملىء بالماء. وبداخل الإناء توجد أربعة عوارض ثابتة لزيادة احتكاك العوارض المتحركة مع الماء، وبالتالى زيادة الطاقة الداخلية للماء، أى أن الشغل المبذول بواسطة العوارض لحركتها ضد مقاومة الماء يتحول إلى طاقة داخلية للماء والنحاس.

وبواسطة اليد يمكن لف الخيط حول محور الدوران لرفع الثقلين إلى أقصى حد ممكن وقياس درجة حرارة الماء. بعدئذ يترك الثقلان للحركة تحت تاثير مجال الجاذبية للأرض. وبتكرار هذه الخطوة عدة مرات وقياس درجة الحرارة النهائية، يمكن حساب التغير فى الطاقة الداخلية للماء ووعاء النحاس. وقد وجد جول انه يعادل تماما التغير فى طاقة وضع الثقلين نتيجة سقوطهما عدة مرات. بعبارة أخرى يكون التغير فى الطاقة الداخلية مساويا للشغل الميكانيكى المبذول.

الطاقة الحرارية الداخلية ودرجة الحرارة:

يمكن فهم العلاقة بين الطاقة الداخلية ودرجة الحرارة بالاستعانة بنموذج بسيط للجوامد.

فى هذا النموذج تنتظم الجزيئات (أو الذرات) فى ترتيب معين، ترتبط فيه الجزيئات بقوى تماسك جزيئية يمكن تشبيهها بزنبركات (يايات) تصل بين الجزيئات. وتهتز الجزيئات حول مواضع اتزانها الأصلية بتردد معين وسعة اهتزازة معينة. ولهذا يكون للجزيئات المهتزة طاقة وضع وطاقة حركة. ويطلق على مجموع طاقتى الوضع والحركة لجزيئات جسم اسم الطاقة الداخلية.

وعندما يكتسب الجسم (فى تبادل حرارى مع الوسط المحيط به) كمية من الطاقة الحرارية تزداد سعة اهتزاز الجزيئات، وتزداد بالتالى طاقة حركتها وتزداد تبعاً لذلك الطاقة الداخلية، للجسم ويصاحب هذا ارتفاع فى درجة حرارته.

وعندما يفقد الجسم (فى تبادل حرارى مع الوسط المحيط به) كمية من الطاقة الحرارية تقل سعة اهتزاز جزيئاته، وتقل بالتالى طاقة حركتها، وتقل تبعاً لذلك الطاقة الداخلية للجسم. وتنخفض تبعاً لذلك درجة حرارته. أى أن درجة الحرارة تعتبر مقياساً للطاقة الداخلية للجسم.

درجة حرارة نظام ما (أى درجة حرارة مجموعة من الجسيمات) يمكن تعريفها بأنها الخاصية التى يمكن بواسطتها الحكم على هذا النظام من حيث كونه فى حالة اتزان حرارى مع الوسط المحيط أو فى حالة عدم اتزان حرارى معه.

فعندما يوجد عدد من الأنظمة فى حالة اتزان حرارى يمكن التعبير عن هذه الخاصية بالقول بانها لها نفس درجة الحرارة. هذا يعنى انه إذا لم تكن الأنظمة فى حالة إتزان حرارى تكون لها درجات حرارة مختلفة.

$$\frac{t\,^{\circ}C - O^{\circ}C}{100^{\circ}C - O^{\circ}C} = \frac{X(t^{\circ}C) - X(0^{\circ}C)}{X(100^{\circ}C) - X(0^{\circ}C)}$$

ومنها

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{X(t^{\circ}C) - X(0^{\circ}C)}{X(100^{\circ}C) - X(0^{\circ}C)} \qquad (8-1)$$

مقارنة بين الأنواع المختلفة من الثرمومترات

العلاقة التى توصلنا إليها فى الفقرة السابقة يمكن كتابتها بصور مختلفة، كل صورة ترتبط بنوع معين من الترمومترات.

١- فى ثرمومتر السائل ، تكون العلاقة على الصورة،

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{L_t - L_0}{L_{100} - L_0} \qquad (8-2)$$

حيث L_{100}, L_t, L_o هى أطوال عمود السائل فى الثرمومتر عند درجات الحرارة $0^{\circ}C$, $t^{\circ}C$ (المراد قياسها) و $100^{\circ}C$ على الترتيب.

٢- فى الثرمومتر الغازى ذو الحجم الثابت، تكون العلاقة على الصورة،

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0} \qquad (8-3)$$

حيث P_o , P_t , P_{100}، هى ضغط الغاز عند كل من $0^{\circ}C$ والدرجة المراد قياسها وعند $100^{\circ}C$ على الترتيب.

٣- فى الثرمومتر البلاتينى، تكون العلاقة على الصورة،

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \qquad (8-4)$$

حيث R_o , R_t , R_{100} هى مقاومة الثرمومتر البلاتينى الكهربية عند كل من $0^{\circ}C$ والدرجة المراد قياسها و $100^{\circ}C$ على الترتيب.

أمثلة

١- إذا كان طول عمود الزئبق فى ثرمومتر هو 12cm عند نقطة انصهار الجليد أوجد درجة الحرارة التى يصبح عندها طول عمود الزئبق 15.2cm ، علما بأن طول عمود الزئبق عند نقطة غليان الماء 24.8cm

شكل (٨-٦أ)
الثرمومتر الزئبقى

شكل (٨-٦ب)
الثرمومتر الغازى ثابت الحجم

شكل (٨-٦جـ)
ثرمومتر المقاومة الكهربية (البلاتينى)

كما توجد أنواع أخرى من الثرمومترات

ويتحدد الثرمومتر باختيار:

(أ) مادة ثرمومترية.

(ب) خاصية فيزيائية (أو صفة ثرمومترية) لهذه المادة تتغير بانتظام مع تغيير درجة **الحرارة.**

على سبيل المثال:

فى ترمومتر السائل: المادة الثرمومترية هى سائل فى أنبوبة شعرية . والخاصية **الفيزيائية أو** الصفة الثرمومترية هى تغير طول عمود السائل فى الأنبوبة الشعرية بانتظام مع تغير **درجة الحرارة.**

فى الثرمومتر الغازى (ثابت الحجم): المادة الثرمومترية غاز ثابت الحجم. و**الخاصية الفيزيائية** هى التغير المنتظم لضغط الغاز مع درجة الحرارة.

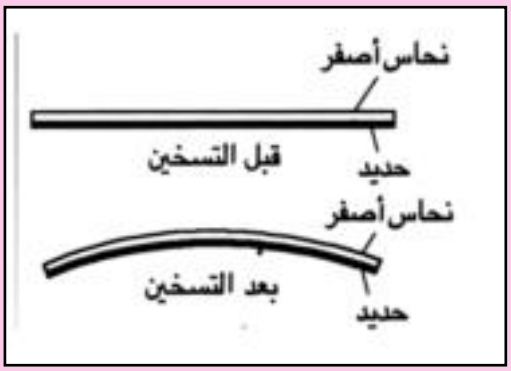
فى الثرمومتر البلاتينى: المادة الثرمومترية هى البلاتين المصنوع منها الملف. والخاصية الفيزيائية هى تغير المقاومة الكهربية بانتظام مع تغير درجة الحرارة.

لذلك إذا فرضنا أن X هى الخاصية الفيزيائية التى تتغير بانتظام مع تغير درجة الحرارة، فإنه يمكننا التعبير عن درجة الحرارة $t^{\circ}C$ بحيث تكون الخاصية X عند درجة حرارة $t^{\circ}C$ هى $X(t^{\circ}C)$ والخاصية X عند درجة حراره $0^{\circ}C$ هى $X(0^{\circ}C)$ والخاصية X عند درجة $100^{\circ}C$ هى $X(100^{\circ}C)$ ومن ذلك يكون:

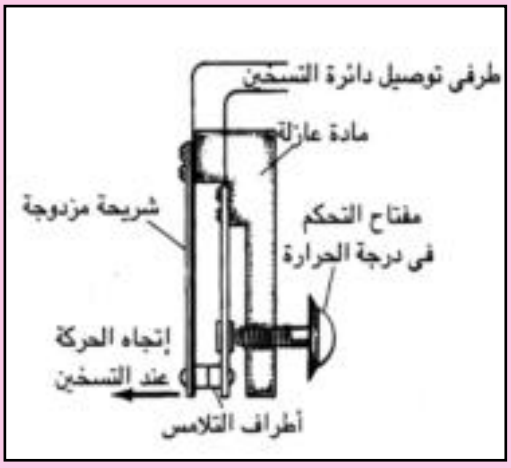
معلومات إثرية

الثرموستات

يستخدم جهاز الترموستات Thermostat فى تثبيت درجة حرارة نظام معين عند قيمة محددة مثل الثلاجة أو جهاز التكييف أو المكواة الكهربية وخلافه، وتعتمد فكرة عمله فى أبسط صورة على اختلاف معامل التمدد الحرارى للمادة باختلاف نوعها، حيث يستخدم شريحة مزدوجة من معدنين مختلفين مثبتين بأحكام، وعند التسخين تنثنى الشريحة، بحيث تكون المادة ذات معامل التمدد الأكبر للخارج والأصغر للداخل، فتبعد بذلك نقط تلامس الدائرة الكهربية، ويقف عمل مصدر التسخين المتصل بالنظام وعندما تنخفض درجة الحرارة عن الدرجة المطلوبة تعود الشريحة إلى استقامتها، ويتلامس أطراف التوصيل مرة أخرى ليعود عمل مصدر التسخين المتصل بالنظام وهكذا «شكل ٨-٧».



شكل (٨-٧أ)
شريحة مزدوجة



شكل (٨-٧ب)
وحدة الترموستات

الحـل :

$$L_{100} = 24.8cm \ , L_t = 15.2cm \ , L_o = 12cm$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{15.2 - 12}{24.8 - 12}$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{3.2}{12.8} = 25^\circ C$$

٢ - إذا كان ضغط الغاز فى ثرمومتر غازى ثابت الحجم هو 100cmHg عند نقطة تجمد الماء و150cmHg عند نقطة غليان الماء ، فما هى درجة حرارته المقابلة لضغط يساوى 140cmHg؟

الحل :

$$P_{100} = 150cmHg \ , P_t = 140cmHg \ , P_o = 100cmHg$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0}$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{140 - 100}{150 - 100}$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{40}{50} = 80^\circ C$$

٣- إذا كانت مقاومة ثرمومتر بلاتينى الكهربية عند 0°C تساوى 5Ω وعند 100°C تساوى 5.12Ω أوجد درجة الحرارة المقابلة لمقاومة تساوى 5.36Ω

الحل :

$$R_{100} = 5.12\Omega, \ R_t = 5.36\Omega \ , \ R_0 = 5\Omega$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0}$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{5.36 - 5}{5.12 - 5}$$

$$t^\circ C = 100 \times \frac{0.36}{0.12} = 300^\circ C$$

تلخيص

أولاً : التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- الطاقة الداخلية لجسم: هى مجموع طاقتى الحركة والوضع لجزيئات هذا الجسم.
- درجة حرارة جسم: تعتبر مقياساً للطاقة الداخلية له. وهى الخاصية التى يمكن بواسطتها الحكم على هذا النظام من حيث كونه فى حالة اتزان مع الوسط المحيط أو فى حالة عدم اتزان حرارى معه.
- إذا كان النظامان (أ)، (ب) كل على حدة فى حالة اتزان حرارى مع نظام ثالث (جـ).
يكون النظامان (أ)، (ب) فى حالة اتزان أحدهما مع الآخر.
- الترمومترات: هى أجهزة قياس درجات الحرارة ومنها :

نوع الترمومتر	المادة الترمومترية	الخاصية الفيزيائية
(أ) ثرمومتر السائل	كحول أو زئبق	تغير طول عمود السائل بانتظام مع تغير درجة الحرارة
(ب) الثرمومتر الغازى ذو الحجم الثابت	غاز ثابت الحجم	تغير ضغط الغاز بانتظام مع تغير درجة الحرارة.
(جـ) الثرمومتر البلاتينى	(مادة البلاتين المصنوع منها الملف)	تغير المقاومة الكهربية بانتظام مع تغير درجة الحرارة

- **درجة الحرارة $t^{\circ}C$ يمكن التعبير عنها بدلالة الخاصية X على الصورة.**

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{X(t^{\circ}C) - X(0^{\circ}C)}{X(100^{\circ}C) - X(0^{\circ}C)}$$

- فى ثرمومتر السوائل الخاصية الفيزيائية هى طول عمود السائل (L).

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{L_t - L_0}{L_{100} - L_0}$$

- فى الثرمومتر الغازى ذى الحجم الثابت الخاصية الفيزيائية هى ضغط غاز (P).

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0}$$

- فى الثرمومتر البلاتينى الخاصية الفيزيائية هى مقاومة سلك البلاتين الكهربية (R).

$$t^{\circ}C = 100 \times \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0}$$

معلومات إثرية

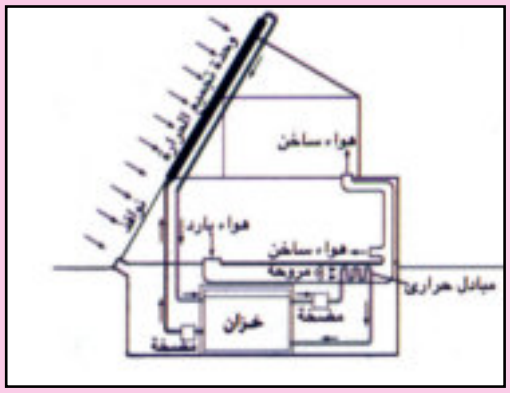
البيت الشمسى

فى الأماكن المشمسة يمكن استغلال الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية عن طريق تجميع أشعة الشمس وتسليطها على أنابيب نحاسية تحتوى على ماء، والأنابيب مطلية بلون أسود بحيث يسخن الماء بفعل امتصاص اللون الأسود للإشعاع الحرارى الموجود بالشمس.

وتستغل هذه الطريقة فى المنازل والفنادق بحيث يتم الحصول على الماء الساخن دون الحاجة إلى التسخين بالحرارة أو الكهرباء، وفى ذلك توفير للطاقة «شكل ٨-٨».

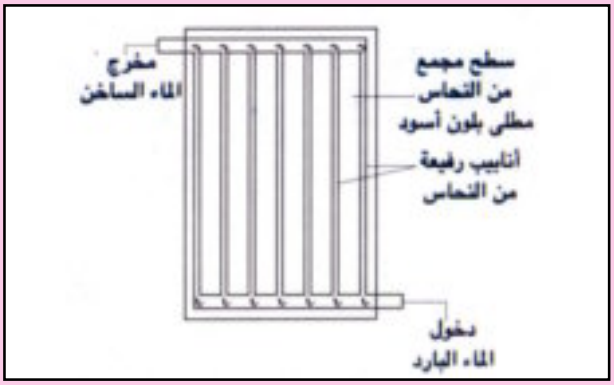
شكل (٨-٨أ)

وحدات تجميع الطاقة الحرارية من الشمس لتسخين الماء



شكل (٨-٨ب)

تركيب وحدة تجميع الطاقة الحرارية

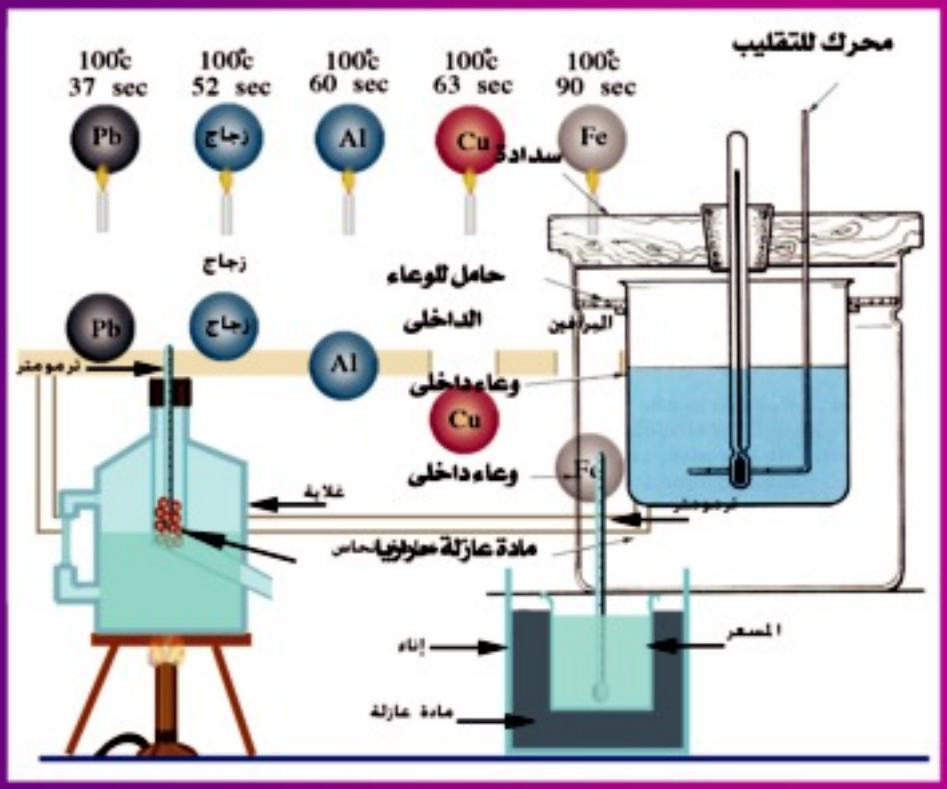


شكل (٨-٨جـ)

رسم تخطيطى لنظام تسخين بالطاقة السمشية

الحرارة

الوحدة الثانية



الفصل التاسع

الطاقة الحرارية

أسئلة وتمارين

أولاً: ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة مما يأتى:

١ - الطاقة الداخلية لجسم هى :

(أ) طاقة الحركة لجزيئاته.

(ب) طاقة الوضع لجزيئاته.

(جـ) مجموع طاقتى الحركة والوضع لجزيئاته.

٢ - يرتفع سطح الزئبق فى الثرمومتر عند زيادة درجة الحرارة لأن:

(أ) الزئبق موصل جيد للحرارة (ب) الزجاج موصل ردئ للحرارة.

(جـ) الزجاج لا يتمدد بالحرارة (د) الزجاج يتمدد بالحرارة أقل من تمدد الزئبق

(هـ) الزئبق يتمدد بانتظام كلما زادت درجة الحرارة.

