بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين

وزارة التربية والتعليم العالي

الفيزيـــاء

للصف الأول الثانوي

العلمي والصناعي

المؤلفون

د. عزيز شوابكة «منسقاً»
سالم طنجير
رشا عمر «مركز المناهج»

د. وائل قراعين
باسمة بلبيسي

خديجة عبد اللطيف أبو اسليمة
محمد كايد صباح
أحمد سياعرة «مركز المناهج»

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي في مدارسها بدءاً من العام الدراسي ٢٠٠٥/٢٠٠٦م

الإشراف العام:

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

مركز المناهج

إشراف تربوي: د. عمر أبو الحمص

الدائرة الفنية:

إشراف إداري: رائد بركات

الاعداد المحوسب وتصميم الطبعة المنقحة: كمال فحماوي

تصميم: عبد الجبار دويكات

تنضيد: أمينة سالم

تحرير لغوي: كمال بواطنة

الفريق الوطني لمنهاج الفيزياء للمرحلة الثانوية:

عزيز شوابكة«منسقاً» — د. شحادة عبده — زاهر عطوه

وحيد جبران — محمد مقدادي

رشا عمر «المناهج» — أحمد سياعرة«المناهج»

فريق إثراء النسخة المنقحة

ثروت طهبوب — د. وفاء خاطر — د. رباب جرار

غادة الريماوي — رشا عمر

الطبعة التجريبية المنقحة

٢٠١٠ م / ١٤٣١ هـ

© جميع حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم العالي/مركز المناهج

مركز المناهج –حي المصيون–شارع المعاهد–أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة

ص.ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين، تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+

الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. فبناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهماً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وبناء جيل متعلم قادر على التعامل بشكل إيجابي مع متطلبات الحياة، وهو حق إنساني، وأداة لتنمية الموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطط الخمسية المتتالية للوزارة.

ومنذ إقرار خطة المنهاج الفلسطيني من قبل المجلس التشريعي عام ١٩٩٨م عملت الوزارة على تنفيذ بناء المنهاج على عدة مراحل شملت: صياغة الخطوط العريضة، والتحكيم، والتأليف، والإقرار، وفق سياسة الوزارة في إشراك قطاع واسع من التربويين والمؤلفين من معظم قطاعات المجتمع الفلسطيني.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي،كونه يعد عنصراً من عناصر المنهاج الرئيسة، ومصدراً وسيطاً للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، بما تشتمل عليه من بيانات ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم،إضافة إلى عناصر أخرى من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنوياً بمشاركة التربويين والمعلمين الذين يقومون بتدريسها، كي تتلاءم مع التطورات والمستجدات والتغيرات العلمية والتكنولوجية والمعرفية. فقيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما تبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهرياً في العملية التعليمية من خلال العمليات الواسعة من المراجعة بمنهجية تربوية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لا يسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات الوطنية التربوية والأكاديمية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وإثرائها، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كل حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركز المناهج، واللجان الوطنية للخطوط العريضة، والمؤلفين،ولجان الإقرار، والمحررين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسامين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج
الإدارة العامة للمباحث العلمية
نيسان ٢٠١٠ م

مقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين وبعد.

فإننا نقدم كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي العلمي إلى معلمينا وطلبتنا الأعزاء في فلسطين؛ ليكون مكملاً لما ورد من مفاهيم فيزيائية في كتب العلوم العامة في المرحلة الأساسية؛ وذلك ترجمة للأهداف التي وضعت في خطة المنهاج الفلسطيني الأول كما وردت في الخطوط العريضة لمبحث الفيزياء، آملين أن نكون قد وفقنا في تحقيق الأهداف المرجوة.

لقد اعتمدت بنية هذا الكتاب على اتجاهات حديثة في علم الفيزياء، تم فيها ربط غالبية فروع هذا العلم ضمن مفهوم واحد هو الطاقة.

عالج الجزء الأول من هذا الكتاب مفهوم الطاقة في ثلاث وحدات:

الوحدة الأولى: استعرضت أساسيات علم القوى، والحركة، ومفهومي الشغل، والطاقة وتحولاتها.

الوحدة الثانية: استعرضت طرق انتقال الطاقة فيما يعرف بالحركة الموجية، أما الوحدة الثالثة فاستعرضت الطاقة الحرارية وقوانين التحريك الحراري.

يتضمن الجزء الثاني من هذا الكتاب وحدتين:

الوحدة الرابعة: استعرضت أساسيات الكهرباء الساكنة، ومفاهيم: الشحنة الكهربائية، والمجال والجهد الكهربائيين، والسعة والمواسعات الكهربائية وطرق توصيلها.

الوحدة الخامسة:استعرضت أساسيات الفيزياء الالكترونية، ومفاهيم المواد الموصلة وشبه الموصلة، وطرق تركيب الدوائر الالكترونية البسيطة، والتعريف بمكوناتها، كما عرضت شرحاً موجزاً عن الترانزستورات وطرق تركيبها وتوصيلها ومبدأ عملها.

وتضمنت كل وحدة عدة فصول، وقد ألحق بكل فصل أسئلة تقييمية إضافة إلى أسئلة ختامية في نهاية كل وحدة.

وقد جاءت لغة الكتاب مخاطبة الطالب ومشجعة على تفاعله مع المادة العلمية، عن طريق ربط معرفته السابقة باللاحقة، كما احتوى الكتاب على الكثير من الرسومات البيانية والأشكال التوضيحية والاستقصاءات وقضايا البحث والمناقشة، إضافة إلى نشاطات عملية وأمثلة، وأسئلة متنوعة؛ بهدف تعزيز المفاهيم العلمية، وربط المعرفة النظرية بالحياة العملية.

وقد تم استخدام الهوامش لإثراء المنهاج من خلال تعزيز المفاهيم برسوم توضيحية ومعلومات إضافية ونشاطات ذهنية متنوعة.

وبما أن هذه الطبعة التجريبية الثانية من الكتاب بعد دمج جزئي الكتاب في كتاب واحد بعد اختصار بعض المفاهيم بناءاً على ملاحظات المعلمين والطلبة، فإننا نأمل من زملائنا المعلمين والمشرفين التربويين وطلبتنا الأعزاء تزويدنا بملاحظاتهم واقتراحاتهم ونقدهم البناء؛ لرفع مستوى الكتاب وتحسينه في الطبعات القادمة.

والله ولي التوفيق

المؤلفون

المحتويات

الوحدة الأولى

الميكانيكا	٢
الفصل الأول: المتجهات	٣
الفصل الثاني: القوى والعزوم	١٦
الفصل الثالث: قوانين نيوتن في الحركة	٢٧
الفصل الرابع: الشغل والطاقة	٣٧
أسئلة الوحدة	٥٠

الوحدة الثانية

الاهتزازات والأمواج	٥٤
الفصل الأول: الحركة التوافقية البسيطة	٥٥
الفصل الثاني: طبيعة الضوء	٦٢
أسئلة الوحدة	٧٠

الوحدة الثالثة

الديناميكا الحرارية	٧٢
الفصل الأول: نظرية الحركة الجزيئية	٧٣
الفصل الثاني: قوانين التحريك الحراري	٨٢
أسئلة الوحدة	٩٢

الوحدة الرابعة

الكهرباء السكونية	٩٤
الفصل الأول: الشحنة الكهربائية وقانون كولوم	٩٥
الفصل الثاني: المجال الكهربائي	١٠٦
الفصل الثالث: الجهد الكهربائي	١٢٤
الفصل الرابع: السعة الكهربائية والمواسعات	١٣٧
أسئلة الوحدة:	١٤٨

الوحدة الخامسة

الإلكترونيات الفيزيائية	١٥٠
الفصل الأول: أشباه الموصلات	١٥١
الفصل الثاني: العناصر الالكترونية شبه الموصلة	١٦١
أسئلة الوحدة:	١٧٣
المراجع:	١٧٥

الوحـــدة

١

الميكانيكا
MECHANICS

١ المتجهات (Vectors)

درست سابقاً الكميات الفيزيائية وأنواعها وتعرفت أنها إما كميات عددية (قياسية)، وإما كميات متجهة، وعرفت أن الكميات العددية هي كميات تحدد بمقدار ووحدة قياس فقط، مثل : الحجم ، ودرجة الحرارة، والطاقة، والكتلة، والقدرة، فنقول مثلاً : تبلغ درجة حرارة الجو ٢٥° سيليسيوس، ويبلغ طول القلم ٢٥سم، وتطبق عليها العمليات الخاصة بالأعداد، وتحدد الكميات المتجهة بمقدار ووحدة قياس واتجاه، مثل : السرعة، والقوة، والإزاحة، فنقول : تتحرك السيارة بسرعة ٧٠ كم/ ساعة شرقاً، والقوة المؤثرة على الجسم ٥٠٠ نيوتن نحو مركز الأرض، وتطبق عليها العمليات الخاصة بجبر المتجهات .

فكيف يتم تمثيل الكميات المتجهة؟ وكيف يتم إجراء العمليات عليها ؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل ، وستكون قادراً على أن :

- تمثل الكميات المتجهة بالرسم .
- تتعرف مفهوم جمع المتجهات .
- تحلل الكمية المتجهة إلى مركبتيها في المستوى الديكارتي .
- تجمع الكميات المتجهة عن طريق جمع مركباتها .
- تتعرف مفهوم ضرب المتجهات .
- تحل أمثلة عددية باستخدام جبر المتجهات .

١ - ١ تمثيل الكميات المتجهة

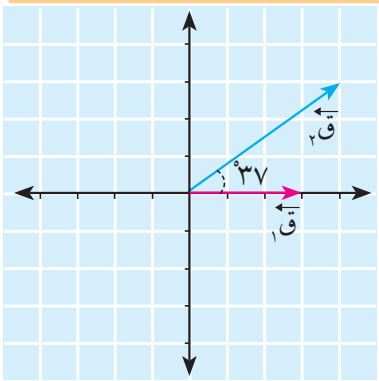
تمثل الكميات المتجهة بيانياً بقطعة مستقيمة متجهة يتناسب طولها مع مقدار الكمية المتجهة ويدل اتجاه القطعة على اتجاه الكمية .

مثال (١):

مثّل بيانياً الكميات المتجهة الآتية :

أ. قوة مقدارها ١٥ نيوتن نحو الشرق .

ب. قوة مقدارها ٢٥ نيوتن ٣٧° شمال الشرق .



الشكل (١) : تمثيل المتجهات

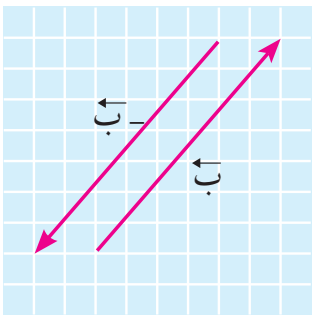
الحل:

أ. نختار مقياس رسم مناسب (١ سم يمثل ٥ نيوتن) . نرسم محاور المستوى الديكارتي ، ثم نرسم قطعة مستقيمة طولها ٣ سم على محور السينات باتجاه الشرق .

ب. نرسم قطعة مستقيمة طولها ٥ سم باتجاه يصنع زاوية ٣٧° مع الشرق ، انظر الشكل (١) .

معكوس المتجه:

نعرف معكوس المتجه $\overleftarrow{ب}$ بأنه متجه له نفس مقدار المتجه $\overleftarrow{ب}$ ويعاكسه في الاتجاه . ويمثل بيانياً كما في الشكل (٢) .



الشكل (٢) : معكوس المتجه

سؤال

مثّل بيانياً الكميات المتجهة الآتية :

أ. قوة مقدارها ١٠ نيوتن باتجاه الشمال الغربي .

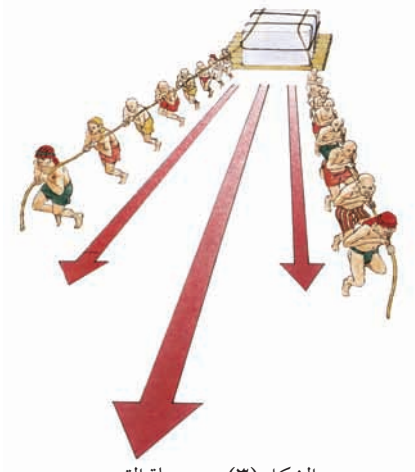
ب. قوة مقدارها ١٠ نيوتن بعكس اتجاه القوة الأولى .

١ - ٢ جمع الكميات المتجهة :

عندما تؤثر قوتان أو أكثر على جسم ما كما في الشكل (٣) ، ففي أي اتجاه تتوقع أن يتحرك الجسم؟ وما القوة التي تؤثر عليه؟

نسمي القوة التي تؤثر على الجسم نتيجة تأثير عدة قوى بمحصلة القوى ، ويحدد اتجاهها بالاتجاه الذي يتسارع فيه الجسم .

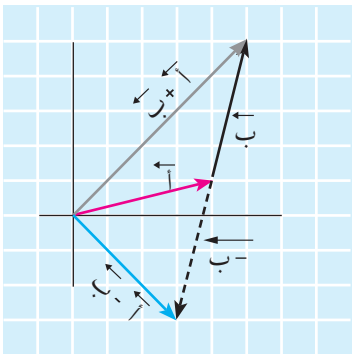
القوة المحصلة : هي قوة تعمل عمل قوتين ، أو مجموعة من القوى مجتمعة .


الشكل (٣) : محصلة القوى

ومن الجدير ذكره أن حاصل جمع متجهين أو أكثر من نفس النوع الفيزيائي يسمى أيضاً محصلة تلك المتجهات ، وتجمع المتجهات بطريقتين ، هما :

◄ أولاً: الطريقة الهندسية:

أ. جمع متجهين إثنين: نجمع متجهين إثنين $\overleftarrow{أ}$ و $\overleftarrow{ب}$ هندسياً عن طريق تركيب ذيل أحد المتجهين على رأس المتجه الآخر بنفس مقياس الرسم، مع المحافظة على اتجاهه، ثم وصل ذيل المتجه الأول مع رأس المتجه الثاني، فيكون المتجه الناتج هو المتجه الممثل لمجموع المتجهين مقداراً واتجاهاً (المحصلة)



الشكل (٤): جمع المتجهات

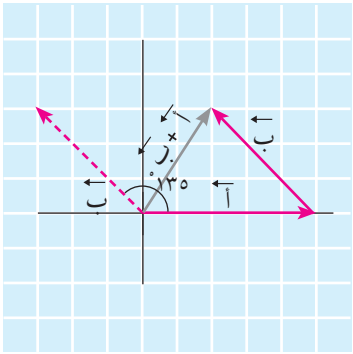
ب. طرح المتجهات: بما أن معكوس $\overleftarrow{ب}$ = $-\overleftarrow{ب}$، فإن عملية طرح المتجهات هي فعلياً عملية جمع مع معكوس المتجه:
$\overleftarrow{أ} - \overleftarrow{ب} = \overleftarrow{أ} + (-\overleftarrow{ب})$، انظر الشكل (٤)

مثال (٢):

لديك متجهان القوة $\overleftarrow{أ}$ = ٥ نيوتن باتجاه الشرق، و $\overleftarrow{ب}$ = $٣\sqrt{٢}$ نيوتن باتجاه الشمال الغربي، جد:

١. $\overleftarrow{أ} + \overleftarrow{ب}$ ٢. $\overleftarrow{أ} - \overleftarrow{ب}$

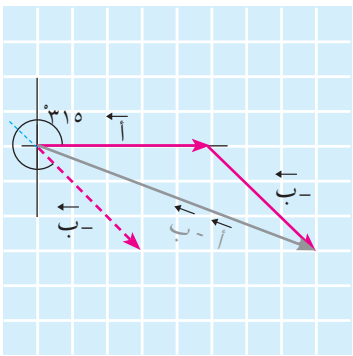
الحل:



١. نرسم المتجه $\overleftarrow{أ}$ باستخدام مقياس رسم مناسب (١ سم يمثل ١ نيوتن مثلاً) باتجاه الشرق. كما في الشكل.

٢. نرسم المتجه $\overleftarrow{ب}$ باستخدام نفس مقياس الرسم باتجاه ١٣٥° مع الشرق.

٣. نركب المتجه $\overleftarrow{ب}$ على المتجه $\overleftarrow{أ}$ بحيث يتم وضع ذيل $\overleftarrow{ب}$ على رأس $\overleftarrow{أ}$ مع الحفاظ على اتجاه $\overleftarrow{ب}$



٤. نصل بين ذيل المتجه $\overleftarrow{أ}$ ورأس المتجه $\overleftarrow{ب}$، فيكون المتجه الناتج ممثلاً للمحصلة $\overleftarrow{أ} + \overleftarrow{ب}$ مقداراً واتجاهاً.

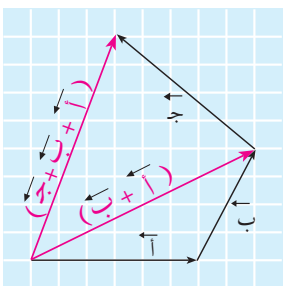
٥. نقيس طول المتجه الناتج ($\overleftarrow{أ} + \overleftarrow{ب}$) بالمسطرة، ونحدد زاوية ميله عن محور السينات بالمنقلة.

٦. نرسم المتجه ($-\overleftarrow{ب}$) باستخدام نفس مقياس الرسم كما في الشكل.

٧. نكرر الخطوات (٣، ٤، ٥) فيكون المتجه الناتج ممثلاً للمحصلة $\overleftarrow{أ} - \overleftarrow{ب}$ مقداراً واتجاهاً.

إيجاد محصلة عدة متجهات:

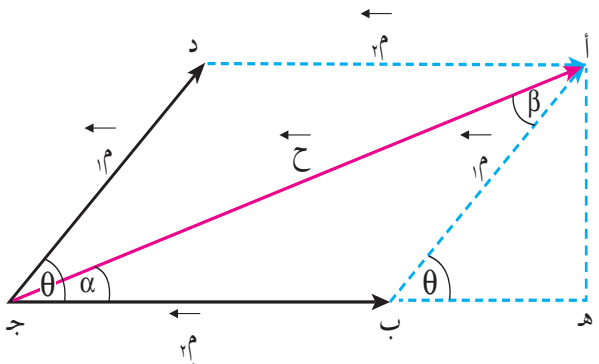
لإيجاد المحصلة لأكثر من متجهين، نركب المتجهات بحيث يقع ذيل المتجه الثاني على رأس المتجه الأول، وذيل المتجه الثالث على رأس المتجه الثاني وهكذا، ثم نصل بين ذيل المتجه الأول ورأس المتجه الأخير كما في الشكل (٥)، ويكون المتجه الناتج ممثلاً للمحصلة مقداراً واتجاهاً.



الشكل (٥): جمع عدة متجهات

◄ حالة خاصة: محصلة متجهين يحصران بينهما زاوية "طريقة متوازي الأضلاع".

إذا أمكن تمثيل متجهين بضلعين متجاورين يخرجان من نفس النقطة ، ويحصران بينهما زاوية مقدارها θ في متوازي أضلاع ، فإن قطر متوازي الأضلاع الخارج من نفس النقطة يمثل المحصلة مقداراً واتجاهاً . انظر الشكل (٦) .



الشكل (٦) : طريقة متوازي الأضلاع

ولحساب قيمة المحصلة رياضياً ننزل العمود (أهـ) على امتداد الضلع (جـ ب) الذي يمثل المتجه $\overleftarrow{م_٢}$ فنحصل على المثلث القائم الزاوية أ هـ ب .

باستخدام نظرية فيثاغورس نحصل على :

$ح^{٢} = (أ\ جـ)^{٢} = (هـ\ جـ)^{٢} + (أ\ هـ)^{٢}$

لكن $(هـ\ جـ) = (هـ\ ب + ب\ جـ)$

$ح^{٢} = (هـ\ ب + ب\ جـ)^{٢} + (أ\ هـ)^{٢}$

$= (هـ\ ب)^{٢} + (ب\ جـ)^{٢} + ٢(هـ\ ب)\ (ب\ جـ) + (أ\ هـ)^{٢}$

لاحظ أن : $(هـ\ ب) = (أ\ ب)$ جتا θ ، $(أ\ هـ) = (أ\ ب)$ جا θ

$ح^{٢} = (أ\ ب)^{٢}$ جتا^{٢}θ $+ (ب\ جـ)^{٢} + ٢\ (أ\ ب)(ب\ جـ)$ جتا θ $+ (أ\ ب)^{٢}$ جا^{٢}θ

$= (أ\ ب)^{٢}$ (جتا^{٢}θ $+$ جا^{٢}θ$) + (ب\ جـ)^{٢} + ٢\ (أ\ ب)\ (ب\ جـ)$جتا θ

$= (أ\ ب)^{٢} + (ب\ جـ)^{٢} + ٢\ (أ\ ب)\ (ب\ جـ)$ جتا θ

$ح = \sqrt{(م_١)^{٢} + (م_٢)^{٢} + ٢\ م_١\ م_٢}$ جتا θ ..... (١)

فكّر:

هل يمكن جمع متجهات مختلفة في النوع الفيزيائي .

مثلا : هل يمكن جمع متجه سرعة مع متجه قوة؟

هل يمكن جمع كمية عددية مع كمية متجهة .

من الشكل السابق نلاحظ أن :

أ هـ = أ ب جا θ = أ جـ جا α ؛ أي أن :

$\frac{أ\ ب}{جا\ α} = \frac{أ\ جـ}{جا\ θ}$ ، وحيث أن جا θ = جا (١٨٠ − θ) ، فإنه يمكن تعميم العلاقة السابقة كما يلي :

إذا أمكن تمثيل متجهين بضلعين في مثلث فإن حاصل قسمة طول أي ضلع في المثلث على جيب الزاوية المقابلة له قيمة ثابتة ، أي أن

$\frac{ح}{جا\ (١٨٠ - θ)} = \frac{م_٢}{جا\ β} = \frac{م_١}{جا\ α}$ ..... (٢)

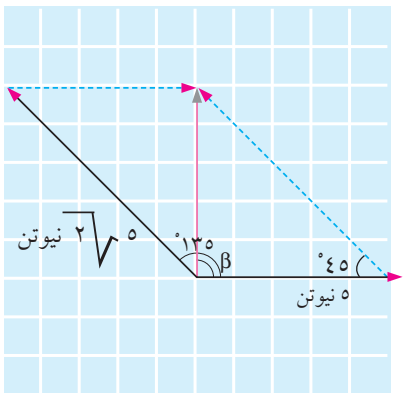
سؤال

إذا أثرت قوتان على جسم ما فأوجد قيمة المحصلة في الحالات الآتية :

- عندما تكون القوتان بنفس الاتجاه .
- عندما تكون القوتان متعاكستين .
- عندما تكون القوتان متعامدتين .
- عندما تكون القوتان متساويتين مقداراً وتحصران بينهما زاوية θ .

مثال (٣):

تؤثر القوتان ٥ نيوتن باتجاه الشرق ، و٥ $\sqrt{2}$ نيوتن باتجاه ١٣٥° مع الشرق في جسم مادي صلب . احسب محصلة هاتين القوتين مقداراً واتجاهاً؟



الحل:

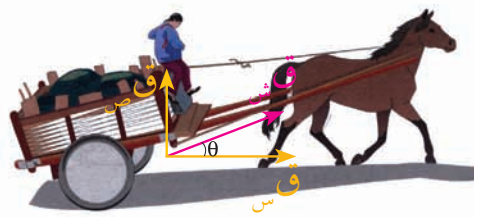
$$ق_ح = \sqrt{(ق_1)^2 + (ق_2)^2 + 2(ق_1)(ق_2) \times جتا\theta}$$

$$ق_ح = \sqrt{٢٥ + ٥٠ + ٥٠ \times \frac{-١}{\sqrt{٢}}} = \sqrt{٢٥} = ٥ \text{ نيوتن}$$

بتطبيق قانون الجيوب ، $\frac{ق_ح}{جا\ ٤٥} = \frac{٥\sqrt{٢}}{جا\beta}$

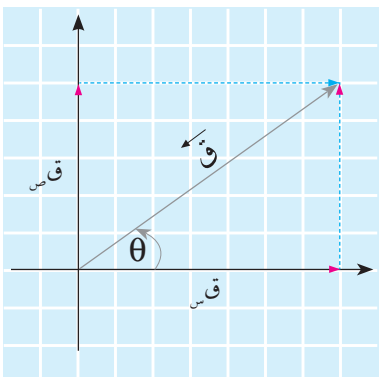
$جا\beta = ١ \Leftarrow \beta = ٩٠°$

ثانياً: طريقة التحليل:



الشكل(٧) : تحليل القوى

في الشكل (٧) حصان يجر عربة بوساطة حبل باتجاه يصنع زاوية θ مع الأفقي ، نلاحظ أن مقدمة العربة تميل للأعلى عن مستوى الأرض ومع ذلك فإن العربة تتحرك أفقياً للأمام . هذا يشير إلى أن قوة شد الحصان تكافئ قوتين متعامدتين ، إحداهما باتجاه محور السينات ($ق_س$) تسبب حركة العربة إلى الأمام ، والأخرى باتجاه محور الصادات ($ق_ص$) تسبب ميلان مقدمة العربة للأعلى .



الشكل(٨) : مركبات القوة

تسمى عملية إيجاد مركبات القوة بعملية تحليل القوى ؛ أي استبدال القوة ($\overleftarrow{ق}$) بقوتين متعامدتين على محوري (س ، ص) ، انظر الشكل (٨) ،

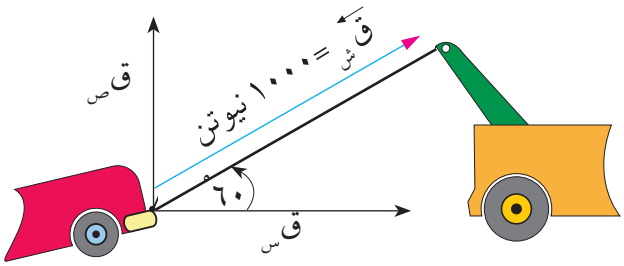
$ق_س = ق\ جتا\ \theta$ ، $ق_ص = ق\ جا\ \theta$

والزاوية التي تصنعها $\overleftarrow{ق}$ مع محور السينات تحسب من العلاقة :

$$\text{ظا } \theta = \frac{ق_{ص}}{ق_{س}}$$

مثال (٤):

في الشكل المجاور شاحنة تحاول رفع مقدمة سيارة، فإذا كانت قوة الشد في الحبل ١٠٠٠ نيوتن باتجاه يميل ٦٠° عن الأفقي، أوجد قوتي الشد العمودية والأفقية اللتين تؤثران على السيارة.



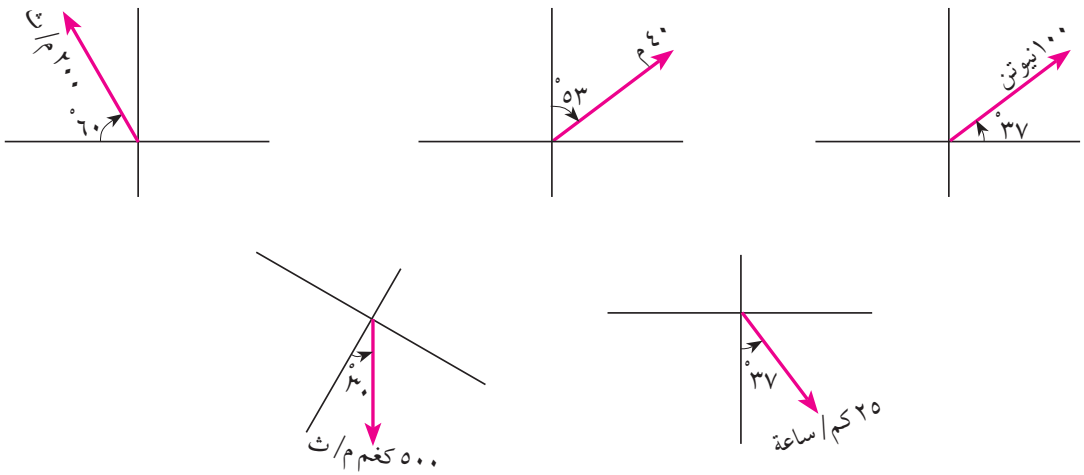
الحل:

$ق_{س} = ق_{ش} \text{ جتا } ٦٠° = ١٠٠٠ \times \frac{١}{٢} = ٥٠٠$ نيوتن

$ق_{ص} = ق_{ش} \text{ جا } ٦٠° = ١٠٠٠ \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} = ٥٠٠\sqrt{٣}$ نيوتن

سؤال

أحسب المركّبة السينية والمركّبة الصادية لكل من المتجهات المبينة في الأشكال التالية :



حساب محصلة عدة قوى متلاقية في نقطة بطريقة التحليل.

لحساب محصلة عدة قوى متلاقية في نقطة بطريقة التحليل نقوم بما يأتي :

١. نحلل كل قوة إلى مركبتيها السينية والصادية.

٢. نحسب محصلة القوى السينية ($\Sigma ق_{س}$ = المجموع الجبري للقوى المؤثرة باتجاه المحور السيني).

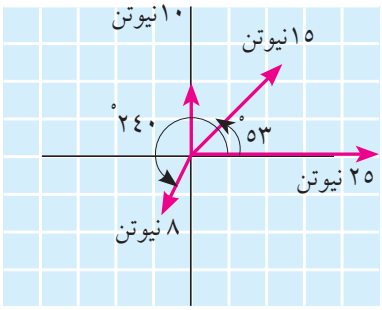
٣. نحسب محصلة القوى الصادية ($\Sigma ق_{ص}$ = المجموع الجبري للقوى المؤثرة باتجاه المحور الصادي).

٤. نحسب المحصلة الكلية للمحصلتين المتعامدتين

$ق_{ح} = \sqrt{(\Sigma ق_{س})^{٢} + (\Sigma ق_{ص})^{٢}}$ ، واتجاهها يصنع زاوية θ مع محور السينات ، حيث $\text{ظا } \theta = \frac{\Sigma ق_{ص}}{\Sigma ق_{س}}$

مثال (٥):

احسب مقدار واتجاه محصلة القوى المبينة في الشكل المجاور .



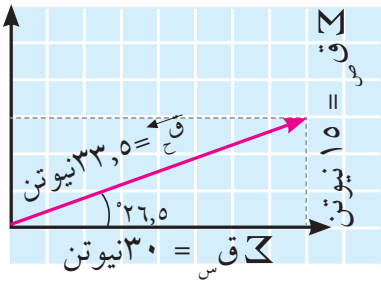
الحل:

$\Sigma ق_س = ٢٥ + ١٥$ جتا ٥٣° $+ ٨$ جتا ٢٤٠°

$\Sigma ق_س = ٣٠$ نيوتن

$\Sigma ق_ص = ١٠ + ١٥$ جا ٥٣° $+ ٨$ جا ٢٤٠°

$\Sigma ق_ص = ١٥$ نيوتن



$ق_ح = \sqrt{(\Sigma ق_س)^2 + (\Sigma ق_ص)^2}$

$= \sqrt{٣٠^2 + ١٥^2} = \sqrt{١١٢٥} = ٣٣,٥$ نيوتن

$ظا\ \theta = \frac{\Sigma ق_ص}{\Sigma ق_س} = \frac{١٥}{٣٠} = ٠,٥$

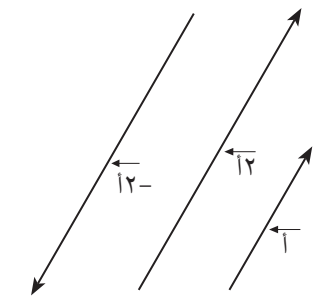
$\theta = ٢٦,٥°$ مع محور السينات الموجب عكس عقارب الساعة .