ثانياً: عرف كلاً مما يأتى:

(أ) الطاقة الداخلية لجسم (ب) درجة حرارة الجسم.

ثالثاً : تمارين :

١- إذا كان طول عمود الزئبق فى ترمومتر زئبقى هو 15cm عند نقطة انصهار الجليد وطوله عند 150°C هو 21cm احسب طول عمود الزئبق عند درجة غليان الماء.

(19cm)

٢- إذا كان ضغط الغاز فى ترمومتر غازى ثابت الحجم هو 75 cmHg عند نقطة تجمد الماء تحت الضغط المعتاد و 102.5 cmHg عند درجة غليان الماء تحت الضغط المعتاد. احسب درجة الحرارة المقابلة لضغط يساوى 100 cmHg

(90.9°C)

٣- إذا كانت مقاومة ترمومتر بلاتينى عند 0°C تساوى 8Ω وعند 100°C تساوى 8.2Ω أوجد درجة الحرارة المقابلة لمقاومة تساوى 9Ω

(500°C)

كمية الحرارة:

إذا كان لديك عدة كرات من مواد مختلفة مثل الرصاص والزجاج والألومنيوم والنحاس والحديد ورفعنا درجة حرارتها باستخدام موقد له معدل اشتعال ثابت. فما هى كمية الحرارة التى تكتسبها كل كره وما درجة الحرارة التى تصل إليها فى زمن معين؟ سنجد أن هناك عدة عوامل فى هذه المسألة.

١ - الوقت المتاح للتسخين، وباعتبار معدل الاشتعال ثابتا فإن الزمن يعتبر مقياس لكمية الحرارة المعطاة.

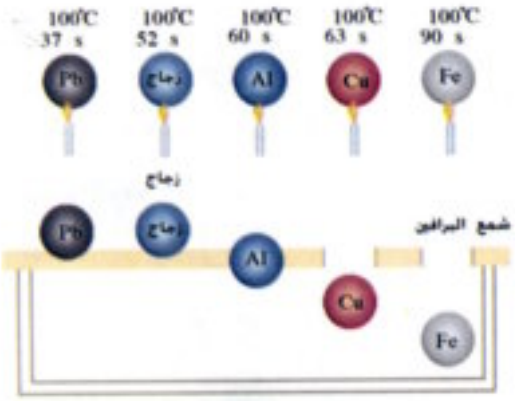
٢ - نوع المادة

٣ - كتلتها

٤ - درجة الحرارة المراد رفعها إليها

فإذا وحدنا كتلة المادة 1kg وزمن التسخين «كمية الحرارة المعطاة» باعتبار معدل التسخين ثابتا لجميع الكرات نجد أن درجة الحرارة التى تنتهى إليها كل كرة تختلف باختلاف المادة فإن درجة حرارة الرصاص تكون أعلى من الحديد لنفس كمية الحرارة المعطاه أما إذا وحدنا كتلة المادة 1kg ودرجة الحرارة المطلوبة لكل كرة أن تصل إليها 100°C فإن كمية الحرارة وبالتالى زمن التسخين يختلفان من كرة إلى أخرى. فى هذه الحالة تحتاج كرة الرصاص إلى كمية حرارة أقل (أى زمن تسخين أقل) لتصل إلى نفس درجة الحرارة المطلوب أن تصل إليها كرة الحديد وهذا يعنى أن كرة الرصاص تحتاج إلى أن تمتص قدراً من الطاقة الحرارية أقل من كرة الحديد وذات نفس الكتلة ليصل كل منها إلى نفس الارتفاع فى درجة الحرارة.

ويمكن التأكد من ذلك بوضع الكرات الخمس وهى فى درجة 100°C معا على طبقة رقيق من شمع البرافين (شكل ٩ - ١) نجد أن كرتى الحديد والنحاس تخترقان هذه الطبقة بسهولة بينما يتعذر تماماً اختراق كرة الرصاص والزجاج لها وذلك لأن كمية الحرارة التى تفقد من الأخيرة (وهى كمية الحرارة التى اكتسبتها) لا تكفى لصهر الشمع والنفاذ فيه ولذا يلزم أن نعرف السعة الحرارية لجسم



شكل (٩-١)

اختلاف كمية الحرارة المكتسبة اختلاف نوع المادة

الفصل التاسع

الطاقة الحرارية

مقدمة:

الطاقة الحرارية الداخلية هى مجموع طاقتى الحركة والوضع لجزئيات المادة، أما الحرارة الخارجية فهى تمثل الطاقة الحرارية التى تنتقل من الوسط المحيط إلى المادة أو من المادة إلى الوسط، ودرجة الحرارة هى مقياس لهذه الطاقة الداخلية وانتقال الحرارة يمكن أن يسبب زيادة فى الطاقة الحرارية الداخلية.

وإذا تساوت درجة حرارة الوسط مع درجة حرارة المادة لا يحدث انتقال للحرارة ويكون هذا وضع الإتزان الحرارى. أما إذا اختلفت درجة الحرارة بينهما فيحدث انتقال للحرارة، ودائماً يحدث انتقال الحرارة الخارجية من الجانب الأعلى درجة إلى الجانب الأقل درجة. أما ثبوت درجة حرارة جسم (حتى وإن اختلفت عن درجة حرارة الوسط) يعنى أن الحرارة المكتسبة (الممتصة) تساوى معدل الحرارة المفقودة (المنبعثة) فيحدث توازن ولكنه ليس اتزاناً حرارياً مع الوسط وإنما اتزان ديناميكى مثل المدفأة.

أما إذا لم يتساوى معدل الحرارة الممتصة مع معدل الحرارة المنطلقة فإن درجة الحرارة تزداد أو تنقص، وتوجد خاصية تربط بين كمية الحرارة التى يمتصها الجسم أو التى يطلقها والتغير فى درجة الحرارة وهذه الخاصية تختلف من جسم لآخر ومن مادة لأخرى.

ومتى تم تعيين الحرارة النوعية لعدد كبير من المواد، يمكن بسهولة حساب كمية الحرارة التى تتحرر أو تمتص فى كثير من التجارب على سبيل المثال، كمية الحرارة Q_{th} التى تلزم لرفع درجة حرارة كتلة m من مادة ما بمقدار $\Delta t^{\circ}C$ نتبين من العلاقة :

$$Q_{th} = m\, C_{th}\, (\Delta\, t^{\circ}C) \qquad (9-4)$$

حيث C_{th} الحرارة النوعية للمادة :

أمثلة

١ - ما كمية الحرارة التى تلزم لرفع درجة حرارة 0.2kg من الألومنيوم من $20^{\circ}C$ إلى $100^{\circ}C$؟ علما بأن الحرارة النوعية للألومنيوم = $924 J/kg^{\circ}K$

الحـــل :

$\Delta\, t\, ^{\circ}C = 80^{\circ}C \qquad C_{th} = 924\ J/kg^{\circ}K \qquad m = 0.2\ kg$

$$Q_{th} = mC_{th}\Delta t = 0.2 \times 924 \times 80 = 14784J$$

٢ - ما مقدار الانخفاض فى درجة حرارة قطعة من النحاس كتلتها 0.1kg إذا فقدت كمية حرارة إلى الوسط المحيط قدرها 3906J ؟ علما بأن الحرارة النوعية للنحاس هى $390.6 J/kg^{\circ}K$

الحـــل :

$Q_{th} = 3906J \qquad m = 0.1kg \qquad C_{th} = 390.6\ J/kg^{\circ}C \qquad \Delta t^{\circ}C = ?$

$$Q_{th} = m\, C_{th}\, (\Delta t^{\circ}C)$$

$$3906 = 0.1 \times 390.6 \times \Delta t^{\circ}C$$

$$\Delta t^{\circ}C = \frac{3906}{39.06} = 100\ ^{\circ}C$$

السعة الحرارية لجسم

هى كمية الحرارة Q_{th} التى يزود بها الجسم لكى ترتفع درجة حرارته درجة واحدة، ولذا نرمز لها بالرمز q_{th} أى أن :

$$q_{th} = \frac{Q_{th}}{\Delta t^{\circ}C} \qquad (9\text{-}1)$$

وتقدر السعة الحرارية لجسم بالجول لكل درجة كلفينية.

ترتبط السعة الحرارية للجسم بكتلته، لذلك لا تعتبر خاصية لمادته، ومن المفيد أن نبحث عن كمية أخرى تكون مميزة للمادة، هذه الكمية هى «**الحرارة النوعية للمادة**» ويرمز لها بالرمز C_{th}، وهى كمية الحرارة التى تلزم لرفع درجة حرارة واحد كيلو جرام من المادة درجة واحدة أى أن :

$$C_{th} = \frac{Q_{th}}{m\Delta t^{\circ}C} \qquad (9\text{-}2)$$

بالتعويض من (1–9) فى (2–9 يكون:)

$$C_{th} = \frac{q_{th}}{m} \qquad (9\text{-}3)$$

وتقدر الحرارة النوعية عادة بوحدة Joule/kg °K

ملحوظة هامة : أننا حينما نتحدث عن السعة الحرارية نتحدث عن السعة الحرارية لجسم، وحينما نتحدث عن الحرارة النوعية نتحدث عن الحرارة النوعية لمادة. ومن ثم يوضح الجدول التالى بعض قيم الحرارة النوعية لمواد مختلفة ويلاحظ أن الحرارة النوعية تقل كلما زاد العدد الكتلى Mass Number،

المادة	الحرارة النوعية Joule/kg°K
الألومنيوم	924
النحاس	390.6
الذهب	126
الحديد	458.9
الرصاص	130.2
الفضة	235.2
الخارصين	386.4

كمية الحرارة التى يكتسبها الماء

$$Q^{+}_{th} = 0.1 \text{ X } 4200 \text{ x } 10 \quad 4200 \text{ J}$$

كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الإناء والماء

$$Q^{-}_{th} = 4200 + 90 = 4290 \text{J}$$

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة

$$4290 = 0.135 \text{ x } C_{th} \text{ x } 80$$

$$C_{th} = \frac{4290}{0.135 \text{ x } 80} = 397.2 \text{ J/kg°K}$$

٥- قطعة معدنية كتلتها 0.35kg فإذا كانت الحرارة النوعية لهذا المعدن 460J/kg°K، فما هى السعة الحرارية لها.

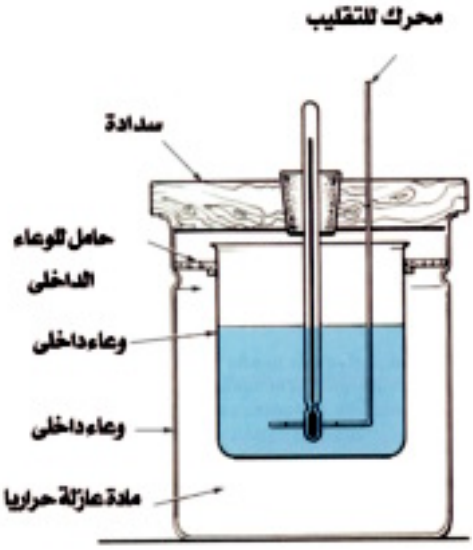
الحل :

السعة الحرارية لجسم (q_{th})

$$q_{th} = mC_{th} = 0.35 \times 460 = 16 \text{ J/°K}$$

المسعر الحرارى Calorimeter

المسعر الحرارى عبارة عن إناء معزول عزلاً حرارياً تاماً عن الوسط المحيط لمنع تسرب الحرارة منه أو إليه. ويتركب المسعر الحراري فى أبسط صورة من وعاء من النحاس محاط بمادة عازلة حرارياً مثل اللباد أو الصوف الحرارى وموضوع داخل إناء آخر (شكل ٩ - ٢) . ويستخدم المسعر الحرارى فى تجارب تعيين السعة الحرارية والحرارة النوعية.



شكل (٩-٢)

تركيب المسعر الحرارى

٣ - كتلة من الألومنيوم مقدارها 0.025kg مسخنة إلى درجة 100°C ألقيت فى كأس بها ماء كتلته 0.065kg درجة حرارته 35°C فأصبحت الدرجة النهائية للخليط = 40°C فاحسب الحرارة النوعية للألومنيوم. علما بأن الحرارة النوعية للماء = 4200 J/ kg°K (مع إهمال الحرارة التى يكتسبها الكأس).

الحل :

كمية الحرارة المفقودة Q^-_{th} = كمية الحرارة المكتسبة Q^+_{th}

كمية الحرارة المكتسبة = (كتلة الماء) × (حرارته النوعية) × (مقدار الارتفاع فى درجة الحرارة).

$$Q^+_{th} = 0.065 \times 4200 \times (40 - 35)\ J$$

كمية الحرارة المفقودة = (كتلة الألومنيوم) × (حرارته النوعية)× (مقدار الانخفاض فى درجة الحرارة)

$$Q^-_{th} = 0.025 \times C_{th} \times (100 - 40)\ J$$

$$\therefore\ 0.25 \times C_{th} \times 60 = 0.065 \times 4200 \times 5$$

$$C_{th} = 910\ J/kg^\circ K$$

٤- رفعت درجة حرارة قطعة من النحاس كتلتها 0.135 kg إلى 100°C، ثم نقلت بسرعة إلى إناء من الألومنيوم كتلته 0.01 kg به 0.100 kg من الماء درجة حرارتها الابتدائية 10°C. فإذا كانت درجة الحرارة النهائية 20°C والحرارة النوعية للألومنيوم 900J/kg°K وللماء 4200 J/kg°K فما هى الحرارة النوعية للنحاس؟

الحـــل :

كمية الحرارة التى تفقدها قطعة النحاس = (كتلة النحاس) × (الحرارة النوعية) × (مقدار الانخفاض فى درجة الحرارة).

$$Q^-_{th} = 80 \times C_{th} \times 0.135$$

كمية الحرارة التى يكتسبها الإناء = (كتلة الألومنيوم) × (الحرارة النوعية له) ×(مقدار الارتفاع فى درجة الحرارة)

$$Q^-_{th} = 0.01 \times 900 \times 10 = 90\ J$$

وعندئذ نعين درجة حرارة خراطة النحاس ولتكن t_2 °C

٣- أثناء التسخين نعين كتلة المسعر وهو فارغ ونظيف ولتكن كتلته $m_1$kg ونضع به نحو ثلثيه ماء ونعيد وزنه لإيجاد كتلة الماء ولتكن $m_2$kg

٤- نقيس درجة حرارة المسعر وما به من ماء ولتكن t_1°C

٥- نلقى بسرعة خراطة النحاس الساخنة داخل المسعر . ونقلب بالترمومتر ونقيس درجة الحرارة النهائية ولتكن t°C

٦- نزن المسعر ومحتوياته فتمثل الزيادة فى كتلته كتلة خراطة النحاس ولتكن m

٧- نعين الحرارة النوعية للنحاس بتطبيق العلاقة :

كمية الحرارة التى يفقدها النحاس = كمية الحرارة التى يكتسبها المسعر والماء

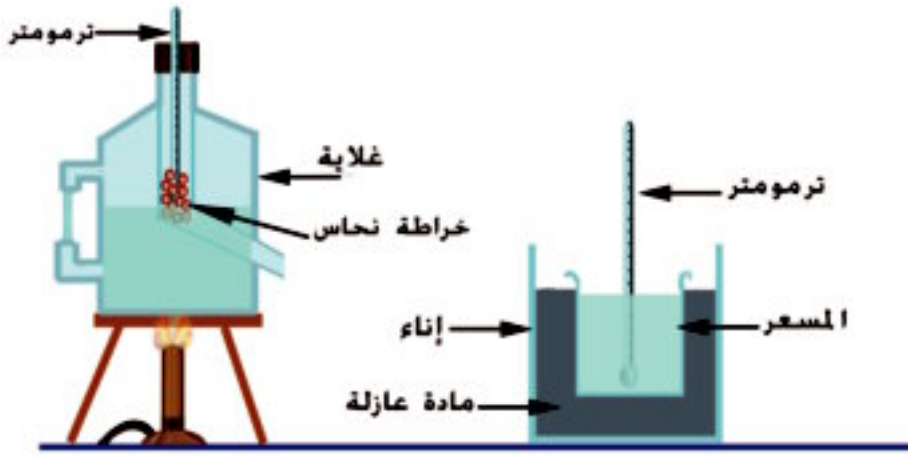
النتائج :

- كتلة المسعر فارغاً المسعر m_1 = ... kg
- الحرارة النوعية لمادة المسعر C_{th1} = ... J/Kg°K
- كتلة المسعر وما به من ماء m_2 = ... Kg
- كتلة الماء ..... ($m_2 - m_1$) Kg
- الحرارة النوعية للماء C_{th2} = ... J/Kg°K
- درجة حرارة الماء والمسعر t_1°C = ...°C
- درجة حرارة خراطة النحاس الساخنة t_2°C = ... °C
- درجة حرارة الخليط t°C = ... °C
- كتلة المسعر ومحتوياته بعد إلقاء خراطة النحاس m´ = ... Kg
- كتلة خراطة النحاس m = ...Kg
- كمية الحرارة المفقودة Q_{th}^{-} = كمية الحرارة المكتسبة Q_{th}^{+}
- الحرارة النوعية للنحاس C_{th} = ... J/Kg°K

تجربة عملية:

تعيين الحرارة النوعية لجسم صلب (النحاس مثلا) بطريقة الخلط:

تعتمد هذه الطريقة على تسخين كمية من خراطة النحاس مثلا فى الغلاية الموضحة فى (شكل ٩ - ٣) ثم إلقائها فى مسعر معزول حراريا به كمية مناسبة من الماء، هنا تفقد خراطة النحاس كمية من الحرارة يكتسبها المسعر وما به من ماء بحيث تكون :



شكل (٩-٣)

تجربة لتعيين الحرارة النوعية للنحاس

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة، أى أن

$$mC_{th}\,(t_2^{\circ}C - t^{\circ}C) = (m_1C_{th1} + m_2C_{th2})\,(t^{\circ}C - t_1^{\circ}C)$$

حيث m كتلة خراطة النحاس، C_{th} حرارته النوعية، $t_2^{\circ}C$ درجة حرارته المرتفعة، m_1 كتلة المسعر، C_{th1} حرارته النوعية، m_2 كتلة الماء بالمسعر ، C_{th2} حرارته النوعية ، $t_1^{\circ}C$ درجة حرارة المسعر والماء قبل إلقاء خراطة النحاس و $t^{\circ}C$ درجة الحرارة النهائية. لاحظ أن $t_2^{\circ}C - T_1^{\circ}C = T_2^{\circ}K - T_1^{\circ}K$

طريقة العمل

١- نضع كمية من خراطة النحاس فى موضعها من الغلاية بالكيفية الموضحة بالشكل ونضع معها ثرمومتر.

٢- نسخن الغلاية حتى درجة الغليان وننتظر مدة مناسبة حتى تثبت درجة حرارة خراطة النحاس

فالحرارة الكامنة لتصعيد مادة B_{th}:

هى الطاقة اللازمة لتحويل 1kg من المادة من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية دون تغير فى درجة الحرارة.

ويمكن عمليا تعيين كل من الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتصعيد. ويمكن تفسير عمليتى الانصهار والتصعيد فيما يلى :

(١) الإنصهار:

يمكن أن نتصور المادة الجامدة مكونة من جزيئات أو ذرات تهتز حول مواضعها الأصلية ، لكنها لا تتحرك الى مواضع جديدة. وعند درجة الانصهار تصبح الاهتزازات كبيرة إلى الحد الذى يتم فيه كسر الروابط الجزيئية أو الذرية التى تحفظ الجزيئات أو الذرات فى مواضعها الثابتة. عندئذ تصبح حرة فى التجول فى حدود الحيز الذى يشغله السائل الناتج من الانصهار.

(٢) التصعيد:

تتحرك جزيئات سائل ما حركة عشوائية داخل الحيز الذى يشغله السائل مغيرة موضعها من وقت لآخر. وبعض هذه الجزيئات التى تكون طاقة حركتها كبيرة نسبيا يمكنها الهروب من سطح السائل فيما يعرف بعملية البخر فى درجات الحرارة العادية . ومع ارتفاع درجة الحرارة تزداد الطاقة الداخلية لجزيئات السائل، ويزداد متوسط طاقة الحركة لجزيئاته فتزداد بالتالى معدلات الهروب حتى تصل إلى أعلى قيمة لها عند درجة الغليان.

تجربة تعيين الحرارة الكامنة لانصهار الجليد

عند إلقاء قطعة من الجليد فى مسعر به ماء يلاحظ ما يلى :

١- إنصهار قطعة الجليد

٢- إنخفاض درجة حرارة المسعر ومحتوياته

يعنى هذا أن قطعة الجليد قد اكتسبت كمية من الحرارة لتنصهر أولا ثم اكتسبت كمية اخرى من الحرارة لترتفع درجة حرارة ما انصهر إلى درجة حرارة الخليط النهائية، وفى نفس الوقت يفقد المسعر وما به من ماء كمية من الحرارة. وبفرض أن المسعر بمحتوياته معزول حراريا عن الوسط المحيط فإن :

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة

(كتلة الجليد المنصهر × الحرارة الكامنة للانصهار) + (كتلة الجليد المنصهر × الحرارة النوعية

تغير الحالة:

من المعروف أن المادة يمكن أن توجد فى إحدى حالات ثلاث هى

١- الحالة الجامدة (الصلبة)

٢- الحالة السائلة

٣- الحالة البخارية (الغازية)

وعندما تتحول المادة من الحالة الجامدة إلى الحالة السائلة فإن هذه العملية تسمى عملية الانصهار (العملية العكسية تسمى عملية التجمد). وعندما تتحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية، فان هذه العملية تسمى عملية التصعيد (العملية العكسية تسمى عملية التكثيف).

ولا تحدث عمليتا الانصهار والتصعيد تلقائياً، وإنما تتطلب كل منهما قدرا من الطاقة الحرارية لإحداث هذا التحول، فمثلا إذا أخذنا إناء به كمية من الجليد المجروش مع ترمومتر لقياس درجة الحرارة نجد أن الترمومتر يسجل $0^{\circ}C$. وإذا وضعنا هذا الإناء بما يحتويه على موقد مشتعل لتسخينه، فإننا نلاحظ ما يلى :

١- ثبوت قراءة الترمومتر لفترة عند $0^{\circ}C$ حتى يتم تحول كل الجليد المجروش إلى ماء فى نفس الدرجة.

٢- بعد تحول كل الجليد إلى ماء تأخذ دلالة الترمومتر فى الارتفاع مع الزمن حتى تصل إلى $100^{\circ}C$

٣- بعد وصول الماء إلى $100^{\circ}C$ تثبت دلالة الترمومتر مع استمرار عملية التسخين ، أى أن كلا من عمليتى الانصهار والتصعيد تحتاج إلى كمية من الطاقة الحرارية المتصة لإحداث التحول المطلوب.

وقد وجد أن الحرارة المتصة لتحويل الجليد وهو فى $0^{\circ}C$ إلى ماء فى نفس الدرجة تتناسب طرديا مع كتلة الجليد المنصهر. والطاقة اللازمة لتحويل 1kg من الجليد فى $0^{\circ}C$ إلى ماء فى نفس الدرجة 3.34×10^{5} J/kg ، وهى ما تسمى بالحرارة الكامنة لانصهار الجليد.

فالحرارة الكامنة لانصهار مادة L_{th}:

هى الطاقة اللازمة لتحويل 1kg من المادة من الحالة الجامدة إلى الحالة السائلة دون تغير فى درجة الحرارة.

كما وجد أن الحرارة المتصة لتحويل الماء إلى بخار عند $100^{\circ}C$ تتناسب أيضا مع كتلة الماء المتحول إلى بخار. والطاقة اللازمة لتحويل 1kg من الماء فى $100^{\circ}C$ إلى بخار فى نفس الدرجة 2.27×10^{6} J/kg وتسمى الحرارة الكامنة لتصعيد الماء.

كتلة المسعر ومحتوياته بعد انصهار الجليد Kg ..... = $\hat{m}$

كتلة الجليد المنصهر Kg..... = m

كمية الحرارة المكتسبة J..... = Q^{+}_{th}

كمية الحرارة المفقودة J ..... = Q^{-}_{th}

الحرارة الكامنة لانصهار الجليد J/Kg..... = L_{th}

$C_{th(water)} = 4200\ J/Kg\ ^{\circ}K$ $L_{th(water)} = 3.3 \times 10^{5}\ J/Kg$ $B_{th(water)} = 2.3 \times 10^{6}\ J/Kg$

تلخيص

- الطاقة الحرارية المكتسبة - الطاقة الحرارية المفقودة
- الحرارة النوعية لمادة هى الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كيلو جرام من المادة درجة كلفينية واحدة ووحدتها $J/kg^{\circ}K$
- السعة الحرارية لجسم هى الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم كله درجة كلفينية واحدة ووحدتها $J/^{\circ}K$
- الحرارة الكامنة للانصهار L_{th} هى الطاقة اللازمة لتحويل واحد كيلو جرام من المادة من الحالة الجامدة إلى الحالة السائلة دون تغير فى درجة الحرارة، ووحدها J/kg.

- الحرارة الكامنة للتصعيد B_{th} هى الطاقة اللازمة لتحويل واحد كيلو جرام من المادة من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية دون تغير فى درجة الحرارة ووحدتها J/kg.

للماء × درجة حرارة الخليط) = (كتلة المسعر × حرارته النوعية + كتلة الماء × حرارته النوعية)× (مقدار الانخفاض فى درجة الحرارة). وبوضع هذه العلاقة فى صيغة رمزية نجد أن :

$$mL_{th} + mC_{th2}t^{\circ}C = (m_1C_{th1} + m_2C_{th2})\ (t_1{}^{\circ}C - t^{\circ}C)$$

حيث m كتلة الجليد المنصهر، L_{th} الحرارة الكامنة للانصهار، m_1 كتلة المسعر و C_{th1} حرارته النوعية. m_2 كتلة الماء فى المسعر قبل إلقاء الجليد و C_{th2} حرارته النوعية، $t_1{}^{\circ}C$ درجة الحرارة قبل إلقاء الجليد، $t^{\circ}C$ درجة حرارة الخليط بعد تمام انصهار الجليد. ويمكن باستخدام العلاقة السابقة إيجاد الحرارة الكامنة لانصهار الجليد (L_{th}).

طريقة العمل :

١- نعين كتلة المسعر وهو فارغ ونظيف ولتكن كتلته m_1kg وحرارته النوعية C_{th1}

٢- نضع به نحو ثلثيه ماء ونعيد تقدير كتلته $\acute{m}$. ومن الفرق نوجد كتلة الماء ولتكن m_2kg

٣- نعين درجة حرارة المسعر وما به من ماء بواسطة الترمومتر ولتكن $t^{\circ}C$ درجة سيلزيوس.

٤- نأخذ بعض قطع الجليد ونجففها بورق ترشيح قبل القائها مباشرة فى ماء المسعر. نحرك بالترمومتر حتى يتم انصهار الجليد وتنخفض درجة الحرارة حوالى $5^{\circ}C$ على الأقل ونقيس درجة حرارة الخليط ولتكن $t^{\circ}C$

٥- نعيد تقدير كتلة المسعر ومحتوياته بعد انصهار الجليد $\acute{\acute{m}}$، ومن الفرق نوجد كتلة الجليد المنصهر ولتكن m kg

٦- نعين الحرارة الكامنة لانصهار الجليد من العلاقة :

$$mL_{th} + mC_{th2}t = (m_1C_{th1} + m_2\ C_{th2})\ (t_{1^{\circ}C} - t^{\circ}C)$$

النتائج :

كتلة المسعر فارغا m_1 = ...Kg

الحرارة النوعية لمادة المسعر C_{th1} = ...$J/Kg^{\circ}K$

كتلة المسعر وما به من ماء $\acute{m}$ = ...Kg

كتلة الماء $\acute{m}$ = ...kg

الحرارة النوعية للماء C_{th2} = ... $J/Kg^{\circ}K$

٤- قطعة من النحاس كتلتها 0.279kg سخنت إلى 100°C ثم ألقيت فى إناء من الألومنيوم كتلته 0.2kg به 0.09kg من الماء فى 40°C فأصبحت درجة الحرارة النهائية 50°C عندئذ تكون الحرارة النوعية للنحاس: (بفرض أن الحرارة النوعية للألومنيوم 900J/kg°K وللماء 4200 J/kg°K) هى:

(أ) 380 J/kg°K (ب) 420 J/kg°K (جـ) 400 J/kg°K (د) 390 J/kg°K

٥ - ألقيت قطعة من الألومنيوم بعد تسخينها إلى 80°C فى إناء من الألومنيوم كتلته 0.01kg به سائل كتلته 0.4kg فى 30°C فأصبحت درجة الخليط 37°C فإذا كانت كتلة قطعة الألومنيوم 0.2kg وحرارته النوعية 900J/kg°K، تكون الحرارة النوعية للسائل هى:

(أ) 2227.5 J/kg°K (ب) 2724 J/kg°K (جـ) 2000 J/kg°K (د) 2250 J/kg°K

٦- جسم كتلته 0.425kg والحرارة النوعية لمادته هى 2000J/kg°K والسعة الحرارية له هى:

(أ) 840 J/°K (ب) 850 J/°K (جـ) 860 J/°K (د) 845 J/°K

٧ - إذا اكتسبت كتلتان متساويتان من الماء والألومنيوم نفس الكمية من الحرارة فإن الارتفاع فى درجة حرارة الألومنيوم أكبر من الارتفاع فى درجة حرارة الماء وذلك لأن:

(أ) كثافة الألومنيوم أقل من كثافة الماء. (ب) كثافة الألومنيوم أكبر من كثافة الماء.

(جـ) الحرارة النوعية للألومنيوم أكبر من الحرارة النوعية للماء.

(د) الحرارة النوعية للألومنيوم أصغر من الحرارة النوعية للماء.

٨ - تتوقف الحرارة النوعية لكرة معدنية على:

(أ) كتلة الكرة (ب) حجم الكرة

(جـ) مساحة سطح الكرة.

(د) نوع مادة الكرة.

٩- كتلتان متساويتان من النحاس والرصاص عند نفس درجة الحرارة، وضعت أحداهما فى كأس a والثانية فى كأس مماثل b ، وأضيفت كمية متساوية من الماء فى الكاسين عند درجة 80°C ، فإذا كانت الحرارة النوعية للنحاس ثلاثة أمثال الحرارة النوعية للرصاص فإن :

أسئلة وتمارين

أولاً: أكمل العبارات الآتية:

(١) الحرارة النوعية هى .....

(٢) الحرارة الكامنة للتصعيد هى .....

(٣) الحرارة الكامنة للانصهار هى .....

ثانياً: ضع علامة (✓) أمام الاختيار الصحيح:

١- الوحدة التى تقاس بها الحرارة النوعية لمادة هى :

(أ) J/kg

(ب) $J/kg^{\circ}K$

(جـ) $J/^{\circ}K$

(د) J

٢- الحرارة الكامنة للانصهار أو التصعيد تقدر بوحدة

(أ) J/kg

(ب) $J/kg^{\circ}K$

(جـ) $J/^{\circ}K$

(د) J

٣- السعة الحرارية لجسم وحدتها هى :

(أ) J/kg

(ب) $J/kg^{\circ}K$

(جـ) $J/^{\circ}K$

(د) J

أوجد السعة الحرارية لكل من الأجسام التالية:

(أ) دورق من الزجاج 150 gram (121.8 J/°K)

(ب) قضيب من النحاس 1kg (390 J/°K).

(جـ) 400 gram من الزئبق (54 J/°K) .

ثم أحسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كل جسم 10°C.

(540 J - 3900 J - 1218 J)

٢- جسم مصنوع من النحاس كتلته 0.5 kg إرتفعت درجة حرارته من 50°C إلى 70°C فإذا كانت الحرارة النوعية للنحاس 390 J/kg°K احسب السعة الحرارية ، وكمية الحرارة اللازمة لذلك.

(3900 J - 195 J/°K)

٣- قطعة من الحديد فى 80°C ألقيت فى 55 gram من سائل فى 10°C فارتفعت درجة الحرارة إلى 25°C فإذا كانت الحرارة النوعية للسائل 4200 J/kg°K أوجد السعة الحرارية لقطعة الحديد.

(63 J/°K)

(أ) درجة الحرارة النهائية فى الكأس a أقل من مثيلها فى الكأس b.

(ب) درجة الحرارة النهائية فى الكأس a أكبر من مثيلها فى الكأس b.

(جـ) درجة الحرارة فى الكأسين متساويتان.

(د) درجة حرارة الماء فى الكأس a تقل بمقدار أقل من مقدار النقصان فى درجة حرارة الماء فى الكأس b.

(هـ) درجة الحرارة فى الكأس b تقل بمقدار أقل من مقدار النقصان فى درجة الحرارة فى الكأس a.

١٠- إذا سخنت قطعة من النحاس وإذا زادت درجة حرارتها.

أى من الخصائص الآتية للنحاس يزداد بارتفاع درجة حرارته.

(أ) الكثافة (ب) الكتلة

(جـ) الحرارة النوعية للنحاس (د) لا توجد إجابة صحيحة

١١- أعطيت كميتان متساويتان من الحرارة إلى كتلتين معزولتين عزلاً جيداً عن الوسط المحيط هما الكتلتان X , Y من فلزين مختلفين النسبة بين كتلة X وكتلة Y هى 2:1 والنسبة بين الحرارة النوعية لمادة الكتلة X لمادة الكتلة Y هى 1:2 تكون النسبة بين ارتفاع درجة حرارة Y,X هى:

(أ) 1:4 (ب) 1:1 (جـ) 1:2 (د) 2:1 (هـ) 4:1

١٢- إذا كانت الحرارة النوعية للألومنيوم 960 J/kg°K فإن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 2kg من الألومنيوم 5°K تكون

(أ) 96 J (ب) 960 J (جـ) 9600 J (د) 192 J (هـ) 1920 J

١٣ - تم خلط 150gm ماء فى درجة 100°C مع 50 gm ماء فى 20°C فإذا لم تكن هناك حرارة مفقودة للوسط المحيط فإن درجة حرارة الخليط تكون:

(أ) 80°C (ب) 60°C (جـ) 10°C (د) 70°C (هـ) 50°C

ثالثاً: تمارين

١- إذا كانت الحرارة النوعية للنحاس 390 J/kg°K ، وللزجاج 812 J/kg°K ، وللزئبق 135 J/kg°K

الكهربية

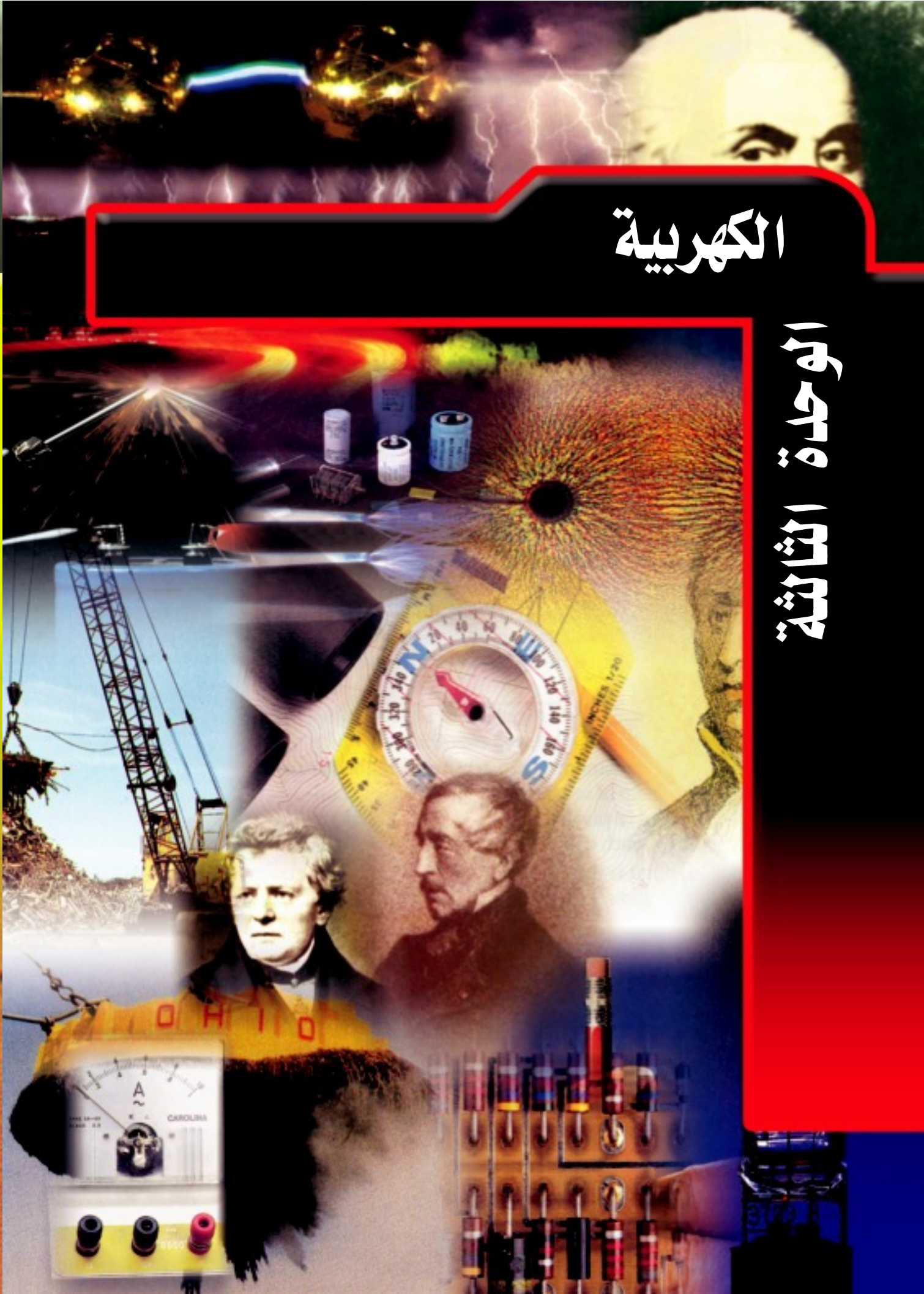
الوحدة الثانية

الفصل العاشر

الكهربية الإستاتيكية

الكهربية

الوحدة الثالثة



والشحنات الموجودة فى الطبيعة نوعان، إحداهما اصطلح على تسميتها بالشحنة الموجبة (+) والأخرى بالشحنة السالبة (-).