١-٣ ضرب المتجهات

هناك عدة طرق لضرب المتجهات، هي :

ضرب كمية متجهة بكمية عددية:

عند ضرب كمية متجهة بكمية عددية، فإننا نحصل على كمية متجهة جديدة مقدارها يساوي مقدار الكمية المتجهه مضروباً بالكمية العددية، ولها نفس الاتجاه الأصلي إذا كانت الكمية العددية موجبة، وعكس الاتجاه إذا كانت الكمية العددية سالبة، والشكل (٩) يوضح عملية ضرب المتجهات في كمية عددية .



الشكل (٩): ضرب كمية متجهة بكمية عددية

سؤال

أ. اعتماداً على الشكل (٩) ارسم المتجه $\frac{١}{٢}$ أ والمتجه -٣ أ .

ب. ما الكمية المتجهة الناتجة من ضرب متجه السرعة في الزمن؟ وما وحدتها؟

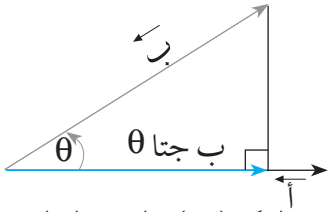
ضرب الكميات المتجهة ضرباً قياسياً (نقطياً) Dot Product:

يعرف الضرب النقطي لكميتين متجهتين $\overleftarrow{أ}$ ، $\overleftarrow{ب}$ بينهما زاوية θ كما يأتي :

$$\overleftarrow{أ} \cdot \overleftarrow{ب} = |\overleftarrow{أ}| \, |\overleftarrow{ب}| \text{ جتا } \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

وتتم هذه العملية بضرب أحد المتجهين في مسقط المتجه الآخر عليه .

فيكون الناتج كمية جديدة غير متجهة . انظر الشكل (١٠)،



الشكل (١٠): الضرب النقطي

ولاحظ أن ب جتا θ هي مسقط المتجه $\overleftarrow{ب}$ على المتجه $\overleftarrow{أ}$ ، ومن الأمثلة على الكميات الفيزيائية الناتجة عن الضرب النقطي لمتجهين «الشغل الفيزيائي» الذي ستتعرف عليه لاحقاً وهو حاصل الضرب النقطي بين متجه القوة ومتجه الإزاحة الذي تسببه تلك القوة .

سؤال

جد قيمة حاصل الضرب القياسي للمتجهين $\overleftarrow{أ}$ ، $\overleftarrow{ب}$ إذا كان مقدارهما ٥ ، ٣ وحدات على الترتيب، والزاوية المحصورة بينهما تساوي :

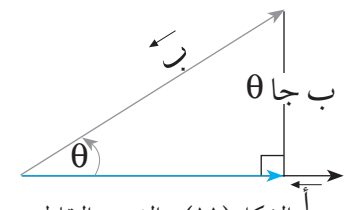
أ. صفر درجة . ب. ٩٠° جـ. ١٨٠°

ضرب الكميات المتجهة ضرباً اتجاهياً (تقاطعياً) Cross Product :

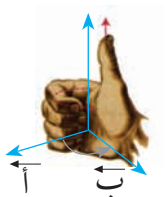
يعرف الضرب التقاطعي لكميتين متجهتين $\overleftarrow{أ}$ ، $\overleftarrow{ب}$ بينهما زاوية θ كما يأتي :

$$|\overleftarrow{أ} \times \overleftarrow{ب}| = |\overleftarrow{أ}| \, |\overleftarrow{ب}| \text{ جا } \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٤)$$

ويكون الناتج متجهاً جديداً مقداره يساوي حاصل ضرب مقدار المتجه الأول في مركبة الثاني العمودية عليه واتجاهه عمودياً على كل منهما، وعلى المستوى الذي يقع عليه كلا المتجهان انظر الشكل (١١). ولتحديد اتجاه المتجه الجديد إذا كان خارجاً من الصفحة أو داخلاً في الصفحة نستعمل قاعدة اليد اليمنى كما في الشكل (١٢) .



الشكل (١١): الضرب التقاطعي



الشكل (١٢): قاعدة اليد اليمنى

قاعدة اليد اليمنى : افرد أصابع يدك اليمنى باتجاه المتجه الأول، ثم دورها باتجاه المتجه الثاني بأصغر زاوية فيشير الإبهام إلى اتجاه المتجه الناتج عن حاصل ضرب المتجهين تقاطعياً .

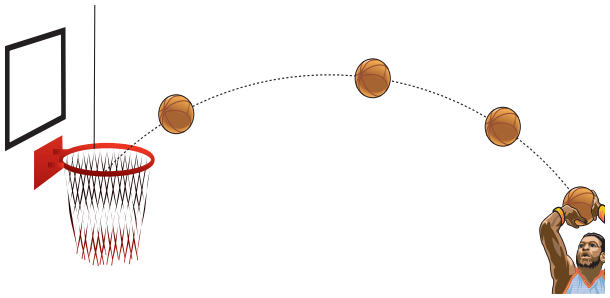
سؤال

المتجهان $\overleftarrow{أ}$ ، و $\overleftarrow{ب}$ يحصران بينهما زاوية مقدارها ٥٣° ، فإذا كان $|\overleftarrow{أ}| = ٨$ وحدات شرقاً ، $|\overleftarrow{ب}| = ٥$ وحدات باتجاه الشمال الشرقي، فأوجد قيمة كل من :

١. $\overleftarrow{أ} \cdot \overleftarrow{ب}$ ٢. $\overleftarrow{أ} \times \overleftarrow{ب}$

١-٤ الحركة في بعدين (المقذوفات)

درست سابقاً حركة الأجسام التي تسير بتسارع ثابت في خط مستقيم سواء ما كان منها على سطح أفقي، أو رأسياً إلى أعلى، والآن ستدرس حركة الأجسام المقذوفة لأعلى بزاوية مع محور السينات تحت تأثير وزنها، مثل حركة كرة السلة بعد تصويبها نحو الهدف، ويمكن تحليل الحركة في اتجاهين: حركة منتظمة باتجاه محور السينات، وحركة بتسارع ثابت مقداراً واتجاهاً (تسارع الجاذبية الأرضية) في اتجاه محور الصادات.



وتشمل حركة الأجسام في مجال الجاذبية ما يأتي:

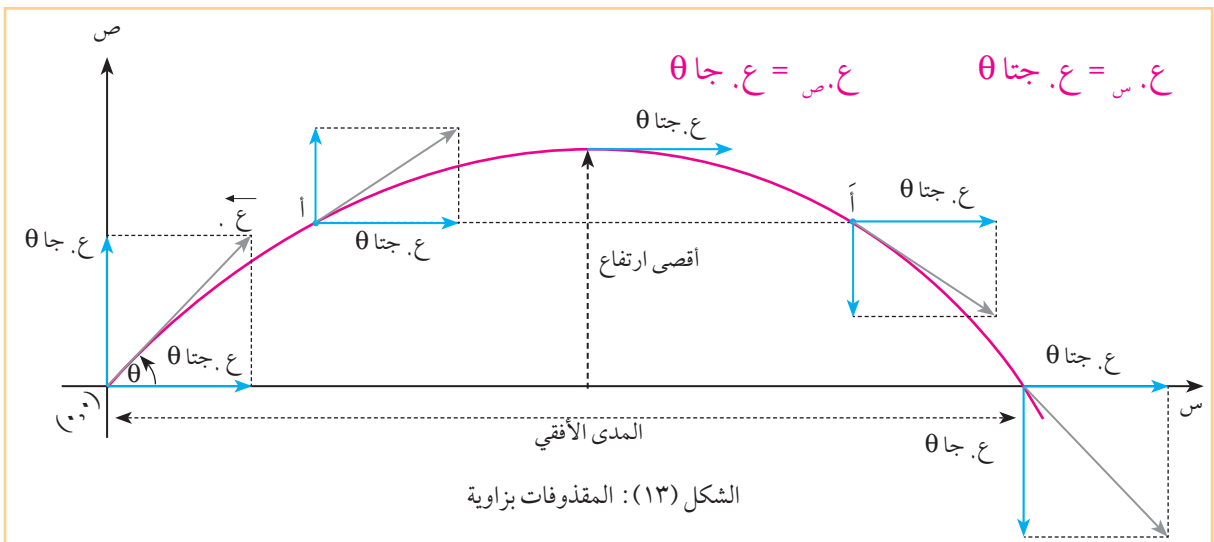
١. الأجسام المقذوفة لأعلى بزاوية والتي تتحرك بمسار منحن، وتتغير احداثيات موضع الجسم الأفقية والرأسية في كل لحظة.

٢. الأجسام المقذوفة أفقياً

المقذوفات بزاوية:

نفترض أن كرة قذفت بسرعة ابتدائية ($\overleftarrow{ع}_{.}$) وباتجاه يصنع زاوية θ مع الأفقي كما في الشكل (١٣).

نحلل متجه السرعة الابتدائية ($\overleftarrow{ع}_{.}$) إلى مركبتين: سينية $ع_{.س}$ و صادية $ع_{.ص}$.



الشكل (١٣): المقذوفات بزاوية

الحركة العمودية:

إن الحركة العمودية للكرة في الشكل (١٣) تشبه حركة مقذوف رأسي بسرعة ابتدائية مقدارها $ع_{،ص} = ع . جا\theta$ ، وتنطبق عليها قوانين الحركة بتسارع ثابت في خط مستقيم .

١ . لحساب الزمن الذي استغرقته الكرة من لحظة قذفها إلى حين وصولها أقصى ارتفاع $ف_{ص}$

عند أقصى ارتفاع تكون مركبة السرعة العمودية $ع_{ص} = ٠$

$ع_{ص} = ع . جا\theta - جـ ز$

$٠ = ع . جا\theta - جـ ز_{١}$ ، حيث $ز_{١}$ الزمن الذي استغرقته الكرة للوصول إلى أقصى ارتفاع .

$$ز_{١} = \frac{ع . جا\theta}{جـ} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٥)$$

٢ . لحساب الزمن الذي استغرقته الكرة في الشكل (١٣) من لحظة قذفها إلى حين عودتها ثانية إلى نفس المستوى (زمن التحليق)، زمن التحليق $= ٢ز_{١} = ٢ \frac{ع . جا\theta}{جـ}$

٣ . لحساب الإزاحة الرأسية التي قطعتها الكرة (أقصى ارتفاع) .

$(ع_{ص})^{٢} = (ع . جا\theta)^{٢} - ٢جـ ف_{ص}$

$٠ = (ع . جا\theta)^{٢} - ٢جـ ف_{١}$ ، حيث $ف_{١}$ أقصى ارتفاع تصله الكرة .

$$ف_{١} = \frac{(ع . جا\theta)^{٢}}{٢ جـ} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٦)$$

الحركة الأفقية :

إن تسارع الجاذبية الأرضية (جـ) ثابت مقداراً وإتجاهاً، حيث يتجه رأسياً للأسفل، أي أنه ليس له مركبة أفقية، لذا فمركبة السرعة الأفقية ثابتة ومساوية للمركبة الأفقية للسرعة الابتدائية ($ع_{س} = ع . جتا\theta$) .

٤ . $ف_{س} = ع_{س} \times ز = ع . جتا\theta \times ز$

$$ف_{م} = ع . جتا\theta \times ٢ز_{١} = ع . جتا\theta \frac{٢ع . جا\theta}{جـ}$$

$$ف_{م} = \frac{ع^{٢} . جا(٢\theta)}{جـ} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٧)$$

حيث $ف_{م}$ المدى الأفقي الذي تصله الكرة كما في الشكل (١٣) .

مثال (٦):

أطلق مدفع قذيفة بسرعة ١٠٠ م/ ث، فإذا كانت ماسورة المدفع تميل بزاوية ٣٧° عن الأفقي، فجد :

١ . الزمن الذي استغرقته القذيفة حتى وصولها أقصى ارتفاع .

٢ . زمن التحليق .

٣ . اقصى ارتفاع وصلت إليه القذيفة .

٤ . المدى الأفقي للقذيفة .

الحل:

١ . $ز_{١} = \frac{ع_{.} \text{ جا} \theta}{جـ} = \frac{١٠٠ \times \text{ جا } ٣٧°}{٩,٨} = ٦,١٤$ ثانية .

٢ . زمن التحليق = $٢ ز_{١}$ = ١٢,٢٨ ثانية .

٣ . $ف_{١} = \frac{(ع_{.} \text{ جا} \theta)^{٢}}{٢ جـ} = \frac{(١٠٠ \times \text{ جا } ٣٧°)^{٢}}{٩,٨ \times ٢}$ = ١٨٤,٨ متر .

٤ . $ف_{م} = ع_{س} \times ٢ ز_{١} = ع_{.} \text{ جتا} \theta \times ٢ ز_{١}$

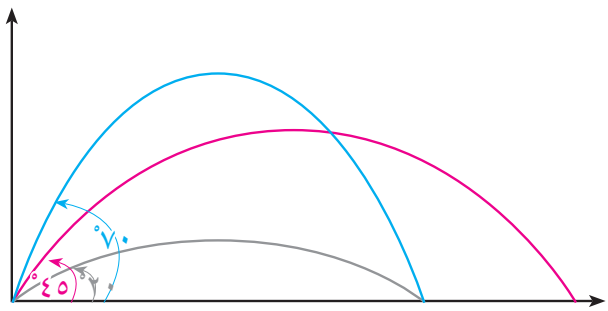
= ١٠٠ × جتا ٣٧° × ١٢,٢٨ = ٩٨٠ متر .

سؤال

أثبت كلاً مما يأتي :

١ . يصل الجسم المقذوف بسرعة معينة إلى أقصى مدى أفقي له عند قذفه بزاوية ٤٥° .

٢ . يتساوى المدى الأفقي لجسم مقذوف عند قذفه بزاويتين مجموعهما ٩٠° .



المقذوفات أفقياً:

عندما تتدحرج كرة على سطح طاولة، ثم تسقط عنها فإنها تقطع مسافتين : أفقية ، ورأسية، وتكون سرعتها الابتدائية العمودية تساوي صفراً بينما سرعتها الابتدائية الأفقية $ع_{.س}$ ، ويمكن تحليل حركة الكرة في اتجاهين : أفقية بسرعة ثابتة، ورأسية بتسارع ثابت، ولتوضيح ذلك إليك المثال الآتي :

مثال (٧):

سقطت قذيفة من طائرة تطير أفقيا على ارتفاع ٢ كم من سطح الأرض بسرعة ١٥٠ م / ث . جد كلاً مما يأتي :

١ . الزمن الذي تستغرقه القذيفة في مسارها نحو الأرض .

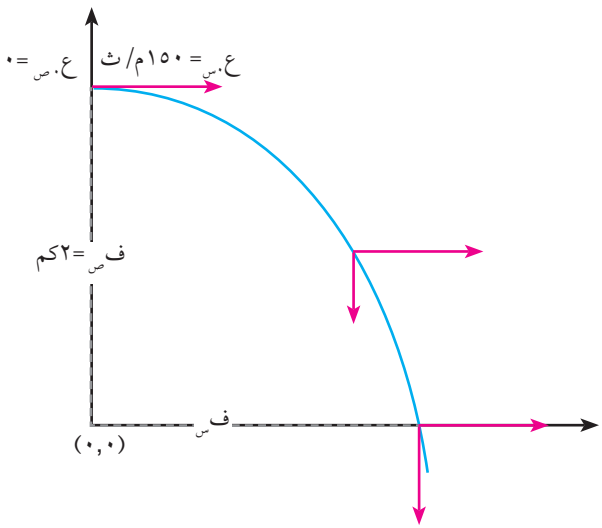
٢ . السرعة التي تصطدم بها القذيفة مع الأرض .

٣ . المدى الأفقي للقذيفة .

الحل:

عندما تسقط قذيفة من طائرة تطير أفقياً بسرعة ع. ، فإن سرعة القذيفة الابتدائية الرأسية ع$_{ص}$ = صفر ، وتكون سرعة القذيفة الأفقية هي نفس سرعة الطائرة .

نفترض أن سطح الأرض هو مستوى الإسناد



١ . ف$_{ص}$ = ف. + ع. $_{ص}$ x ز − $\frac{١}{٢}$ جـ (ز)^{٢}

٠ = ٢٠٠٠ + ٠ − $\frac{١}{٢}$ جـ (ز)^{٢}

ز^{٢} = $\frac{٢٠٠٠ \times ٢}{جـ}$ = $\frac{٢٠٠٠ \times ٢}{٩,٨}$ = ٤٠٨

ز = ٢٠,٢ ثانية

٢ . ع$_{ص}$ = ع.$_{ص}$ − جـ ز

ع$_{ص}$ = ٠ − جـ ز

ع$_{ص}$ = −جـ ز = − ٩,٨ x ٢٠,٢ = −١٩٨م/ث

ع = $\sqrt{(ع_{س})^{٢} + (ع_{ص})^{٢}}$ = $\sqrt{(١٥٠)^{٢} + (١٩٨)^{٢}}$

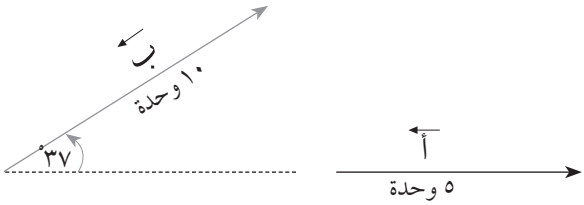
ع = ٢٤٨م/ث .

٣ . المدى الأفقي ف$_{س}$ = ع .$_{س}$ x ز

ف$_{س}$ = ١٥٠ x ٢٠,٢ = ٣٠٣٠ متر

س١ : أ . استخدم الطريقة الهندسية لجمع المتجهات لإيجاد كل مما يأتي :

- ٢ $\overleftarrow{أ}$ + $\overleftarrow{ب}$
- $\overleftarrow{أ}$ - $\overleftarrow{ب}$



ب . أوجد مقدار كل من :

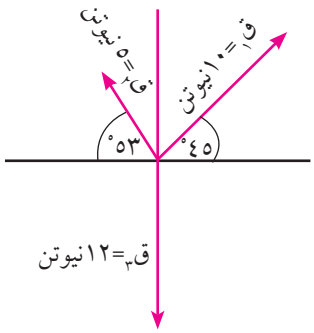
- $\overleftarrow{أ}$. $\overleftarrow{ب}$
- $\overleftarrow{أ}$ x $\overleftarrow{ب}$

س٢ : تؤثر على جسم قوتان متساويتان بالمقدار، قيمة كل منهما ق، ما مقدار الزاوية بين القوتين إذا علمت أن مقدار محصلتهما أيضاً تساوي ق .

س٣ : طائرة تطير بسرعة ٦٠ كم/ س، ويصنع خط سيرها زاوية قدرها ٣٧° شمال الشرق، أوجد مركبتي السرعة باتجاهي الشمال والشرق .

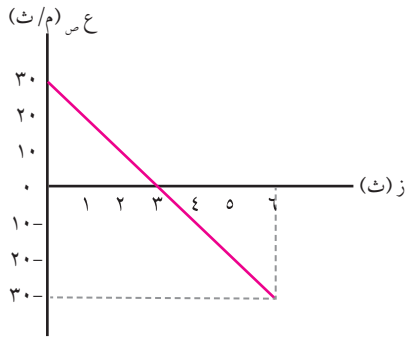
س٤ : إذا أثرت قوة مقدارها ٢٠ نيوتن باتجاه محور السينات الموجب، فما القوة التي يجب إضافتها لها حتى يصبح مقدار محصلة القوتين ١٥ نيوتن باتجاه محور الصادات الموجب ؟

س٥ : احسب مقدار واتجاه القوة المحصلة للقوى الموضحة في الشكل المجاور .



س٦ : أثرت قوتان متساويتان في المقدار على جسم بحيث كانت الزاوية بينهما ١٢٠° . إذا علمت أن محصلة القوتين = ٣ نيوتن، احسب مقدار كل من القوتين واتجاه المحصلة .

س٧ : الرسم البياني المجاور يعبر عن تغير مركبة السرعة العمودية لجسم مقذوف في مجال جاذبية الأرض، إذا كانت زاوية القذف ٣٠° ، احسب :

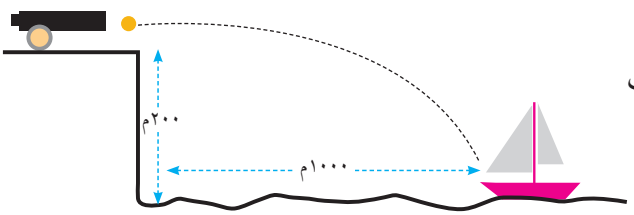


أ- مقدار السرعة التي قذف بها الجسم .

ب- أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم .

جـ- المدى الأفقي للجسم .

س٨ : في الشكل المجاور احسب السرعة التي يجب أن تطلق بها القذيفة من فوهة المدفع ؛ لكي تصيب السفينة . جـ = ٩,٨ م/ ث^{٢}



٢ القوى والعزوم

عندما تتغير سرعة جسم مقداراً أو اتجاهاً، فإنك تتوقع أن يكون هناك مسببٌ لهذا التغير، وينتج هذا التغير من تأثير المحيط على الجسم، فمثلاً عندما نشاهد أغصان الأشجار تتحرك، فإنك تتوقع أن الرياح سببت حركتها، وعندما يتوقف جسم ينزلق على سطح أفقي عن الحركة فإنك تتوقع أنه تم ذلك بسبب تأثير السطح على الجسم.

إن المؤثر الذي يسبب تغيراً في سرعة الجسم مقداراً أو اتجاهاً أوكليهما يسمى قوة، وهي عبارة عن دفع أو سحب على الجسم، فما الذي يحرك الأشياء؟ وكيف تتحرك؟ متى تتوقف؟ لماذا لا يتحرك الكرسي الذي تجلس عليه؟ هذه الاسئلة، وأخرىغيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

- توضح مفهوم القوة.
- تتعرف وحدة قياس القوة .
- تتعرف أنواع مختلفة من القوى.
- تحدد شروط اتزان الجسم الصلب تحت تأثير عدد من القوى المستوية المتلاقية.
- تتعرف مفهوم عزم القوة .
- تحسب مقدار عزم القوة حول محور وتحدد اتجاهه .
- تحسب محصلة قوتين متوازيتين .
- تتعرف مفهوم الازدواج.
- تحسب مقدار عزم الازدواج وتحدد اتجاهه.

٢ - ١ مفهوم القوة وقياسها

ارتبط مفهوم القوة بمفهوم الحركة منذ عهد أرسطو؛ إذ كان الاعتقاد السائد أنَّ القوة ضرورية لتحريك الأجسام، وأنه لا بد من استمرار تأثيرها على الجسم ليبقى متحركاً. وفي القرن السابع عشر الميلادي أرسى العالم الإيطالي جاليليو جاليلي قواعد علم الحركة، وبين أنه لا ضرورة لاستمرار تأثير القوة على الجسم ليبقى متحركا بسرعة ثابتة في خط مستقيم. واستكمل نيوتن من بعده دراسة علم الحركة واضعا قوانينه الثلاثة التي تعدّ أساس علم الحركة، فالقوة مؤثر خارجي يعمل على تغيير مقدار سرعة الجسم المتحرك أو اتجاه حركته وقد يغير من شكل الجسم (يشوهه)، وتعدّ وحدة النيوتن الوحدة الأساسية لقياس القوة في النظام العالمي للوحدات.

٢ - ٢ أنواع خاصة من القوى

هناك أنواع مختلفة من القوى سنتعرف على بعضها:

قوة الجاذبية الأرضية: Gravitational Force

جاليليو (١٥٦٤ - ١٦٤٢ م)، عالم إيطالي وأول من أدرك أن جاذبية الأرض تكسب جميع الأجسام الساقطة التسارع نفسه مهما اختلفت في الكتلة.

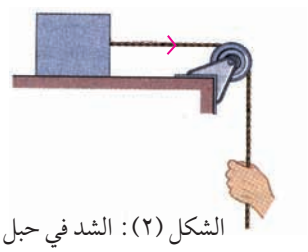
القوة التي تؤثر بها الأرض على جميع الأجسام فتجذبها نحوها وتكسبها أوزانها، وتزداد هذه القوة كلما ازدادت كتلة الجسم، وتقل كلما ابتعد الجسم عن مركز الأرض، وقد وجد أن قوة جذب الأرض للأجسام تعطى بالعلاقة:

$ق_{ج} = ك \times ج$ ، حيث ك: كتلة الجسم، ج: تسارع الجاذبية الأرضية.

ويعرف وزن الجسم بأنه مقدار القوة اللازمة لمنع الجسم من السقوط سقوطاً حراً، وتساوي مقداراً قوة جذب الارض للجسم، وفي حالة جسم ساكن أو متحرك بسرعة ثابتة فإن وزن الجسم و = ك ج.

قوة الشد: Tension

الشكل (١): الشد في حبل



الشكل (٢): الشد في حبل حول بكرة

عند ربط جسم بحبل وشده فإن الحبل يؤثر بقوة على الجسم محاولاً جره في اتجاه الحبل، وتسمى هذه القوة قوة الشد. انظر الشكل (١).

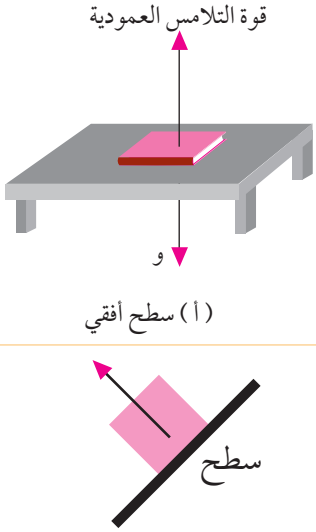
يعدّ الحبل في الغالب عديم الكتلة مقارنةً مع كتلة الجسم وغير مرن، وفي هذه الحالة يعدّ الشد في جميع أجزاء الحبل متساوياً. وعندما يدور الحبل حول بكرة ملساء وخفيفة (عديمة الكتلة)، فإن الشد يبقى متساوياً في جميع أجزاء الحبل، وتعمل البكرة على تغيير اتجاه الشد، انظر الشكل (٢).

قوة التلامس العمودية: Normal Force

انظر الشكل (٣-أ)، ماذا تسمى القوة المعاكسة بالاتجاه لوزن الكتاب والتي تبقيه ساكناً؟ وما سبب وجودها؟

عندما تضع كتاباً على الطاولة فإنه يتأثر بقوتين، قوة الجاذبية التي تؤثر عليه عمودياً إلى أسفل (باتجاه مركز الأرض)، وقوة أخرى تساويها بالمقدار وتعاكسها بالإتجاه تسمى قوة التلامس العمودية، وهي تؤثر على الجسم عمودياً على مستوى التلامس، وبعيداً عن السطح، وتظهر عندما يلامس الجسم سطحاً آخر.

أما إذا وضع الجسم على سطح مائل فإن قوة التلامس تكون عمودية على السطح المائل كما هو موضح في الشكل (٣-ب).



الشكل (٣): قوة التلامس العمودية

قوة الاحتكاك: Friction Force

لا بد أنك حاولت يوماً دفع صندوق على الأرض، ولم تفلح في المحاولة الأولى، مما جعلك تؤثر بقوة أكبر حتى استطعت أن تتغلب على قوة معاكسة لقوتك تسمى قوة الاحتكاك.

تنشأ قوة الاحتكاك بسبب تداخل نتوءات السطحين المتلامسين محاولة منعهما من الانزلاق على بعضهما؛ ولذلك فهي تعتمد بشكل أساسي على طبيعة هذين السطحين.

وقد وجد بالتجربة أن قوة الاحتكاك تتناسب طردياً مع قوة التلامس العمودية: $\overleftarrow{ق}_ح \propto \overleftarrow{ر}$ ، $\overleftarrow{ق}_ح = م \overleftarrow{ر}$

حيث: $\overleftarrow{ق}_ح$: قوة الاحتكاك.

م: ثابت التناسب، ويساوي معامل الاحتكاك بين السطحين.

$\overleftarrow{ر}$: قوة التلامس العمودية على السطح.

دلّت التجارب العملية على وجود نوعين من الاحتكاك بين الأسطح الصلبة، هما:

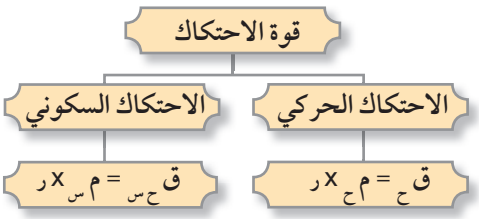
الاحتكاك السكوني Static Friction،

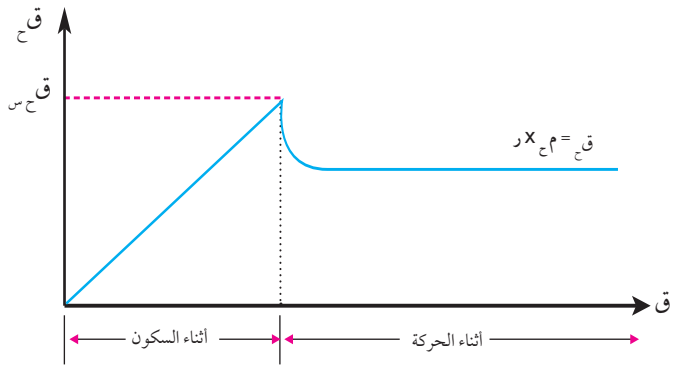
والاحتكاك الحركي Kinetic Friction.

يؤثر الاحتكاك السكوني بين سطحين متلامسين ساكنين، وقوة الاحتكاك السكوني متغيرة، وتوازن باستمرار القوة المتزايدة والمؤثرة من قبلك أثناء محاولتك تحريك الجسم، وتصل إلى قيمتها القصوى في اللحظة التي يكون فيها الجسم على وشك الحركة، وعندها يصبح من الأسهل جعل الجسم يستمر

في الحركة، وتسمى قوة الاحتكاك عندما يتحرك الجسم بقوة الاحتكاك الحركي .

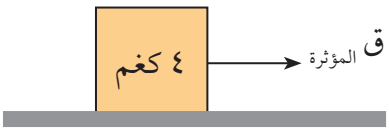
والشكل (٤) يمثل العلاقة بين القوة المؤثرة وقوة الاحتكاك بين سطحين :





الشكل (٤): قوة الاحتكاك بين سطحين

سؤال



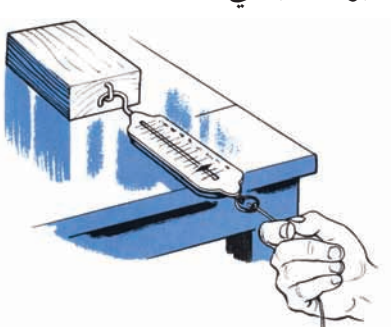
يمثل الشكل المجاور جسماً كتلة ٤ كغم موضوع على سطح خشن، حيث أن معامل الاحتكاك السكوني بين الجسم والسطح ٠,٥ ومعامل الاحتكاك الحركي ٠,٤ ، احسب مقدار الاحتكاك ونوعها (سكوني أو حركي) عندما تكون أ. ق المؤثرة = ١٦ نيوتن ، ب. ق المؤثرة = ٢٣ نيوتن .