والشحنات المتماثلة فى النوع تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب، كما هو موضح فى (شكل١٠ - ٢). وقوى التنافر أو التجاذب بين شحنتين q_1, q_2 تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما. أى أن:

شكل (١٠-١ب)

دلك ساق أبونيت بالصوف يشحنها استاتيكيا

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2} \qquad (10 - 1)$$

حيث K هو ثابت التناسب ويساوى فى الهواء حوالى $9 \times 10^9 \ Nm^2/C^2$ وتعرف هذه العلاقة باسم (قانون كولوم) Coulomb's Law.

شكل (١٠-١جـ)

التجاذب بين ساق الأبونيت المشحون وقطعة الصوف

الفصل العاشر

الكهربية الاستاتيكية

مقدمة:

يمكن تصنيف الكهربية إلى كهربية ساكنة (ستاتيكية Static) وكهربية تيارية (ديناميكية Dynamic) والمقصود بالكهربية الساكنة تلك الكهربية التى تكون الشحنات فيها ساكنة او مستقرة على سطوح الموصلات، ونهتم على سبيل المثال فى هذا الفرع بدراسة :

١ - قوى التنافر أو التجاذب بين شحنتين (قانون كولوم).

٢ - المجال الكهربى للشحنة الكهربية المستقرة وشدة هذا المجال عند نقطة بالقرب من هذه الشحنة.

٣ - الجهد الكهربي للشحنة الكهربية المستقرة ومقداره عند نقطة معينة فى مجال الشحنة.

قانون كولوم Coulomb's Law

من المعروف انه إذا دلك مشط من البلاستيك (شكل ١٠-١أ) او قطعة من الابونيت بقطعة من الصوف (شكل ١٠-١ ب،حـ) فإن المشط يصبح مشحونا بشحنة كهربية. يستدل على هذا بجذبه لقصاصات الورق عند تقريبه إليها. وتقدر الشحنة الكهربية بوحدة الكولوم Coulomb (C)

شكل (١٠-١أ)

مشط يشحن بالدلك فينجذب قصاصات الورق إليه

ثانياً القوى الكهربية :

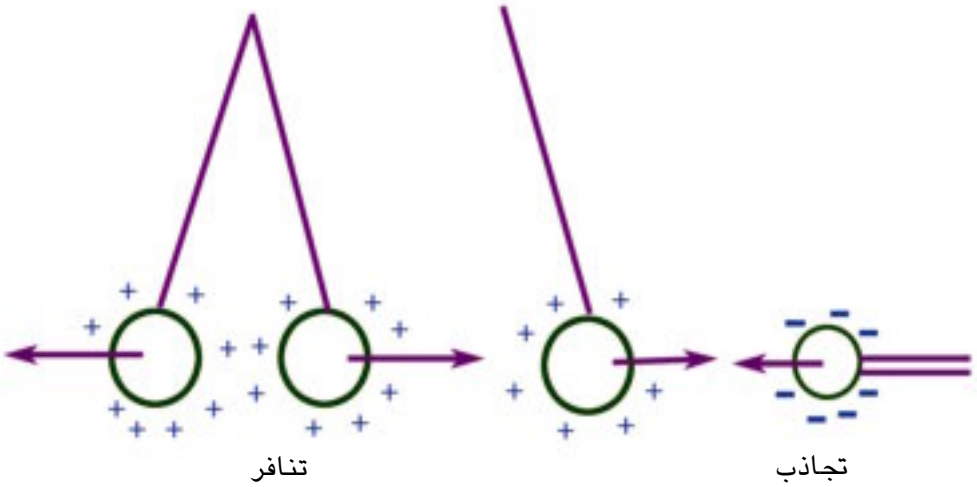
$$F = \frac{Kq_1 q_2}{d^2}$$

$$F = \frac{9\times10^{9}(1.6\times10^{-19})(1.6\times10^{-19})}{(0.5\times10^{-10})^2} = 9.2\times10^{-8}\ N$$

وبمقارنة النتيجتين معا نجد أن القوى الكهربية بين المكونات الذرية تلعب الدور الرئيسى إذ انها كبيرة جدا جدا إلى حد يمكن معه إهمال قوى التجاذب الكتلى بجانبها (القوه الكهربية = قوة الجذب مضروبة فى 2.2×10^{39}).

ومما تجدر الإشارة إليه أن قانون الجذب العام لنيوتن هو الذى يعين قوة التجاذب الكتلى بين كتلتين، بينما قانون كولوم يعين القوة الكهربية بين شحنتين. والفرق بينهما فى قيمة الثابت ونوع الكمية الفيزيائية. وربما يوحى لنا هذا بما يسمى بالتماثلات فى الطبيعة Symmetry . فالقوة فى اى منهما تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الكميتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

قانون الجذب العام	قانون كولوم
١ - $F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$	$F = K\frac{q_1 q_2}{d^2}$
٢ - G هو ثابت الجذب العام ويساوى $6.67\times10^{-11}\ \frac{Nm^2}{kg^2}$	K هو ثابت التناسب ويساوى فى الهواء $9\times10^{9}\ \frac{Nm^2}{C^2}$
٣ - الكمية الفيزيائية هى الكتلة	الكمية الفيزيائية هى الشحنة الكهربائية



شكل (١٠-٢)

تنافر الشحنات المتشابهة وتجاذب الشحنات المختلفة

والقوى الكهربية اكبر كثيراً من قوة التجاذب الكتلى ، رغم أن الأخيرة هى التى تحفظ الأجرام السماوية الضخمة فى مداراتها حول مراكز حركاتها، ونوضح هذه الحقيقة بالمثال الآتى:

مثال

احسب قوة التجاذب الكتلى بين إلكترون ذرة الهيدروجين ونواتها وكذلك القوة الكهربية بينهما علما بأن كتلة الإلكترون 9.1×10^{-31}kg وشحنته 1.6×10^{-19} C وكتلة البروتون 1.67×10^{-27} kg وشحنته تساوى شحنة الإلكترون، وأن نصف قطر ذرة الهيدروجين $0.5\ A^{\circ}$ $(1A^{\circ} = 10^{-10}m)$.

$$(K = 9 \times 10^{9} \frac{Nm^2}{C^2} \quad , \quad G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2})$$

الحـــل :

أولا - قوة التجاذب الكتلى :

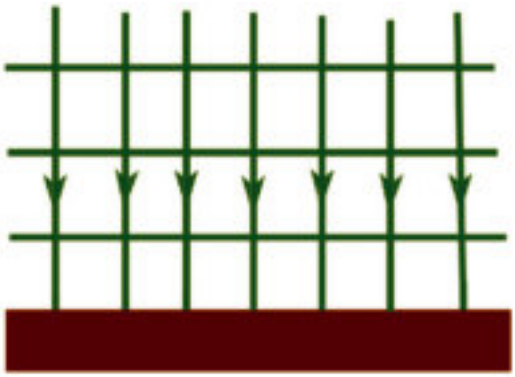
$$F = G \frac{(m_1 m_2)}{d^2}$$

$$F = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times (9.1 \times 10^{31}) (1.67 \times 10^{-27})}{(0.5 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 4.05 \times 10^{-47} N$$

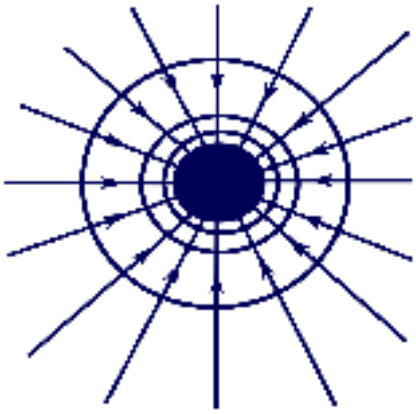
شحنة أخرى واتباع المسار الذى تتخذه الشحنة الأولى. والمجال الكهربى بين شحنتين مختلفتين يمكن وصفه بخطوط قوى تخرج من الشحنة الموجبة وتنتهى عند الشحنة السالبة . وتكون السطوح المتساوية الجهد متعامدة مع هذه الخطوط . ويعبر عن شدة المجال بكثافة هذه الخطوط. وتدلنا خطوط المجال الكهربى على مقدار واتجاه هذا المجال عند أى نقطة فى المجال. وبصفة عامة تتحرك الشحنات الموجبة الحرة فى اتجاه المجال، وتتحرك الشحنات السالبة الحرة فى عكس اتجاه المجال. ويطلق على خطوط المجال الكهربى اسم خطوط الفيض الكهربى Electric Flux.

يوضح شكل (١٠-٣) مجالين كهربيين أحدهما منتظم الكثافة والآخر غير منتظم الكثافة.



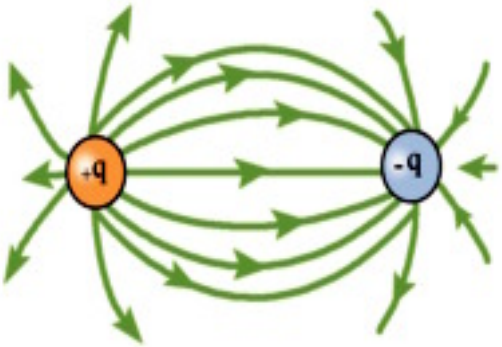
شكل (١٠-٣أ)

مجال كهربى منتظم متعامد على لوح معدنى مشحون وتكون السطوح متساوية الجهد موازية للوح



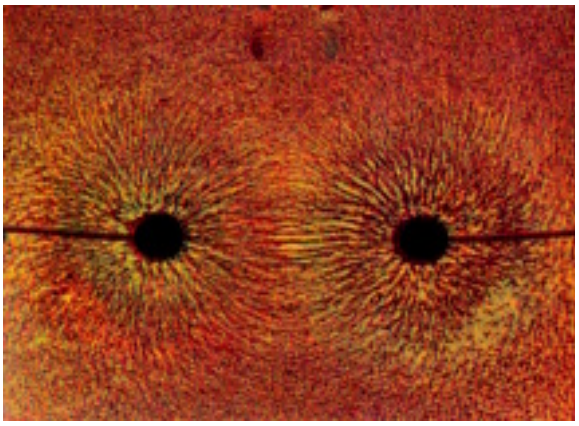
شكل (١٠-٣ب)

مجال كهربى غير منتظم متعامد على سطح كرة مشحونة السطوح متساوية الجهد على شكل كرات متحدة المركز



شكل (١٠-٤أ)

رسم تخطيطى لخطوط قوى كهربية بين شحنتين مختلفتين



شكل (١٠-٤ب)

تخطيط المجال الكهربي بين شحنتين مختلفتين بواسطة قطع خيط صغيرة معلقة فى زيت

تناظر الجهد الكهربى مع جهد الجاذبية

يدلنا قانون كولوم بدوره انه إذا وضعت شحنة ما فى منطقة بالقرب من شحنة أخرى، فإن هذه الشحنة تتأثر بقوة تنافر أو قوة تجاذب، ويتوقف هذا على نوعها، وهذه المنطقة التى يظهر فيها تأثير الشحنة الأولى تسمى المجال الكهربى لها ويرمز لشدة المجال بالرمز ε

تتعين قيمة ε للمجال الكهربى N/C من العلاقة:

$$F = q\,\varepsilon$$

حيث F قوة التنافر أو التجاذب المؤثرة على شحنة مقدارها q(Coulomb).

والعلاقة السابقة يمكن كتابتها كما يلى:

$$\varepsilon = \frac{F}{q} \qquad (10 - 6)$$

ونظرا لأن الكولوم هو وحدة الشحنة الكهربية فإن القوة الكهربية المؤثرة على وحدة الشحنة (الكولوم) هى شدة المجال الكهربى.

بالرجوع إلى قانون كولوم مع وضع شحنة مقدارها 1C على بعد d من شحنة q مركزة فى نقطة يكون :

$$\varepsilon = \text{const.}\ \frac{q \times 1}{d^2}$$

$$\varepsilon = K\ \frac{q}{d^2} \qquad (10 - 7)$$

وهكذا يمكن حساب شدة المجال الكهربى ε عند نقطة معينة بدلالة الشحنة المؤثرة وبعد هذه النقطة عنها. ويمكن تخطيط المجال الكهربى بوضع شحنة موجبة مقدارها واحد كولوم بالقرب من

خصائص الجهد الكهربى:

يعرف الجهد الكهربى لموصل بانه الحالة الكهربية للموصل التى تسمح بانتقال الكهربية منه او إليه عند التلامس بجسم آخر. وتنتقل الشحنات الموجبة من الطرف ذى الجهد الأعلى إلى الطرف ذى الجهد الأقل. ويعبر عن الفرق فى الجهد بين نقطتين بالشغل المبذول لنقل شحنة مقدارها واحد كولوم بين هاتين النقطتين.

$$V = \frac{w}{q} \quad J/C \qquad (10-8)$$

ويقاس فرق الجهد عادة بوحدة تسمى $Volt = \frac{Joule}{Coulomb}$ ، فولت = $\frac{\text{جول}}{\text{كولوم}}$

فالفولت هو فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل قدره جول واحد لنقل شحنة مقدارها كولوم واحد بينهما.

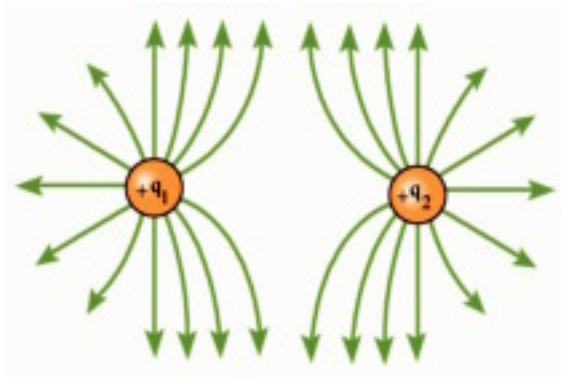
ويعتبر فرق الجهد الكهربى هو المسئول عن انتقال الشحنات من جسم لآخر، إما بالتوصيل المباشر عن طريق التلامس (شكل ١٠-٧) أو بالتفريغ الكهربي (شكل ١٠-٨).

أما فى حالة شحنة نقطية Point Charge موجبة q (شكل ٩-٩) ، فإن خطوط القوة تصدر من الشحنة النقطية وتتجه نحو ما لا نهاية، حيث توجد الشحنة السالبة المناظرة (حتى تتعادل الشحنة فى الكون). فإذا اعتبرنا أن الجهد عند ما لا نهاية = صفر فإن الجهد عند أى نقطة تبعد مسافة d عن الشحنة هو

$$V = \frac{Kq}{d} \qquad (10-9)$$

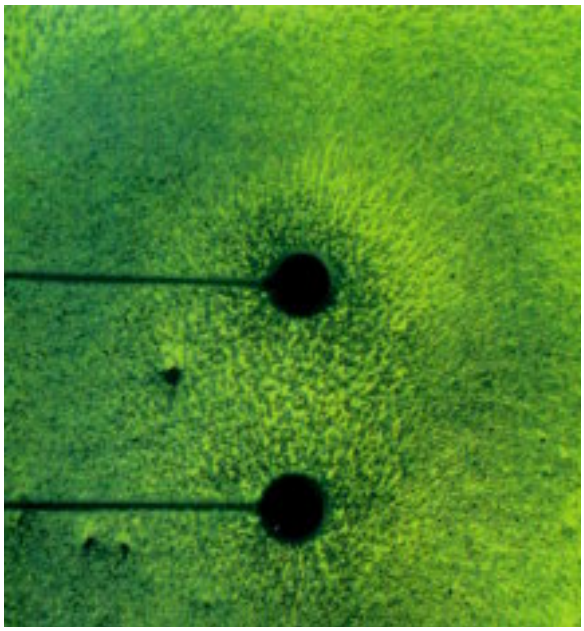
شكل (١٠-٧)

انتقال الشحنة الكهربية نتيجة فرق الجهد بالتواصيل بين جسمين وتنافر الشعر نتيجة وصول الشحنات المتشابهة إليه



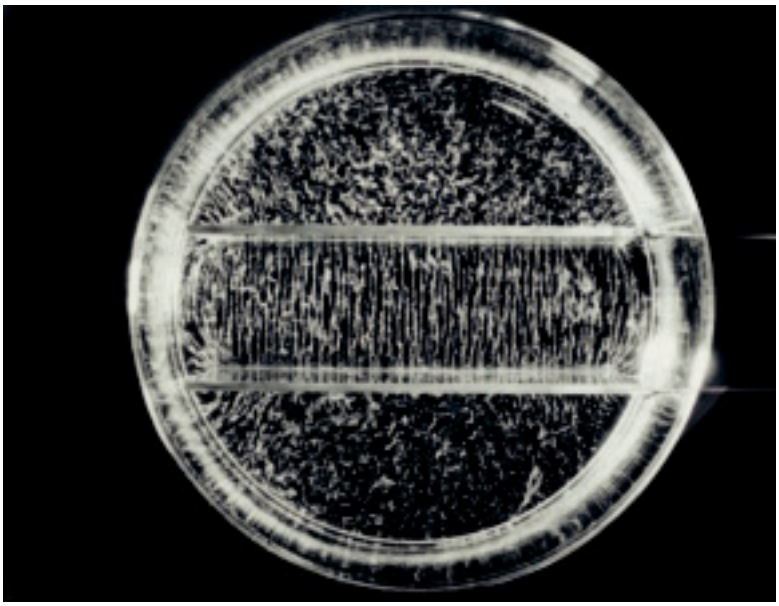
شكل (١٠-٥أ)

رسم تخطيطى لخطوط قوى كهربية بين شحنتين متشابهتين



شكل (١٠-٥ب)

تخطيط المجال الكهربى بين شحنتين متشابهتين بواسطة قطع خيط صغيرة معلقة فى الزيت



شكل (١٠-٦)

رسم تخطيطى لخطوط القوى الكهربية بين لوحتين متوازيين مشحونين بشحنتين مختلفتين

وبنفس الكيفية التى عبرنا بها عن انحدار فرق جهد الجاذبية، يمكن أيضا التعبير عن انحدار فرق الجهد الكهربى بين نقطتين.