نشاط (١): قياس معامل الاحتكاك السكوني بين سطحين

المواد والأدوات : ميزان نابضي، وقطعة خشبية مستطيلة الشكل، و أوزان مختلفة .

خطوات العمل :

١. احضر القطعة الخشبية وثبت بها مسماراً صغيراً أو برغياً في منتصف أحد أطرافها واربط به سلكاً صغيراً على شكل حلقة ليسهل سحبها أوتعليقها بوساطة خطاف الميزان النابضي .



٢. علق القطعة الخشبية بالميزان النابضي وقس وزنها .

٣. ضع ثقلاً معروف الوزن فوق القطعة الخشبية، وحاول ببطء شديد أن تجر القطعة الخشبية والثقل الموجود عليها بوساطة الميزان النابضي، وراقب قراءة الميزان عندما يصبح الجسم على وشك الحركة .

٤. كرر المحاولة باستخدام أثقال مختلفة .

٥. مثل بيانياً العلاقة بين قراءة الميزان (القوة المؤثرة)، وقوة التلامس العمودية (وزن الأثقال والقطعة الخشبية)، ثم أوجد من الرسم معامل الاحتكاك السكوني .

٢ ـ ٣ اتزان الجسم الصلب

يتزن الجسم الصلب تحت تأثير عدة قوى مستوية ومتلاقية في نقطة، عندما تكون محصلة هذه القوى = صفراً. ويكون الجسم في وضع الاتزان عندما يكون ساكناً أو متحركاً بسرعة ثابتة في خط مستقيم، ويعدّ هذا شرطاً لحدوث اتزان الجسم.

يعبر عن هذه العلاقة رياضياً: $\Sigma \overleftarrow{ق} = \overleftarrow{ق_1} + \overleftarrow{ق_2} + \overleftarrow{ق_3} + \ldots = $ صفراً

وحيث أن القوة كمية متجهة فإنه يشترط لحدوث الاتزان أن يكون مجموع المركبات السينية يساوي صفراً، ومجموع المركبات الصادية تساوي صفراً.

$\Sigma \overleftarrow{ق_س} =$ صفر، $\Sigma \overleftarrow{ق_ص} =$ صفراً

فكر:
لماذا لم يسقط برج بيزا المائل على مدى هذه السنوات؟

نشاط (٢): إيجاد القوة الموازنة لقوتين مستويتين ومتلاقيتين

المواد والأدوات:

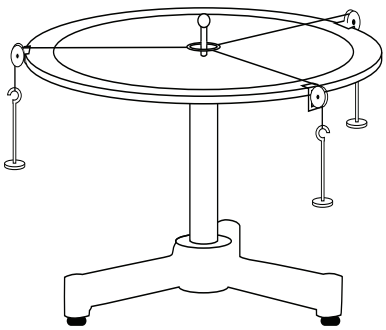
طاولة القوى وملحقاتها (أوزان مشقوقة مع خطاف، وخيوط، وبكرات)، وميزان تسوية صغير (ميزان ماء).

خطوات العمل:

١. نضبط استواء الطاولة باستخدام ميزان التسوية.

٢. نربط ثلاثة خيوط، طول الواحد منها حوالي ٤٠ سم في حلقة معدنية.

٣. نضع الحلقة المشتركة للخيوط الثلاثة حول محور الطاولة كما في الشكل.



٤. نثبت بكرتين على إطار الطاولة الدائري، ولتكن الأولى على تدريج الصفر، والثانية على زاوية معينة مثل ٦٠°.

٥. نضع عدداً مختلفاً من الأوزان المشقوقة على خطافين، ونزن كل خطاف مع الأوزان المثبتة عليه باستخدام ميزان نابضي.

٦. نعلق أوزاناً بوساطة الخطاف بالخيط الأول المار بالزاوية صفر، وأوزاناً أخرى بالخيط المار على البكرة الثانية.

٧. نحدد اتجاه القوة الموازنة للقوتين $ق_1$ و $ق_2$، وذلك بأن نشد الخيط الثالث باليد حتى تتزن الحلقة المركزية حول محور الطاولة تماماً.

٨. نثبت بكرة ثالثة عند زاوية القوة الموازنة، ونمرر الخيط الثالث عليها، ونعلق به أوزاناً حتى تتزن الحلقة تماماً حول محور الطاولة، فتكون القوة الثالثة هي القوة الموازنة للقوتين $ق_1$ و $ق_2$.

اتزان القوى: إذا اتزن جسم تحت تأثير ثلاث قوى مستوية، فإن محصلة أي قوتين تساوي القوة الثالثة في المقدار وتعاكسها في الاتجاه، ويمكن تمثيل هذه القوى بأضلاع مثلث ينطبق عليها قانون الجيوب (قاعدة لامي).

مركز الثقل (نقطة التوازن) :

ضع كتاباً على حافة الطاولة وادفعه بالتدريج نحو حافتها، سيبقى الكتاب متزناً حتى عندما يكون جزء منه خارج الحافة، هل يمكنك تفسير ذلك؟ استمر في دفعه حتى يسقط الكتاب. ما الذي أدى إلى اختلال التوازن الآن؟

لجميع الأجسام نقطة توازن تسمى مركز الجاذبية أو مركز الثقل.

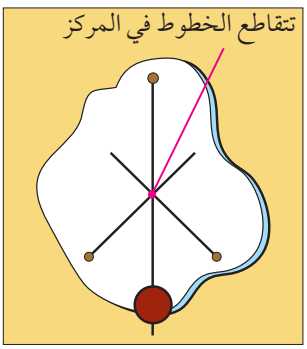
مركز الثقل: النقطة التي يبدو أن تأثير الجاذبية مُركّز فيها، وهو نقطة تأثير محصلة أوزان الجسيمات الصغيرة التي يتكون منها الجسم.

ولتحديد موقع هذه النقطة قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط(٣): تحديد مركز ثقل جسم

المواد والأدوات :

قطعة كرتون ،و مقص، وخيوط ، وأثقال، ودبوس أو مسمار



خطوات العمل :

- قص شكلاً عشوائياً من الكرتون.
- اثقب فيه ثلاثة ثقوب على الأطراف.
- اربط الوزن بالخيط .
- علق الشكل والخيط على مسمار، وارسم خطاً مستقيماً تحت الخيط.
- أعد تعليق الشكل من الثقبين الآخرين، وارسم الخط الشاقولي (الرأسي) في كل حالة.
- عين نقطة تقاطع الخطوط الثلاثة. ماذا تمثل هذه النقطة؟

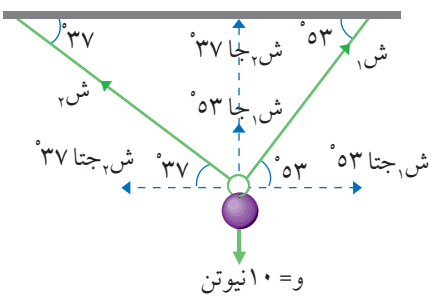
مثال (١):

جسم وزنه ١٠ نيوتن معلق بوساطة حبلين في سقف أفقي كما في الشكل. احسب قوتي الشد في الحبلين عندما يتزن الجسم؟

الحل:

١. نحلل قوتي الشد في الحبلين (ش١ و ش٢) إلى مركبتيها: السينية والصادية.

٢. نطبق شروط الاتزان على المركبات السينية والصادية.



Σ ق$_{س}$ = صفر

ش$_{١}$ جتا ٥٣° – ش$_{٢}$ جتا ٣٧° = صفر

ش$_{١}$ × ٠,٦ = ش$_{٢}$ × ٠,٨

٣ش$_{١}$ = ٤ش$_{٢}$ ، أي أن: ش$_{١}$ = $\frac{٤}{٣}$ ش$_{٢}$

$\sum ق_{ص}$ = صفر

ش$_{١}$ جا ٥٣° + ش$_{٢}$ جا ٣٧° − و = صفر

٠,٨ ش$_{١}$ + ٠,٦ ش$_{٢}$ = ١٠

٠,٨ × $\frac{٤}{٣}$ ش$_{٢}$ + ٠,٦ ش$_{٢}$ = ١٠

١,١ ش$_{٢}$ + ٠,٦ ش$_{٢}$ = ١٠ ، ١,٧ ش$_{٢}$ = ١٠

ش$_{٢}$ = $\frac{١٠}{١,٧}$ = ٥,٩ نيوتن ، ش$_{١}$ = $\frac{٤}{٣}$ ش$_{٢}$ = ٧,٩ نيوتن

٢ - ٤ العزوم: Torque

تؤثر في بعض الأحيان بقوة على جسم فتسبب له دوراناً بدلاً من تحريكه في خط مستقيم، ما الذي يسبب دوران الأجسام؟ وما الذي يوقف دورانها؟

عندما تفتح الباب فإنك تؤثر بقوة مفردة على قبضته تجعله يدور حول المفصل الذي هو محور دورانه وتقع عليه نقطة الارتكاز، ويعتمد الأثر الدوراني لقوة تؤثر في جسم على بعد نقطة تأثيرها عن نقطة الارتكاز، وعلى مقدار القوة نفسها.

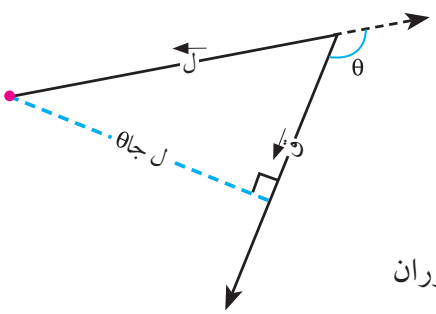
عزم القوة:

عندما تؤثر قوة على جسم ما ويكون خط عمل القوة غير مار من نقطة اتزان الجسم (مركز ثقله)، فإن الجسم يدور حول محور ثابت. ويسمى الأثر الدوراني للقوة المؤثرة على الجسم القابل للدوران حول المحور، عزم القوة، ويرمز له $\overleftarrow{ع}_{ق}$.

ويمكن حساب عزم القوة رياضياً من العلاقة الآتية:

$\overleftarrow{ع}_{ق} = \overleftarrow{ل} \times \overleftarrow{ق}$ ، ويحدد اتجاه العزم باستخدام قاعدة اليد اليمنى

ع$_{ق}$ = ل ق جا θ



الشكل (٤): عزم القوة

حيث:

$\overleftarrow{ع}_{ق}$: عزم القوة حول محور الدوران، ويقاس بوحدة نيوتن. متر

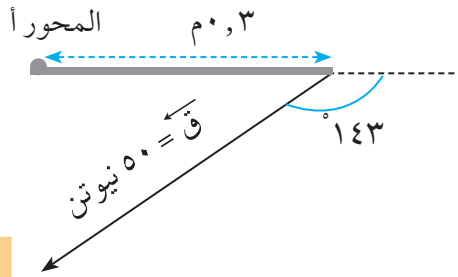
$\overleftarrow{ق}$: القوة المؤثرة.

$\overleftarrow{ل}$: متجه الموضع لنقطة تأثير القوة، مقداره البعد بين محور الدوران ونقطة تأثير القوة وإتجاهه من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة

θ : الزاوية بين $\overleftarrow{ق}$ و $\overleftarrow{ل}$ ، انظر الشكل (٤).

مثال (٢):

في الشكل المجاور، احسب عزم القوة حول المحور (أ).



الحل:

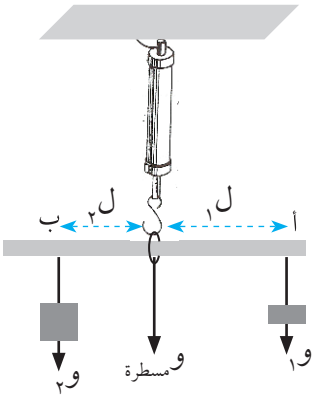
$\overleftarrow{ع}_{ق}$ = ل ق جا θ

= ٥٠ x ٠,٣ x جا ١٤٣°

= ٩ نيوتن . م مع عقارب الساعة

نشاط (٤): اتزان الجسم الصلب تحت تأثير عدة قوى متوازية

المواد والأدوات: مسطرة مترية، وميزان نابضي، وكتل مختلفة



خطوات العمل:

- علق المسطرة من منتصفها بوساطة ميزان نابضي مثبت من الأعلى كما في الشكل.
- علق ثقلاً (و١) في طرف المسطرة (أ).
- علق ثقلا آخر (و٢) في الطرف الثاني (ب) وعلى بعد يجعل المسطرة متزنة أفقياً.
- قس ذراع الثقل الأول (ل١) وذراع الثقل الثاني (ل٢).
- قس قراءة الميزان النابضي.
- كرر الخطوات السابقة بتغيير الأثقال في كل حالة. سجل نتائجك في الجدول المرفق.

رقم المحاولة	و١	ل١	و١ x ل١	و٢	ل٢	و٢ x ل٢	قراءة الميزان
١							
٢							
٣							

تلاحظ من التجربة أن المسطرة تتزن في كل حالة عندما تتحقق العلاقة:

و١ x ل١ = و٢ x ل٢

وهذا يعني أن مجموع العزوم حول محور يمر في منتصف المسطرة = صفر.

وأن قراءة الميزان في كل حالة (محصلة القوتين) = و١ + و٢ + و المسطرة

- كرر الخطوات السابقة باستخدام عدة أثقال على أبعاد مختلفة من نقطة الارتكاز.
- حرك الأثقال على طول المسطرة حتى تحصل على الاتزان في كل حالة. ماذا تستنتج؟

مما سبق نلاحظ أن الشروط اللازم توفرها لاتزان جسم صلب تحت تأثير عدة قوى هي:

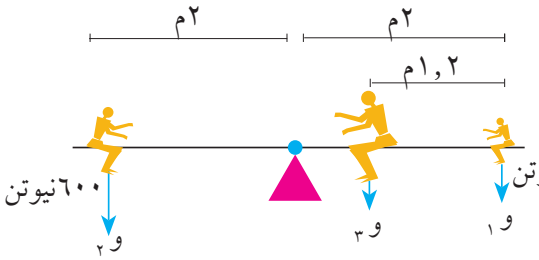
- $\Sigma \overleftarrow{ع}$ حول أي محور = صفراً.
- $\Sigma \overleftarrow{ق}$ = صفراً.

مثال (٣):

في الشكل المجاور لعبة أطفال (سي – سو) . احسب :

١ . وزن الطفل الثالث حتى تتوازن الرافعة .

٢ . قوة التلامس العمودية عند نقطة الارتكاز .



الحل:

– نرسم القوى، ونحدد ذراع كل منها كما في الشكل .

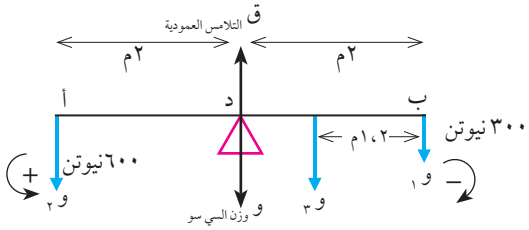
– نطبق شرطي الإتزان السابقين .

الشرط الاول : ∑ع حول النقطة د = صفر

$\overleftarrow{و_{١}} \times \overleftarrow{ل_{١}} + \overleftarrow{و_{٢}} \times \overleftarrow{ل_{٢}} + \overleftarrow{و_{٣}} \times \overleftarrow{ل_{٣}} + \overleftarrow{و_{\text{السي سو}}} \times \overleftarrow{ل_{\text{السي سو}}} + \overleftarrow{ق_{\text{التلامس العمودية}}} \times \overleftarrow{ل} = \text{صفر}$

$-(٢\times٣٠٠) + ٢\times٦٠٠ - (و_{٣} \times ٠,٨) + \text{صفر} + \text{صفر} = \text{صفر}$

$-٦٠٠ + ١٢٠٠ - (و_{٣} \times ٠,٨) = \text{صفر}$



$٦٠٠ - ٠,٨ و_{٣} = \text{صفر}$

$٠,٨ و_{٣} = ٦٠٠$ ، إذن $و_{٣} = ٧٥٠$ نيوتن

وبالتعويض في معادلة الشرط الثاني : ∑ ق = صفر

$٧٥٠ - -٣٠٠ + ق_{\text{التلامس}} - ٦٠٠ = ٠$ ، $(ق_{\text{التلامس}}) = ١٦٥٠$ نيوتن

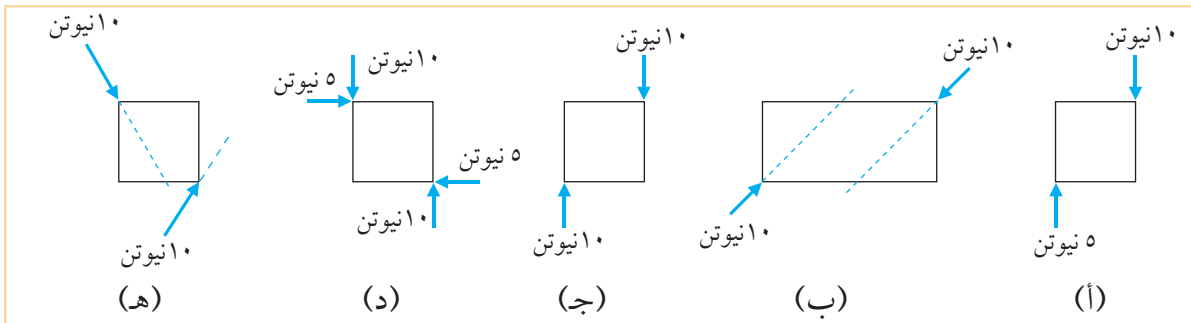
إذا أهملنا وزن لعبة السي سو

سؤال: قضيب معدني منتظم طوله ٨ م ووزنه ٤٠ نيوتن يستند في نقطة على حامل ، علق في إحدى نهايتيه ثقلاً مقداره ٤٠ نيوتن ، فإذا اتزن القضيب في وضع أفقي فجد المسافة بين نقطة الإسناد والثقل المعلق .

الازدواج :

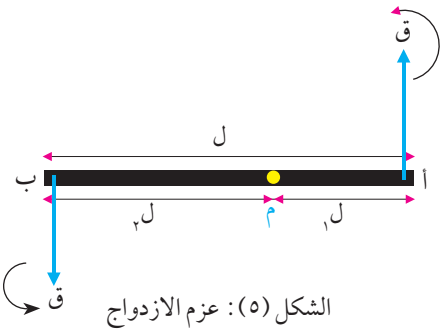
عندما تؤثر قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه ، ومتوازيتان وخطّا عملهما غير مشتركين ، فإن تأثيرهما على الجسم سيكون دورانياً ؛ أي أنهما يشكلان ازدواجاً . ويقاس الأثر الدوراني على الجسم بكمية فيزيائية متجهة تسمى عزم الازدواج الذي قد يسبب دوران الجسم بعكس عقارب الساعة ، أومع عقارب الساعة .

سؤال: أي من القوى في الأشكال الآتية يشكل ازدواجاً . ولماذا؟



حساب عزم الازدواج:

نفترض أن جسماً صلباً طوله (ل) قابل للدوران حول محور ، وتؤثر عند طرفيه قوتان متساويتان قيمة كل منهما (ق) كما في الشكل (٥)، وتشكل هاتان القوتان المتساويتان والمتعاكستان ازدواجاً، ولحساب عزم الازدواج حول النقطة (م)، نقوم بالخطوات الآتية :



الشكل (٥): عزم الازدواج

- نفرض أن محور الدوران عمودي على مستوى القوتين .
- عزم الازدواج المكون من القوتين يساوي مجموع عزمي القوتين حول النقطة (م) التي يمر بها محور الدوران .

$\Sigma \overleftarrow{ع_م} = \overleftarrow{ع_م}(ق_1) + \overleftarrow{ع_م}(ق_2)$

$\Sigma \overleftarrow{ع_م} = \overleftarrow{ل_1} \times \overleftarrow{ق} + \overleftarrow{ل_2} \times \overleftarrow{ق}$ واتجاه العزمين بعكس دوران عقارب الساعة .

بما أن ($\overleftarrow{ق}$) عمودية على (ل) فإن (جا θ = ١)

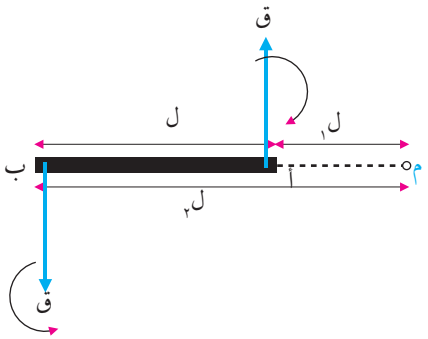
$\Sigma \overleftarrow{ع_م} = (ل_1 + ل_2)\, ق$ لأن $ل = ل_1 + ل_2$

$= ل\, ق$

حيث $ع_م$: عزم الازدواج، ق : إحدى القوتين، ل : البعد العمودي بينهما

سؤال

احسب عزم الازدواج عندما تقع النقطة (م) على امتداد العمود الواصل بين خطي عمل القوتين كما في الشكل، لاحظ أن أحد العزمين باتجاه دوران عقارب الساعة، والآخر بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة .



مثال (٤):

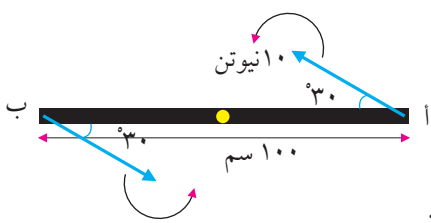
مسطرة (أ ب) قابلة للدوران حول محور ارتكاز يمر في منتصفها، تؤثر عليها قوتان، قيمة كل منهما ١٠ نيوتن، وتميل كل منهما بزاوية مقدارها ٣٠° عن محور المسطرة كما في الشكل، احسب الازدواج المؤثر على المسطرة .

الحل:

أ. $\overleftarrow{ع_م} = \overleftarrow{ل_1} \times \overleftarrow{ق}$

$= ل\, ق$ جا ٣٠° $= (١٠)(١)(٠,٥)$

$= ١٠ (٠,٥) = ٥$ نيوتن . م



وسيعمل هذا الازدواج على إدارة المسطرة في اتجاه عكس عقارب الساعة .

س١ : ما المقصود بكل من المفاهيم الآتية :

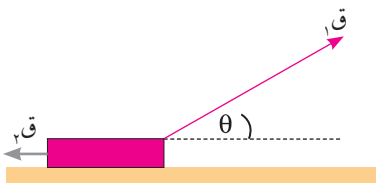
القوة، قوة الاحتكاك السكوني، مركز ثقل الجسم، ذراع الازدواج .

س٢ : فسر ما يأتي تفسيراً علمياً :

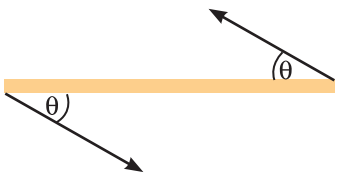
– القيمة القصوى لمعامل الاحتكاك السكوني لسطحين ما أكبر من معامل الاحتكاك الحركي لنفس السطحين؟

– القوة التي يكون خط عملها موازياً للذراع ليس لها أثر دوراني على الجسم .

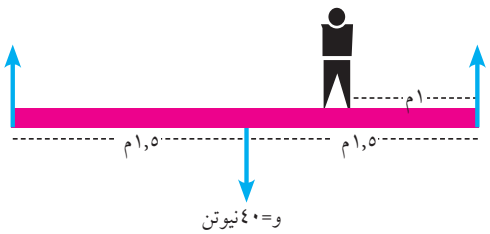
س٣ : في الشكل المجاور قوتان (ق١ ، ق٢) تؤثران في صندوق يتحرك بسرعة ثابتة على أرضية ملساء . فإذا قللنا الزاوية θ من دون تغيير قيمة ق١ ، وأردنا للجسم أن يبقى على سرعته الثابتة . فهل تزيد ق٢ أم تقللها أم تبقيها ثابتة؟ بيّن السبب .



س٤ : قوتان متوازيتان قيمة كل منهما ٨٠ نيوتن . تؤثران عند طرفي مسطرة كما في الشكل المجاور، فإذا كان طول الساق ٢ م، وعزم الازدواج المؤثر=٨٠ نيوتن . م، جد الزاوية التي يصنعها خط عمل كل من القوتين مع المسطرة .



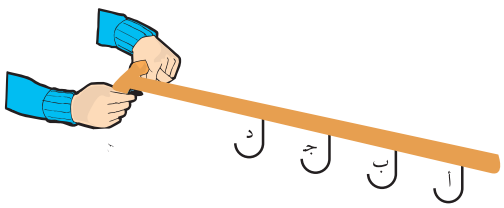
س٥ : يتزن لوح منتظم من الخشب طوله ٣ م . ووزنه ٤٠ نيوتن علق في وضع أفقي بوساطة حبلين رأسيين مربوطين عند طرفيه، إذا وقف شخص كتلته ٧٢ كغم على بعد ١ م من إحدى طرفيه جد قوة الشد في كلا الحبلين .



س٦ : في الشكل طالب يحمل متراً خشبياً به خطّافات على مسافات مختلفة من يديه . إذا علق جسم ثقيل في إحداها . سيواجه هذا الطالب صعوبة في رفع المتر .

١ . في أية خطّاف يلاقي صعوبة أكبر ؟

٢ . رتب الخطّافات تنازلياً من حيث الصعوبة التي سيواجهها .



٣ قوانين نيوتن في الحركة

يبحث علم الميكانيكا في حركة الأجسام، ويقسم تبعاً لذلك إلى عدة موضوعات: علم الكاينمتيكا، أو (علم الحركة المجردة)، ويصف حركة الأجسام ويبين العلاقة بين متغيراتها، وعلم الاستاتيكا، أو (علم السكونيات)، ويختص بدراسة القوى على الأجسام الساكنة، وعلم الديناميكا ، أو (علم التحريك)، ويبحث في القوى المؤثرة على الأجسام وحالتها الحركية، وهو موضوع دراستنا لهذا الفصل.

ويرتكز علم الديناميكا على ثلاثة قوانين طبيعية وضعها العالم نيوتن، فما هذه القوانين؟ وما العلاقة التي تربط بين القوة والتغير في سرعة الجسم؟ وكيف تؤثر الأجسام بعضها على بعض؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل وستكون قادراً على أن:

- توضح مفهوم القصور الذاتي للأجسام.
- تتعرف قوانين نيوتن الثلاثة .
- تستنتج عملياً العلاقة بين مقدارالقوة المؤثرة على جسم والتسارع الذي يكتسبه.
- تحل مسائل حسابية على قانون نيوتن الثاني.
- تتعرف تطبيقات عملية ورياضية على قوانين نيوتن.
- توضح العوامل التي تعتمد عليها قوة التجاذب بين جسمين.
- تستخدم قانون الجذب العام في حل مسائل حسابية.

إسحق نيوتن (١٦٢٤ – ١٧٢٧ م)، فيزيائي ورياضي إنجليزي، يعدّ من أعظم الفيزيائيين على مر العصور فأفكاره واكتشافاته في علوم الفيزياء والرياضيات والفلك هي أساسيات العلم الحديث.

٣ - ١ قانون نيوتن الأول

لعلك عدت يوماً إلى بيتك بعد غياب طويل ونظرت حولك وقلت بارتياح: كل شيء بقي على حاله، هل فكرت يوماً أن هذه العبارة تنطوي على أحد أهم القوانين الطبيعية؟

هل فكرت لماذا تشدد قوانين السير على ربط حزام الأمان للسائق و الركاب أيضا عند ركوبهم سيارة، وتخالف من لا يستجيب لهذا الأمر؟

الأجسام الساكنة تبقى ساكنة، والأجسام المتحركة بسرعة ثابته وفي خط مستقيم تبقى كذلك مالم تؤثر عليها قوى خارجية محصلة، وهذا يعني أننا نحتاج قوة لتحريك الأجسام الساكنة، ونحتاج قوة لتغيير الحالة الحركية للأجسام المتحركة، ولكننا لا نحتاج قوة لجعلها تستمر في حركتها بخط مستقيم وبسرعة ثابتة.

فسر مايأتي:

عندما تتحرك الحافلة للأمام يرتد المسافرون للخلف وعندما تتوقف فجأة يندفعون للأمام

قانون نيوتن الأول في الحركة:

الجسم الساكن يبقى ساكناً والجسم المتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم يستمر بحركته بنفس السرعة والاتجاه ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تجبره على تغيير ذلك.

يصف هذا القانون ميل الأجسام للمحافظة على حالتها الحركية وممانعة تغييرها، وهذا ما يُعرف بِـ خاصية القصور الذاتي للأجسام؛ لذا يسمى قانون نيوتن الأول قانون القصور الذاتي. وهذه الخاصية تعتمد على كتلة القصور للجسم وتزداد بازديادها. هذا يعني أن تغيير الحالة الحركية للجسم تكون أصعب كلما كانت كتلة القصور له أكبر.

كتلة القصور : هي مقدار الممانعة التي يبديها الجسم ضد القوة التي تحاول تغيير حالته الحركية.

نشاط (١): القصور الذاتي للأجسام:

المواد والأدوات : كأس، وقطعة كرتون ملساء، وقطعة نقد معدنية.

خطوات العمل :

١. قص قطعة كرتون مربعة الشكل وضعها أفقياً على فوهة الكأس كما في الشكل.

٢. ضع قطعة النقد في مركز قطعة الكرتون تقريباً.

٣. اسحب أو انقر قطعة الكرتون بأقصى سرعة ممكنه أفقياً.

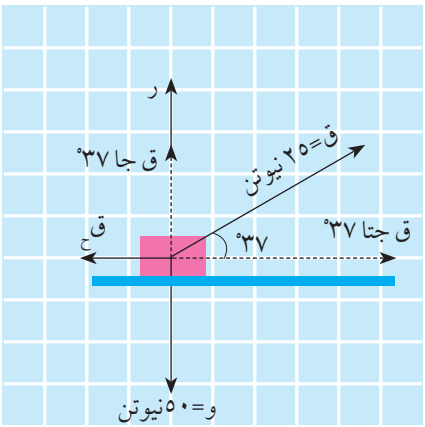
أين سقطت قطعة النقد؟ فسر ما شاهدته.

مثال (١):

جسم وزنه ٥٠ نيوتن يتحرك على سطح أفقي خشن بسرعة ثابتة تحت تأثير قوة مقدارها ٢٥ نيوتن تميل عن الأفق بزاوية مقدارها ٣٧° . احسب مقدار كل من :

- قوة الاحتكاك
- قوة التلامس العمودية

الحل:



حيث أن الجسم يسير في سرعة ثابتة ، فهو في حالة اتزان ديناميكي ، أي أن محصلة القوى عليه تساوي صفراً

Σ ق$_{س}$ = صفر

ق جتا ٣٧° – ق$_{ح}$ = صفراً

ق$_{ح}$ = ٢٥ × ٠,٨ = ٢٠ نيوتن

Σ ق$_{ص}$ = صفر

(ق جا ٣٧° + ر) – و = صفراً

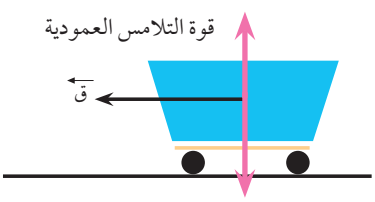
ر = و – ق جا ٣٧° = ٥٠ – ٢٥ × ٠,٦ = ٣٥ نيوتن .