فى حالة المجال المنتظم بين نقطتين المسافة بينهما d فإن شدة المجال تعطى بالعلاقة

$$\varepsilon = \frac{V}{d} \qquad 10\text{-}10$$

والجدير بالذكر أنه بينما تكون شدة المجال الكهربى كمية متجهة يكون فرق الجهد كمية قياسية.

أمثلة

١ - جسم كتلته 10kg وضع بالقرب من سطح الأرض. ما القوة المؤثرة عليه إذا كانت شدة مجال الجاذبية للأرض 9.8 N/kg

الحل :

$$F = mg$$
$$= 10 \times 9.8 = 98\ N$$

٢ - رفعت سيارة كتلتها 1000kg راسيا بواسطة رافعة مسافة قدرها 10 m فإذا كانت شدة مجال الجاذبية 9.8 N/kg، فما طاقة جهد الجاذبية للسيارة وهى عند هذا الارتفاع؟

الحل :

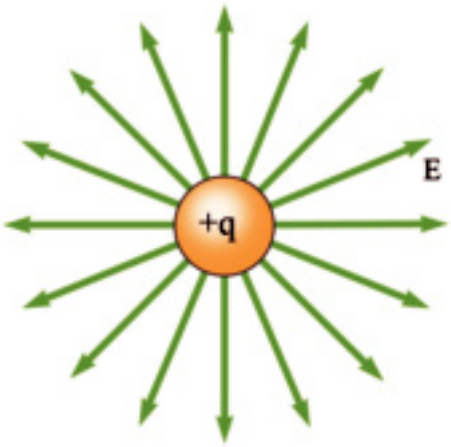
طاقة جهد الجاذبية للسيارة = $mg\Delta d$

$$= 1000 \times 9.8 \times 10 = 98000$$

٣ - شحنة موجبة مقدارها 3×10^{-9} C على بعد 0.1m من جسيم شحنته الموجبة 7×10^{-8} C احسب القوة الكهربية بينهما وعين الاتجاه الذى تؤثر به القوة على كل منهما حيث ثابت التناسب هو $9 \times 10^{9}\ Nm^2/C^2$

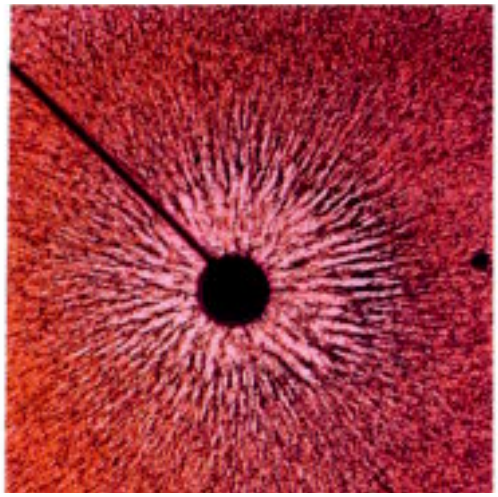
شكل (١٠-٨ هـ)

البرق والصواعق يحدث بفعل التفريغ الكهربى بين
سحب مشحونة كهربيا بينها فرق عال فى الجهد



شكل (١٠-٩أ)

رسم تخطيطى لخطوط مجال شحنة نقطية موجبة
تمتد إلى ما لا نهاية



شكل (١٠-٩ب)

تخطيط المجال الكهربى لشحنة نقطية بواسطة
قطع خيط صغيرة معلقة فى زيت

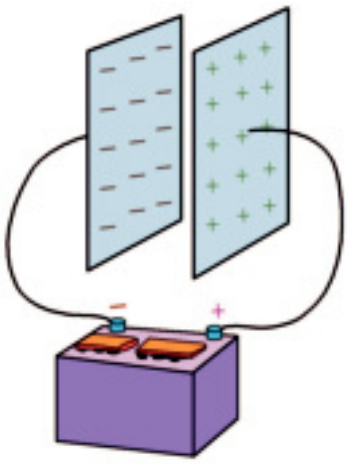
المكثف Capacitor

يتكون المكثف من سطحين معدنيين بينهما مادة عازلة تتجمع الشحنة الموجبة على أحد السطحين والشحنة السالبة على السطح الآخر (شكل ١٠-١١أ). وينشأ فرق جهد استاتيكي بين اللوحين بسبب وجود الشحنتين، كما ينشأ مجال كهربى بينهما.

وقد وجد أن النسبة بين الشحنة وفرق الجهد كمية ثابتة تتغير على حسب تصميم المكثف والمادة العازلة به.

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (10\text{-}11)$$

حيث Q هى قيمة الشحنة على أى من اللوحين وV هى فرق الجهد بينهما وC تسمى السعة Capacitance وتقاس بوحدة فاراد Farad(F)



شكل (١٠-١١أ)
شحن سطحى المكثف بنوعين مختلفين من الشحنات

وفى حالة المكثف المكون من لوحين متوازيين حيث d هى المسافة الفاصلة بين اللوحين فإن

$$V = \varepsilon d \qquad (10\text{-}12)$$

وهناك أشكال متعددة للمكثف (شكل ١٠-١٠ب) ويرمز المكثف بالرمز (شكل ١٠-١٠جـ) بصرف النظر عن تركيبه أو شكله. وإذا شحن المكثف بفرق جهد مستمر DC لايمر فيه تيار كهربى (شكل ١٠ - ١٠د) فى الوضع النهائي ولكن يُمر تيار شحن ينتهى عند تمام الشحن بعد زمن يتوقف على ما فى الدائرة الكهربية من مقاومة.

شكل (١٠-١٠ب)
أنواع مختلفة من المكثفات

حيث ع : سماحية الوسط
A = المسافة المتقابلة من اللوحين
B = المسافة بينهما

الحل :

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{(3 \times 10^{-9})(7 \times 10^{-8})}{0.1 \times 0.1}$$

$$= 189 \times 10^{-6} N$$

وتعمل القوة المؤثرة على كل شحنة على استقامة الخط الواصل بين الشحنتين واتجاهها إلى الخارج (قوة تنافر).

٤ - شحنة كهربية سالبة مقدارها ($5 \times 10^{-10} C$) وضعت فى مجال كهربى شدته $0.1 N/C$ احسب القوة المؤثرة عليها وبين اتجاهها.

الحل :

$$F = q\varepsilon$$

$$= 5 \times 10^{-10} \times 0.1$$

$$= 5 \times 10^{-11} N$$

واتجاهها عكس اتجاه المجال لأن الشحنة سالبة.

٥ - شحنة مقدارها $6 \times 10^{-6} C$ احسب شدة المجال الكهربى وكذا الجهد الكهربى لها عند نقطة على بعد $0.3m$ حيث ثابت التناسب = $9 \times 10^9 Nm^2/C^2$

الحل :

$$\therefore \varepsilon = K \frac{q}{d^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-6}}{0.3 \times 0.3}$$

$$= 6 \times 10^5 N/C$$

$$\therefore V = K \frac{q}{d}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-6}}{0.3}$$

$$= 18 \times 10^4 \text{ Volts}$$

معلومة إثرائية

التماثل فى الطبيعة

فرق الجهد الكهربى وفرق درجة الحرارة وفرق الأرتفاع «فرق جهد الجاذبية» هى كميات متماثلة فى الطبيعة، وهى المسببات أما الاستجابة Response فهى التأثير الناتج Effect كما يلى:

فرق الجهد الكهربى يؤدى إلى تخزين شحنات مثل المكثف فى حالة الكهربية الاستاتيكية، أما فى حالة الكهربية الديناميكية «فصل ١١» فإن فرق الجهد يؤدى إلى تيار $V = QC(static) V = \frac{Q}{C}$

$$V = IR(dynamic)$$

وتوجد علاقة طردية بين المسبب والتأثير الناتج والمجال الكهربى ε يعطى بالعلاقة

$$V = \varepsilon d$$

ويسمى ε =v/d معدل انحدار الجهد الكهربى، وفى حالة درجة الحرارة

$$Q_{th} = C_{th} \Delta t°C$$

أى

$$\Delta t°C = \frac{1}{mc_{th}} Q_{th}$$

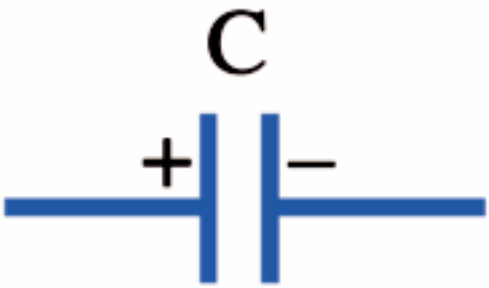
إذا السبب هو فرق درجات الحرارة والتأثير وهو أنسياب كمية حرارة، ويمكن تعريف معدل انحدار الحرارة مع المسافة بالعلاقة: $\Delta t°C / d$

وفى حالة الجاذبية $PE = mgd$

فرق الجهد الناشئ عن الجاذبية $V_g = gd$

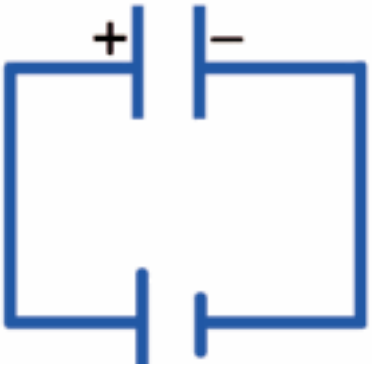
ومجال الجاذبية هو معدل انحدار جهد الجاذبية g

السبب هو الارتفاع أو فرق جهد الجاذبية والتأثير هو الحركة بتأثير المجال وهو السقوط الحر، وهكذا نرى التماثل فى الطبيعة.



شكل (١٠-١٠جـ)

الرمز العلمى للمكثف فى الدوائر الكهربية



شكل (١٠-١٠د)

مكثف مشحون فلا يمر فيه تيار كهربى

معلومة إثرائية

استخدام المكثفات

تستخدم المكثفات فى تخزين الطاقة الكهربية كما يستخدم فى حماية طرفى دائرة الاشتعال بالسيارات من الشرارة الكهربية، وتستخدم فى عزل خطوط القوى اس لكهربية «شكل ١٠-١١» وأيضاً من أهم تطبيقات استخدام المكثفات فى دوائر الراديو والتليفزيون لاختيار محطة معينة «التوليف Tuning»

شكل (١٠-١١)

المكثف يستخدم فى عزل خطوط القوى الكهربية المعلقة

تلخيص

- قانون الجذب العام هو $F = \frac{G m_1 m_2}{d^2}$

قانون كولوم هو $F = \frac{K q_1 q_2}{d^2}$

- قانونا الجذب العام وكولوم متماثلان فى الشكل. المتغيران هما ثابت التناسب والكمية الفيزيائية.
- لكل قوة مجال. بعبارة اخرى لكل قوة منطقة يظهر فيها تأثيرها.
- شدة مجال الجاذبية هى قوة الجاذبية التى تؤثر على كتلة مقدارها واحد كيلوجرام وتميز بوحدة هى N/kg
- شدة مجال الجاذبية عند نقطة على بعد d من كتلة مقدارها m هى:

$$g = \frac{G m}{d^2}$$

- القوة المؤثرة على كتلة m_2 هى $F = m_2 g$
- فرق جهد الجاذبية بين نقطتين هو مقدار الشغل المبذول لنقل وحدة الكتل بينهما ويعبر عنه بالعلاقة:

$$V = \frac{\Delta(PE)}{m} = g\Delta d$$

- انحدار جهد الجاذبية للمجال هو $\frac{V}{\Delta d}$
- جهد الجاذبية لجسم على ارتفاع y من سطح الأرض = mgy حيث m كتلة الجسم. g شدة مجال الجاذبية، y الارتفاع الرأسى.
- تتعين شدة المجال الكهربى من العلاقة.

$$\varepsilon = \frac{F}{q}$$

معلومة إثرائية

أين مالا نهاية؟

يظن البعض أن مالانهاية تبعد عن كوكب الأرض حيث تلتقى هناك خطوط المجال الناشئ عن شحنة نقطية موجبة.

قد تكون مالانهاية أقرب بكثير من هذا حيث أن علاقة المجال تتناسب عكسياً مع مربع المسافة فعند مسافة ليست كبيرة تكون شدة المجال قد تهاوت بحيث تصل إلى الصفر، وقد أصطلح على أن مستوى الجهد صفر هو سطح الأرض حيث توجد الشحنة السالبة موزعة على سطح الأرض للتتعادل مع الشحنة النفطية الموجبة والمعزولة.

أسئلة وتمارين

أولاً : عرف كلا من:

(١) قانون كولوم.

(٢) شدة مجال الجاذبية.

(٣) سطح تساوى الجهد.

(٤) شدة المجال الكهربى عند نقطة.

(٥) فرق الجهد بين نقطتين.

(٦) الفولت.

ثانياً : ضع علامة (✓) أمام الاختيار الصحيح :

١ - شدة مجال الجاذبية وحدتها:

(أ) m/s^2

(ب) N/kg

(جـ) J/kgm

(د) الإجابات أ، ب، جـ صحيحة.

٢- شدة المجال الكهربى تقدر بوحدة:

(أ) N/kg

(ب) N/kgm

(جـ) N/C

(د) لا توجد إجابة صحيحة.

٣ - إذا كانت شدة مجال الجاذبية على القمر 1.62 N/kg تكون القوة المؤثرة هنالك على جسم كتلته 100kg :

(أ) 81N

(ب) 162N

(جـ) 324N

(د) 486N

٤- رفعت سيارة نقل فى محطة بنزين لغسلها مسافة رأسية تساوى مترين، فإذا كانت كتلة السيارة 3000kg وكانت شدة الجاذبية 10N/kg فإن جهد الجاذبية للسيارة عندئذ:

أى أن شدة المجال الكهربى عند نقطة هى القوة المؤثرة على وحدة الشحنات الموجبة (1C) الموجودة عند تلك النقطة.

- تتعين شدة المجال الكهربى عند نقطة على بعد d من شحنة q من العلاقة.

$$\varepsilon = \frac{Kq}{d^2}$$

أو

$$\varepsilon = \frac{V}{d}$$

- القوة المؤثرة على شحنه q هى $F = q\varepsilon$
- السطوح متساوية الجهد هى سطوح تكون جميع النقط عليها لها نفس الجهد.
- فرق الجهد بين نقطتين فى مجال كهربى هو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات بين هاتين النقطتين.
- الفولت هو فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل قدره جول واحد لنقل شحنة قدرها كولوم واحد بينهما.

الكهربية

الوحدة الثانية

الفصل الحادى عشر

الكهربية الديناميكية (التيارية) والمغناطيسية

(أ) 6×10^{-4} J

(ب) 6×10^{4} N

(جـ) 6×10^{4} J

(د) 6×10^{-4} N

٥ - شحنة موجبة مقدارها 5×10^{-8} C على بعد 0.5m من شحنة مساوية لها. فإذا كان ثابت التناسب 9×10^{9} Nm^2/C^2 فإن القوة المتبادلة بينهما :

(أ) 9×10^{-5} N

(ب) 18×10^{-5} N

(جـ) 4.5×10^{-5} N

(د) 13.0×10^{-5} N

٦ - وضعت شحنة موجبة مقدارها 8×10^{-12} C في مجال كهربى شدته 0.5 N/C فتاثرت بقوة تساوى.

(أ) 4 N

(ب) 4000 N

(جـ) 4×10^{-11}N

(د) 4×10^{-12}N

٧- شحنة مقدارها 6.4×10^{-10}C تكون شدة مجالها عند نقطة على بعد 0.4m

$(K = 9x10^9 Nm^2/C^2)$

(أ) 36 N

(ب) 36 N/C

(جـ) 3.6 N/C

(د) 72 N

٨ - من بيانات المسألة السابقة يكون الجهد الكهربى للشحنة عند نفس النقطة :

(أ) 14.4 Volt

(ب) 25.6 Volt

(جـ) 28.4 Volt

(د) 36 Volt

الموصل والتى تقوم بدورها بالتخلص منها إلى الوسط صورة إشعاع، مثلما يحدث فى المصباح الكهربى (شكل ١

وبالتالى لكى نحصل على انتقال مستمر للشحنات الـ الموصل لابد ان نوفر له ما يلى:

١- تزويد أحد طرفيه بشحنات كهربية

٢- سحب هذه الشحنات من طرفه الآخر.

ويتطلب هذا بدوره :

(أ) وجود مصدر كهربى

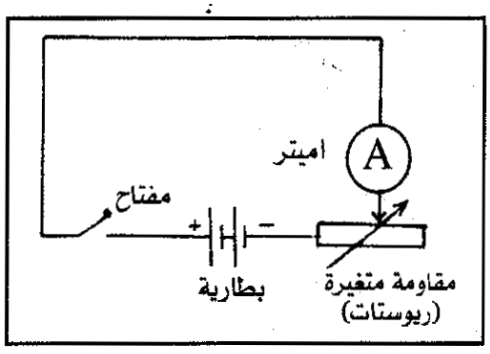
(ب) وجود مسار مغلق تنتقل خلاله الشحنات مت دورة كاملة تسمى الدائرة الكهربية Electric Circuit بـ بكون التيار متواصلاً وثابتاً فى الدائرة.