٣ - ٢ قانون نيوتن الثاني

استنتجنا من قانون نيوتن الأول أننا لا نحتاج قوة لجعل الجسم يستمر في حركته بخط مستقيم وبسرعة ثابتة ، فلماذا تتوقف الكرة بعد فترة من ركلها؟ هل هذا يتعارض مع ما درسناه في قانون نيوتن الأول؟

للإجابة عن هذه الأسئلة نفترض أن هناك عربة ساكنة على سطح أفقي عديم الاحتكاك ، كما في الشكل (١) ، فإذا أثرت عليها قوة نحو اليسار ، فهل ستبقى ساكنة؟ وما هو الاتجاه المحتمل لحركتها؟ هل ستتحرك بسرعة ثابتة أم متغيرة؟

تقع العربة تحت تأثير عدة قوى ، هي : وزنها إلى أسفل ، وقوة التلامس العمودية إلى أعلى ، والقوة المؤثرة إلى اليسار حيث أن محصلة القوى المؤثرة في العربة في الاتجاه الأفقي لا تساوي صفراً ، فانها لن تبقى ساكنة بل ستتحرك بتسارع نحو اليسار . وبهذا تكون القوة قد تسببت في تغيير الحالة الحركية للجسم ، لاحظ أن محصلة القوى المؤثرة في الإتجاه العمودي تساوي صفراً .



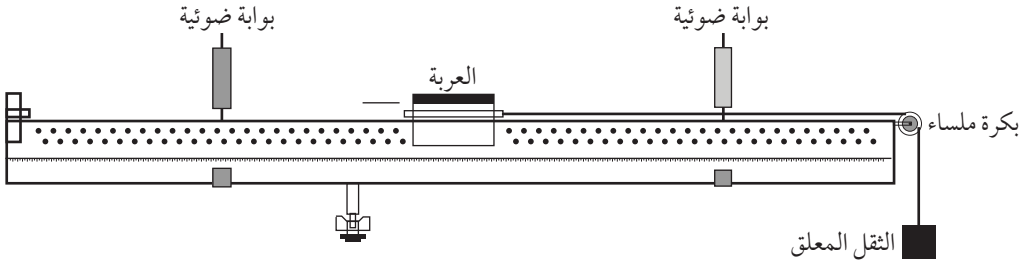
الشكل (١) : قانون نيوتن الثاني

ويختص قانون نيوتن الثاني بتوضيح العلاقة بين القوة المؤثرة على جسم ما والتغير في حالته الحركية (تسارعه) ، ولمعرفة هذه العلاقة نقوم بإجراء النشاط الآتي :

نشاط (٢): العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة على الجسم والتسارع الذي يكتسبه.

المواد والأدوات :

السكة الهوائية الموجودة في مختبر مدرستك وملحقاتها ، وميزان حساس ، وميزان تسوية ، ومسطرة



خطوات العمل :

١ . اضبط استواء السكة الهوائية يدوياً أو باستخدام ميزان تسوية .

٢ . ركب البوابتين الضوئيتين على مسافة مناسبة على السكة ، وصلهما مع العداد الزمني .

٣ . ثبت حاجزاً على شكل حرف U على ظهر العربة وقس عرض الحاجز .

٤ . ثبت البكرة على طرف السكة .

٥ . اربط العربة بوساطة خيط خفيف يمر فوق البكرة ويربط في نهايته خطاف صغير .

٦ . شغل العداد الزمني على وظيفة قياس التسارع في العداد .

٧ . علق كتلة معروفة في طرف الخيط الحر ، واحسب وزنها (و) الذي يمثل القوة المؤثرة .

٨ . شغل المضخة الهوائية ، واترك العربة تتحرك خلال البوابتين الضوئيتين تحت تأثير ثقل الجسم .

٩ . سجل القراءات الثلاث التي تظهر على شاشة العداد بشكل متتالي ، وهي :

- القراءة الأولى : زمن قطع الحاجز للبوابة الأولى $ز_١$. (عرض الحاجز ف = ٥سم)
- القراءة الثانية : زمن قطع الحاجز للبوابة الثانية $ز_٢$.
- القراءة الثالثة : الزمن المستغرق بين البوابتين $ز_٣$.

رقم المحاولة	و	$ز_١$(ث)	$ز_٢$(ث)	$ز_٣$(ث)	$ع_١ = ف/ز_١$	$ع_٢ = ف/ز_٢$	$ت = (ع_٢ - ع_١)/ز_٣$ م/ث^٢	القوة المؤثرة (نيوتن)
١								
٢								
٣								

١٠ . كرر التجربة بتعليق أوزان مختلفة في كل محاولة ، واحسب التسارع بنفس الطريقة السابقة . ارسم منحنى القوة–التسارع . هل يمكنك حساب كتلة العربة من الرسم؟

إن النتيجة التي حصلت عليها في النشاط السابق توصل إليها العالم نيوتن أيضاً ، وصاغها في قانونه الثاني :

قانون نيوتن الثاني :

يتناسب التسارع الذي يكتسبه جسم تناسباً طردياً مع محصلة القوى المؤثرة عليه ويكون في اتجاهها .

ورياضياً يكتب بالشكل التالي :

محصلة القوى المؤثرة على الجسم = كتلة الجسم x تسارعه .

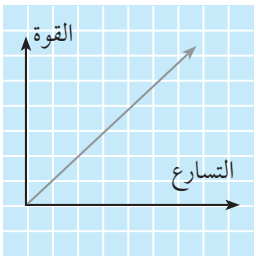
$$\Sigma \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

حيث $\overleftarrow{ق}$: القوة المحصلة المؤثرة في الجسم بالنيوتن .

ك : كتلة الجسم بالكغم .

$\overleftarrow{ت}$: التسارع الذي يكتسبه الجسم بوحدة م/ ث^{٢} .

من هنا يمكن تعريف وحدة القوة :

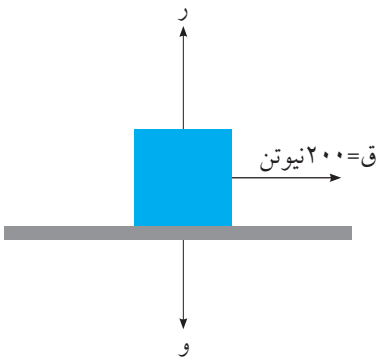


الشكل (٢) العلاقة بين القوة والتسارع

النيوتن : القوة اللازمة لإكساب جسم كتلته ١ كغم تسارعاً مقداره ١ م/ ث^{٢} باتجاه القوة المؤثرة .

مثال (٢):

رجل يجر صندوقاً كتلته ٥٠ كغم على أرضية أفقية عديمة الاحتكاك بقوة مقدارها ٢٠٠ نيوتن إلى اليمين ، كما في الشكل .



- احسب التسارع الذي يكتسبه الصندوق .
- احسب المسافة التي يقطعها الصندوق بعد ١٠ ثوان من بدء حركته ، علماً بأنه بدأ الحركة من السكون .

الحل:

- لحساب التسارع الذي يكتسبه الصندوق نستخدم قانون نيوتن الثاني .

$$\Sigma \overleftarrow{ق}_{ص} = \text{صفر}$$

$$\Sigma \overleftarrow{ق}_{س} = ك \times \overleftarrow{ت}$$

$$٢٠٠ = ٥٠ \times ت$$

$$ت = \frac{٢٠٠}{٥٠} = ٤ \text{ م/ ث}^{٢} \text{ إلى اليمين}$$

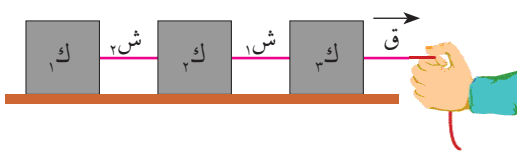
- لحساب المسافة التي قطعها الجسم نستخدم معادلات الحركة : [لاحظ أن التسارع ثابت مقداراً وإتجاهاً] .

$$ف = ع_{١} ز + \frac{١}{٢} ت ز^{٢}$$

$$= \text{صفر} + \frac{١}{٢} \times ٤ \times ١٠^{٢} = ٢٠٠ \text{ متر}$$

سؤال

تؤثر قوة مقدارها ١٠٠ نيوتن على مجموعة من الكتل مربوطة بوساطة خيوط مهملة الكتلة كما في الشكل . فإذا علمت أن :



ك$_{١}$ = ١٠ كغم ، ك$_{٢}$ = ١٥ كغم ، ك$_{٣}$ = ٢٥ كغم .

فاحسب كلاً من : تسارع المجموعة وهو نفسه تسارع أي من الأجسام الثلاثة منفردة ، والشد في كلٍ من الخيوط .

٣ ـ ٣ قانون نيوتن الثالث

كم مرة آلمتك يدك عند محاولتك ضرب كرة بقوة أو الطرق على باب مقفل؟ وكم مرة حاولت أن تدق مسماراً بوساطة مطرقة لتجد أن المطرقة ترتد نحوك عند اصطدامها بالمسمار؟

لقد وجد نيوتن تفسيراً لكل هذه الظواهر من خلال قانونه الثالث الذي يبحث في طبيعة القوى التي تؤثر على الأجسام، والتي تتواجد بشكل أزواج متساوية ومتعاكسة في الاتجاه، ولمعرفة نص قانون نيوتن الثالث قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (٣): الفعل ورد الفعل

المواد والادوات: ميزان زنبركي عدد ٢

خطوات العمل:

- علق خطاف أحد الميزانين في حلقة الآخر كما في الشكل.
- قس قراءة الميزانين. ماذا تستنتج؟

إن النتيجة التي توصلت إليها في النشاط السابق، أشار إليها نيوتن في قانونه الثالث.

قانون نيوتن الثالث: لكل قوة فعل قوة رد فعل مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه، وتؤثران على جسمين مختلفين، وتعملان على نفس الخط.

سؤال

حدد قوتي الفعل ورد الفعل في الأشكال الآتية (هناك أكثر من زوج واحد من القوى في كل شكل).

أمثلة متنوعة على قوانين نيوتن:

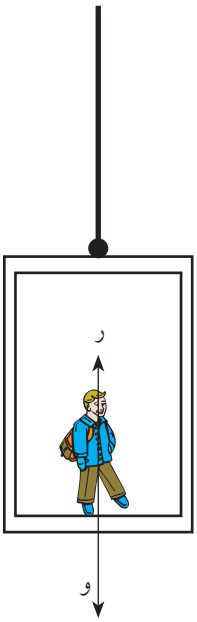
مثال (٣):

في الشكل المقابل يقف شخص كتلته ٥٠ كغم على أرضية مصعد كهربائي، اعتبر تسارع الجاذبية الأرضية ١٠ م/ ث^{٢} ، كم تكون قوة التلامس العمودية على الشخص (وزنه الظاهري) عندما يكون المصعد :

١. متحركاً لأعلى أو لأسفل بسرعة ثابتة؟

٢. متحركاً لأعلى بتسارع مقداره ٢م/ ث^{٢}؟

٣. متحركاً لأسفل بتسارع مقداره ٢م/ ث^{٢}؟



الحل:

يقع الشخص تحت تأثير قوتين متعاكستين في الاتجاه وخط عملهما مشترك وهما : قوة الجاذبية (وزن الشخص) وقوة التلامس العمودية من المصعد على الشخص .

نطبق قانون نيوتن الثاني .

$$\Sigma \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$$

١. عندما يتحرك لأعلى أو لأسفل بسرعة ثابته فإن التسارع =صفر .

ر = و = ٥٠٠ نيوتن

٢. عندما يتحرك المصعد للأعلى بتسارع = ٢م/ ث^{٢} .

$$\Sigma \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$$

ر – و = ك ت

ر – ٥٠٠ = ٥٠ x ٢ ، ر= ٦٠٠نيوتن

٣. عندما يتحرك المصعد للأسفل بتسارع = ٢م/ ث^{٢}

$$\Sigma \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$$

و – ر = ٥٠ x ٢= ١٠٠

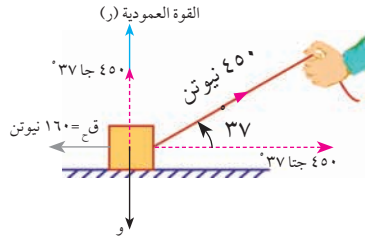
ر= و – ١٠٠ = ٥٠٠ – ١٠٠= ٤٠٠ نيوتن

مثال (٤):

في الشكل المقابل عامل يجر صندوقاً بوساطة حبل يميل بزاوية ٣٧° عن الأفقي وبقوة شد مقدارها = ٤٥٠ نيوتن، فإذا كانت قوة الاحتكاك = ١٦٠ نيوتن. احسب تسارع الصندوق علماً بأن كتلته ١٠٠ كغم

الحل:

نحلل قوة الشد في الحبل إلى مركبتين متعامدتين كما في الشكل.



محصلة القوى العمودية على السطح = صفر

Σ ق$_{ص}$ = صفر

Σ ق$_{س}$ = ك × ت

٤٥٠ جتا ٣٧° − ١٦٠ = ١٠٠ × ت

٤٥٠ × $\frac{٤}{٥}$ − ١٦٠ = ١٠٠ × ت

٣٦٠ − ١٦٠ = ١٠٠ × ت ، ت = ٢ م/ ث^{٢}

مثال (٥):

جسم كتلته ٢ كغم موضوع أسفل سطح أملس يميل بزاوية مقدارها ٥٣° عن الأفقي، أثرت عليه قوة موازية للسطح قيمتها ٣٠ نيوتن، فإذا كان ارتفاع السطح ٤ متر، احسب:

١. القوة التلامس العمودية. ٢. سرعة الجسم في أعلى السطح.

الحل:

نحلل الوزن إلى مركبتين متعامدتين، إحداهما موازية للسطح، والأخرى عمودية عليه

١. Σ $\overleftarrow{ق}$ = ك $\overleftarrow{ت}$ بالاتجاه العمودي على السطح المائل

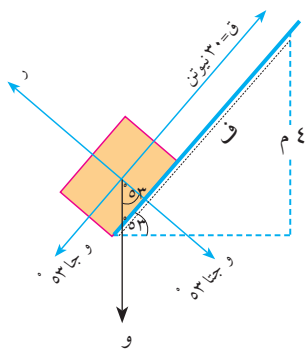
ر − و جتا ٥٣° = صفر

ر = وجتا ٥٣° = ٢×١٠ × ٠,٦ = ١٢ نيوتن

٢. Σ $\overleftarrow{ق}_{\text{باتجاه الحركة}}$ = ك $\overleftarrow{ت}$

ق − وجا ٥٣° = ك ت

٣٠ − وجا ٥٣° = ك ت



٣٠ − ٢٠ × ٠,٨ = ٢ت ، ت = $\frac{١٤}{٢}$ = ٧ م/ ث^{٢}

جا ٥٣° = $\frac{\text{ارتفاع السطح}}{\text{طوله}}$ ، $\frac{٤}{٥}$ = $\frac{٤}{ف}$ ، ف = ٥ متر

من قانون الحركة: ع$_{٢}^{٢}$ = ع$_{١}^{٢}$ + ٢ ت ف

= ٠ + ٢ × ٧ × ٥ = ٧٠

ع$_{٢}$ = ٨,٤ م/ ث

٣ ـ ٤ قانون الجذب العام

صاغ نيوتن قوانينه في الجاذبية حوالي عام ١٦٨٠م ، وافترض أن أي جسمين في الكون يؤثر كل منهما على الآخر بقوة جذب، وتوصل إلى حسابها تجريبياً، وصاغ قانون الجذب العام والذي ينص على ما يلي :

قانون الجذب العام لنيوتن : يوجد بين كل جسمين ماديين قوى تجاذب بحيث أن قوة الجاذبية التي يؤثر بها كل منهما على الآخر تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتي الجسمين، وعكسياً مع مربع المسافة بينهما .

بصيغة رياضية :

$$ق_{ج} = ج \times \frac{ك_{١} \times ك_{٢}}{ف^{٢}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

حيث $ق_{ج}$: قوة التجاذب بين الجسمين

$ك_{١}$ ، $ك_{٢}$: كتل الجسمين

ف : المسافة بين مركزي الجسمين

ج : ثابت الجذب العام = $٦,٦٧ \times ١٠^{-١١}$ نيوتن م^{٢}/ كغم^{٢}

مثال (٦):

احسب قوة التجاذب بين جسم كتلته ١ كغم والأرض علماً أن كتلة الأرض تساوي ٦×١٠^{٢٤} كغم، والمسافة إلى مركز الأرض ٦٤٠٠ كم؟

الحل:

$$ق_{ج} = ج \times \frac{ك_{١} \times ك_{٢}}{ف^{٢}}$$

$$ق_{ج} = ٦,٦٧ \times ١٠^{-١١} \times \frac{١ \times ٦ \times ١٠^{٢٤}}{(٦,٤ \times ١٠^{٦})^{٢}} = ٨,٩ \text{ نيوتن}$$

لاحظ أن هذه القوة تساوي وزن الجسم .

سؤال

احسب مقدار قوى الجاذبية المتبادلة بين القمر والأرض علماً أن

بعد القمر عن الأرض = $٣,٨ \times ١٠^{٨}$ م

كتلة القمر = $٧,٣ \times ١٠^{٢٢}$ كغم

كتلة الأرض = ٦×١٠^{٢٤} كغم

س١ : علل ما يأتي :

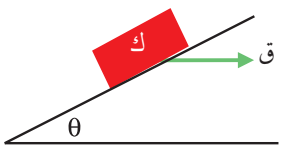
١ . ارتداد ماسورة المدفع للخلف عندما تطلق قذيفة للأمام .

٢ . يركض السباح مسافة محددة ثم يقفز للأعلى قبل أن يقفز في الماء .

س٢ : استخدمت قوة أفقية مقدارها ٥٠ نيوتن لمسارعة جسم كتلته ٢ كغم إلى اليمين على سطح أفقي خشن ، فأذا كان معامل الإحتكاك الحركي للسطحين ٠,٥ ، احسب :

١ . قوة التلامس العمودية . ٢ . القوة المحصلة . ٣ . تسارع الجسم .

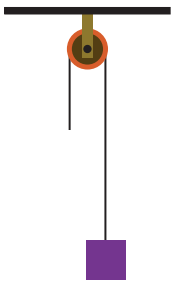
س٣ : في الشكل المقابل أثرت القوة $\overleftarrow{ق}$ أفقيا على جسم موضوع على سطح مائل .



١ . جد مركبة ق العمودية على السطح .

٢ . هل وجود هذه القوة يزيد أو يقلل قوة التلامس العمودية؟

س٤ : في الشكل المقابل جسم وزنه ٧٥ نيوتن مربوط بخيط يمر حول بكرة ملساء . جد الشد في الحبل في الحالات الآتية :

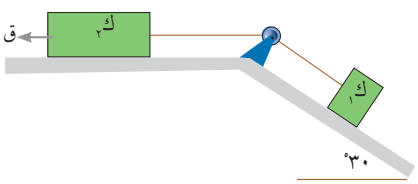


١ . الجسم يتحرك لأعلى بسرعة ثابتة .

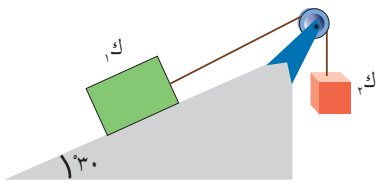
٢ . الجسم يتحرك لأعلى بتسارع مقداره ٢م/ ث^{٢} .

٣ . الجسم يتحرك لأسفل بتسارع مقداره ٢م/ ث^{٢} .

س٥ : في الشكل المقابل جسم كتلته ١ كغم موضوع على سطح مائل أملس يميل ٣٠° عن الأفقي ، مربوط إلى كتلة أخرى ٣ كغم موضوعة على سطح أفقي أملس . البكرة خفيفة وملساء . إذا كانت قيمة ق = ١٥ نيوتن فحدد اتجاه الحركة ، ثم احسب الشد في الخيط .



س٦ : في الشكل المقابل ، إذا علمت أن ك$_{١}$ = ٤ كغم ، ك$_{٢}$ = ٣ كغم والسطح المائل أملس ، والبكرة أيضاً خفيفة وملساء احسب :



١ . مقدار واتجاه تسارع المجموعة .

٢ . مقدار الشد في الخيط .

س٧ : افترض أن قوة التجاذب بين جسمين = ١٦ نيوتن . كم تصبح قوة التجاذب بينهما إذا تضاعفت المسافة بين مركزيهما؟

٤ الشغل والطاقة: Work and Energy

يعدّ الشغل والطاقة من أهم المفاهيم الفيزيائية في التكنولوجيا والتطبيقات الهندسية، وتتنافس الدول في البحث عن مصادر الطاقة لاستخدامها في كافة المجالات الصناعية والتكنولوجية.

تتنوع مصادر الطاقة وأشكالها بتنوع جوانب حياتنا واحتياجاتنا المختلفة. وقد درست أنواع الطاقة وتحولاتها في صفوف سابقة وعرفت أن تاريخ التكنولوجيا ما هو إلا عملية مستمرة لاكتشاف تحولات الطاقة من شكل إلى آخر. والشغل في الحياة يعني بذل جهد جسماني أو ذهني، فما الشغل من وجهة النظر الفيزيائية وما الطاقة؟ وما علاقتها بمفهوم الشغل؟ هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

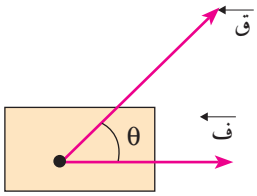
- تتعرف مفهوم كل من الشغل والطاقة والقدرة.
- تحسب شغل قوة ثابتة رياضياً.
- تستخدم منحنى القوة – الإزاحةلحساب شغل قوة متغيرة مقداراً.
- تحسب الشغل المختزن في نابض.
- تستنتج العلاقة بين الشغل المبذول على جسم والتغيرفي طاقة حركته.
- تستنتج العلاقة بين الشغل المبذول على جسم والتغيرفي طاقة وضعه.
- تتعرف نظرية الشغل والطاقة.
- تحسب طاقة الوضع المرونية المختزنة في الزنبرك.
- تتعرف قانون حفظ الطاقة الميكانيكية.
- تحل مسائل عددية على قانون حفظ الطاقة.
- تشتق قانون معدل القدرة.
- تميز بين معدل القدرة والقدرة اللحظية.

٤-١ الشغل

اتفق الفيزيائيون على وصف للشغل يشبه المعنى اليومي له، ولكنه لا يتطابق معه تماماً، وينتج الشغل بمعناه الفيزيائي عند تأثير قوة على جسم ما وإزاحته مسافة معينة، فقد تنهك جسمك وتتصبب عرقاً في دفع جسم ضخم ولكنك عندما لا تنجح في تحريكه من مكانه فإنك لا تكون قد بذلت شغلاً فيزيائياً، لذا يعرف الشغل بأنّه حاصل الضرب النقطي لمتجه القوة المسببة في متجه الإزاحةالتي تحركها الجسم تحت تأثير القوة.

رياضياً فإن الشغل المبذول على جسم نقطي يتحرك على خط مستقيم إزاحة($\overleftarrow{ف}$) تحت تأثير قوة ثابتة ($\overleftarrow{ق}$) يعطى بالعلاقة:

$$ش_{غ} = \overleftarrow{ق} \cdot \overleftarrow{ف} = |ق||ف| \text{ جتا } \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$



الشكل(١): الشغل المبذول من قوة ثابتة

حيث:

- $|\overleftarrow{ق}|$: مقدار القوة المؤثرة على الجسم.
- $|\overleftarrow{ف}|$: مقدار الإزاحة التي تحركها الجسم تحت تأثير القوة.
- θ: الزاوية بين القوة والإزاحة.

وقد يكون الشغل موجباً أو سالباً أو صفراً حسب الزاوية بين القوة والإزاحة.

ويقاس الشغل بوحدة نيوتن. متر وتسمى هذه الوحدة الجول في النظام العالمي للوحدات.

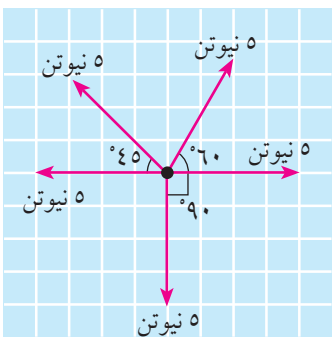
الجول: هو الشغل الذي تبذله قوة مقدارها ١ نيوتن في تحريك جسم إزاحةمقدارها ١ م باتجاهها.

مثال (١):

احسب الشغل الذي تبذله قوة مقدارها ٤٠ نيوتن على جسم ما، وتحركه مسافة أفقية مقدارها ٢٠م باتجاهها.

الحل: $ش_{غ} = ق\ ف \text{ جتا}\theta = ٤٠ \times ٢٠ \times \text{جتا صفر} = ٨٠٠$ جول

سؤال

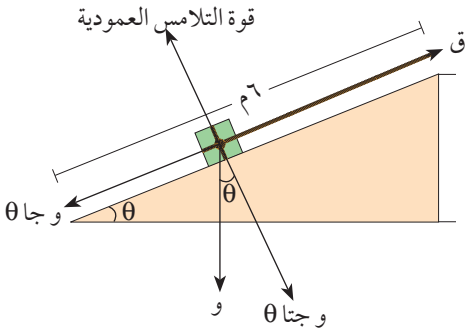


جسم نقطي يقع تحت تأثير خمس قوى متساوية في المقدار كما في الشكل، ويقطع مسافة ٢ متر باتجاه الشرق. احسب:

١. محصلة القوى الخمسة.
٢. شغل القوة المحصلة.
٣. الشغل المبذول من كل قوة.
٤. الشغل الكلي المبذول.
٥. ماذا تستنتج من إجابتك في فرعي (٢) و (٤).

مثال (٢):

ربط جسم كتلته ٥٠ كغم بحبل يسحبه إلى أعلى بقوة مقدارها ٥٠٠ نيوتن، على سطح مائل أملس طوله ٦ متر، ويميل بزاوية مقدارها ٣٧° عن الأفقي، كما في الشكل. فإذا تحرك الجسم من أسفل السطح إلى أعلاه.



١. ما القوى المؤثرة على هذا الجسم؟ حدد اتجاه كل منها بالرسم.

٢. احسب شغل كل من هذه القوى.

٣. احسب الشغل الكلي المبذول على الجسم.

الحل:

١. تؤثر على الجسم ثلاث قوى، هي: وزن الجسم، وقوة السحب، وقوة التلامس العمودية. انظر الشكل.

٢. شغل القوة ق = |ق| |ف| جتا صفر = ٥٠٠ × ٦ × ١ = ٣٠٠٠ جول

شغل قوة التلامس العمودية = |ر| |ف| جتا ٩٠ = صفر

لاحظ أن:
جتا (٩٠ + θ) = − جا θ

شغل الوزن = |و| |ف| جتا (٩٠ + θ) = ٥٠٠ × ٦ × (−٠,٦) = −١٨٠٠ جول

٣. الشغل الكلي = المجموع الجبري للشغل الذي تبذله كل قوة على حده.

= ٣٠٠٠ + ٠ − ١٨٠٠ = ١٢٠٠ جول.

شغل الجاذبية الأرضية:

اذا تحرك جسم في مجال الجاذبية الأرضية، فإن قوة الجاذبية تبذل عليه شغلاً يعطى بالعلاقة الآتية:

ش$_{غ}$ = $\overleftarrow{و}$. $\overleftarrow{ف}$ = |$\overleftarrow{و}$| |$\overleftarrow{ف}$| جتا θ

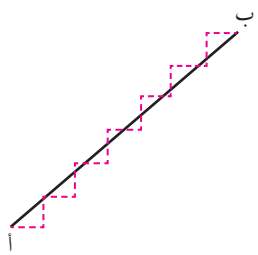
وهناك ثلاث حالات ندرسها في ما يأتي:

أ. إذا سقط الجسم رأسياً إلى أسفل فإن إزاحةالجسم تكون باتجاه قوة الجاذبية، وتكون الزاوية بين الإزاحة والوزن تساوي صفراً.

الشغل = |$\overleftarrow{و}$| |$\overleftarrow{ف}$| جتا صفر = ك جـ ف

ب. إذا قذف الجسم رأسياً إلى أعلى فإن إزاحة الجسم تكون بعكس اتجاه قوة الجاذبية، وتكون الزاوية بين الإزاحة والوزن تساوي ١٨٠°.

الشغل = |$\overleftarrow{و}$| |$\overleftarrow{ف}$| جتا ١٨٠° = − ك جـ ف



الشكل (٢): حركة الجسم على سطح مائل

جـ. إذا تحرك الجسم أفقياً فإن إزاحة الجسم تكون عمودية على قوة الجاذبية الأرضية، وتكون الزاوية بين الإزاحة والوزن تساوي ٩٠°.

الشغل = |$\overleftarrow{و}$| |$\overleftarrow{ف}$| جتا ٩٠° = ٠

ملاحظة: إذا تحرك جسم على سطح مائل فإنه يمكن تقسيم المسار إلى قطع أفقية ورأسية كما في الشكل (٢)، ويكون شغل الجاذبية الأرضية في الإزاحات الأفقية يساوي صفراً.

سؤال

احسب الشغل المبذول ضد الجاذبية لرفع جسم كتلته ٥ كغم بسرعة ثابتة :

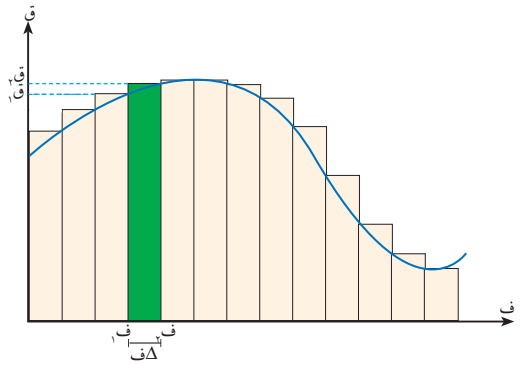
- مسافة مقدارها ٣م رأسياً لأعلى .
- على سطح مائل أملس طوله ٥م ويميل بزاوية ٣٧° عن الأفقي .

هل يتأثر الشغل بالمسار بين الحالة الابتدائية والحالة النهائية في هذا السؤال؟

هل تؤثر زاوية ميل السطح على مقدار الشغل المبذول على الجسم لرفعه مسافة رأسية محددة؟ وضح إجابتك

٤ - ٢ الشغل المبذول من قوة متغيرة

درست حتى الآن الشغل المبذول على جسم نقطي متحرك على خط مستقيم عند تأثير قوى ثابتة المقدار عليه، وتوصلنا إلى صيغة رياضية لحسابه . ولحساب الشغل الذي تبذله قوة متغيرة في المقدار وثابتة في الاتجاه على جسم نقوم بما يأتي .



الشكل(٣) : الشغل المبذول من قوة متغيرة

١ . نمثل العلاقة بين القوة والإزاحة بيانياً كما في الشكل(٣) .

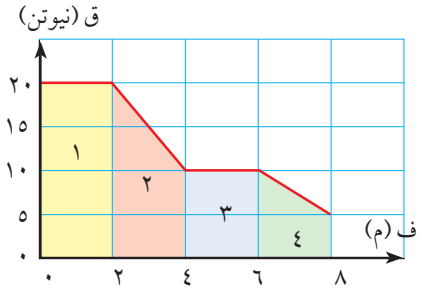
٢ . نقسم هذه المساحة إلى مستطيلات صغيرة جداً، عرض كل منها (Δف)، وطولها (ق)، بحيث يمكن اعتبار (ق) خلال كل مساحة منها ثابتة .