شكل (١١-٣)

المصباح الكهربى يتوهج بسبب إنتقال الطاقة من الإلكترونيات الى ذرات الموصل التى تقوم بدورها بإشعاع الطاقة فى صورة ضوء مرئى

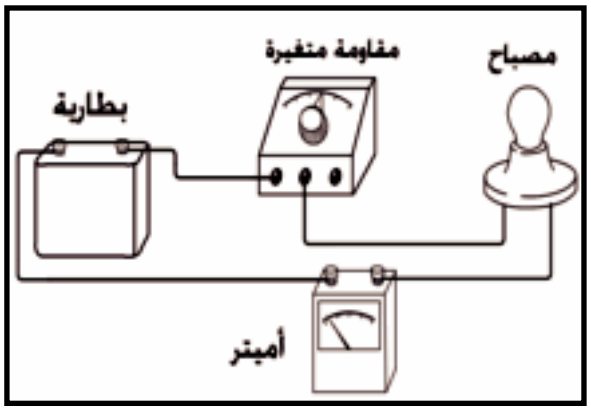
الدائرة الكهربية Electric Circuit

اى دائرة كهربية بسيطة يمكن ان تتكون من بطارية وا معا على التوالى Series (شكل ١١-٤). ويستخدم جهاز انحراف مؤشر الأميتر أو عدم انحرافه (شكل ١١ -



شكل (١١-٤أ)

رسم تخطيطى لدائرة كهربية بسيطة على التوالى



شكل (١١-٤ب)

طريقة توصيل دائرة على التوالى

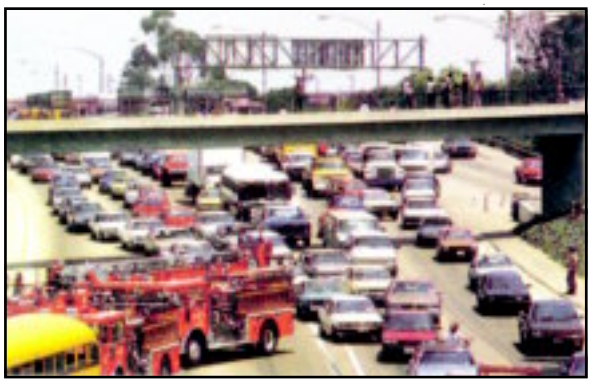
الفصل الحادى عشر

الكهربية الديناميكية (التيارية) والمغناطيسية

مقدمة:

تتضمن الكهربية الديناميكية كل الظواهر المترتبة على حركة الشحنات الكهربية خلال موصل. فالموصل الكهربى هو مادة يمكن أن تنتقل خلالها الشحنات الكهربية.

وفى الفلزات توجد بعض الالكترونات التى تعرف بالالكترونات الحرة لضعف ارتباطها بذراتها. لذلك يمكن لهذه الالكترونات أن تتحرك متجولة داخل الفلز.

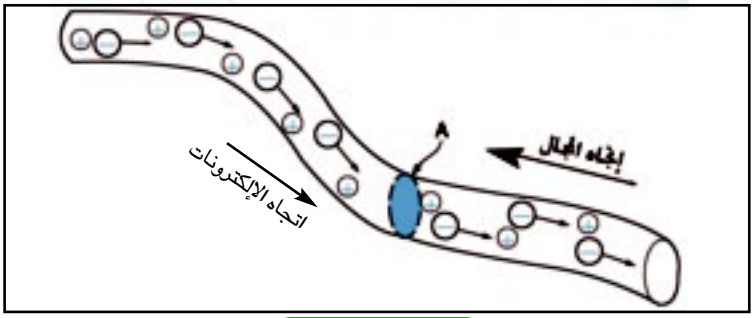


شكل (١١-١)

المقاومة تعوق حركة المرور أو التيار

لذلك يكون التيار الكهربى فى الفلز ناتجا عن حركة موجهة لهذه الالكترونات، ومع ذلك، فهذه الحركة يوجد ما يعوقها، مثلما يختنق المرور فى طريق مزدحم فتصعب الحركة فيه (شكل ١١ - ١).

فوضع موصل فى مجال كهربى بالكيفية الموضحة بالشكل (١١ - ٢) ينتج عنه انتقال لبعض الالكترونات الحرة من طرف لطرف آخر، فى عكس اتجاه المجال المؤثر، بينما تظل الأيونات الموجبة ثابتة، وقد اصطلح على أن حركة إلكترونات وهى فى عكس اتجاه المجال تكافئ تيارا فى اتجاه المجال.



شكل (١١-٢)

الالكترونيات الحرة تتحرك داخل الموصل بفعل المجال الكهربى

وينشأ عن مقاومة التيار داخل موصل إنتقال جزء من الطاقة الكهربية للإلكترونات إلى ذرات

التيار الكهربى Electric Current

هو فيض من الشحنات الكهربية يسرى من أحد
الآخر. وقد اصطلح على أن التيار يسرى من القطب
خارج المصدر.

العالم أمبير

شدة التيار الكهربى

تقاس شدة التيار الكهربى I المار فى دائرة كهربية
مقطع معين فيها فى زمن قدره واحد ثانية

∴ شدة التيار الكهربى = كمية الكهربية المارة عبر
زمن مرورها با

وعندما تكون كمية الكهربية مقدَّرة بالكولوم والزم

∴A = C/s ١ أمبير

الأمبير

هو شدة التيار المار فى دائرة كهربية عندما يكون
الثانية وسميت هذه الوحدة باسم العالم أمبير Ampere
بجهاز يسمى الأميتر Ammeter.

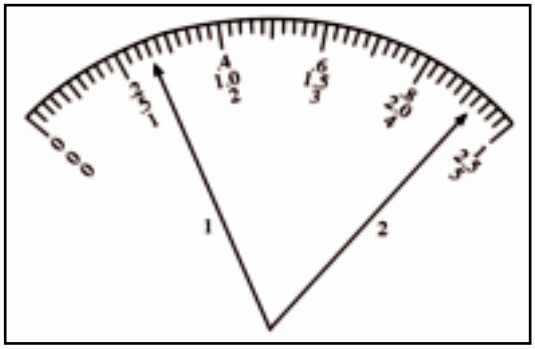
فرق الجهد بين نقطتين فى دائرة كهربية

لا تنتقل الشحنات الكهربية من نقطة إلى أخرى فى
إلا تحت وجود فرق فى الجهد الكهربى (V) بين هاتي
أن علمنا هو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنة الكهربي

∴ فرق الجهد بين النقطتين = الشغل المبذول / كمية الكهربية

وعندما يكون الشغل المبذول مقدَّرا بالجول وكمي

العالم ڤولتا



شكل (١١-٤جـ)

إنحراف مؤشر الأميتر دلالة على مرور تيار

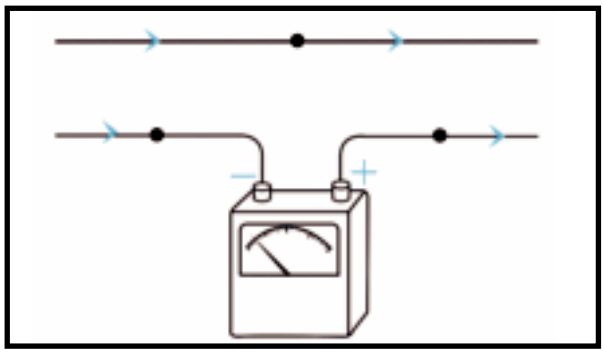
فى الدائرة، لذلك ينبغى ملاحظة ما يحدث له عند غلق او فتح الدائرة. وتوصيل الأميتر(شكل ١١ - ٥) دائماً يكون على التوالى مع اى دائرة، ومن ذلك نتبين ان مرور تيار كهربى فى دائرة كهربية يتطلب ما يأتى:

(١) وجود دائرة مغلقة تكون بمثابة ممر موصل للتيار الكهربى.

(٢) وجود بطارية او اى مصدر آخر للجهد الكهربى.

شكل (١١-٥أ)

الأميتر

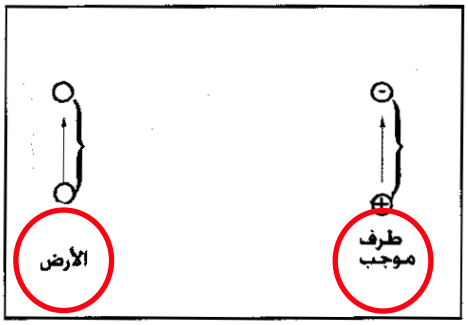


شكل (١١-٥ب)

توصيل الاميتر دائما على التوالى مع الدائرة

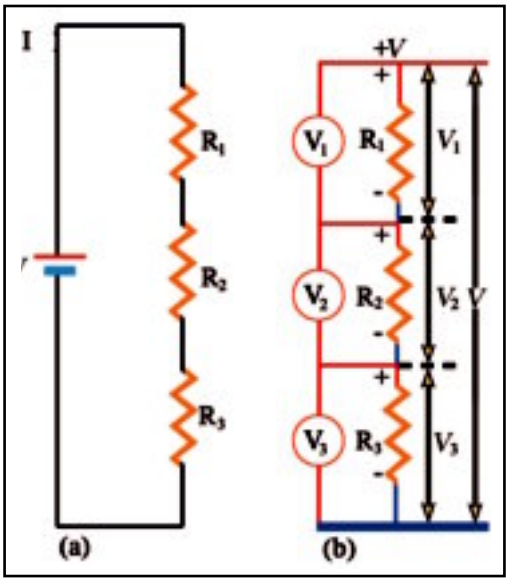
فعمل البطارية فى الدائرة الكهربية شبيه تماما بعمل مضخة تدفع الشحنات الكهربية للمرور فى الدائرة. والقوة الدافعة الكهربية Electromotive Force (emf) للبطارية تنتج عن تغيرات كيميائية تحدث داخل البطارية.

حيث V_B هو فرق جهد البطارية المسلط على المقاومات R_1 , R_2 , R_3 بالدائرة و I شدة التيار الكلى المار بالدائرة وهو ثابت فى حالة التوصيل على التوالى فى جميع المقاومات. يمكن تشبيه تجزئة فرق جهد البطارية بين مجموع المقاومات المتصلة على التوالى بكرة تتدحرج من قمة مدرج إلى اسفل على عدة مراحل، بحيث تفقد فى كل درجة جزءاً من طاقة وضعها إلى أن تفقد كل مابها من طاقة وضع عند آخر درجة تهبط إليها فى بداية المدرج.



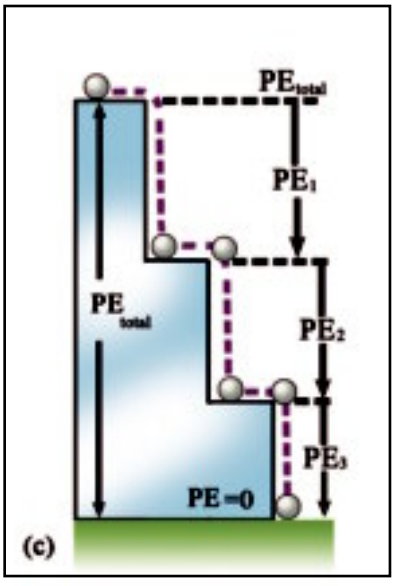
شكل (١١-٦أ)

تشابة حركة إلكترون يتحرك من الطرف السالب إلى الطرف الموجب مع حركة كرة تسقط من إرتفاع على سطح الأرض بفعل الجاذبية الأرضية



شكل (١١-٦ب)

دائرة متصلة على التوالى تتكون من ثلاث مقاومات



شكل (١١-٦جـ)

توزيع فرق الجهد فى حالة التوصيل على التوالى مقابل تبديد طاقة الوضع لكرة تتدحرج من أعلى مدرج إلى أسفل

بالكولوم فإن فرق الجهد يقدر بالفولت، 1 فولت = $\frac{\text{1 جول}}{\text{1 كولوم}}$

وبذلك تكون وحدات الفولت هى، $V = J/C$

والفولت كما علمنا هو فرق الجهد بين نقطتين إذا انتقلت بينهما شحنة كهربية قدرها واحد كولوم وكان الشغل المبذول قدره واحد جول (Joule). وسميت وحدة فرق الجهد فولت نسبة للعالم فولتا Volta. ويقاس فرق الجهد بين نقطتين فى دائرة كهربية بجهاز يوصل على التوازى Parallel بين النقطتين ويسمى فولتميتر Voltmeter.

علاقة فرق الجهد بشدة التيار

إصطلح على أن إتجاه التيار الكهربى هو عكس إتجاه حركة الالكترونات فى الموصل بسبب المجال الكهربى. فعندما يكون الموصل تحت تأثير فرق جهد فإن الإلكترونات السالبة تتحرك من الطرف السالب إلى الطرف الموجب. ويعبر عن ذلك بتيار يخرج من الطرف الموجب للبطارية إلى الدائرة، ثم يدخل إلى الطرف السالب، ويستمر ذلك فى مسار دائرى مغلق. وقد قام العالم اوم Ohm بدراسة العلاقة بين شدة التيار المار فى موصل وفرق الجهد الكهربى بين طرفيه، وتوصل إلى العلاقة الرياضية التالية

$$\frac{V}{I} = R \qquad (11\text{-}1)$$

حيث V هى فرق الجهد بين طرفى الموصل و I هى شدة التيار الكهربى المار فيه، أما R فهى مقدار ثابت يختلف من موصل لآخر، ويسمى مقاومة الموصل وتقاس بوحدة تسمى الأوم نسبة للعالم اوم Ohm، ويرمز لها بالرمز أوميجا (Ω). ويعرف الأوم كوحدة لقياس المقاومة الكهربية بانه مقاومة موصل يمر به تيار شدته واحد أمبير عندما يكون فرق الجهد بين طرفية واحد فولت.

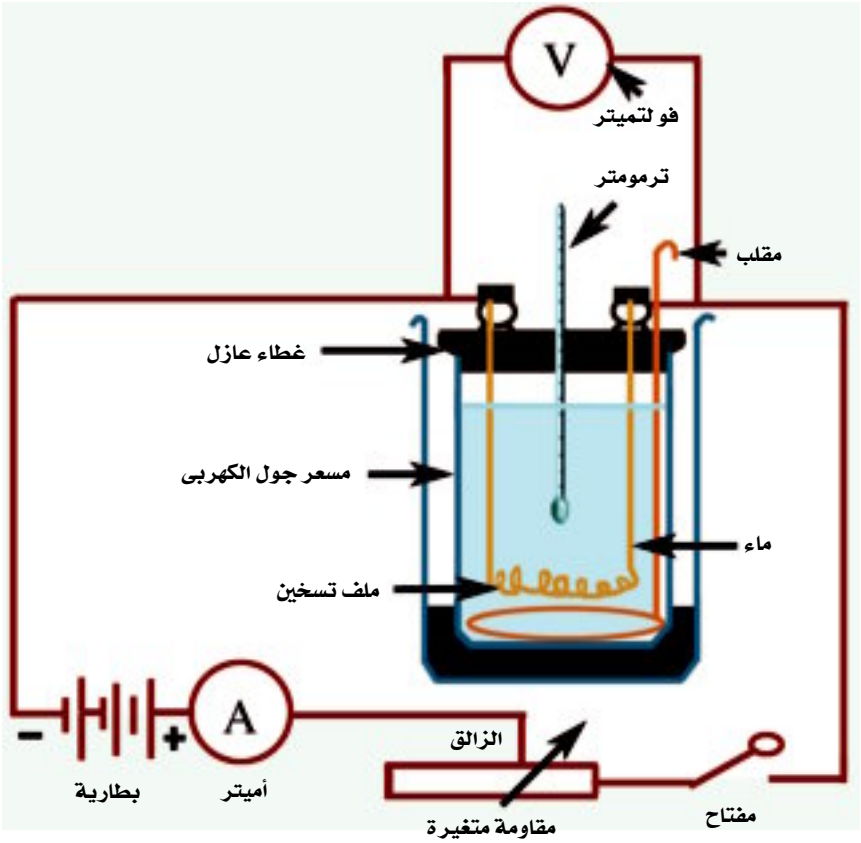
$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

إذا وصل اكثر من مقاومة كهربية مع مصدر لفرق الجهد علي التوالى فإن التيار المار فى هذه الدائرة خلال جميع المقاومات يكون ثابتاً (شكل ١١-٦). أما فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة فيختلف عن الآخر، ولكن يظل مجموع فروق الجهد لكل مقاومات الدائرة مساوياً لفرق الجهد الأساسى المسلط على الدائرة من البطارية.

أى أن

$$V_B = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_B = IR_1 + IR_2 + IR_3$$



شكل (١١-٧)

قياس الطاقة الكهربية المستنفذة فى مقاومة كهربية

الحرارة المتولدة = الطاقة الكهربية المستنفذة.

خطوات العمل :

١- نعين كتلة المسعر فارغاً ثم نضع به كمية مناسبة من الماء ونعين كتلته ثم نوجد كتلة الماء.

٢- نصل الدائرة الموضحة بالرسم - ثم نغلق الدائرة للتعرف على الحدود المناسبة لشدة التيار ثم نفتح الدائرة.

٣- نعين درجة حرارة الماء والمسعر الأصلية ($t_1^{\circ}C$) بالترمومتر.

٤- نغلق الدائرة ليمر التيار ثابت الشدة لمدة معينة من الزمن ولتكن 10 دقائق ونعين شدة التيار المار فى الدائرة من الأميتر وفرق الجهد بين طرفى سلك التسخين من الفولتيمتر، وفى نهاية الزمن نفتح الدائرة ونعين درجة الحرارة النهائية $t_2^{\circ}C$.

القوة الدافعة الكهربية لمصدر كهربى

تقدر بالفولت وهى الشغل الكلى المبذول لنقل شحنة كهربية قدرها 1C عبر الدائرة الكهربية والمصدر.