الشغل الكلي = Σ ق Δ ف ، ويساوي عددياً مجموع المساحات المظللة والموضحة بالشكل(٣)

الشغل المبذول من قوة متغيرة = المساحة المحصورة تحت منحنى القوة والإزاحة .

مثال (٣):

يتحرك جسم بخط مستقيم على سطح أفقي أملس تحت تأثير قوة يتغير مقدارها مع موقع الجسم كما في المنحنى المجاور . احسب مقدار الشغل الذي تبذله القوة في تحريك الجسم من صفر إلى ٨ م .



الحل:

الشغل يساوي عددياً المساحة تحت المنحنى

= مساحة المستطيل + مساحة شبه المنحرف + مساحة المستطيل + مساحة شبه المنحرف

الشغل = ٢ × ٢٠ + $\frac{١}{٢}$ (١٠ + ٢٠) × ٢ + ٢ × ١٠ + $\frac{١}{٢}$ (١٠ + ٥) × ٢

= ٤٠ + ٣٠ + ٢٠ + ١٠ = ١٥٠ جول .

الشغل المبذول على نابض:

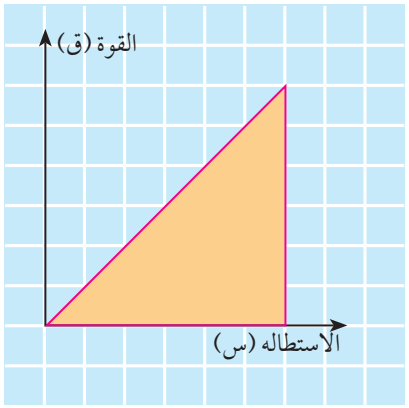
درست في الصف العاشر قانون هوك، وعرفت أن القوة اللازمة لإحداث استطالة أو انضغاط في نابض معامل مرونته (أ) هي :

ق = أ x س

حيث : أ : يسمى ثابت المرونة للنابض .

ق : القوة المؤثرة في النابض

س : الاستطالة الحادثة للنابض .



الشكل (٤) : القوة المؤثرة على نابض

الشغل المبذول على النابض= المساحة المحصورة بين منحنى القوة والإزاحة، وهي مثلثة الشكل كما في الشكل (٤) :

الشغل = $\frac{١}{٢}$ x القاعدة x الارتفاع = $\frac{١}{٢}$ س ق

= $\frac{١}{٢}$ س x أ س = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} . . . . . (٢)

سؤال

إذا كان الشغل المبذول على النابض = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} ، ما مقدار الشغل الذي يبذله النابض على الجسم لنفس الاستطالة؟

مثال (٤):

احسب الشغل المبذول على نابض معامل مرونته ٢٠٠ نيوتن/ م إذا علمت أنه استطال بمقدار ٠,٥ متر ؟

الحل:

الشغل = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} = $\frac{١}{٢}$ x ٢٠٠ x ٠,٢٥ = ٢٥ جول

٤ ـ ٣ الطاقة الحركية

لعلك شاهدت من على شاشة التلفاز الآثار المدمرة التي تخلفها الرياح والأعاصير في مناطق كثيرة من العالم، ولا بد أنك تستنتج من ذلك أن هذه الرياح والمياه المتحركة تمتلك كمية كبيرة من الطاقة تكفي لتدمير مجمعات سكنية بأكملها إذا لم يكن بالاستطاعة التحكم فيها، أما إذا تمكن الإنسان من التحكم فيها فإنه يمكن استغلالها في إنتاج الكهرباء مثلاً عن طريق تحريك توربينات أو تنفيذ أعمال أخرى، مثل إدارة طواحين الهواء وغيرها .

يسمى هذا الشكل من الطاقة التي تمتلكها الأجسام بسبب حركتها الطاقة الحركية، وعليه فأن أي جسم يتحرك يمتلك طاقة حركية، ويستطيع بذلك أن ينجز شغلاً نتيجة طاقته الحركية.

طاقة الحركة: هي الطاقة التي يمتلكها الجسم بسبب حركته وتقاس بوحدة الجول.

طاقة حركة الجسم $(ط_ح) = \frac{1}{2} ك ع^2$ حيث: ك: كتلة الجسم

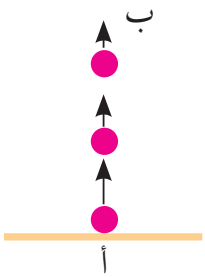
ع: سرعة الجسم

مثال (٥):

قذف جسم كتلته ٢كغم رأسياً إلى أعلى من النقطة (أ) بسرعة مقدارها ٢٠م / ث فمر بالنقطة ب التي ترتفع ١٥م عن أ. احسب كلاً من:

١. سرعة الجسم عند النقطة (ب).

٢. طاقته الحركية في النقطة (ب).



الحل:

١. $ع_ب^2 = ع_أ^2 + 2جـ ف$

$= ٤٠٠ - ٢ \times ١٠ \times ١٥ = ١٠٠$

$ع_ب = ١٠$م/ث

٢. $ط_{حب} = \frac{1}{2} ك ع_ب^2$

$= \frac{1}{2} \times ٢ \times ١٠٠ = ١٠٠$ جول

ولإيجاد العلاقة بين الشغل الذي يبذله الجسم وطاقته الحركية نطبق قانون نيوتن الثاني، وقوانين الحركة على جسم تتغير سرعته من $ع_١$ إلى $ع_٢$ عندما يقطع مسافة مقدارها ف تحت تأثير قوة ثابته المقدار والاتجاه.

$(ع_٢)^2 = (ع_١)^2 + 2$ت ف

$\overleftarrow{ق} = ك \overleftarrow{ت}$ ، $ت = \frac{ق}{ك}$

$(ع_٢)^2 = (ع_١)^2 + 2 \frac{ق}{ك}$ ف

ق ف $= \frac{1}{2} ك ع_٢^2 - \frac{1}{2} ك ع_١^2 = ط_{ح٢} - ط_{ح١}$

ش $= \Delta ط_ح$ ..... (٣)

وهذا يوصلنا إلى نظرية الشغل والطاقة التي تنص على ما يأتي:

مجموع الشغل الذي يبذل على جسم ما يساوي التغير في طاقته الحركية.

مثال (٦):

سيارة كتلتها ١٠٠٠ كغم تتحرك بسرعه ثابتة مقدارها ٣٦ كم/ ساعة . ضغط السائق على الفرامل فانخفضت سرعتها إلى ١٨ كم/ ساعة . احسب :

١ . الطاقة الحركية للسيارة لحظة ضغط السائق على الفرامل .

٢ . الطاقة الحركية للسيارة بعد الضغط على الفرامل .

٣ . التغير في الطاقة الحركية للسيارة .

٤ . الشغل الذي بذل على السيارة أثناء الضغط على الفرامل .

الحل:

١ . $ط_{ح_١} = \frac{١}{٢} \times ١٠٠٠ \times (\frac{١٠٠٠ \times ٣٦}{٦٠ \times ٦٠})^{٢} = ٥٠٠٠٠$ جول

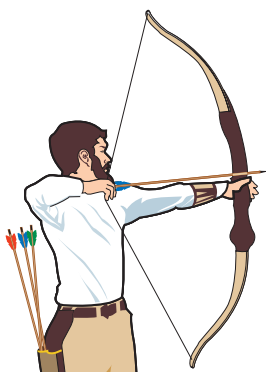
٢ . $ط_{ح_٢} = \frac{١}{٢} \times ١٠٠٠ \times (\frac{١٠٠٠ \times ١٨}{٦٠ \times ٦٠})^{٢} = ١٢٥٠٠$ جول

٣ . $\Delta ط_{ح} = ١٢٥٠٠ - ٥٠٠٠٠ = -٣٧٥٠٠$ جول

٤ . الشغل $= \Delta ط_{ح} = -٣٧٥٠٠$ جول

النقص في طاقة حركة الجسم تحول إلى طاقة حرارية .

٤ - ٤ طاقة الوضع



قد يمتلك الجسم شكلاً آخر من أشكال الطاقة المخزنة فيه تسمى طاقة الوضع ، ويمكننا تعريف طاقة الوضع بأنها مقدرة الجسم على إنجاز شغل ما اعتماداً على موقع جزيئاته بعضها من بعض ، أو على موقعه بالنسبة لأجسام أخرى مثل الكرة الأرضية . فمثلاً عندما نسحب كتلة مربوطة بنابض ، فإننا نحدث استطالة في طول النابض ، ويتحول الشغل الذي بذل على النابض إلى طاقة وضع مخزنة في النابض ، فإذا ما تركنا الكتلة ، فإنها ستتحرك وتتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية للكتلة . ويسمى هذا الشكل من الطاقة والذي ينتج عن تغير في موقع جزيئات النابض بعضها من بعض طاقة الوضع المرونية .

طاقة الوضع : هي الطاقة التي يمتلكها الجسم بسبب وضعه أو التغير الحاصل في شكله .

عندما نرفع حجراً فوق سطح الأرض ، فإننا نبذل لرفعه شغلاً ضد الجاذبية الأرضية ، ويختزن هذا الشغل على شكل طاقة وضع بسبب موقعه بالنسبة إلى سطح الأرض ، وإذا ما تركنا الحجر يسقط ، فإنه سيسقط نحو سطح الأرض نتيجة جذب الأرض له ، وتتحول طاقة الوضع المخزنة في الحجر إلى طاقة حركية يمكن الاستفادة منها في انجاز شغلٍ ما ، ويسمى هذا الشكل من الطاقة والذي ينتج عن تغير في موقع الجسم بالنسبة للأرض طاقة الوضع الجذبية .

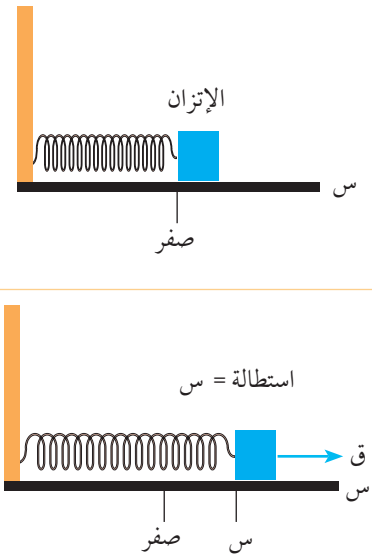
حساب طاقة الوضع:

مر معك سابقاً أن الشغل المبذول على نابض استطال أو انضغط مسافة (س) يعطى بالعلاقة الآتية :

ش = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} ، حيث أ ثابت النابض . وحيث أن طاقة الوضع في النابض تساوي الشغل المبذول عليه ، فإن طاقة الوضع المخزنة في النابض تعطى بالعلاقة الآتية :

ط$_{و}$ = ش = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} . . . . . (٤)

ويلاحظ من هذه العلاقة أن طاقة الوضع في النابض تصل نهايتها العظمى عندما تكون مقدار استطالة النابض أو مقدار انضغاطه أكبر ما يمكن ، بينما تكون صفراً عندما تكون س = صفر ، أي في نقطة الاتزان .



الشكل (٥) : طاقة الوضع في النابض

مثال (٧):

أثرت قوة على نابض فاستطال مسافة مقدارها ٥ , ٠ م . احسب :

١ . الشغل المبذول على النابض .

٢ . طاقة الوضع المختزنة فيه .

علما بأن ثابت المرونة للنابض ٧٥٠ نيوتن/ م .

الحل:

الشغل = $\frac{١}{٢}$ x أ x س^{٢}

= $\frac{١}{٢}$ x ٧٥٠ x ($\frac{١}{٢}$)^{٢}

= ٩٣ , ٧٥ جول

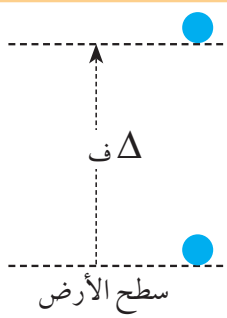
ط$_{و}$ = الشغل المبذول على النابض = ٩٣ , ٧٥ جول

عند رفع جسم من سطح الأرض رأسياً إلى أعلى مسافة مقدارها (ف) بسرعة ثابتة ، فإننا نبذل لرفعه شغلاً يعطى بالعلاقة الآتية :

ش = ق ف = ك جـ ف ، حيث ك كتلة الجسم ، وجـ تسارع الجاذبية الأرضية .

وعليه فإن طاقة الوضع التي خزنت في الجسم تعطى بالعلاقة الآتية :

ط$_{و}$ = ش$_{\text{المبذول على الجسم لرفعه}}$ = ك جـ ف . . . . . (٥)



الشكل (٦) : طاقة الوضع لجسم في مجال الجاذبية الأرضية .

مثال (٨):

قذف جسم كتلته ٥ كغم رأسيا إلى أعلى ، فوصل إلى ارتفاع ٢٠ م عن سطح الأرض قبل أن يعود ثانية . احسب طاقة وضع الجسم عند أقصى ارتفاع له بالنسبة للأرض .

الحل:

$ط_و = ك \ جـ \ ف = ٥ \times ١٠ \times ٢٠ = ١٠٠٠$ جول

وهذا يمثل التغير في طاقة وضع الجسم بالنسبة لسطح الأرض حيث :

$ط_{و_١}$ = صفر .

سؤال: في المثال السابق أحسب :

١ . السرعة الابتدائية التي قذف فيها الجسم .

٢ . طاقة حركة الجسم لحظة قذفه .

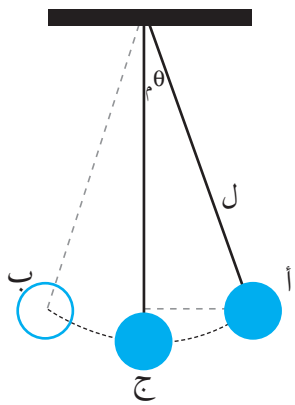
٣ . طاقة حركة الجسم وطاقة وضعه عندما وصل إلى إرتفاع ٨ متر .

٥ ـ ٤ حفظ الطاقة الميكانيكية

عرفت سابقاً أن الجسم يمتلك طاقة حركية بسبب حركته ، ويمكن أيضاً أن يمتلك طاقة وضع بسبب موقع جزيئاته بعضها من بعض ، أو بسبب موقعه بالنسبة لأجسام أخرى ، مثل الأرض ، ويسمى مجموع هذين الشكلين من الطاقة الطاقة الميكانيكية ، أي أن :

الطاقة الميكانيكية = طاقة الحركة + طاقة الوضع .

$$ط_م = ط_ح + ط_و \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٦)$$



الشكل (٧) : حفظ الطاقة الميكانيكية

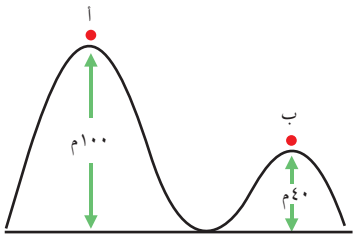
وقد وجد أن مقدار الطاقة الميكانيكية لجسم يتحرك تحت تأثير قوى محافظة كمية ثابتة في أي لحظة ، وهذا لا يعني أن مقدار كل من الطاقة الحركية وطاقة الوضع ثابت في أي لحظة بل إنّ أي زيادة في طاقة وضع الجسم يقابلها نقص في طاقة حركته والعكس صحيح لتبقى طاقته الميكانيكية ثابتة .

فلو تتبعنا حركة البندول البسيط الموضح في الشكل (٧) نلاحظ أن الجسم يمتلك طاقة وضع عظمى عند أقصى ارتفاع له عند النقطة (أ) . وعند ترك الجسم يتذبذب فإن طاقة الوضع تتناقص وتزداد طاقة الجسم الحركية لتصل قيمتها العظمى عندما يكون الجسم في وضع الاتزان عند النقطة (ج) . وفي أي لحظة فإن مجموع طاقة الوضع وطاقة الحركة قيمة ثابتة تساوي القيمة العظمى لأي منهما .

$$ط_{و_أ} + ط_{ح_أ} = ط_{و_ب} + ط_{ح_ب} = \text{مقدار ثابت} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٧)$$

مثال (٩):

ينزلق جسم كتلته ٨ كغم من قمة تلة ارتفاعها ١٠٠ م، ثم يصعد تلة أخرى ارتفاعها ٤٠ م ، كما في الشكل . ما سرعة الجسم عندما يصل إلى قمة التلة الثانية؟ بإهمال الاحتكاك .



الحل:

$ط_{و_أ} + ط_{ح_أ} = ط_{و_ب} + ط_{ح_ب}$

$ك\ جـ\ ف_أ + \frac{١}{٢} ك\ ع_أ^{٢} = ك\ جـ\ ف_ب + \frac{١}{٢} ك\ ع_ب^{٢}$

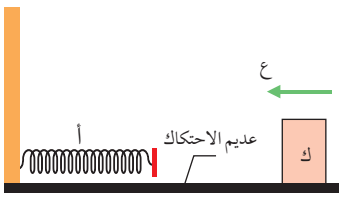
$٨ \times ١٠ \times ١٠٠ + \frac{١}{٢} \times ٨ \times ٠ = ٨ \times ١٠ \times ٤٠ + \frac{١}{٢} \times ٨ \times ع_ب^{٢}$

$ع_ب = ٣٤,٦$ م/ ث .

مثال (١٠):

كتلة مقدارها ٠,٤ كغم تتحرك على سطح أفقي عديم الاحتكاك بسرعة ثابته مقدارها ١٠ م/ ث اصطدمت بنابض ثابت المرونة له ١٠٠٠ نيوتن/ م فضغطته مسافة ما كما في الشكل . جد مقدار أقصى مسافة ينضغطها النابض .

الحل:



$ط_م$ قبل الإنضغاط = $ط_م$ بعد التصادم و الإنضغاط

$ط_{و_١} + ط_{ح_١} = ط_{و_٢} + ط_{ح_٢}$

$\frac{١}{٢} ك\ ع^{٢} + ٠ = \frac{١}{٢} أ\ س^{٢} + ٠$

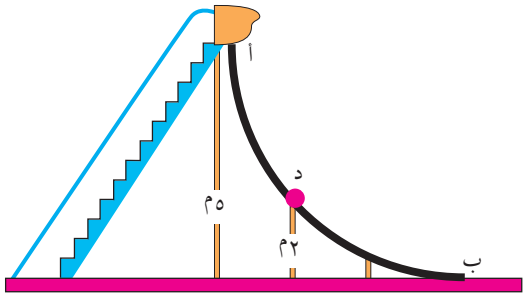
$س = ع \sqrt{\frac{ك}{أ}} = ١٠ \sqrt{\frac{٠,٤}{١٠٠٠}} = ٠,٢$ متر

مثال (١١):

في مدينة الملاهي لعبة انزلاق على شكل قوس من دائرة نصف قطرها = ٥ م وارتفاعها = ٥ م، وتمس الأرض عند نهايتها كما في الشكل، فإذا بدأ طفل كتلته ٢٥ كغم الانزلاق من السكون من أعلى المسار . احسب :

١ . سرعة وصوله إلى أسفل المسار .

٢ . سرعتة وهو على ارتفاع ٢ م من أسفل المسار .



الحل:

١. $ط_{م_أ} = ط_{م_ب}$

$ط_{ح_أ} + ط_{و_أ} = ط_{ح_ب} + ط_{و_ب}$

$٠ + ك \not{ج} ف = \frac{١}{٢} ك \not{ع}^{٢} + ٠$

$١٠ \times ٥ = \frac{١}{٢} ع_{ب}^{٢}$

$ع_{ب} = ١٠$ م/ث

٢. $ط_{م_أ} = ط_{م_د}$

$ط_{ح_أ} + ط_{و_أ} = ط_{ح_د} + ط_{و_د}$

$٠ + ك \not{ج} ف = \frac{١}{٢} ك \not{ع}^{٢} + ك \not{ج} ف_{د}$

$١٠ \times ٥ = \frac{١}{٢} ع_{د}^{٢} + ٢ \times ١٠$

$ع_{د} = \sqrt{٦٠}$ م/ث

٤ - ٦ القدرة

إذا كان لديك ٢ طن من الأسمنت معبأة بأكياس، وتريد نقلها من المخازن إلى سطح البناية و أمامك خياران: أن تستخدم الرافعة أو تستخدم ٥ عمال لإنجاز المهمة، فأيهما ينجز المهمة في وقت أقصر؟

يستطيع كل من العمال والرافعة إنجاز العمل المطلوب المتمثل في رفع أكياس الأسمنت إلى سطح البناية، لكن ذلك يتطلب فترة زمنية مختلفة، إذ إنّ الزمن الذي يحتاجه العمال لنقل الأكياس يفوق بكثير الزمن الذي تستغرقه الرافعة؛ أي أن معدل انجاز الشغل لكل منهما يختلف عن الآخر، ويسمى القدرة.

القدرة : الكمية الفيزيائية التي تقيس المعدل الزمني لإنجاز كمية محددة من الشغل

أي أن:

معدل القدرة = $\frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن اللازم لبذل الشغل}}$، وحيث أن الشغل = ق ف جتا θ، فإن:

القدرة تعبر عن مقدار الشغل المنجز في وحدة الزمن.

معدل القدرة = $\frac{\text{ق ف جتا } \theta}{\text{ز}}$

معدل القدرة = ق $\overline{ع}$ جتا θ . . . . . (٩)

حيث: ($\overline{ع}$) معدل سرعة الجسم.

ولحساب القدرة اللحظية، فإننا نستخدم السرعة اللحظية (ع) بدل معدل السرعة.

الواط: هو قدرة جسم أو آله تنجز شغلا مقداره جول واحد في زمن مقداره ثانية واحدة.

القدرة اللحظية : القدرة التي تبذلها القوة في لحظة معينة .

أي أن :

القدرة اللحظية = ق ع جتا θ . . . . . (١٠)

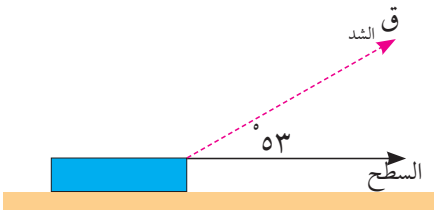
وتقاس القدرة بوحدة الواط ، وتساوي جول / ث

ومن مضاعفات الواط الكيلو واط = ١٠٠٠ واط ، والحصان الميكانيكي = ٧٤٦ واط

مثال١٢:

يسحب شخص صندوقاً بقوة مقدارها ٥٠ نيوتن وتميل عن الأفقي بزاوية ٥٣° ، احسب معدل قدرة الشخص علما بأن الجسم تحرك أفقياً على سطح أملس مسافة ١٠ أمتار في مدة ١٠ ثواني .

الحل:



معدل القدرة = ق ع جتا θ

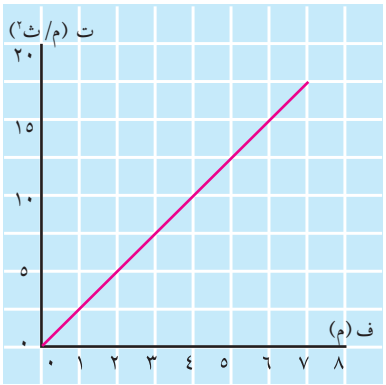
$$ع = \frac{ف}{ز} = \frac{١٠}{١٠} = ١ \text{ م/ث}$$

معدل القدرة = ق ع جتا θ

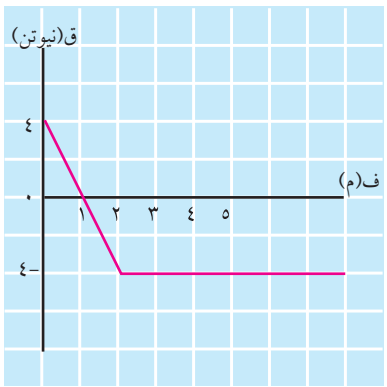
= ٥٠ × ١ × ٠,٦ = ٣٠ واط

أسئلة الفصل

س١ : يمثل الرسم البياني المجاور تسارع جسم كتلته ١٠ كغم يتحرك باتجاه محور السينات الموجب . احسب الشغل الكلي المبذول على الجسم من قبل القوة المحصلة حتى يقطع مسافة ٥ متر .



س٢ : تؤثر قوة وحيدة باتجاه محور السينات على جسم كتلته ٢ كغم يتحرك باتجاه محور السينات تتغير مقداراً حسب الرسم البياني المرفق .



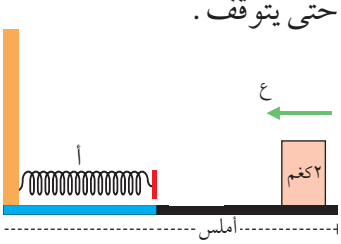
فإذا كانت سرعة الجسم عند ف = صفر هي ٤ م/ ث .

- احسب الطاقة الحركية للجسم عندما ف = ٣ م .
- عند أي مسافة تكون الطاقة الحركية للجسم= ٨ جول .
- احسب أقصى طاقة حركية يكتسبها الجسم بين ف = صفر ، و ف = ٥ م .

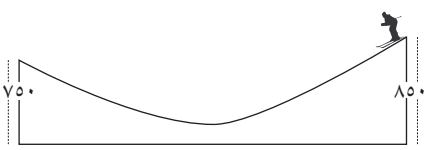
س٣ : صندوق كتلته ٢٠ كغم يتحرك بسرعة ١٠ م/ ث على سطح أفقي أملس ينتهي بمسار منحني أملس كما في الشكل المجاور . أحسب أقصى مسافة رأسية يتحركها الجسم على المنحنى حتى يتوقف .

س٤ : في الشكل المقابل تتحرك كتلة مقدارها ٢كغم بسرعة ٤ م/ ث ، ضغطت في طريقها نابضاً حتى توقفت ، فإذا كانت الأرضية أسفل النابض ملساء ، وثابت المرونة للنابض = ٢٠٠ نيوتن/ م ، فما المسافة التي انضغطها النابض؟

وما سرعة الكتلة عندما ينضغط النابض مسافة ١٠ سم .



س٥ : في الشكل المقابل بدأ متزلج حركته من السكون من قمة مرتفع ثلجي أملس ارتفاعه (٨٥٠ م) . جد السرعة التي سيصل بها قمة المرتفع الآخر(٧٥٠م) .



س٦ : تحتاج سيارة قوة مقدارها ٥٥٠٠ نيوتن حتى تسير بسرعة ٩٥ كم/ ساعة ، احسب قدرة محرك السيارة .

أسئلة الوحدة

س١ : ارسم دائرة حول رمز الاجابة الصحيحة في كل مما يأتي :

١- تكون أكبر قيمة لمحصلة متجهين عندما تكون الزاوية بين إتجاهيهما .

أ- صفر　　د- منفرجة

ب- قائمة　　هـ- مستقيمة .

٢- تكون أصغر قيمة لمحصلة متجهين عندما تكون الزاوية بين إتجاهيهما .

أ- صفر　　د- قائمة .

ب- حادة .　　هـ- مستقيمة .

٣- يكون المتجهان متوازيين ، إذا كان حاصل ضربهما :

أ- العددي مساوياً الصفر .

ب- الإتجاهي مساوياً للصفر .

جـ- العددي مساوياً الصفر وكذلك الإتجاهي مساوياً الصفر .

د- العددي مساوياً الواحد .

٤- لتحريك جسم بسرعة ثابتة على سطح أفقي خشن فإننا نحتاج إلى التأثير على الجسم بقوة خارجية . وذلك لأن :

أ- الجسم يتحرك بسرعة ثابتة عند التأثير عليه بقوة خارجية .

ب- تأثير القوة الخارجية يعادل تأثير قوة الإحتكاك بين الجسم والسطح الخشن .

جـ- تأثير القوة الخارجية يعادل تأثير قوة جذب الأرض للجسم .

د- القوة هي سبب الحركة بشكل عام .

٥- عندما يتحرك مصعد إلى الأعلى بتباطؤ فإن الوزن الظاهري لجسم داخل المصعد :

أ- يساوي وزنه الحقيقي .　　جـ- يكون أصغر من وزنه الحقيقي .

ب- يكون أكبر من وزنه الحقيقي .　　د- يساوي صفراً .

٦- إذا قذف جسم رأسياً لأعلى فإن :

أ- تسارعه ثابت مقداراً واتجاهاً .

ب- زمن صعوده يساوي زمن عودته إلى نقطة القذف .

جـ- مقدار السرعة التي يعود بها إلى نقطة القذف تساوي سرعة القذف .

د- جميع ماذكر .

٧- مقدار التسارع الذي ينزلق به جسم على مستوى مائل أملس يعتمد على :

أ- زاوية ميل المستوى على الأفق .
جـ- طول المستوى المائل .
ب- مقدار قوة جذب الأرض للجسم .
د- مقدار رد فعل السطح على الجسم .

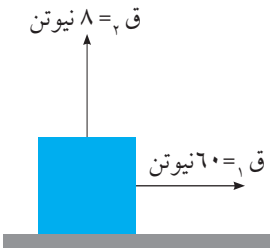
٨- كتلتان (أ) و (ب) تتدليان من طرف خيط يمر على بكرة ملساء . فإذا كانت كتلة (أ) ثلاثة أمثال كتلة (ب)، فإن سرعة الكتلة (أ) في أية لحظة .

أ- تساوي ثلاثة أمثال سرعة (ب)
جـ- تساوي تسعة أمثال سرعة (ب) .
ب- تساوي ثلث سرعة (ب) .
د- تساوي سرعة (ب) .

٩- إحدى العبارات التالية صحيحة عن قوتي الفعل ورد الفعل :

أ- تؤثر القوتين معاً على كل من الجسمين .
ب- تؤثر قوة الفعل على أحد الجسمين بينما تؤثر قوة رد الفعل على الجسم الآخر .
جـ- تؤثر كلتا القوتان على أحد الجسمين فقط ولا تؤثران في الآخر .
د- مقدار قوة الفعل دائماً أكبر من مقدارقوة رد الفعل .

١٠- في الشكل المقابل : تؤثر قوتان متعامدتان على جسم فيتحرك على سطح أفقي أملس فيكون الشغل الكلي المبذول في تحريكه مسافة (٤م) على السطح يساوي :



أ- ٤٠ جول
ب- ٢٤٠ جول
جـ- ٣٢ جول
د- ١٠ جول

١١- جسم كتلته (ك) يتحرك بسرعة منتظمة (ع) ويقطع مسافة قدرها (ف)، فإن الشغل الكلي المبذول بوساطة القوى المؤثرة على الجسم يساوي :

أ- طاقة حركة الجسم
ب- (ك ع) .
جـ-(ك ع ف) .
د- صفراً .

١٢- إذا كانت الزاوية بين متجه القوة ومتجه الإزاحة زاوية منفرجة فإن الشغل الذي تبذله هذه القوة يعتبر :

أ- معدوماً .
ب- محرِّكاً .
جـ- معيقاً للحركة .
د- مقداره غير معرَّف .

١٣- عند سقوط جسم من أعلى إلى أسفل فإن :

أ- كلاً من طاقة وضعه وطاقة حركته تتناقص .
ب- طاقة وضعه تزداد وطاقة حركته تتناقص .
جـ- كلاً من طاقة وضعه وطاقة حركته تزداد .
د- طاقة وضعه تتناقص وطاقة حركته تزداد .

س٢ : مالمقصود بالمصطلحات الآتية :

الواط ، طاقة الوضع المرونية ، ثابت المرونة للنابض ، الكمية المتجهة ، خاصية القصور الذاتي للأجسام .

س٣ : سقط حجر وزنه ٥٠ نيوتن من السكون من سطح بناية ارتفاعها ٤٠م عن سطح الأرض . جد طاقته الحركية على ارتفاع ٣٠ م من سطح الأرض .

س٤ : صعد رجل كتلته ٨٠ كغم إلى سطح بناية على ارتفاع ١٠ م في زمن قدره ٤٠ ثانية .
جد قدرة هذا الرجل .

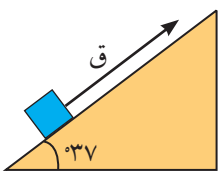
س٥ : أ – اذكر العوامل التي يتوقف عليها مقدار كل من :

١ . قوة التجاذب الكتلي بين جسمين ٢ . عزم الازدواج ٣ . قوة الاحتكاك

ب – اذكر شروط حدوث كل من :

١ . إنعدام عزم القوة . ٢ . اتزان الجسم الصلب

س٦ : صندوق كتلته ٢كغم بدأ حركته من السكون نحو الأعلى على مستوى مائل خشن بتسارع ثابت مقداره ٢م/ ث^{٢} . فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين المتلامسين = ١ , ٠ ، احسب كلاً من :



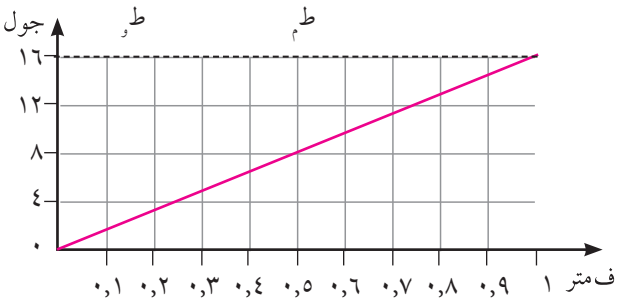
١ . قوة التلامس العمودية للمستوى على الصندوق .

٢ . قوة الاحتكاك بين سطحي الصندوق والمستوى .

٣ . مقدار القوة (ق) المؤثرة على الصندوق .

٤ . المسافة التي يتحركها الصندوق على المستوى حتى تبلغ سرعته ٣ م / ث .

س٧ : يبين الشكل منحنى طاقة الوضع لجسم ساقط سقوطاً حراً لارتفاعات مختلفة عن سطح الأرض . فإذا كانت الطاقة الميكانيكية الكلية للجسم = ١٦ جول (ممثلة بالخط المتقطع) .

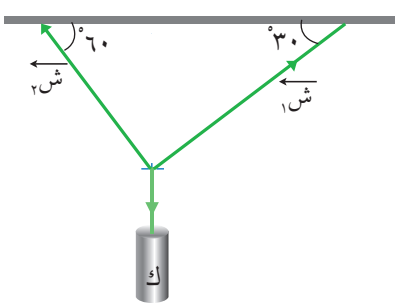


احسب كلاً من :

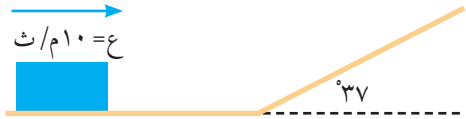
١ . طاقة الوضع لحظة سقوطه .

٢ . طاقة الحركة للجسم عندما يكون على ارتفاع ٠,٥ م .

س٨ : في الشكل المجاور جسم كتلته ١٠ كغم معلق بوساطة حبلين ، احسب قيمة كل من قوتي الشد ش$_{١}$ ، ش$_{٢}$.



س٩ : يتحرك جسم بسرعة ثابتة مقدارها ١٠ م/ث، على سطح أفقي أملس ينتهي بمستوى مائل أملس. احسب المسافة التي يقطعها الجسم على المستوى المائل قبل أن يتوقف.

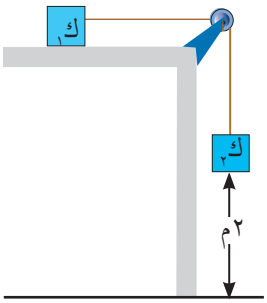


س١٠ : تحركت المجموعة في الشكل المجاور من السكون، فإذا كانت ك١ = ك٢ = ٢٠ كغم، والسطح الأفقي أملس، احسب كلاً من :

١. تسارع المجموعة.

٢. سرعة ك٢ قبل اصطدامها بالأرض مباشرة.

٣. الزمن الذي تستغرقه حتى تصطدم بالأرض.



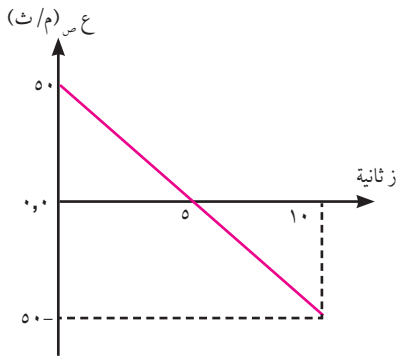
س١١ : الشكل المجاور يمثل منحنى المركبة الرأسية للسرعة والزمن لمقذوف بزاوية. اعتماداً على الرسم حدد كلاً مما يأتي :

١. الزمن الذي يكون عنده الجسم في أقصى ارتفاع.

٢. المدى الأفقي للقذيفة إذا كانت المركبة الأفقية للسرعة تساوي ٤ م/ث.

٣. زمن التحليق.

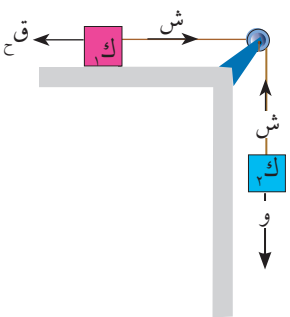
٤. أقصى ارتفاع يصله الجسم.



س١٢ : في الشكل المجاور إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الكتلة ك١ والسطح يساوي (م) أثبت أن :

تسارع المجموعة يعطى بالعلاقة :

$$ت = جـ \frac{ك_٢ - م\, ك_١}{ك_١ + ك_٢}$$



س١٣ : احسب قدرة محرك يرفع كتلة مقدارها ١٠٠ كغم مسافة ٢٠ متر رأسياً إلى أعلى بسرعة ثابتة خلال ٤ ثوان، ثم احسب القوة التي يؤثر بها المحرك في تلك الكتلة.

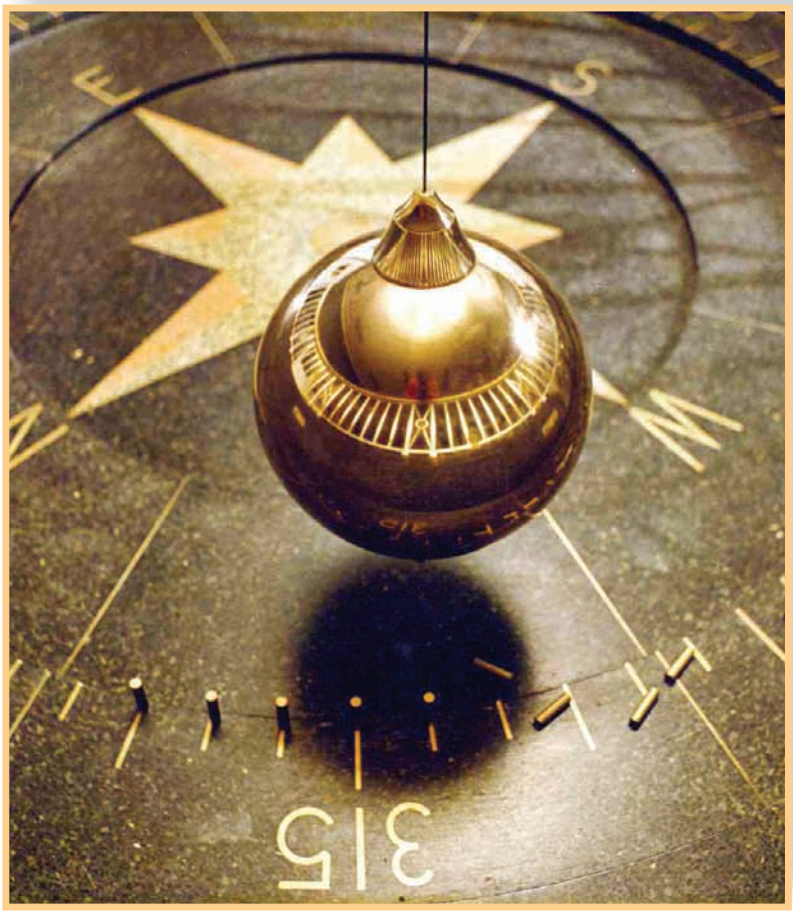
س١٤ : احسب السرعة التي يمكن أن يرفع بها محرك قدرته ٢ حصان ميكانيكي جسم كتلته ٦٠ كغم رأسياً إلى أعلى.

الوحـــدة

٢

الاهتزازات والأمواج

Oscillations & Waves



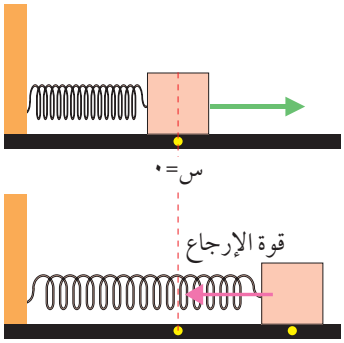
١ الحركة التوافقية البسيطة

تعرفت في سنوات سابقة الحركة الانتقالية للأجسام، وفي هذا الفصل ستتعرف أنماطاً أخرى من الحركة التي تتكرر في فترات زمنية متساوية، مثل حركة وتر العود عند العزف عليه وحركة الأرجوحة وحركة جزيئات الهواء عندما تنتشر فيها موجة صوت، فما الشروط اللازمة حتى يسلك الجسم أياً من هذه الأنماط من الحركة؟ وما الذي يجعل الجسم يكرر حركته؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

- تتعرف الحركة التوافقية البسيطة، وتميزها عن غيرها من أنماط الحركة الأخرى.
- تتعرف مفهوم السرعة الزاوية.
- تصف الحركة التوافقية البسيطة لكتلة مربوطة في نابض وللبندول البسيط.
- تعبر عن الحركة التوافقية البسيطة بصورتها الرياضية.
- تحل مسائل بسيطة على الحركة التوافقية البسيطة.

١ - ١ حركة كتلة مربوطة بنابض



الشكل(١) : حركة كتلة مربوطة بنابض

يبين الشكل (١) كتلة مربوطة بطرف نابض مثبت طرفه الآخر بجدار رأسي، وموضوعة على سطح مستوٍ عديم الاحتكاك. عند سحب الكتلة عن موضع اتزانها (س=٠)، فإن الكتلة ستتحرك إزاحة مقدارها (س) عن هذا الموضع، وعند ترك الكتلة فإنها تتحرك حركة اهتزازية حول موضع الاتزان بحيث تكرر هذه الحركة نفسها في فترات زمنية متساوية. وقد وجد أن القوة التي يؤثر بها النابض على الكتلة (قوة الإرجاع) تتناسب مع الإزاحة وتعطى بالعلاقة الآتية :

$\overleftarrow{ق} = - أ \overleftarrow{س}$ ، حيث :

$\overleftarrow{ق}$: قوة إرجاع النابض، وتقاس بوحدة نيوتن.

أ : ثابت المرونة للنابض، ويقاس بوحدة نيوتن/ متر.

$\overleftarrow{س}$: إزاحة الكتلة عن موضع الاتزان، وتقاس بوحدة المتر.

لاحظ هنا إشارة السالب (-) في العلاقة السابقة تعني أن قوة الإرجاع تكون دائماً بعكس اتجاه الإزاحة.

وبتطبيق قانون نيوتن الثاني على حركة الكتلة المربوطة بالنابض :

$\overleftarrow{ق} = ك \overleftarrow{ت}$ ، نجد أن :

$- أ \overleftarrow{س} = ك \overleftarrow{ت}$ ، أو :

$$\overleftarrow{ت} = - \frac{أ}{ك} \overleftarrow{س} \Leftarrow \overleftarrow{ت} \propto - \overleftarrow{س} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

أي أن تسارع الكتلة يتناسب طردياً مع مقدار الإزاحة، ويعاكسها في الاتجاه، ويسمى هذا النوع من الحركة الحركة التوافقية البسيطة.

الحركة التوافقية البسيطة :

هي حركة اهتزازية في خط مستقيم يتناسب فيها تسارع الكتلة طردياً مع مقدار الإزاحة، ويعاكسها في الاتجاه.

١ - ٢ حركة البندول البسيط

يتكون البندول البسيط من كتلة مربوطة بخيط مثبت في حامل أفقي كما في الشكل (٢). عند إزاحة الكتلة بزاوية صغيرة ($\theta_م$) عن الوضع الرأسي وتركها فإنها تتحرك متذبذبة على الجانبين.

عندما تكون الكتلة في أعلى موضع لها عند النقطة (أ)، فإن سرعتها تساوي صفراً، وتكون الكتلة تحت تأثير مركبة الوزن (وجا $\theta_م$) التي تعمل على تحريكها، أما فيما يتعلق بمركبة الوزن (وجتا $\theta_م$) فإنها تعمل على نفس خط قوة الشد في الخيط. وعندما تترك الكتلة فإن الزاوية (θ) تتناقص حتى تصبح صفراً في الوضع الرأسي، ثم تبدأ بالزيادة حتى تصل إلى أكبر قيمة ($\theta_م$) عند النقطة ب في الجهة المقابلة.

وبالتعويض في قانون نيوتن الثاني، نجد أن محصلة القوى في اتجاه الحركة هي $\overleftarrow{ق} = ك \overleftarrow{ت}$ ، أي أن :

و جاθ = – ك ت

وحيث إن وزن الكتلة و = ك جـ ، جـ = تسارع الجاذبية الأرضية، فإن :

ك جـ جاθ = – ك ت ، أي أن :

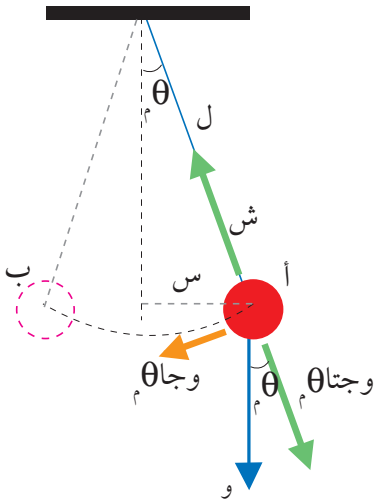
ت = – جـ جاθ .

وبما أ ن ($\theta_م$) زاوية صغيرة ($\theta_م < ١٥^\circ$)، فإن جا $\theta_م \approx \theta_م$ بالتقدير الدائري .

أي أن : ت = – جـ $\theta_م$،

وحيث أن الزاوية($\theta_م$) بالتقدير الدائري = $\frac{\text{طول القوس}}{\text{نصف القطر}} \approx \frac{س}{ل}$ ، فإن :

$\overleftarrow{ت} = -\frac{جـ}{ل} \overleftarrow{س} \Leftarrow \overleftarrow{ت} \propto -\overleftarrow{س}$ ..... (٢)



الشكل (٢) : البندول البسيط

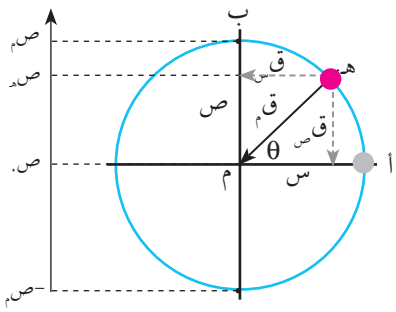
لاحظ هنا أن مقدار تسارع البندول يتناسب طردياً مع مقدار الإزاحة ويعاكسها في الإتجاه، أي أن البندول البسيط يتحرك حركة توافقية بسيطة .

١ - ٣ العلاقة بين الحركة الدائرية والحركة التوافقية البسيطة

نفترض أن جسماً يسير في مسار دائري نصف قطره نق ومركزه م كما في الشكل (٣)، وأن هذا الجسم بدأ الحركة من النقطة (أ) على محور السينات ماراً بالنقطة (هـ) بعكس اتجاه عقارب الساعة .

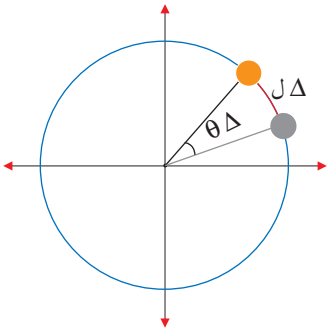
إن القوة المؤثرة على الجسم تكون دائماً باتجاه المركز ولنفترض أن هذه القوة تساوي ق$_م$ ، نحلل هذه القوة إلى مركبتين متعامدتين ق$_ص$ ، ق$_س$

من الشكل نلاحظ أن ق$_ص$ = ق$_م$ جاθ واتجاهها إلى الأسفل، وبما أن جاθ = $\frac{ص}{نق}$ ، فإن ق$_ص$ = – ق$_م$ $\frac{ص}{نق}$. وبقسمة طرفي المعادلة على الكتلة نحصل على ت$_ص$ = – ت$_م$ $\frac{ص}{نق}$ = – $\frac{ت_م}{نق}$ ص، أي أن تسارع الجسم في الاتجاه الصادي يتناسب طردياً مع الإزاحة، وعليه فإن مسقط حركة الجسم على المحور الصادي هي حركة توافقية بسيطة . وينطبق الحديث نفسه على مسقط حركة الجسم على المحور السيني (وضح ذلك)، أي أن الحركة في الاتجاه السيني هي أيضاً حركة توافقية بسيطة .



الشكل (٣): الحركة الدائرية

السرعة الزاوية:



الشكل (٤): إيجاد السرعة الزاوية

عندما يقطع جسم يسير في حركة دائرية منتظمة زاوية مقدارها $\Delta\theta$ في زمن مقداره Δ ز، فإنه يقطع قوساً طوله Δ ل= نق$\Delta\theta$، انظر الشكل (٤).

ولحساب مقدار سرعته نقسم طول القوس على الفترة الزمنية؛ أي أن:

$$ع = \frac{\Delta ل}{\Delta ز} = \frac{نق\ \Delta\theta}{\Delta ز} = نق \frac{\Delta\theta}{\Delta ز}$$

تعرف السرعة الزاوية (ω) بأنها مقدار الزاوية التي يقطعها الجسم أثناء الحركة الدائرية في وحدة الزمن،

أي أن: $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta ز}$،

وبناءً عليه فإن السرعة الخطية ع = نق ω ..... (٣)

وقد عرفت سابقاً أن التسارع المركزي لجسم في حركة دائرية منتظمة $ت_م = \frac{ع^2}{نق} = \frac{(نق\ \omega)^2}{نق} = نق\ \omega^2$

والآن يمكننا كتابة معادلة التسارع للحركة التوافقية البسيطة كما يأتي:

$ت_ص = -\frac{ت_م}{نق}$ ص $= -\omega^2$ ص ..... (٤)

والسرعة الزاوية ω تساوي حاصل قسمة الزاوية الكلية التي يقطعها الجسم في دورة كاملة وتساوي (٢) على زمن الدورة (ن)، أي أن: $\omega = \frac{2\pi}{ن}$، ومنه د (التردد) $= \frac{1}{ن} = \frac{\omega}{2\pi}$ ..... (٥)

مثال (١):

يتحرك جسم بسرعة ثابتة مقداراً في مسار دائري منتظم نصف قطره ٢ متر، وكان يقطع زاوية مقدارها $\frac{\pi}{2}$ كل ثلاث ثوان، احسب ما يأتي:

أ. السرعة الزاوية. ب. السرعة الخطية. جـ. التردد. د. الزمن الدوري.

الحل:

أ. السرعة الزاوية: $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta ز} = \frac{\pi/2}{3} = \frac{\pi}{6}$ راد/ث

ب. السرعة الخطية: ع = نق $\omega = 2 \times \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{3}$ م/ث

جـ. التردد: د $= \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\pi/6}{2\pi} = \frac{1}{12}$ هيرتز

د. الزمن الدوري: ن $= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\pi/6} = 12$ ثانية.

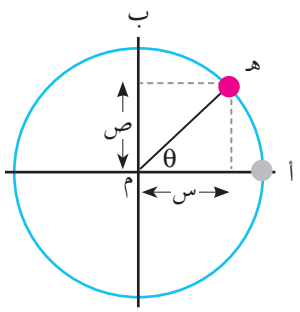
معادلات الحركة التوافقية البسيطة:

توصلنا في البند السابق إلى العلاقات التي تربط تسارع الأجسام في الحركة التوافقية البسيطة مع الإزاحة، سواء في النابض أو البندول أوالحركة في مسار دائري منتظم، فكانت على النحو الآتي :

في النابض : $ت = -\frac{أ}{ك} س$ أو $ت = -\omega^2 س$ ومنه $\omega^2 = \frac{أ}{ك}$

في البندول : $ت = -\frac{جـ}{ل} س$ أو $ت = -\omega^2 س$

في الحركة الدائرية : $ت_س = \frac{-ت_م}{نق} س$ أو $ت_س = -\omega^2 س$



الشكل (٥) مركبات الحركة الدائرية

لاحظ أن قيمة السرعة الزاوية ω تعتمد على :

- ثابت المرونة وكتلة الجسم في النابض .
- تسارع الجاذبية وطول الخيط في البندول .
- تسارع الجسم و نصف قطر المدار في الحركة الدائرية .

في الشكل (٥) عندما يكون الجسم في النقطة (هـ) فإنه يقطع مسافة (ص) على المحور الصادي .

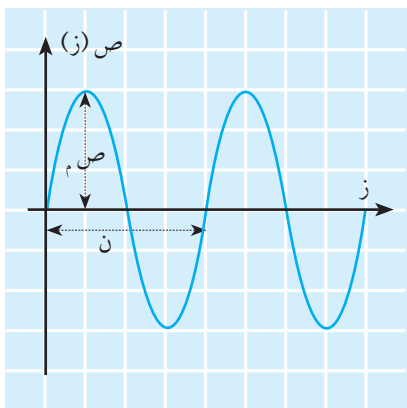
وحيث إن ص = نق جا θ ، فإن إزاحة الجسم الذي يتحرك حركة توافقية بسيطة تتغير كدالة جيبية بتغير الزاوية θ كما في الشكل(٦) . وبما أن الزاوية θ هي الزاوية التي قطعها الجسم في زمن (ز) فإن $\theta = \omega$ ز ، وبشكل عام يمكن كتابة معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة كما يأتي :

ص (ز) = ص$_م$ جا (ω ز + ϕ) . . . . . (٦)

حيث : ص$_م$: أقصى إزاحة ممكنة للكتلة عن نقطة الاتزان وتساوي نق .

ز : الزمن بوحدة الثانية .

ϕ : زاوية ثابت الطور ، وتحدد موضع الجسم عندما يكون الزمن يساوي صفراً ، وتحسب من معرفة موضع الجسم وسرعته عند لحظة معينة .



الشكل (٦) الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة

لاحظ من الشكل أن ص$_م$ تمثل سعة الاهتزازة ، وتساوي البعد بين نقطة الاتزان وأبعد نقطة ممكنة للحركة ، وأن الزمن الدوري (ن) هو الفترة الزمنية التي تفصل بين مرور الجسم في نقطتين متماثلتين في الطور من حيث الموضع واتجاه الحركة .

مثال (٢):

كتلة مقدارها ٢كغم، ربطت بطرف نابض طرفه الآخر مثبت في حائط ومعامل مرونته ٢٠٠ نيوتن/ م، إذا تحركت الكتلة على سطح أفقي أملس حركة توافقية بسيطة، جد ما يأتي :

أ. السرعة الزاوية. ب. الزمن الدوري للحركة. جـ. التردد.

الحل:

أ. السرعة الزاوية $\omega = \sqrt{\frac{أ}{ك}} = \sqrt{\frac{٢٠٠}{٢}} = ١٠$ راد/ ث

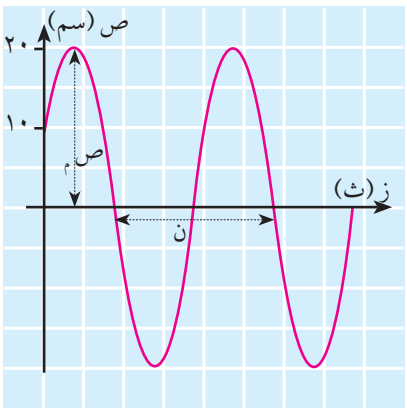
ب. الزمن الدوري للحركة $ن = \frac{٢\pi}{\omega} = \frac{٢\pi}{١٠} = ٠,٦٢٨$ ثانية.

جـ. التردد $د = \frac{١}{ن} = ١,٦$ هيرتز

مثال (٣):

جسم يتحرك وفق العلاقة : ص (ز) = ٢٠ جا $(\pi ز + \frac{\pi}{٦})$. إذا كانت (ص) تقاس بالسنتمتر، والزمن بالثانية فجد :

أ. سعة الاهتزازة. ب. التردد. جـ. ارسم العلاقة بيانياً.



الحل:

أ. سعة الاهتزازة $ص_م = ٢٠$ سم

ب. التردد : $د = \frac{\omega}{٢\pi} = \frac{\pi}{٢\pi} = \frac{١}{٢}$ هيرتز

جـ. ص(٠) = ٢٠ جا $(\frac{\pi}{٦})$ = ١٠ سم.

س١ : ماذا نعني بالمفاهيم الآتية :

الحركة الدورية، السرعة الزاوية، سعة الاهتزازة، الزمن الدوري، الحركة التوافقية البسيطة؟

س٢ : أي العبارات الآتية صائبة وأيها خاطئة؟ ثم صوب العبارات الخاطئة منها :

أ. يصبح الزمن الدوري للبندول ضعفي ما كان عليه عندما يكون طوله ضعفي الطول السابق .

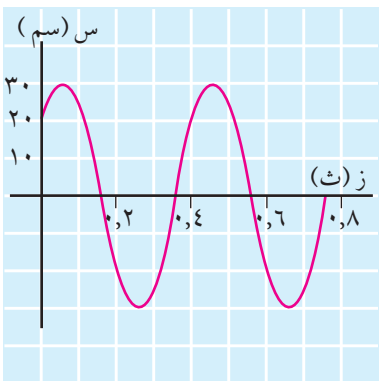
ب. يكون التسارع لحركة توافقية بسيطة يساوي صفراً عندما يكون الجسم المهتز عند نقطة الاتزان .

جـ. يقاس التردد بوحدة ث$^{-١}$ ، وتسمى راديان .

د. يكون الفرق عند تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بدلالة جيب الزاوية أو بدلالة جتا الزاوية في مقدار ثابت الطور فقط .

هـ. تكون سرعة الجسم المهتز صفراً عند نقطة الاتزان في الحركة التوافقية البسيطة .

س٣ : يمثل الشكل المجاور حركة كتلة مقدارها ٢ كغم مربوطة بنابض يتحرك حركة توافقية بسيطة على مستوى أفقي عديم الاحتكاك، جد ما ياتي :



أ. السعة

ب. الزمن الدوري

جـ. ثابت المرونة للنابض .

د. زاوية الطور

س٤ : إذا كانت العلاقة : س(ز) = ٢ , ٠ جتا (π ز + $\frac{\pi}{٦}$) تمثل حركة توافقية بسيطة ، جد ما ياتي :

أ. سعة الاهتزازة .

ب. ثابت زاوية الطور .

جـ. موضع الجسم في اللحظة ز = ٠ ث .

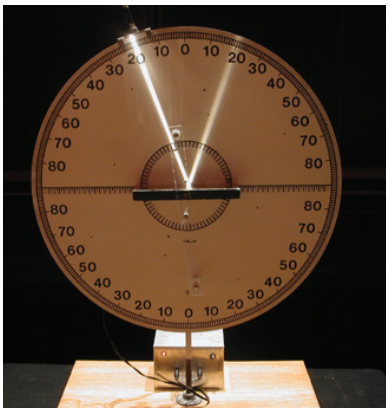
د. موضع الجسم عند ز = ١ ث .

س٥ : بندول بسيط يعمل ١٠ دورات كاملة في ١٦ ثانية، إذا كان تسارع الجاذبية الأرضية يساوي ٩,٨ م/ ث^{٢} ، احسب :

أ. طول خيط البندول .

ب. زمن الدورة للبندول على سطح القمر علماً بأن تسارع الجاذبية على القمر يساوي ١,٦ م/ ث^{٢} .

٢ طبيعة الضوء



درست في صفوف سابقة الضوء، و عرفت مصادره وسلوكه، و تكون الصور في المرايا والعدسات، لكن ما طبيعة الضوء؟ وهل يتكون من جسيمات أو موجات؟ وكيف نفسر سلوك الضوء في الظواهر المختلفة، مثل: الإنعكاس، والانكسار، والتداخل، والحيود؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

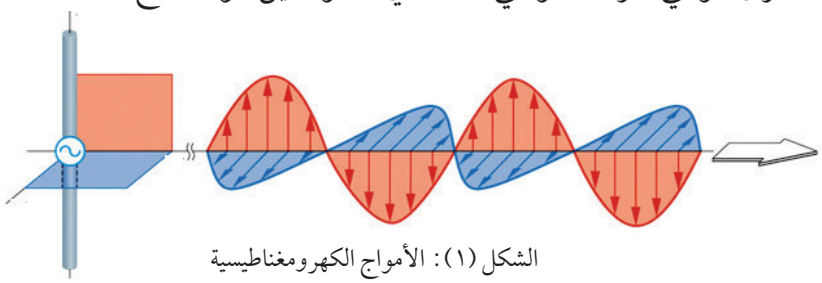
- تتعرف الأمواج الكهرومغناطيسية.
- تفسر سلوك الضوء بناءً على النموذجين الجسيمي والموجي.
- تتحقق من مفهوم التداخل للأمواج الضوئية.
- تتعرف مفهوم الحيود للأمواج الضوئية.
- تتعرف بعض التطبيقات العملية للتداخل والحيود.
- تنفذ بعض الأنشطة والتجارب العملية للتحقق من السلوك الموجي للضوء.
- تحل مسائل عددية بسيطة على المفاهيم السابقة.

٢ - ١ الأمواج الكهرومغناطيسية

حاول الفلاسفة والعلماء منذ القدم فهم طبيعة الضوء و تفسير الظواهر المرتبطة به، وبقيت النظرية الجسيمية (أي أن الضوء جسيمات متناهية الصغر) التي تبناها العالم الفيزيائي اسحق نيوتن حتى بداية القرن التاسع عشر، هي الأساس الذي اعتمد عليه الفيزيائيون في تفسير معظم سلوك الضوء كالانعكاس والانكسار، غير أن فشل هذا النموذج في تفسير بعض الظواهر الضوئية الأخرى وضع العلماء أمام تحد لتعديله أو استبداله، حتى جاء العالم الهولندي هايجنز ١٦٧٠م (Huygens) واقترح النموذج الموجي للضوء، واستطاع تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار حسب هذا النموذج. وجاء من بعده العالم ينغ ١٨٠٣م (Young), وأثبت بالتجربة عن طريق تداخل الضوء أن الضوء ذو طبيعة موجية.

في عام ١٨٦٥م أثبت العالم ماكسويل Maxwell أن الضوء أمواج كهرومغناطيسية تتكون من مجالين: أحدهما كهربائي، والآخر مغناطيسي، يتغيران مع الزمن ومتعامدان على بعضهما البعض وعموديان على خط انتشار الموجة وينتشران في الفضاء بسرعة ثابتة، انظر الشكل (١) والفرق بين الضوء والأمواج الكهرومغناطيسية الأخرى هو في التردد الموجي فقط. أي النموذجين هو الأصح؟

يطلق الضوء على مدى معين من الطيف الكهرومغناطيسي، الذي يمكن للعين الإحساس به.