الطاقة الكهربية والحرارة المتولدة فى الأسلاك:

علمنا أن سريان التيار الكهربى فى موصل كسلك معدنى يتطلب وجود فرق جهد بين طرفيه. وفرق الجهد بين نقطتين يتعين من العلاقة :

$$V = \frac{W}{q} \text{ volt} \qquad (11\text{-}2)$$

حيث W الشغل المبذول مقدرا بالجول، q كمية الكهربية مقدرة بالكولوم، وهذه العلاقة يمكن كتابتها على الصورة .

$$W = Vq \text{ J}$$

$$q = It \qquad (11\text{-}3)$$

حيث I شدة التيار الكهربى بالأمبير، t زمن مروره بالثانية

وبالتعويض

$$W = VIt \text{ J} \qquad (11\text{-}4)$$

هذا الشغل المبذول يمثل الطاقة الكهربية المستنفذة فى الأسلاك.

والطاقة الكهربية المستنفذة فى الأسلاك تظهر فى صورة زيادة فى الطاقة الداخلية لها، فترتفع درجة حرارتها عن الوسط المحيط، فتنتقل منها الحرارة إلى هذا الوسط، بالتوصيل والحمل والإشعاع. الطاقة الحرارية الناتجة تساوى الطاقة الكهربية المستنفدة. لتبقى درجة الحرارة ثابتة فى الاتزان الديناميكى. ويمكن التحقق من ذلك من خلال التجربة الآتية:

تجربة لقياس الطاقة الكهربية المستنفذة فى مقاومة كهربية:

يستخدم لهذا الغرض مسعر جول والدائرة الكهربية الموضحة فى الشكل (١١ - ٧) بمعرفة كتلة المسعر وهو فارغ وكتلة الماء المحتوى عليه ودرجة الحرارة قبل غلق الدائرة. ثم تعين درجة الحرارة النهائية بعد إغلاق الدائرة لمدة ربع او ثلث ساعة مع تسجيل قراءة الأميتر لتعيين شدة التيار بالأمبير وقراءة الفولتمتر لتعيين فرق الجهد بين طرفى ملف التسخين بالفولت، بعد ان تجرى حسابات الطاقة الكهربية المستنفدة والحرارة الناتجة كل على حدة، ومن نتائج التجربة يمكن إثبات أن:

معلومة إثرائية

أهمية المقاومة الكهربية Circuit breaker

المقاومة الكهربية هى التى تحدد قيمة شدة التيارة، فلو أن المقاومة الكهربية كانت صفراً لكانت قيمة التيار الكهربى لانهائية «حيث v قيمة محدودة» فيحدث ما يسمى دائرة القصر Short Circuit «ماس» وهو ما يسبب الحرائق، ومن المهم حماية أى جهاز من حدوث ذلك بوجود مفتاح تلقائى Circuit breaker يفتح الدائرة فى حالة ارتفاع قيمة شدة التيار عن قيمة محددة، وعاد تكون مقاومة اسلاك التوصيل صغيرة إا أن مد السلك لمسافات طويلة يسبب هبوط فى قيمة فرق الجهد Voltage Drop يظهر تأثيره فى خطوط نقل الكهرباء، بحيث تنخفض قيمة فرق الجهد عند طرف التوزيع Distribution Terminal عن قمية فرق الجهد المتولد عند محطة التوليد Power Generation Plant.

ولذلك تبذل جهود فى تخفيض قيمة مقاومة الأسلاك قدر الإمكان، وتستخدم المقاومات فى كثير من الدوائر الإلكترونية، حيث تلحم أطرافها مع باقى مكونات الدائرة «شكل ١١-٨». ويوجد نظام ألوان Color Code تعين على قراءة قيمة المقاومة بمجرد النظر إليها.

شكل (١١-٨)

مقاومات ماتحمة مع بعضها

النتائج :

كتلة المسعر فارغاً Kg ..... m_1 =

كتلة المسعر والماء Kg ..... m_1' =

كتلة الماء Kg ..... m_2' =

درجة حرارة الماء والمسعر الأصلية °C ..... t_1 °C =.

شدة التيار A ..... I =

فرق الجهد V ..... V =

زمن مرور التيار s ..... t_o=

درجة الحرارة النهائية °C ..... t_2 °C =

تحسب الطاقة الكهربية بالجول من العلاقة $W = I\ V\ t$ Joule

ثم نحسب كمية الحرارة المتولدة بالجول وهى تساوى

كتلة المسعر × حرارته النوعية × (t_2 °C - t_1 °C) + كتلة الماء × 4200 × (t_2 °C - t_1 °C)

هل تأكدت الآن أن كمية الحرارة المتولدة تساوى الطاقة الكهربية المستنفذة ؟

النتائج المترتبة على تولد حرارة فى الموصلات

١- نتائج غير مرغوب فيها: حيث تتولد حرارة فى الأسلاك أثناء مرور التيار الكهربى تتفاوت مقاديرها حسب مقاومة الأسلاك وشدة التيار. وتمثل جزءا مفقودا من الطاقة علاوة على ما قد تسببه من تلف فى الأسلاك والأجهزة عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار كبير.

٢- نتائج مرغوب فيها فى بعض الأجهزة الكهربية المصممة لهذا الغرض مثل السخان الكهربى أو المكواة. ويتركب السخان من أسلاك من مادة ذات مقاومة نوعية عالية (مثل النيكل-كروم) على هيئة ملفات تلف على قطع عازلة من الفخار أو الميكا. وتكون الملفات ذات أطوال ومقاومات مناسبة لا تسمح بارتفاع درجة الحرارة إلى الحد الذى يؤدى إلى انصهارها.

بالتعويض عن W من المعادلة (4 - 11) يكون

$$P_w = \frac{V I t}{t}$$

$$\therefore P_w = V I \qquad (11\text{-}6)$$

وحدات القدرة : عندما يكون فرق الجهد بالفولت وشدة التيار بالأمبير فإن وحدة القدرة هى لوات Watt

كذلك 1kW = 1000 Watt

وبمعرفة قدرة أى جهاز كهربى يمكن حساب تكاليف استهلاكه للكهربية من العلاقة :

تكاليف الاستهلاك = قدرة الجهاز بالكيلووات × زمن الاستخدام بالساعة × ثمن الكيلووات ساعة.

تجربة تعيين الحرارة النوعية للألومنيوم بطريقة كهربية:

نستخدم لذلك كتلة من الألومنيوم عبارة عن أسطوانة مصمتة قطرها حوالى 7.5cm وارتفاعها (8 - 10)cm تحتوى على تجويفين راسيين احدهما عند محور الأسطوانة معد لوضع جهاز التسخين الكهربى (السخان)، والآخر جانبى ويوضع فيه الترمومتر وتوضع اسطوانة الألومنيوم داخل غلاف من مادة عازلة.

يتركب جهاز التسخين أو السخان من أسطوانة معدنية (الومنيوم) مجوفة بداخلها أسلاك التسخين معزولة عزلا جيدا.

ويعمل السخان الكهربى على فرق جهد 12V وبقدرة 50W ويناسب قطر جهاز التسخين قطر التجويف المعدلة فى أسطوانة الألومنيوم. وبذلك فإن اسطوانة الألومنيوم والسخان يشكلان ما يسمى مسعر الألومنيوم ويكون معلوم كتلته بالضبط (كتلة الألومنيوم).

وتستخدم فلزات أخرى كالحديد والنحاس وغيرها على شكل كتل اسطوانية ذات ابعاد مختلفة مناسبة.

يعد الجهاز بوضع كل من الثرمومتر والسخان فى موضعه - يوصل السخان الكهربى فى دائرة كهربية كالموضحة بالرسم (شكل ١١ - ٩).

مثـــــــال:

فى تجربة مسعر جول كانت شدة التيار الكهربى فى ملف التسخين 1A وفرق الجهد بين طرفيه 2 V وزمن التيار 35.75 min وكتلة مسعر جول 0.01 kg وحرارته النوعية 900 J/kg °K وكتلة الماء به 0.1kg . فإذا كان الارتفاع فى درجة حرارة المسعر والماء نتيجة لمرور التيار فى ملف التسخين 10 °C فاحسب كلا من الطاقة الكهربية المستنفدة والحرارة الناتجة.

الحل :

الطاقة الكهربية المستنفدة = $W_1 = V\,I\,t$

$$W_1 = 2 \times 1 \times (35.75 \times 60)$$
$$= 4290\ J$$

كمية الحرارة التى يكتسبها المسعر $(Q_{th})_1 = mC_{th}\,(\Delta t°C)$

$$= 0.01 \times 900 \times 10 = 90\ J$$

كمية الحرارة التى يكتسبها الماء $(Q_{th})_2 = 4200 = 0.1 \times 4200 \times 10$

كمية الحرارة الناتجة $W_2 + W_3 = 90 + 4200 = 4290J$

مما سبق نتبين أن الطاقة الكهربية المستنفدة W_1 والطاقة الحرارية $(Q_{th})_1 + (Q_{th})_2$ الناتجة متساويتان.

الوحدات التجارية التى تقدربها الطاقة الكهربية المستنفدة:

تقدر الطاقة الكهربية المستنفدة بالجول، كما تقدر فى الاستخدامات اليومية بوحدة الكيلو وات ساعة

$$1kWh = 3.6 \times 10^6\ J$$

والكيلو وات. ساعة يكفى لإنارة مصباح 100Watt لمدة عشر ساعات، أو إنارة مصباح سهارى 25Watt لمدة 40 ساعة أو تسخين 8.6 لتر من الماء من 0°C إلى قرب درجة الغليان.

ويستخدم العداد الكهربى فى المنازل والمنشآت لتسجيل الطاقة الكهربية المستنفذة بالكيلوات ساعة.

القدرة الكهربية Electric Power

يقصد بالقدرة المعدل الزمنى لبذل الشغل. فإذا رمزنا للقدرة بالرمز P_w والشغل بالرمز W والزمن الذى يبذل خلاله الشغل بالرمز t فإن :

$$P_w = \frac{W}{t}\ Watt \qquad (11\text{-}5)$$

أهمية معرفة قدرة أى جهاز من الأجهزة الكهربية المستخدمة فى المنازل

فى حالة استخدام جهاز تسخين مكتوب عليه قدرته وفرق جهد التشغيل (بالفولت) يمكن الاستغناء عن استخدام الأميتر والفولتميتر فى الدائرة. وبذلك يمكن حساب الطاقة الكهربية المستنفذة بالجول وهى تساوى القدرة بالوات × زمن مرور التيار بالثانية

$$W = P_w \times t$$

تستخدم فى المنازل أجهزة كهربائية ذات قدرات مختلفة. وأكثر الأجهزة المنزلية استهلاكا للكهرباء هى الأجهزة الحرارية مثل السخان والدفاية إذ أن قدرتها تتراوح بين 3000W – 1000 كما أن أجهزة التكييف أيضا ذات قدرات عالية.

ومن حساب قدرات الأجهزة التى تستخدم فى منزلك يمكنك حساب حد الأمان فى شبكة التوصيلات الكهربية داخل المنزل - إذ أنه عند زيادة قدرات الأجهزة عن الحد المطلوب أى (حدوث زيادة تحميل) ترتفع درجة حرارة الأسلاك وقد تحترق. وانقطاع التيار الكهربى عن طريق احتراق المنصهر Fuse أو فتح مفتاح الحماية التلقائى Circuit Breaker نتيجة زيادة الحمل Overload. هو وسيلة الحماية من الخطأ اللجوء إلى إصلاح المنصهرات بوضع سلك سميك، إذ قد يؤدى ذلك إلى تدمير شبكة التوصيلات والحرائق. والأفضل تخفيف الحمل Load بالاستغناء عن تشغيل بعض الأجهزة فى نفس الوقت أو إعادة توزيع الأحمال على شبكة الأسلاك.

مثـــــال:

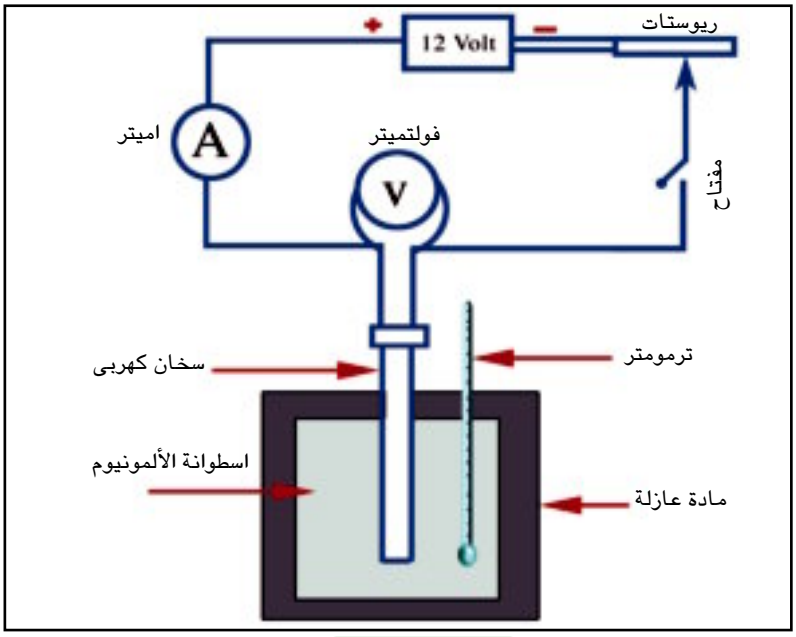
الشبكة الكهربية فى احد المنازل مصممة لاحتمال تيار اقصاه 10 A تحت فرق جهد 220V، وتطلب الأمر استخدام أجهزة مختلفة معا فى نفس الوقت مجموع قدراتها 3300 Watt ماذا يحدث؟

الحل:

$$I = \frac{P_w}{V} = \frac{3300}{220} = 15A$$

شدة التيار المستخدم أكبر من شدة التيار التى تتحملها الشبكة مما يؤدى إلى انقطاع التيار عن طريق احتراق المنصهر أو فتح مفتاح الحماية.

وينبغى هنا ألا تزيد قدرة الأجهزة المستخدمة عن 2200 Watt



شكل (١١-٩)

رسم تخطيطى لمكونات تجربة تعين الحرارة النوعية للألمونيوم

خطوات العمل :

١- نعين درجة الحرارة الأصلية $t_1\,^{\circ}C$.

٢- تقفل الدائرة ليمر تيار كهربى فى جهاز التسخين لزمن معين يحسب بساعة إيقاف كما تقاس شدة التيار فى الدائرة باستخدام أميتر. ويقاس فرق الجهد بين طرفى جهاز التسخين باستخدام فولتميتر مع ملاحظة المحافظة على ثبات شدة التيار أثناء التجربة.

٣- فى نهاية الزمن تفتح الدائرة مع تعيين درجة الحرارة النهائية $t_2\,^{\circ}C$.

النتائج :

كتلة الألومنيوم kg ..... $m =$

درجة الحرارة الأصلية $^{\circ}C$ ..... $t_1\,^{\circ}C =$

زمن مرور التيار s ..... $t =$

شدة التيار A ..... $I =$

فرق الجهد V ..... $V =$

درجة الحرارة النهائية $^{\circ}C$ ..... $t_2\,^{\circ}C =$

∴ الحرارة المتولدة = الطاقة الكهربية المستنفذة

$$VIt = m(C_{th})_{Al}\ (t_2\,^{\circ}C - t_1\,^{\circ}C)$$

الحرارة النوعية للألومنيوم $J/kg\ ^{\circ}K$ ..... $m(C_{th})_{Al} =$

أسئلة وتمارين

أولاً: أكمل العبارات الآتية :

(١) التيار الكهربى هو .....

(٢) فرق الجهد بين نقطتين هو .....

(٣) القوة الدافعة الكهربية لبطارية هى ....

(٤) الطاقة الكهربية المستنفدة فى سلك .....

(٥) والقدرة الكهربية هى .....

(٦) التيار المستمر هو .....

ثانياً: ضع علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة :

١- الكولوم هو وحدة قياس :

(أ) شدة التيار الكهربى.

(ب) فرق الجهد بين نقطتين.

(جـ) المقاومة الكهربية.

(د) كمية الكهربية.

٢- الأمبير هو وحدة قياس :

(أ) شدة التيار الكهربى.

(ب) فرق الجهد بين نقطتين.

(جـ) المقاومة الكهربية.

(د) كمية الكهربية.

٣- الفولت هو وحدة قياس :

(أ) شدة التيار الكهربى.

(ب) فرق الجهد بين نقطتين.

(جـ) المقاومة الكهربية.

(د) كمية الكهربية.

٤- الوات هو وحدة قياس :

(أ) شدة التيار الكهربى.

(ب) الطاقة الكهربية المستنفدة.

(جـ) المقاومة الكهربية.

(د) القدرة الكهربية.

٥- الكيلو وات - ساعة هو وحدة قياس :

(أ) الطاقة الكهربية المستنفدة.

(ب) القدرة الكهربية.

(جـ) المقاومة الكهربية.

(د) كمية الكهربية.

٦- تيار 1A يمر فى سلك لمدة 20 min تحت فرق جهد 3V تكون الطاقة المستنفدة هى:

(أ) 40 J

(ب) 3600 J

(جـ) 1800 J

(د) 36000 J

٧- الكيلو وات ساعة هى وحدة طاقة وتعادل:

(أ) 3.6×10^3 J

(ب) 3.6×10^4 J

(جـ) 3.6×10^5 J

(د) 3.6×10^6 J

تلخيـــــــص

- شدة التيار الكهربى هى المعدل الزمنى لسريان الشحنات الكهربية عبر مقطع معين فى الموصل.
- فرق الجهد بين نقطتين هو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنة الكهربية (واحد كولوم) بين هاتين النقطتين.
- القوة الدافعة الكهربية لعمود هى الشغل الكلى المبذول لنقل وحدة الشحنة الكهربية داخل وخارج العمود.
- الطاقة الكهربية المستنفدة = V I t Joule
- القدرة الكهربية هى المعدل الزمنى للشغل الكهربى المبذول او المعدل الزمنى للطاقة الكهربية المستنفدة.
- الوات : هو وحدة القدرة الكهربية وتساوى واحد جول فى الثانية 1 Watt = 1 J/s
- الكيلو وات - ساعة هو وحدة قياس الطاقة الكهربية المستنفدة ويساوى 3.6×10^6 J

ملحق ١

رموز ووحدات بعض الكميات الفيزيائية
Symbol's and Units of Some Physical Quantities

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
١	الإزاحة	x,y,z,d	m (meter)
٢	المساحة	A	m^2
٣	الحجم	V_{ol}	m^3
٤	الزمن	t	s (second)
٥	الزمن الدورى	T	s
٦	السرعة	v	$m\ s^{-1}$
٧	الزاوية	α,θ,ϕ	deg , rad
٨	التردد الزاوى (السرعة الزاوية)	ω	$rad\ s^{-1}$
٩	الكتلة	m,M	kg
١٠	كتلة الإلكترون	m_e	kg
١١	الكثافة	ρ	$kg\ m^{-3}$
١٢	العجلة	a	$m\ s^{-2}$
١٣	عجلة الجاذبية	g	$m\ s^{-2}$
١٤	كمية الحركة الخطية	P_L	$kg\ m\ s^{-1}$
١٥	القوة	F	$N , kg\ ms^{-2}$
١٦	الوزن	F_g	N(Newton)
١٧	عزم اللى (الازدواج)	τ	Nm
١٨	الشغل	W	J(Joule)
١٩	الطاقة	E	J
٢٠	طاقة الحركة	KE	J
٢١	طاقة الوضع	PE	J

ملاحق

م	الكمـــــية	الرمز الشـائع	وحـدة القـياس
٤٦	شدة التيار الكهربى	I	A (Ampere)
٤٧	المقاومة الكهربية	R	Ω (Ohm)
٤٨	المقاومة النوعية	ρ_e	Ω m
٤٩	التوصيلية الكهربية	σ	Ω^{-1} m^{-1}
٥٠	معامل تكبير الترانزيستور	β_e ,	——
٥١	شدة المجال المغناطيسى	H	Am^{-1}
٥٢	كثافة الفيض المغناطيسى	B	Tesla , Wb m^{-2}
٥٣	الفيض المغناطيسى	ϕ_m	Web (Weber)
٥٤	معامل الحث الذاتى	L_m	H (Henry)
٥٥	معامل الحث المتبادل	M_m	H
٥٦	النفاذية المغناطيسية	μ	Weber A^{-1} m^{-1}
٥٧	عزم ثنائى القطب المغناطيسى	$\overrightarrow{m_d}$	Nm $Tesla^{-1}$
٥٨	سرعة الضوء	c	ms^{-1}
٥٩	التردد الموجى	ν	Hertz (Hz)
٦٠	التردد الكهربى	f	Hz
٦١	الطول الموجى	λ	m
٦٢	معامل انكسار المادة للضوء	n	——
٦٣	قوة التفريق اللونى	ω_∞	——

م	الكمـــــية	الرمز الشـائع	وحـدة القـياس
٢٢	القـــدرة	P_w	W , Js^{-1} (watt)
٢٣	الدفـــع	I_{imp}	Ns
٢٤	درجة الحرارة	$t^{\circ}C$, $t^{\circ}F$, $T^{\circ}K$	Celsius, Fahrenheit, Kelvin
٢٥	كمية المادة	n	mole
٢٦	الضغـــط	P	Pascal , Nm^{-2}
٢٧	الضغط الجوى	P_a	Pascal , Nm^{-2}
٢٨	كمية الحرارة	Q_{th}	J
٢٩	الحرارة النوعية	C_{th}	$J\ kg^{-1}\ ^{\circ}K^{-1}$
٣٠	السعة الحرارية	q_{th}	$J^{\circ}K^{-1}$
٣١	الحرارة الكامنة للتصعيد	B_{th}	$J\ kg^{-1}$
٣٢	الحرارة الكامنة للانصهار	L_{th}	$J\ kg^{-1}$
٣٣	معامل التمدد الحجمى للغاز	α_V	——
٣٤	معامل زيادة ضغط الغاز	B_P	——
٣٥	معدل الانسياب الكتلى	Q_m	kg/s
٣٦	معدل الانسياب الحجمى	Q_V	m^3/s
٣٧	معامل اللزوجة	η_{vs}	$Ns\ m^{-2}$
٣٨	الكفـاءة أو الفـائدة الآليـة	η	——
٣٩	الشحنة الكهربية	Q,q	C (Coulumb)
٤٠	شحنة الالكترون	e	C
٤١	فرق الجهد الكهربى	V	V (Volt)
٤٢	فرق جهد البطارية	V_B	V
٤٣	القوة الدافعة الكهربية	emf	V
٤٤	شدة المجال الكهربى	ε	Vm^{-1}
٤٥	كثافة الفيض الكهربى	ϕ_e	Gauss

الكمية الفيزيائية	رمز الكمية	القيمة العددية
٢٣- متوسط نصف قطر دوران الأرض حول الشمس Mean radius of Earth s orbit around the Sun	r_{es}	$1.496x10^{11}$ m
٢٤- زمن دوران الأرض حول الشمس Period of earth s orbit around the Sun	yr	$3.156x10^{7}$ s
٢٥- قطر المجرة التابع لها الشمس Diameter of our galaxy	—	$7.5x10^{20}$ m
٢٦- كتلة المجرة التابع لها الشمس Mass of our galaxy	—	$2.7x10^{41}$ kg
٢٧- نصف قطر الشمس Radius of the Sun	—	$7x10^{8}$ m
٢٨- شدة اشعاع الشمس على سطح الأرض Sun s radiation intensity at earth s surface	—	0.134 J cm^{-2} s^{-1}

ملحق ٢

الثوابت الفيزيائية الأساسية

Fundamental Physical Constants

القيمة العددية	رمز الكمية	الكمية الفيزيائية
6.677×10^{-11} N m^2 kg^{-2}	G	١- ثابت الجذب العام Universal gravitational constant
1.38×10^{-23} JßK^{-1}	k	٢- ثابت بولتزمان Boltzmann constant
6.02×10^{26} Molecule.kmol^{-1}	N_A	٣- عدد افوجادرو Avogadro s number
8.31×10^{3} J.kmol^{-1} ßK^{-1}	R	٤- الثابت العام للغازات Universal gas constant
9×10^{9} Nm^2C^{-2}	k	٥- ثابت قانون كولوم Coulomb s Law Constant
$4,,\times 10^{-7}$ Weber $m^{-1}A^{-1}$	μ	٦- معامل نفاذية الفراغ Permeability of free Space
3×10^{8} m.s^{-1}	c	٧- سرعة الضوء فى الفراغ Speed of Light in Vacuum
1.6×10^{-19} C	e	٨- الشحنة الأولية Elementary charge
9.1×10^{-31} kg	m_e	٩- كتلة السكون للإلكترون Electron rest mass
1.79×10^{11} C.kg^{-1}	$\frac{e}{m_e}$	١٠- الشحنة النوعية للإلكترون Specific charge of electron
1.673×10^{-27} kg	m_p	١١- كتلة السكون للبروتون Proton rest mass
6.63×10^{-34} Js	h	١٢- ثابت بلانك Planck s constant
1.66×10^{-27} kg	u	١٣- وحدة الكتل الذرية Atomic mass unit
1.096×10^{7} m^{-1}	R_H	١٤- ثابت ريد برج Rydberg constant
1.675×10^{-27} kg	m_n	١٥- كتلة السكون للنيوترون Neutron rest mass
22.4×10^{-3} m^3		١٦- حجم المول فى الغاز فى معدل الضغط و درجة الحرارة Molar volume of ideal gas at S.T.P
9.8066 ms^{-2}	g	١٧- شدة الجاذبية على سطح الأرض Standard gravity at earth s surface
6.374×10^{6} m	r_e	١٨- نصف القطر الاستوائى للأرض Equatorial radius of the earth
5.976×10^{24} kg	M_e	١٩- كتلة الأرض Mass of the earth
7.35×10^{22} kg	M_m	٢٠- كتلة القمر Mass of the moon
3.844×10^{8} m	r_m	٢١- متوسط نصف قطر مدار القمر حول الأرض Mean radius of moon s orbit around the earth
1.989×10^{30} kg	M_s	٢٢- كتلة الشمس Mass of the Sun

ملحق ٤

الحروف الأبجدية اليونانية

Greek Alphabet

Α	α	alpha	a	"father"
Β	β	beta	b	
Γ	γ	gamma	g	
Δ	δ	delta	d	
Ε	ε	epsilon	e	"end"
Ζ	ζ	zêta	z	
Η	η	êta	ê	"hey"
Θ	θ	thêta	th	"thick"
Ι	ι	iota	i	"it"
Κ	κ	kappa	k	
Λ	λ	lamda	l	
Μ	μ	mu	m	
Ν	ν	nu	n	
Ξ	ξ	xi	ks	"box"
Ο	ο	omikron	o	"off"
Π	π	pi	p	
Ρ	ρ	rho	r	
Σ	σ, ς	sigma	s	"say"
Τ	τ	tau	t	
Υ	υ	upsilon	u	"put"
Φ	φ	phi	f	
Χ	χ	chi	ch	"Bach"
Ψ	ψ	psi	ps	
Ω	ω	omega	ô	"grow"

ملحق ٣

البادئات القياسية

Standard Prefixes

عربى	إنجليزى	الأس العشرى
يوكتو	Yocto	10^{-24}
زبتو	Zepto	10^{-21}
أوتو	Atto	10^{-18}
فيمتو	Femto	10^{-15}
بيكو	Pico	10^{-12}
نانو	Nano	10^{-9}
ميكرو	Micro	10^{-6}
مللى	Milli	10^{-3}
سنتى	Centi	10^{-2}
ديسى	Deci	10^{-1}
	—	10^{0}
ديكا	Deka	10^{1}
هيكتو	Hecto	10^{2}
كيلو	Kilo	10^{3}
ميجا	Mega	10^{6}
جيجا	Giga	10^{9}
تيرا	Tera	10^{12}
بيتا	Peta	10^{15}
أكسا	Exa	10^{18}
زيتا	Zetta	10^{21}
يوتا	Yotta	10^{24}

• امبير (اندريه - مارى) Ampére (André - Marie) (1775 - 1836)	أجرى دراسات على الكهرباء والمغناطيسية والتلغراف.
• اورستد (هانس كريستيان) Oersted (Christian) (1777 - 1851)	مؤسس علم الكهرومغناطيسية فى عام 1820.
• اوم (جورج) Ohm (Georg) (1789 - 1854)	فيزيائى المانى فحص التيارات الجلفانية واكتشف توزيع القوة الدافعة الكهربائية فى الدوائر الكهربائية وقام بصياغة قانون أوم للكهربية.
• اينشتاين (البرت) Einstein (Albert) (1879 - 1955)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1921 لخدماته فى الفيزياء النظرية وخاصة لاكتشافه قانون التاثير الكهروضوئى.
• باسكال (بليز) Pascal (Blaise) (1623 - 1662)	له مؤلفات علمية وبحوث ومساهمات فى مجال السوائل المتحركة وقوانين ضغط الهواء والماء وتوازن السوائل.
• بديع الزمان (ابن الرزاز الجزرى)	رائد فى علم القياسات والميكانيكا وصناعة الآلات المائية.
• براج (وليم) Bragg (William) (1862 - 1942)	فيزيائى إنجليزى اهتم بدراسة وتطبيق حيود الأشعة السينية لتحليل البناء البلورى حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1915.
• بور (نيلز) Bohr (Neils) (1885 - 1962)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1922 لخدماته فى إجراء الفحوصات العملية للبناء الداخلى للذرات والأشعة المنبعثة منها.
• بويل (روبرت) Boyle (Robert) (1627 - 1691)	اكتشف قانون ضغط الغازات.

ملحق٥

أسماء لبعض علماء الفيزياء وإنجازاتهم

• ابو البركات (ابن ملكا) (١٠٧٢ - ١١٥٢)	رائد فى الطب ومكتشف قوانين الحركة.
• ابو الحسن على (ابن يونس المصرى) (٩٥٢ - ١٠٠٩)	رائد فى علم الفلك ومخترع البندول البسيط.
• ابو الريحان محمد البيرونى (٩٧٣ - ١٠٤٨)	رائد فى علم الجغرافيا والفلك واول من قدر نصف قطر الارض.
• ابو على الحسن (ابن الهيثم) (٩٦٥ - ١٠٤٠)	رائد فى الرياضيات والفلك والطب ومؤسس علم البصريات.
• ابو يوسف يعقوب بن إسحق (الكندى) (٨٠٠ - ٨٧٣)	رائد فى الفلسفة والفيزياء (وخاصة البصريات) .
• إديسن (توماس) Edison (Thomas) (1847 - 1931)	مخترغ الفونوجراف والمصباح الكهربى وبعض الأجهزة الإلكترونية.
• أرشميدس Arkhimêdês (قبل الميلاد 212- 287)	له اكتشافات عديدة منها نسبة قطر الدائرة إلى محيطها وقانون الطفو والمرآة العاكسة.
• أفوجادرو (أميديو) Avogadro (Amedeo) (1776 - 1856)	فيزيائى إيطالى صاحب النظرية المتعلقة بالجزيئات الغازية المعروفه باسمه.

• فاراداى (مايكل) Faraday (Michael) (1791 - 1867)	اكتشف قوانين الكهرومغناطيسية ومفهوم المجال.
• فان درفال (جوهانس) Van Der Waal (Johannes) (1837 - 1923)	منح جائزة نوبل عام 1910 من أجل دراساته المتميزة لمعادلة الحال للغازات والسوائل
• فراونهوفر (جوزف فون) Fraunhofer (Joseph Von) (1787 - 1826)	فسر الخطوط الطيفية المظلمة لضوء الشمس التى أدت إلى وجود مختلف العناصر والأيونات فى الشمس.
• فولتا (الساندرو) Volta (Alessandro) (1745 - 1827)	فيزيائى إيطالى أول من صنع العمود الكهربائى (البطارية) وطور نظرية التيار الكهربى وتعرف وحدة قياس الجهد باسمه.
• فيرمى (إنريكو) Fermi (Enrico) (1901 - 1954)	فيزيائى إيطالى مشتغل بالطاقة النووية واشترك فى صناعة القنبلة الذرية (نوبل ١٩٣٨) وادت أبحاثه إلى إنتاج عناصر مشعة جديدة.
• كاميرلنخ (أونس) Kamelingh (Onnes) (1853 - 1926)	جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1913 لبحوثه على خواص المواد عند درجات الحرارة المنخفضة والتي أدت إلى إنتاج الهليوم السائل واكتشاف ظاهرة فائقية التوصيل فى المعادن الفلزية وبعض المركبات.
• كبلر (جوهانس) Kepler (Johannes) (1571 - 1630)	فلكى المانى وضع قوانين الكواكب السيارة إستنبط منها نيوتن قانون الجذب العام.
• كوبرنيكس (نيكولاس) Copernicus (Nicolas) (1473 - 1543)	فلكى بولندى أثبت دوران الكرة الأرضية حول نفسها وحول الشمس.
• كيرشهوف (جوستاف) Kirchhoff (Gustav) (1824 - 1887)	فيزيائى المانى اكتشف قوانين الدوائر الكهربية.

● توريشلى (إيفانجلستا) Torricelli (Evangelista) (1608 - 1647)	مخترع البارومتر الزئبقى.
● جاليليو (جاليلى) Galileo (Galilei) (1564 - 1642)	فلكى إيطالى وفيزيائى وأول من أثبت أن سقوط الأجسام لا يعتمد على الكتلة وأول من صنع التلسكوب الفلكى.
● جلفانى (لويجى) Galvni (Luigi) (1737 - 1798)	فيزيائى وطبيب إيطالى أدت تجاربة على الحيوانات أن الأعصاب والعضلات تولد شحنات كهربية.
● دالتون (جون) Dalton (John) (1766 - 1844)	كيميائى وفيزيائى إنجليزى أول من وضع فروض الذرة وإستنتج قانون امتزاج الغازات.
● رذر فورد (إرنست) Rutherford (Ernest) (1871 - 1937)	اهتم بالإجراءات المعملية فى مجال الذرة والإشعاع ونال جائزة نوبل فى الكيمياء عام ١٩٠٨ لأبحاثه فى الإنحلال الإشعاعى للعناصر
● رهمكورف (هنريش) Ruhmkorff (Heinrich) (1803 - 1877)	عالم فرنسى من أصل المانى وهو ميكانيكى اهتم بالكهرباء واخترع البكرة المعروفة باسمه وأيضا ملف الحث.
● رونتجن (ويلهلم) Rontgen (Wilhelm) (1845 - 1923)	فيزيائى المانى اكتشف الأشعة السينية (أشعة إكس).
● شرودينجر (اروين) Schrodinger (Erwin) (1887 - 1961)	فيزيائى نمساوى نال جائزة نوبل لأبحاثه فى الآلية المتموجة عام ١٩٣٣.
● عبد الرحمن أبو جعفر (الخازن) (القرن الثانى عشر)	رائد علم الهيدرواستاتيكا وقياس الضغط ودرجة الحرارة.

ملحق ٦

بعض مواقع الفيزياء على شبكة الإنترنت

http://www.dke-encyc.com

http://imagine.gsfc.nasa.gov

http://csep10.phys.utk.edu

http://www.howstuffworks.com

http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl

http://scienceworld.wolfram.com/physics

http://www.physlink.com

http://www.intuitor.com/moviephysics

http://www.newport.com/spectralanding

http://www.mathpages.com/home/iphysics.htm

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html

● لنز (هنرش) Lenz (Heinrich) (1804 - 1865)	مُكتشف قوانين التيار المستحث واتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة والتيار المستحدث.
● ماكس بلانك (ماكس) Planck (Max) (1858 - 1947)	منح جائزة نوبل في الفيزياء عام 1918 تقديرا واعترافا لخدماته التى أدت إلى تقدم ورقى الفيزياء بواسطة اكتشافه العلمى لكمات الطاقة.
● ماكوسيل (جيمس) Maxwell (James) (1831 - 1879)	أول من افترض قوانين الكهرومغناطيسية والتي سميت بمعادلات ماكسويل.
● نيوتن (السير اسحاق) Newton (Isaac) (1642 - 1727)	اكتشف تكوين الضياء الشمسى وقوانين الجاذبية والحركة.
● هرتز (هينرش) Hertz (Heinrich) (1857 - 1894)	اكتشف الموجات الكهربائية واشتق القوانين الأساسية من معادلات ماكسويل.
● هيجنس (كريستيان) Huygens (Christian) (1629 - 1695)	أول من افترض بوجود التموجات الضوئية.
● ينج (توماس) Young (Thomas) (1773 - 1829)	فيزيائى وطبيب اهتم بنظرية الضوء وأجرى تجارب معملية على التداخل الضوئى والالوان والنظرية الموجية للضوء.