الشكل (١): الأمواج الكهرومغناطيسية

دلّت التجارب على أن كلا النموذجين يصلح لتفسير بعض السلوكات للضوء؛ أي أن للضوء طبيعة مزدوجة، يسلك أحياناً سلوك الجسيمات، وأحياناً أخرى سلوك الأمواج.

الطيف الكهرومغناطيسي:

تستخدم كلمة الطيف للتعبير عن مدى معين من التغيرات التي تخص صفة ما، ويشمل الطيف الكهرومغناطيسي الترددات المختلفة للأمواج الكهرومغناطيسية، كامواج الراديو والميكروويف، وأمواج الضوء المرئي، وأمواج الضوء تحت الحمراء وكذلك الأمواج فوق البنفسجية، وغيرها من الإشعاعات، مثل: الأشعة السينية، وأشعة جاما، والشكل (٢) يبين المناطق المختلفة للطيف الكهرومغناطيسي، وهي كما يأتي:

أمواج الراديو:

يتراوح طولها الموجي من ٣٠٠ سم إلى ٣ كم، وتستخدم في البث الإذاعي والتلفازي.

أمواج الميكروويف:

تلي الأمواج الراديوية مباشرة من حيث قصر الطول الموجي، ويتراوح طولها الموجي من ٣٠٠سم إلى ٠,٣ سم، وتستخدم في الاتصالات والاستشعار عن بعد، إضافة لطهي وتسخين الطعام.

الأشعة تحت الحمراء :

تقع بين الطيف المرئي وأمواج الميكروويف، ويطلق على الجزء الأطول منها الأمواج الحرارية، وتستخدم في التصوير الليلي، بينما تستخدم الأمواج الأقصر طولاً في التحكم عن بعد، مثل التحكم في قنوات التلفاز بالرموت .

الضوء المرئي :

تحس به العين، ويتراوح طول موجته بين ٣٥٠ - ٧٠٠ نانومتر، والضوء المرئي الذي يصلنا من الشمس ضوء مركب من الألوان جميعها، وكل لون من الطيف له طول موجي خاص به .

الأشعة فوق البنفسجية :

تلي الطيف المرئي، وهي أقصر منه من حيث الطول الموجي، ولا تستطيع العين البشرية الإحساس بها، ولكن قد تستطيع الإحساس بها عيون بعض الحشرات كالنحل مثلاً .

وتستطيع بعض هذه الأمواج النفاذ من الغلاف الجوي للأرض، وتضر بصحة الإنسان، وتقوم طبقة الأوزون بامتصاص الجزء الأكبر منها، ويستخدمها العلماء في التصوير الفلكي للمجرات والنجوم .

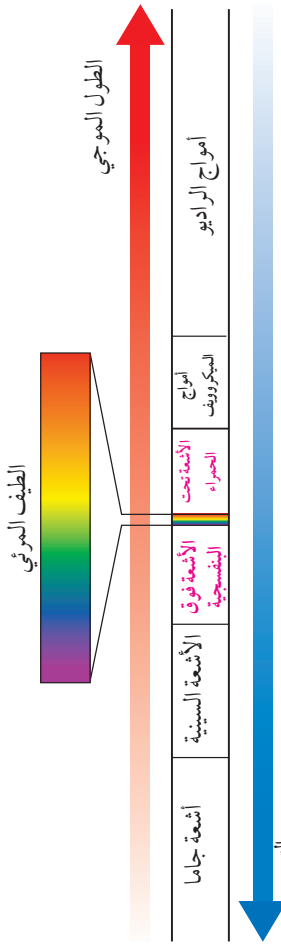
الأشعة السّينية :

اكتشفها العالم الألماني رونتجن Roentgen عام ١٨٩٥م بالصدفة عندما كان يجري تجاربه على الأنابيب المفرغة، وتزداد طاقة هذه الأشعة كلما نقص طولها الموجي، لكن طاقتها لا تمكنها من اختراق الغلاف الجوي للأرض لسماكته . وتستخدم في مجالات عدة، كتصوير العظام، والكشف عن المعادن، انظر الشكل (٣) .

أشعة جاما :

أقصر الأمواج الكهرومغناطيسية وأكثرها طاقة، ومصدرها الذرات المشعة والانفجارات النووية في النجوم والمجرات، ولها تأثير مدمر على الخلايا الحية؛ لذا يستخدمها العلماء في معالجة الأمراض كالسرطان؛ إذ تدمر الخلايا السرطانية .

ويتم رصد أشعة جاما عن طريق مجسات خاصة توضع على المركبات الفضائية، وتختلف عن غيرها من الأشعة؛ إذ إنها لا تنعكس عن المرايا . ويسعى العلماء حالياً لمعرفة أصل الكون، وحجمه ومعدل اتساعه بناءً على دراسة أشعة جاما التي تطلقها المجرات .



الشكل (٢) : الطيف الكهرومغناطيسي

هل تعلم؟

أن جسم الإنسان يصدر أمواجاً حرارية تحت حمراء طولها الموجي ١٠ ميكرون، تمكن من تصويره ليلاً . وأن الأفاعي تتحسس الحرارة المنبعثة من الأجسام الحية، مما يمكنها من مطاردة فرائسها ليلاً .

الشكل (٣) : صورة بالأشعة السينية تظهر مسماراً يربط مفاصل العظام .

التمثيل الرياضي للأمواج الكهرومغناطيسية:

يمكن التعبير عن المجالين الكهربائي والمغناطيسي اللذين يكونان الأمواج الكهرومغناطيسية في اتجاه محور السينات الموجب بالعلاقة الآتية :

$\vec{م} = م_م$ جا $(\kappa س - \omega ز)$ ..... (١)

$\vec{غ} = غ_م$ جا $(\kappa س - \omega ز)$ ..... (٢)

حيث $\vec{م}$: تمثل المجال الكهربائي، و $\vec{غ}$: تمثل المجال المغناطيسي، κ : الرقم الموجي $= \frac{\pi ٢}{\lambda}$

إن كلا المجالين يهتزان في اتجاه عمودي على خط انتشار الموجة، والنسبة بين قيمة المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي للموجة تساوي سرعة الموجة في الوسط، وقيمتها في الفراغ ٣×١٠^{٨} م/ ث تقريباً، وهي ثابتة في الوسط المتجانس، والعلاقة التي تربط التردد والطول الموجي للأمواج الكهرومغناطيسية هي :

$س = \lambda \times د$، حيث س : سرعة الموجة، د : التردد، λ : الطول الموجي .

مثال (١):

موجة كهرومغناطيسية مجالها الكهربائي على شكل دالة جيبية، تعطى بالعلاقة :

$\vec{م} = ٣٠٠$ جا $(\frac{\pi}{٣} \times ١٠^{٦} س - \pi \times ١٠^{١٥} ز)$ فولت/ م، تنتشر بالاتجاه الموجب لمحور السينات في الهواء، احسب : أ. السعة ب. التردد جـ. الطول الموجي

الحل :

أ. السعة = ٣٠٠ فولت/ م، أقصى قيمة لشدة المجال .

ب. التردد، نلاحظ من العلاقة السابقة أن $\omega = \pi \times ١٠^{١٥}$ راد .

ومنها $د = \frac{\omega}{\pi ٢} = ٥ \times ١٠^{١٤}$ هيرتز.

جـ. الطول الموجي، يحسب من العلاقة السابقة، $\kappa = \frac{\pi}{٣} \times ١٠^{٦}$ ، ومنها $\lambda = ٦ \times ١٠^{-٦}$ م.

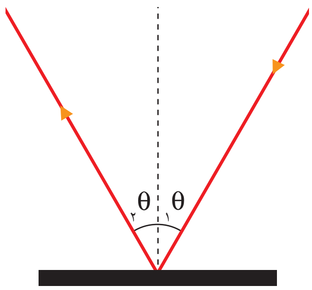
يمتلك كل نوع من الأمواج الكهرومغناطيسية طولاً موجياً (تردداً) خاصاً به، وتبعاً لذلك يتغير تفاعل وسلوك هذه الأمواج مع المواد المختلفة . فمثلاً :

- لاتحس أعيننا بأمواج الراديو ؛ لأن طولها الموجي كبير وطاقة الفوتونات قليلة مع أنها تستطيع إختراق أجسامنا، ولكن يمكن لهوائي فلزي التقاطها .
- تمتلك الأمواج تحت الحمراء أطوالاً موجية مناسبة لامتصاصها من قبل المواد وتحولها إلى حرارة .
- الأشعة السينية لها أطوال موجية قصيرة جداً ؛ مما يجعلها تخترق الأنسجة الناعمة في جسم الكائنات الحية وغيرها، ولكنها لاتستطيع اختراق العظام .

وقد أدى اختلاف خصائص الطيف الكهرومغناطيسي في سلوكه وتفاعله مع المواد المختلفة إلى التطبيقات التكنولوجية المتعددة في شتى مجالات الحياة .

٢ ـ ٢ النموذج الجسيمي للضوء

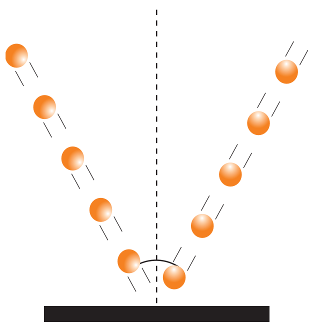
انعكاس الضوء:



الشكل (٤): انعكاس الضوء

تعلمت في الصف الثامن أن الضوء ينعكس عن بعض الأجسام، انظر الشكل (٤)، وأن الانعكاس محكوم بقانوني الانعكاس:

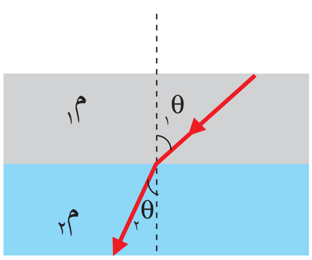
> **القانون الأول:** الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد.
> **القانون الثاني:** زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس، $\theta_{١} = \theta_{٢}$.



الشكل (٥): انعكاس جسيم

يمكن تفسير ظاهرة الانعكاس حسب النموذج الجسيمي، كما يحصل في ارتداد كرة صغيرة مرنة عن حائط أو أرضية الغرفة مثلاً، انظر الشكل (٥)، فعندما نسقط الكرة بشكل عمودي على أرضية أفقية صلبة، ترتد الكرة بشكل عمودي إذا كانت الأرضية ملساء، أمّا إذا دفعنا الكرة بحيث تعمل زاوية ما مع الخط العمودي على السطح فإن الكرة ترتد بنفس الزاوية في الجهة الأخرى للعمودي، أي أن النموذج الجسيمي نجح في تفسير هذه الظاهرة.

انكسار الضوء:



الشكل (٦): انكسار ضوء

عندما ينتقل الضوء من وسط إلى آخر فإن شعاع الضوء ينحرف عن مساره بشكل مفاجيء عند الحد الفاصل بين سطحي الوسطين، انظر الشكل (٦)، وهذا ما يعرف بانكسار الضوء، ويعتمد مقدار زاوية الانكسار على معامل الانكسار النسبي بين الوسطين اللذين انتقل بينهما الضوء، ومقدار زاوية السقوط.

$$\text{معامل الانكسار (م)} = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسط}} = \frac{\text{س}}{\text{ع}}$$

ويمكننا تحديد مقدار زاوية الانكسار من قانون سنل:

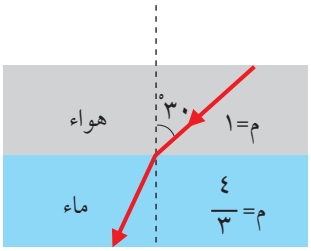
$$\text{م}_{١}\,\text{جا}\,\theta_{١} = \text{م}_{٢}\,\text{جا}\,\theta_{٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

حيث: $\theta_{١}$ زاوية السقوط، و $\theta_{٢}$ زاوية الانكسار.

$\text{م}_{١}$ معامل الانكسار للوسط الأول، $\text{م}_{٢}$: معامل الانكسار للوسط الثاني.

مثال (٢):

سقطت حزمة ضوئية من الهواء بزاوية مقدارها ٣٠° مع العمود المقام على سطح الماء، إذا كان معامل الانكسار للهواء = ١ ، وللماء = $\frac{٤}{٣}$ ، احسب زاوية الانكسار .



الحل:

من قانون سنل، نجد أن : $م_{١} جا\theta_{١} = م_{٢} جا\theta_{٢}$

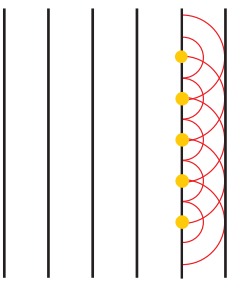
$١ \times جا ٣٠° = \frac{٤}{٣} \times جا\theta_{٢}$ ، إذن $\theta_{٢} = جا^{-١} \frac{٣}{٨} = ٢١°$ تقريباً .

٢ - ٣ النموذج الموجي للضوء

سندرس في هذا البند بعض سلوكيات الضوء ونحاول تفسيرها حسب النموذج الموجي الذي اقترحه العالم هايجنز، وسنعرض بعض الأنشطة التي تسهل علينا تفسير هذه الظواهر .

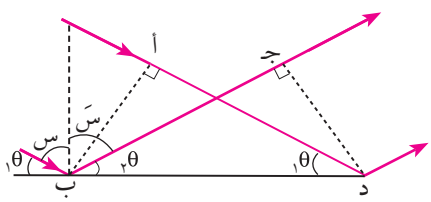
مبدأ هايجنز: Huygens' Principle

يعد العالم الألماني كريستيان هايجنز أول من افترض النموذج الموجي للضوء، ورأى أنَّ أمواج الضوء تختلف عن أمواج الماء التي تتحرك على سطح السائل في بعدين وأنّها ثلاثية الأبعاد، فمثلاً، إذا ولدت ومضة عند نقطة في الفراغ، سينتشر تأثير هذه الومضة بعد زمن قصير إلى جميع النقاط التي تبعد عنها مسافة محددة؛ أي أنها جميعاً تقع على محيط كرة مركزها النقطة المذكورة، وهذه الكرة تتسع باستمرار، وأطلق عليها هايجنز اسم مقدمة الموجة (Wavefront)، وكل نقطة في مقدمة الموجة تعدّ مصدراً ثانوياً للأمواج، انظر الشكل (٧) .



الشكل (٧) : مبدأ هايجنز

عند سقوط حزمة من الضوء بشكل متوازٍ على سطح مصقول فإن هذه الحزمة تنعكس محافظة على توازيها، وحسب نموذج هايجنز نستطيع تفسير ظاهرة الانعكاس كما يأتي .

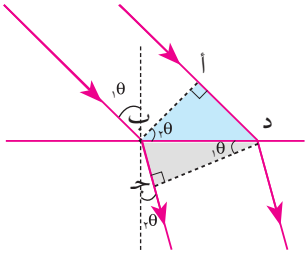


الشكل (٨) : انعكاس الضوء

نلاحظ في الشكل (٨) أن الشعاع (أ) ينعكس عن السطح، وكذلك الشعاع (ب)، وبما أن سرعة الأمواج ثابتة في الوسط نفسه، يكون الزمن المستغرق من أ إلى د مساوياً للزمن من ب إلى جـ. ونلاحظ أن المثلثين ب أ د، ب جـ د متطابقان، أي أن : $\frac{أ د}{ب د} = \frac{ب جـ}{ب د}$، ومنها جتا $\theta_{١}$ = جتا $\theta_{٢}$ ، أو $\theta_{١} = \theta_{٢}$، ومنه س = سَ؛ أي أن :

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس، وهذا هو قانون الانعكاس الثاني.

لكن كيف يفسر النموذج الموجي انكسار الضوء؟



الشكل (٩): انكسار الضوء

عندما تصل حزمة الأشعة الضوئية السطح الفاصل بين الوسطين كما هو مبين في الشكل(٩) ، فإن مقدمات الأمواج تنحرف عن مسارها، ويكون الزمن المستغرق كي يقطع الشعاع الساقط المسافة (أ د) مساوياً للزمن المستغرق للشعاع المنكسر (ب جـ).

$$ز = \frac{أ\,د}{ع_١} = \frac{ب\,جـ}{ع_٢}$$، أي أن : $$\frac{ع_٢}{ع_١} = \frac{ب\,جـ}{أ\,د} = \frac{ب\,د\ جا\,\theta_٢}{ب\,د\ جا\,\theta_١}$$.

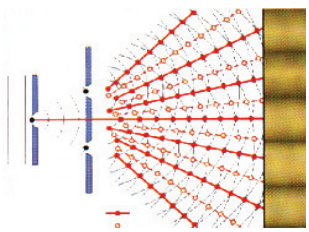
وحيث أن : $$\frac{ع_٢}{ع_١} = \frac{م_١}{م_٢}$$، وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على قانون سنل.

$$م_١\ جا\,\theta_١ = م_٢\ جا\,\theta_٢ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٤)$$

تداخل الضوء:

تحدث ظاهرة التداخل عندما تنتقل موجتان في نفس الوسط، وتأخذ الموجة الناتجة شكلاً جديداً يكون حاصل جمع الموجتين جبرياً عند كل نقطة. فهل يمكن أن يحدث تداخل للضوء من مصدرين؟ لقد كان هذا السؤال محكاً لإثبات الطبيعة الموجية للضوء.

تجربة ينغ:

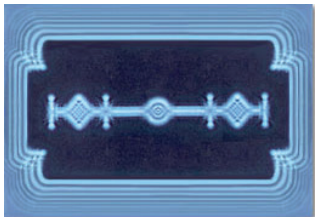

الشكل (١٠): تجربة ينغ.

كان لتجربة الفيزيائي توماس ينغ عام ١٨٠١م أثر بالغ في دعم النموذج الموجي للضوء، وذلك عندما حصل على نمط معين للتداخل عند مرور الضوء من خلال شقين متجاورين، كما في الشكل (١٠).

ونتيجة لاختلاف طول المسارين بين الضوء القادم من الشقين عند تلاقيه في نقطة ما على الحاجز، ينتج نمطاً جديداً متكرراً من المناطق المظلمة (مناطق تداخل هدام)، وأخرى من المناطق المضاءة (مناطق تداخل بناء)، وتسمى هذه المناطق الأهداب، ولاحظ ينغ في تجربته أن نمط التداخل يعتمد على لون الضوء الساقط على الشق، فوجد أن المسافة بين منطقتين مضاءتين تتناسب طردياً مع طول الموجة الساقطة، كما وجد أن تلك المسافة تتناسب عكسياً مع المسافة بين الشقين.

ولضمان ظهور نمط التداخل فإنه يشترط استخدام مصدرين ضوئيين، الفرق في الطور بينهما ثابت، وقد أخذ ينغ المصدرين من نفس المصدر.

حيود الضوء:



الشكل (١١): حيود الضوء حول حواف شفرة حلاقة

يعدّ تكون الظلال للأجسام وتكون الصور في الكاميرا ذات الثقب من الدلائل التي تدعم أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة، غير أن هناك بعض المشاهدات التي لا تتفق مع ذلك، فعندما يسقط شعاع ليزر على فتحة ضيقة تتكون مناطق مضيئة ومناطق مظلمة على الشاشة خلف الفتحة، وتسمى هذه الظاهرة حيود الضوء (أي انحرافه عن السير في خطوط مستقيمة)، والشكل (١١) يوضح حيود الضوء حول حواف شفرة حلاقة.

الحيود من شريحة ذات شق واحد:

اذا سقط ضوء أحادي اللون على شريحة ذات شق واحد، فإنه يتكون نمط حيود على الشاشة خلف الشريحة بحيث يكون هناك مناطق مضيئة ومناطق مظلمة، وهذه الظاهرة لا يمكن تفسيرها الا على اعتبار أن الضوء يسلك سلوكاً موجياً.

أسئلة الفصل:

س١: اذكر ثلاثة فروق بين الأمواج الميكانيكية والأمواج الكهرومغناطيسية.

س٢: احسب التردد الذي يهتز به كل من الأمواج الكهرومغناطيسية الآتية:

- ميكروويف طولها الموجي ١ سم.
- أمواج تحت حمراء طولها الموجي ١ ميكرو متر.
- أمواج فوق بنفسجية طولها الموجي ١٠٠ أنجستروم.
- أشعة سينية طولها الموجي ٣ أنجستروم.

س٣: إذا كان المجال الكهربائي لموجة كهرومغناطيسية يعطى بالعلاقة الآتية:

$\vec{م} = ١٠٠ \text{ جا } (١٠^{٧} س - \omega ز)$، جد:

أ. سعة المجال المغناطيسي لهذه الموجة.

ب. الطول الموجي لها.

جـ. التردد

د. هل نستطيع الرؤية بوساطة هذه الأمواج؟

أسئلة الوحدة

س ١ : ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

١) لنظام نابض - كتلة موضوع على سطح أفقي أملس ويتحرك حركة توافقية بسيطة ، فإن الزمن الدوري للحركة يتناسب طردياً مع الجذر التربيعي لِ

أ- الكتلة ب- ثابت النابض

جـ- تسارع الجاذبية د- سعة الاهتزازة

٢) في حركة البندول البسيط يتناسب التردد عكسياً مع الجذر التربيعي لِ

أ- الكتلة ب- طول البندول

جـ- تسارع الجاذبية د- سعة الاهتزازة

٣) في الحركة الدائرية المنتظمة تكون قيمة المركبة السينية للتسارع

أ- ثابتة في القيمة والاتجاه ب- متغيرة في القيمة والاتجاه

جـ- متغيرة في القيمة وثابتة في الاتجاه د- ثابتة في القيمة ومتغيرة في الاتجاه

٤) إذا كان تسارع الجاذبية على سطح القمر يساوي ١,٦ م/ ث^{٢} فإن الزمن الدوري للبندول نفسه على سطح القمر مقارنة مع زمنه الدوري على الأرض

أ- يزداد ب- يقل جـ- لا يتأثر د- يصبح صفراً

٥) تتكون الأمواج الكهرومغناطيسية من مجالين احدهما كهربائي والآخر مغناطيسي بحيث يتصفان بِ

أ- متعامدان على بعضهما البعض ب- متوازيان دائماً

جـ- لهما نفس السعة د- بحاجة لوسط ينتقلان من خلاله

٦) من أجزاء الطيف الكهرومغناطيسي وهي الأعلى تردداً

أ- السينية ب- المرئية

جـ- الميكروويف د- جاما

٧) الظاهرة التي ينحرف فيها مسار الشعاع الضوئي بسبب حافة أو فتحة ضيقة هي

أ- الانعكاس ب- الانكسار جـ- الحيود د- التداخل

٨) إذا كانت سرعة الضوء في وسط ما ٢,٠ × ١٠^{٨} م/ ث، فإن معامل انكسار الوسط يساوي

أ- ١ ب- ٢ جـ- ١,٥ د- ١,٣٤

٩) في تجربة ينغ (ذات الشقين) فإن المسافة بين أي هدبين متجاورين

أ- تزداد كلما ابتعدنا عن الهدب الرئيسي ب- تتناسب طردياً مع المسافة بين الشقين

جـ- تقل كلما ابتعدنا عن الهدب الرئيسي د- تتناسب طردياً مع طول الموجه

١٠) عندما يسقط شعاع ضوئي من الهواء بزاوية ٣٠ إلى الزجاج الذي معامل انكساره ١,٥ ، فإن زاوية الانكسار تساوي

أ- ١٠ ب- ٢٠ جـ- ٣٠ د- ٤٥

١١) يكون عرض الهدب الرئيسي الناتج عن فتحة ذات شق واحد مساوياً

أ- نصف عرض أي هدب آخر ب- ضعفي عرض أي هدب آخر

جـ- مساوٍ لعرض أي هدب آخر د- يعتمد على رتبة الهدب

س ٢ : ماذا نعني بكل مما يأتي :

الحركة التوافقية البسيطة، الطول الموجي، قانون سنل، الحيود؟

س٣ : أي العبارات الآتية صائبة، وأيها خاطئة؟ ثم صوب الخاطئة منها .

١- يكون التسارع لجسيم يتحرك حركة توافقية بسيطة في نفس اتجاه الإزاحة الحاصلة للجسيم .

٢- السرعة للضوء في جميع الأوساط ثابتة، وتساوي ٣x١٠^٨ م/ ث .

٣- ينص مبدأ هايجنز على أن كل نقطة على مقدمة الموجة تعد مصدراً ثانوياً للموجات المتولدة لاحقاً .

٤- تعد تجربة ينغ دليلاً على أن للضوء طبيعة جسيمية .

٥- يحصل التداخل والحيود لأمواج الضوء فقط دون سواها من أنواع الأمواج الأخرى .

س ٤ : كتلة مقدارها ٠,٢ كغم مربوطة بنابض على سطح أفقي أملس، ضغط النابض ١٠ سم عن موضع اتزانه، وتركت الكتلة لتتحرك حركة توافقية بسيطة، فكان ترددها ٥ هيرتز، جد ما ياتي :

أ- ثابت المرونة للنابض ب- أقصى تسارع ممكن . وأين يحصل؟

الوحـــدة

٣

الديناميكا الحرارية

(Thermodynamics)

١ نظرية الحركة الجزيئية للغازات

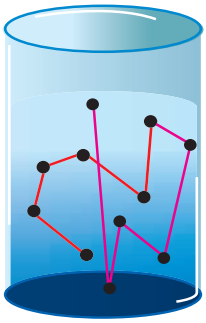
عندما يتحدث العلماء عن المادة فإنهم يعنون كلّ شيء في الكون من أصغر هباءة غبار إلى أضخم نجم في الفضاء، والمادة هي كل شيء له كتلة ويشغل حيزاً .

وتتألف المادة من جسيمات دقيقة، وهذه الجسيمات في حركة دائمة عشوائية سواءً أكانت المادة في الحالة الصلبة أم السائلة أم الغازية، وهذا يدعونا إلى التساؤل، لماذا توجد المادة في حالات مختلفة؟ كيف نفسر حدوث ظواهر طبيعية مثل التبخر، والغليان، والتجمد، والانتشار؟ لماذا تتبخر بعض المواد أسرع من الأخرى، وما العوامل التي تؤثر في درجة غليان السوائل؟

هذه الأسئلة، وغيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أن :

- توضح المقصود بالحركة البراونية .
- تتعرف فروض نظرية الحركة الجزيئية .
- تعرف الغاز المثالي .
- تستنتج العلاقة بين ضغط الغاز المثالي وحجمه .
- تذكر قانون الغاز المثالي، وتستخدمه في حل مسائل عددية .
- تستنتج العلاقة بين ضغط الغاز المثالي ودرجة حرارته .
- تستنتج العلاقة بين درجة حرارة الغاز المثالي وحجمه .
- تفسر بعض الظواهر الطبيعية بالاعتماد على نظرية الحركة الجزيئية للغازات .

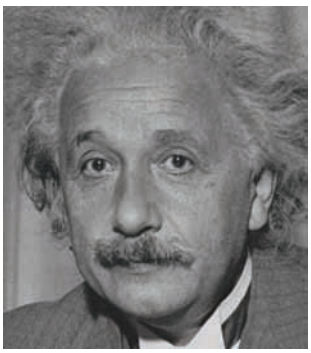
١ - ١ الحركة البراونية Brownian Motion



الشكل (١): الحركة العشوائية لحبيبة لقاح في الماء

درست سابقاً أن المادة توجد في حالة من الحالات الفيزيائية الثلاث: الغازية، والسائلة، والصلبة، ومن الأمثلة على ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون، والماء، والسكر. وقد تتساءل: لماذا يوجد ثاني أكسيد الكربون في الظروف العادية في الحالة الغازية بينما يوجد الماء في الحالة السائلة؟ وما علاقة ذلك بقوى التجاذب بين الجزيئات؟

في عام ١٨٢٨م لاحظ العالم روبرت براون حركة دائمة وعشوائية لحبيبات لقاح صغيرة معلقة في الماء كما في الشكل (١).



العالم الفيزيائي إلبرت آينشتاين
١٨٧٨ - ١٩٥٦م

في عام ١٩٠٥م طور العالم ألبرت آينشتاين نظرية أطلق عليها اسم الحركة البراونية تكريماً للعالم براون، وفسر آينشتاين الحركة بافتراض أن حبوب اللقاح تتعرض إلى تصادمات من جزيئات غير مرئية، وهذه الأخيرة تتحرك حركة عشوائية، وأدت هذه الملاحظة وتفسير آينشتاين لها إلى تحديد صفات الحركة البراونية بما يأتي:

- لا تعتمد حركة الجزيئات على شكل الوعاء.
- تزداد سرعة الجزيئات بنقصان لزوجة السائل.
- تعتمد سرعة الجزيئات على نوع مادة السائل.
- تختلف سرعة الجزيئات من مادة إلى أخرى.

١ - ٢ فروض نظرية الحركة الجزيئية

بنى العلماء نظرية الحركة الجزيئية على مجموعة من الفروض التي استقوها من مشاهدات متعددة، ولقد استطاع العلماء تطوير المفاهيم حول حركة الجزيئات إلى نظرية الحركة الجزيئية، وتستند هذه النظرية على الفرضيات الآتية:

أ. يتكون الغاز النقي من عدد هائل من الجزيئات المتماثلة في الشكل والكتلة، وتخضع الجزيئات في حركتها لقوانين نيوتن في الحركة.

ب. تتحرك الجزيئات عشوائياً في جميع الاتجاهات وبشكل متجانس في أثناء حركتها تتصادم تصادمات مرنة مع جدران الوعاء الذي يحتويها كما أن الجزيئات تتحرك قبل التصادم وبعده في خطوط مستقيمة وبسرعات في المتوسط كبيرة، انظر الجدول (١).

تعتمد لزوجة السائل على قوة الاحتكاك الداخلي بين جزيئات وطبقات السائل أثناء جريانه.

الغاز	متوسط السرعة م/ث
الهيدروجين	١٩٠٢
الهيليوم	١٣٥٢
النيون	٦٠٣
ثاني أكسيد الكربون	٤٠٨

جدول (١): متوسط سرعة جزيئات بعض الغازات عند درجة ٢٠ سْ

جـ. أبعاد الجزيئات (أقطارها) صغيرة جداً مقارنة مع المسافات التي تتحركها، كما أن قوى الجذب المتبادلة بين الجزيئات صغيرة جداً يمكن إهمالها مقارنة مع القوى الناتجة بينها أثناء التصادم.

د. تقتصر حركة هذه الجزيئات على الحركة الانتقالية فقط بحيث يمكن اعتبار طاقة الجزيء طاقة حركية فقط ($ط = \frac{1}{2} ك ع^2$)، حيث ط: طاقة الحركة، ك: كتلة الجزيء، ع: سرعة الجزيء، وتكون هذه الحركة عشوائية.

هل تعلم؟

- الانتشار المتجانس يعني أن عدد الجزيئات في حجم معين يساوي نفس العدد من الجزيئات في أي حجم آخر مساوٍ له.

قوة الجذب المتبادلة بين جزيئين من الهيدروجين صغيرة جداً، وتساوي 10^{-42} نيوتن.

١ - ٣ قانون الغاز المثالي

لا يوجد غاز تنطبق عليه جميع الفرضيات السابقة، غير أنه في بعض الغازات، مثل الهيدروجين، والأكسجين والهيليوم، وتحت شروط محددة من الضغط ودرجة الحرارة (درجة حرارة عالية وضغط منخفض)، فإنه يمكن أن نعدّها غازات مثالية، وتنطبق الفرضيات السابقة على الغاز المثالي.

للتوصل إلى قانون الغاز المثالي سندرس بعض القوانين التجريبية والحقائق التي تحكم سلوك الغازات.

درست في الصف العاشر أن المول الواحد من أي غاز يشغل حجماً مقداره ٢٢,٤ لتراً في الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة، وهي ضغط جوي واحد ودرجة حرارة ٢٧٣ °ك، كما وجد أن المول الواحد من أي غاز يحتوي على عدد ثابت من الجزيئات يساوي $٦,٠٢ \times 10^{23}$، وأطلق على هذا الرقم عدد أفوجادرو (K).

ولحساب عدد الجزيئات في كمية معينة من الغاز فإننا نوجد حاصل ضرب عدد مولات الغاز في عدد أفوجادرو.

مثال (١):

ما عدد الجزيئات الموجودة في ٦٤ غم من الأكسجين، إذا علمت أن الكتلة المولية للأكسجين ٣٢ غم.

الحل:

$$\text{ن} = \frac{\text{كتلة الغاز}}{\text{الكتلة المولية للغاز}} = \frac{٦٤}{٣٢} = ٢ \text{ مول}$$

عدد الجزيئات = ٢ مول $\times$ $٦,٠٢ \times 10^{23}$ جزيء/ مول

$= ١,٢ \times 10^{24}$ جزيء.

تغيرات الضغط - الحجم (قانون بويل)

ماذا يحدث لحجم غاز محصور إذا زاد الضغط المؤثر عليه عند ثبوت درجة حرارته؟

لكي تتعرف ذلك قم بإجراء النشاط الآتي :

نشاط (٢): قانون بويل

المواد والأدوات : أنبوب زجاجي مغلق، وآخر مفتوح الطرفين، وأنبوب مطاطي، وزئبق.

خطوات العمل :

١. ركب الأدوات كما هو مبين في الشكل(٣).

٢. اسكب الزئبق في الأنبوب الزجاجي المفتوح؛ كي يرتفع في الأنبوب المغلق ويحصر كمية من الهواء فيه.

٣. حرك الأنبوب المفتوح رأسياً إلى الأسفل مع إبقاء الأنبوب المغلق ثابتاً حتى يظهر مستوى الزئبق في الأنبوبين، وسجل مقدار الفرق في مستوى الزئبق بينهما (Δل)، وطول عمود الهواء في الأنبوب (س).

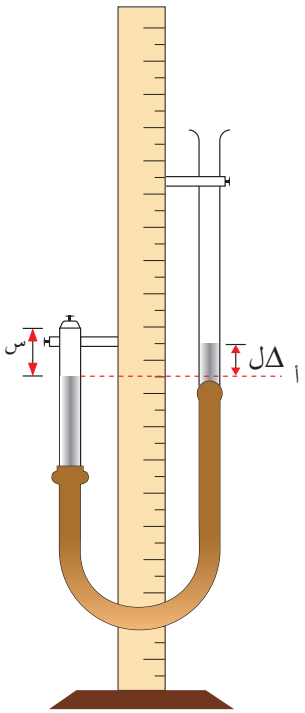
٤. غير ارتفاع الأنبوب المفتوح، وسجل في كل حالة مقدار (Δل) و(س)، ورتب النتائج في الجدول الآتي :

Δل (سم)					
س (سم)					

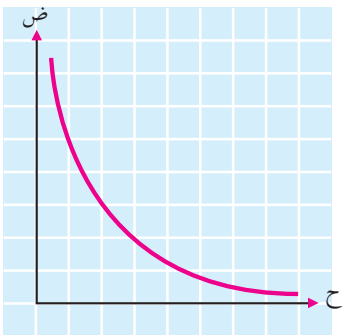
٥. مثل بيانياً العلاقة بين (Δل) و (س) ، ماذا تستنتج؟

٦. مثل بيانياً العلاقة بين (Δل) و ($\frac{١}{س}$) ما شكل العلاقة التي حصلت عليها؟

٧. حيث أن ضغط الغاز يتناسب طردياً مع (Δل) ، وحجم الغاز المحصور يتناسب طردياً مع (س). ماذا تستنتج بخصوص العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه؟ قارن نتائجك مع الرسومات البيانية في الشكل(٤).



الشكل(٣): قانون بويل



الشكل(٤-أ): علاقة الضغط مع الحجم

نستنتج من النشاط السابق قانون بويل الذي ينص على ما يأتي :

يتناسب ضغط غاز محصور تناسباً عكسياً مع حجمه عند ثبوت درجة حرارته.

ضغط الزئبق عند المستوى أ يساوي

Δل x ث xجـ حيث :

ث : كثافة الزئبق.

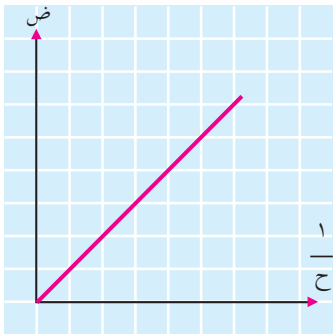
جـ : تسارع الجاذبية الأرضية.

ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يأتي :

الضغط x الحجم = ثابت ، وبالرموز : ض x ح = ث ، حيث ث ثابت يعتمد على درجة الحرارة وعدد المولات .

إذا كان لدينا غاز محصور حجمه ح$_{١}$ وضغطه ض$_{١}$ ، ثم أصبح ضغطه ض$_{٢}$ ، وحجمه ح$_{٢}$ ، فإنه يمكننا التعبير عن قانون بويل كما يأتي :

ح$_{١}$ ض$_{١}$ = ح$_{٢}$ ض$_{٢}$ . . . . . (١)



الشكل (٤-ب) : علاقة الضغط مع معكوس الحجم

مثال (٢)

غاز محصور حجمه ٠,١ لتر وضغطه واحد ضغط جوي وبثبوت درجة الحرارة ، تمدد حتى أصبح حجمه ٠,٣ لتر ، فكم يصبح ضغطه .

الحل: ض$_{١}$ ح$_{١}$ = ض$_{٢}$ ح$_{٢}$

٠,١ x ١ = ض$_{٢}$ x ٠,٣ ، أي أن ض$_{٢}$ = $\frac{١}{٣}$ ضغط جوي

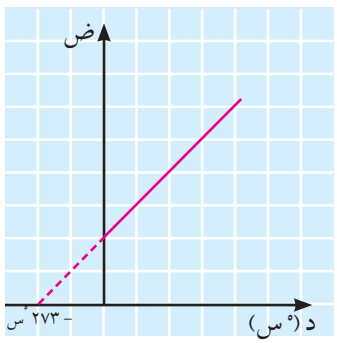
تغيرات درجة الحرارة:

إذا تغيرت درجة حرارة الغاز أصبح قانون بويل غير قابل للتطبيق ويوصف عند إذن سلوك الغاز بمعادلتين منفصلتين ، هما :

أ . قانون الضغط (غايلوساك) .

تبين لنا من قانون بويل أن ضغط الغاز المحصور يزداد كلما قل حجمه عند ثبوت درجة حرارته ونتساءَل الآن : ما علاقة ضغط الغاز المحصور مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه؟

قام العالم غايلوساك بإجراء تجارب عديدة ودقيقة توصل في نهايتها إلى أن ضغط الغاز المحصور يزداد عندما ترتفع درجة حرارته إذا بقي حجمه ثابتاً ، وقد وجد غايلوساك أن ضغط الغاز المحصور يزداد بمقدار $\frac{١}{٢٧٣}$ من ضغطه الأصلي عند ارتفاع درجة حرارته بمقدار درجة سلسيوس واحدة ، والشكل (٥) يوضح العلاقة بين ضغط الغاز المحصور ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه .



الشكل (٥) : علاقة الضغط مع درجة الحرارة

د (°ك) = °س + ٢٧٣

وقد صاغ غايلوساك قانونه بالشكل الآتي :

يتناسب ضغط غاز محصور تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت حجمه .

أي أن $\frac{\text{ضغط الغاز المحصور}}{\text{درجة الحرارة المطلقة}}$ = ثابت، رياضياً : $\frac{ض}{د}$ = ثَ .

وبعبارة أخرى، إذا تغيرت درجة حرارة غاز محصور من $د_1$ إلى $د_2$ فإن ضغطه يتغير نتيجة لذلك من $ض_1$ إلى $ض_2$، وبفرض بقاء الحجم ثابتاً فإننا نكتب قانون غايلوساك كما يأتي :

$$\frac{ض_1}{د_1} = \frac{ض_2}{د_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

نلاحظ من الشكل أعلاه أن امتداد منحنى العلاقة يقطع محور درجة الحرارة عند درجة ٢٧٣- °س وتسمى هذه الدرجة درجة الصفر المطلق .

مثال (٣)

غاز محصور داخل وعاء ثابت الحجم، وتحت ضغط ١٠٠سم زئبق، وبدرجة حرارة ٢٧ °س . احسب ضغط الغاز إذا أصبحت درجة حرارته ١٢٧ °س .

الحل: $\frac{ض_1}{د_1} = \frac{ض_2}{د_2}$ $\Leftarrow$ $\frac{١٠٠}{٢٧٣+٢٧} = \frac{ض_2}{٢٧٣+١٢٧}$

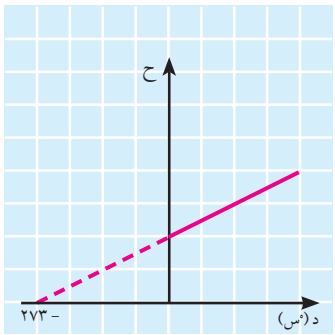
$\frac{١٠٠}{٣٠٠} = \frac{ض_2}{٤٠٠}$ $\Leftarrow$ $ض_2 = \frac{١٠٠ \times ٤٠٠}{٣٠٠} = ١٣٣,٣$ سم زئبق

ب . قانون الحجم (شارل)

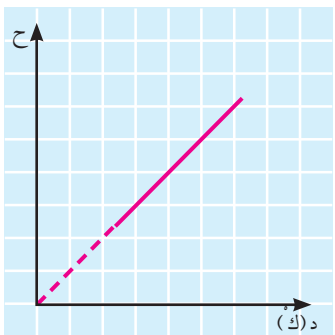
لقد تبين لنا أن ضغط الغاز المحصور يتناسب عكسياً مع حجمه عند ثبوت درجة الحرارة، وأن ضغط الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة . ونتساءَل الآن عن العلاقة بين حجم الغاز المحصور ودرجة حرارته .

لقد قام العالم الفيزيائي شارل بإجراء تجارب دقيقة أوضحت العلاقة بين حجم كمية من غاز محصور ودرجة حرارته المطلقه .

وقد تبين عند إجراء هذه التجارب أن ارتفاع درجة حرارة الغاز المحصور بمقدار درجة سلسيوس واحدة تؤدي إلى زيادة حجم الغاز المحصور بمقدار $\frac{١}{٢٧٣}$ من حجمه الأصلي عند درجة صفر سلسيوس مع مراعاة بقاء الضغط ثابتاً، والشكل (٦) يوضح العلاقة بين حجم غاز محصور ودرجة حرارته، ومن الشكل نلاحظ أن العلاقة بين حجم غاز محصور ودرجة حرارته هي علاقة خطية، وعند مد الخط على استقامته نجد أنه يقطع محور درجة الحرارة عند (٢٧٣-°س)، ويؤول حجم الغاز المحصور عند هذه الدرجة إلى الصفر وتسمى هذه الدرجة (درجة الصفر المطلق)°ك . لاحظ الشكل (٧) الذي يمثل العلاقة بين حجم غاز محصور ودرجة حرارته المطلقة .



الشكل(٦) : قانون شارل



الشكل(٧) : قانون شارل

ولقد صاغ شارل هذه العلاقة على النحو الآتي :

يتناسب حجم الغاز المحصور تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت ضغطه .

أي أن : $\frac{\text{حجم الغاز المحصور}}{\text{درجة الحرارة المطلقة}}$ =ثابت ، رياضياً : $\frac{ح}{د}$ = ثً .

وإذا كانت درجة حرارة غاز محصور ($د_١$) وحجمه ($ح_١$) ثم تغيرت درجة حرارته إلى ($د_٢$) وأصبح حجمه ($ح_٢$) عند ثبوت ضغطه فإنه يمكننا التعبير عن قانون شارل كما يلي :

$$\frac{ح_١}{د_١} = \frac{ح_٢}{د_٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

مثال (٤)

يشغل غاز محصور حيزاً حجمه ٩لتر بدرجة ١٠٠ °س ، ماذا يصبح حجم الغاز عند درجة صفر سلسيوس إذا بقي ضغطه ثابتاً؟

الحل: $\frac{ح_١}{د_١} = \frac{ح_٢}{د_٢}$

$$\frac{٩}{٢٧٣+١٠٠} = \frac{ح_٢}{٢٧٣+٠} \quad \Leftarrow \quad ح_٢ = \frac{٩ \times ٢٧٣}{٣٧٣} = ٦,٥٩ \text{ لتر}$$

وبدمج قوانين الغازات السابقة (بويل – شارل – غايلوساك) نحصل على قاون الغاز المثالي :

$$ض \times ح = ن \times أ \times د \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٤)$$

حيث :

د : درجة الحرارة المطلقة وتقاس بالكلفن (°ك)

ن : عدد مولات الغاز ، وتحسب من العلاقة : $ن = \frac{\text{كتلة الغاز}}{\text{الكتلة المولية للغاز}}$

ح : حجم الغاز المحصور ، ض : ضغط الغاز المحصور .

أ : ثابت الغاز العام ويساوي ٨,٣١٤ جول/ °ك . مول

إذا كانت كتلة الغاز ثابتة (عدد المولات ثابت) فإن معادلة الغاز المثالي تصبح على الصورة :

$\frac{ض ح}{د}$ = ثابت ، ومنها :

$$\frac{ض_١ ح_١}{د_١} = \frac{ض_٢ ح_٢}{د_٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٥)$$

سؤال أوجد مقدار ثابت الغاز العام بالوحدات لتر ضغط جوي/ °ك . مول) .

مثال (٥):

ما الحجم الذي يشغله ٦٤غم من الأكسجين في درجة حرارة ٢٧ °س وتحت ضغط ٠,٢ x ١٠ ^٥ باسكال إذا علمت أن الكتلة المولية للأكسجين ٣٢غم، وأن ثابت الغاز العام يساوي ٨,٣١٤ جول/ °ك . مول .

الحل:

$$\text{ن} = \frac{\text{كتلة الغاز}}{\text{الكتلة المولية للغاز}} = \frac{٦٤}{٣٢} = ٢ \text{ مول}$$

$$\text{ح} \times \text{ض} = \text{ن} \times \text{أ} \times \text{د}$$

$$\text{ح} = \frac{\text{ن} \times \text{أ} \times \text{د}}{\text{ض}} = \frac{٢ \times ٨,٣١٤ \times ٣٠٠}{٠,٢ \times ١٠^{٥}} = ٠,٢٥ \text{ م}^{٣}$$

مثال (٦):

كمية من غاز مثالي حجمها ٢٠٠ سم^{٣}، ودرجة حرارتها ٣٧°س، وضغطها يساوي ١ ضغط جوي، كم يصبح ضغطها إذا انخفضت درجة حرارتها إلى ٢٧ °س وزاد حجمها إلى ٣٠٠ سم^{٣}

الحل:

$$\frac{\text{ض}_{١} \text{ح}_{١}}{\text{د}_{١}} = \frac{\text{ض}_{٢} \text{ح}_{٢}}{\text{د}_{٢}}$$

$$\frac{١ \times ٢ \times ١٠^{-٤}}{٣٧+٢٧٣} = \frac{\text{ض}_{٢} \times ٣ \times ١٠^{-٤}}{٢٧+٢٧٣} \text{ ، } \text{ض}_{٢} = ٠,٦٥ \text{ ضغط جوي .}$$

١ - ٤ تفسير بعض الظواهر الطبيعية

١. التبخر والتكاثف:

إذا وضعت كمية من الكحول في وعاء صغير مكشوف، تلاحظ بعد فترة من الزمن أن كمية الكحول قد اختفت، فماذا حصل للكحول؟ وكيف تفسر اختفاءه؟

عرفت من نظرية الحركة الجزيئية أن المادة تتألف من جزيئات في حالة حركة عشوائية مستمرة وأنّها تمتلك طاقة حركية، وحيث أن سرعة جزيئاتها متفاوتة فإن الجزيئات التي تمتلك طاقة حركية عالية تستطيع التغلب على قوى التماسك بينها وبين الجزيئات الأخرى فتفلت من سطح السائل، وباستمرار تصادم الجزيئات أثناء حركتها تزداد الطاقة الحركية لجزيئات جديدة أخرى فتستطيع الإفلات من سطح السائل، وتستمر العملية حتى لا يبقى من السائل شيء، عندها نقول : أن السائل قد تبخر . ولكن ماذا يحدث إذا كان الوعاء مغلقاً؟ إن الجزيئات التي أفلتت من سطح السائل تبقى فوقه فتصطدم مع بعضها ببعض؛ مما يؤدي إلى انخفاض طاقة بعضها فتعود إلى سطح السائل ثانية، وتسمى عودة الجزيئات الى السائل عملية التكاثف، وعندما يصبح معدل تبخر السائل مساوياً لمعدل تكاثف بخاره نقول : إن السائل في حالة اتزان مع بخاره، ويكون هذا الاتزان ديناميكياً، بمعنى استمرار عمليتي التبخر والتكاثف .

٢- الغليان:

عندما يبدأ السائل بالتحول من حالة السيولة إلى الحالة الغازية تبقى درجة حرارته ثابتة عند درجة معينة تعرف بدرجة الغليان، وعندها تزداد سرعة تكون الفقاعات في جميع أجزاء السائل. إذا راقبت وعاءً زجاجياً يغلي فيه ماء، فإنك تلاحظ تكون فقاعات غاز في أسفل الوعاء، ثم تبدأ في الارتفاع إلى أعلى وأثناء ارتفاعها يزداد حجمها، إلى أن تصل سطح السائل، فكيف نفسر ذلك بالاعتماد على نظرية الحركة الجزيئية؟

إن الماء يحتوي على هواء مذاب ونتيجة للتسخين تتكون فقاعات تحتوي على هواء وبخار ماء، تكون في حالة حركة مستمرة، ويكبر حجمها إلى أن يصبح ضغطها الداخلي مساوياً للضغط الخارجي، عندها تبدأ الحركة لأعلى، ويزداد حجمها مع الارتفاع، وعندما تصل الفقاعة سطح الماء تنفجر ويتصاعد منها بخار الماء فوق السطح، وهنا نقول: إن الماء بدأ بالغليان.

اسئلة الفصل

س١: وضح المقصود بكل مما يأتي:

الحركة البراونية، الغاز المثالي.

س٢: علل كلا مما يأتي:

١) تثبت درجة حرارة السائل أثناء غليانه، وتنخفض أثناء تبخره.

٢) لا يغلي الماء عند درجة الحرارة نفسها في القدس وأريحا.

٣) تعمل طناجر الضغط على انضاج الطعام بزمن أقل مقارنة بالطناجر العادية، إذا استخدم مصدر الحرارة نفسه، ولنفس الزمن.

٤) يمكن للماء أن يغلي على درجة(٢٠)°س دون تسخين.

س٣: كمية من غاز مثالي محصور حجمها ٦٠ سم^{٣} بدرجة ٧٢ °س وضغط ٥٧ سم زئبق. كم يصبح الحجم:

١) إذا أصبحت درجة حرارته ١٠٠ °س مع بقاء ضغطه ثابتاً؟

٢) اذا أصبحت درجة حرارته ١٠٠ °س وازداد ضغطه ليصبح ١٠٠ سم زئبق؟

س٤: احسب عدد المولات التي تحتويها كمية من غاز مثالي محصور، حجمها يساوي ٥٠ لتراً، وضغطها يساوي ٢,١ x ١٠^{٥} باسكال بدرجة ٧٢ °س.

س٥: كمية من غازالهيدروجين محصور في إناء حجمه ١٠ لتر، ودرجة حرارته ٧٢ °س. احسب الضغط الناشئ عن مول واحد من هذا الغاز، إذا اعتبرنا الغاز مثالياً.

س٦: جمعت كمية من الأكسجين كتلتها ٠,٦٤ كغم في أسطوانة حجمها ٠,٥ م^{٣}، بدرجة ٢٧ °س. احسب الضغط داخل الأسطوانة إذا علمت أن الكتلة المولية للأكسجين تساوي ٣٢ غم، وأن ثابت الغاز العام = ٨,٣١٤ جول/ ك. مول.

س٧: فقاعة هوائية في قاع بحيرة على عمق ٤٠ م حيث درجة الحرارة ٤ °س حجم الفقاعة ٢٠ سم^{٣}، ارتفعت الفقاعة إلى السطح حيث درجة الحرارة ٧ °س احسب حجم الفقاعة عند السطح.

٢ قوانين التحريك الحراري

يُعنى علم التحريك الحراري بدراسة الطرق الفيزيائية المتعلقة بالطاقة الحرارية والشغل والطاقة الداخلية للمادة. فعند تلامس جسمين، أحدهما ساخن، والآخر بارد، فإن الطاقة الحرارية تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد حتى تتساوى درجة حرارتيهما.

وتعمل الطاقة الحرارية التي اكتسبها الجسم البارد على زيادة الطاقة الداخلية له، حيث ينتج عن ذلك ارتفاع في درجة حرارته أو تغير في حالته، كما أن فقدان الجسم الساخن للطاقة الحرارية ينقص من الطاقة الداخلية له، وينتج عنه انخفاض في درجة حرارته أو تغير في حالته، فما الطاقة الداخلية للمادة وما العلاقة بين كمية الحرارة المكتسبة والمفقودة والتغير في الطاقة الداخلية للمادة؟ وما الطرق التي يمكن بها زيادة أو إنقاص الطاقة الداخلية للمادة؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

- تعرف مفهوم النظام الحراري.
- توضح مفهوم الطاقة الداخلية للنظام وتفسر منشأها.
- تذكر العلاقة بين الشغل المبذول على النظام والتغير الحاصل في طاقته الداخلية.

٤. تذكر نص القانون الأول في التحريك الحراري.

- توضح المقصود بالعمليات الحرارية: اديباتك، آيزوثيرمال، آيزو كورك، آيزوبارك.
- تطبق القانون الأول للتحريك الحراري على العمليات الحرارية أعلاه.
- تبين أهمية القانون الثاني للتحريك الحراري في الطبيعة.

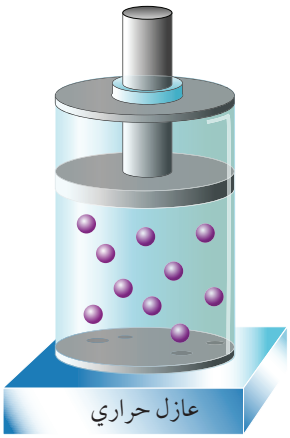
٢ - ١ النظام الحراري

النظام الحراري هو جزء محدود من المادة والطاقة له حدود معلومة ومفصولة عن الوسط المحيط به بإطار معين، ويمكن إخضاعه للدراسة من أجل دراسة خصائصه الحرارية فقط. ويلعب النظام الحراري دوراً أساسياً بدراسة العلاقة بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية المرتبطة بالحركة العشوائية لجزيئات وذرات النظام، ويتم دراسته من خلال علم الديناميكا الحرارية، وهو علم يهتم بالعلاقة بين الطاقة الحرارية والشغل، وهو علم تجريبي، جميع قوانينه وأساسياته مستخلصة من التجارب والمشاهدات الطبيعية.

ومن الأمثلة على الأنظمة الحرارية: الآلة البخارية، نظام التدفئة المركزية، نظام التكييف، نظام التبريد في الآلات والمحركات.

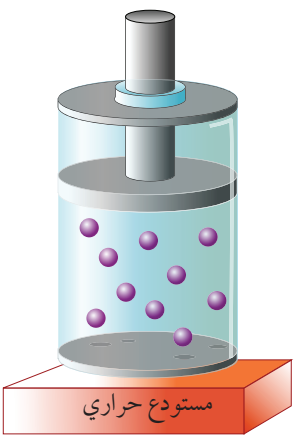
يوجد نوعان من الأنظمة الحرارية، هما:

أ. النظام المغلق: وهو نظام معزول تماماً عن الوسط المحيط به، ولا يتم تبادل أي طاقة حرارية بينه وبين الوسط المحيط به، مثل: غاز محصور في وعاء معزول حرارياً، انظر الشكل(١).



الشكل (١): نظام مغلق

ب. النظام المفتوح: وهو نظام يسمح بتبادل الطاقة الحرارية بينه وبين الوسط المحيط به، مثل معظم الأنظمة الحرارية في الحياة العملية، انظر الشكل(٢).



الشكل (٢): نظام مفتوح

تتم دارسة النظام الحراري بطريقتين:

- الدارسة المجهرية (microscopic): وتُعنى بإبراز التفاصيل الكاملة لحركة الذرات أو الجزيئات في النظام والعلاقات بينها، وهو ميدان الميكانيكا الإحصائية.
- الدراسة الجاهرية (macroscopic): وتُعنى بدراسة العلاقة بين متغيرات النظام، مثل: الحجم، والضغط، ودرجة الحرارة، والكتلة، والطاقة الداخلية، وهو ميدان علم الديناميكا الحرارية.

٢ - ٢ الطاقة الداخلية للنظام (طـ)

من المعلوم أن الحرارة تنتقل من الجسم الذي درجة حرارته أعلى إلى الجسم الذي درجة حرارته أقل، ويستمر الانتقال حتى تتساوى درجة حرارة الجسمين.

وقد عرفت سابقاً أن جزيئات المادة في حالة حركة مستمرة، وأنها تمتلك طاقة حركية بسبب حركتها، وتختزن طاقة وضع بسبب القوى المتبادلة بينها، ومجموع هذين الشكلين من الطاقة يسمى الطاقة الداخلية.

لذا يمكن زيادة الطاقة الداخلية للنظام بإحدى الطريقتين التاليتين أو كلتيهما.

أ. تزويد النظام بطاقة حرارية بوساطة مصدر حراري.

ب. بذل شغل على النظام.

أما إذا خسر النظام كمية من الحرارة أو بذل النظام نفسه شغلاً فإن طاقته الداخلية تقل.

٢ - ٣ حساب كمية الحرارة

عهنا سنتعرف كيف نحسب كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها أو يفقدها غاز مثالي محصور . فعندما تتغير درجة حرارة الغاز من (د١) إلى (د٢) فإن كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة (كح) تعطى بالعلاقة الآتية :

$ك_{ح} = ن \times ح_{ن} \times \Delta د$ ، حيث :

ن : عدد مولات الغاز ، $ح_{ن}$: الحرارة النوعية المولية للغاز .

وقد وجد أن كمية الحرارة المكتسبة تعتمد على المسار الذي يسلكه الغاز ، فإذا تغيرت درجة حرارة الغاز وبقي حجمه ثابتاً فإن الحرارة النوعية للغاز هي الحرارة النوعية عند ثبوت الحجم ، ويرمز إليها بالرمز $(ح ن)_{ح}$ ، أما إذا تغيرت درجة الحرارة وبقي ضغطه ثابتاً فإن الحرارة النوعية للغاز هي الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط ، ويرمز إليها بالرمز $(ح ن)_{ض}$ ، والجدول الآتي يبين الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط والحرارة النوعية عند ثبوت الحجم لبعض الغازات .

نوع الغاز	$(ح ن)_{ض}$ جول/ مول كلفن	$(ح ن)_{ح}$ جول/ مول كلفن
الهيليوم	٢٠,٨	١٢,٥
الهيدروجين	٢٠,٨	٢٠,٤
الأكسجين	٢٩,٤	٢١,١
ثاني أكسيد الكربون	٣٧,٠	٢٨,٥

الجدول رقم(١) : الحرارة النوعية لبعض الغازات .

تعرف الحرارة النوعية المولية للغاز عند ثبوت حجمه (ضغطه) بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد مول من الغاز درجة سلسيوس واحدة عند ثبوت حجمه (ضغطه) .

مثال(١):

غاز مثالي من الهيدروجين ضغطه ٣×١٠^{٥} باسكال وحجمه ٠,٠٩ م^{٣} ودرجة حرارته ١٨٥ °س ، خفضت درجة حرارة الغاز مع بقاء ضغطه ثابتاً حتى أصبحت ١٥ °س ، فإذا علمت أن ثابت الغاز العام ٨,٣١٤ جول/ °ك . مول ، وأن الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط $(ح_{ض})$ = ٢٠,٨ جول / °ك . مول ، فأوجد :

أ. عدد مولات الغاز . ب. كمية الحرارة المفقودة .

الحل:

أ. $ن = \frac{ض_{١} ح_{١}}{أ د_{١}} = \frac{٣ \times ١٠^{٥} \times ٠,٠٩}{٨,٣١٤ \times (١٨٥ + ٢٧٣)} = ٧,١$ مول .

ب. $ك_{ح} = ن \times ح_{ض} \times \Delta د$

$= ٧,١ \times ٢٠,٨ \times (١٥ - ١٨٥) = -٢,٥ \times ١٠^{٤}$ جول .

لاحظ أن الإشارة السالبة تعني أن كمية الحرارة هذه مفقودة .

٢ - ٤ شغل الغاز المحصور

في الشكل المجاور أسطوانة بها غاز محصور مزودة بمكبس خفيف قابل للحركة إلى أعلى وإلى أسفل بسهولة، فإذا زود الغاز ببطء بكمية من الحرارة، فإن الغاز سيتمدد ببطء شديد بحيث يبقى دائماً في حالة اتزان، وسيبذل شغلاً أثناء تمدده، وعليه فإن ضغط الغاز يساوي الضغط الجوي، أي أن :

$$ض_{غاز} = ض_{خارجي} = ض. = ثابت$$

إذا تحرك المكبس مسافة (Δف) فإن الشغل الذي يبذله الغاز (ش) يساوي القوة x المسافة،

أي أن : $ش = ق \times \Delta ف$

$= ض. \times م \times \Delta ف$ ،

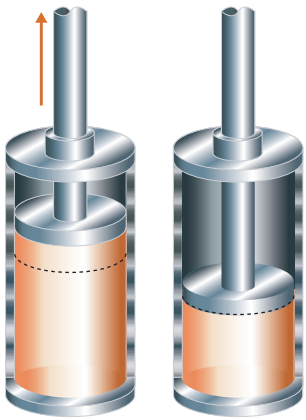
$ش = ض. \times \Delta ح$ ..... (١)

حيث : م : مساحة المكبس .

ض. : ضغط الغاز المحصور .

$\Delta ح$: التغير في حجم الغاز ($م \Delta ف$)، وتقاس بوحدة $م^3$.

لاحظ أن الشغل الذي يبذله الغاز يكون موجباً إذا زاد حجم الغاز ويكون سالباً إذا نقص حجم الغاز .



الشكل (٣) : شغل غاز محصور تحت ضغط ثابت .

مثال (٢):

غاز محصور حجمه ٥ لتر وضغطه ثابت مقداره ١×١٠^{٥} باسكال .

احسب الشغل الذي يبذله الغاز إذا :

أ) تمدّد فأصبح حجمه ١٥ لتراً .

ب) تقلّص فأصبح حجمه ٣ لترات .

الحل:

أ) $ش = ض \times \Delta ح$

$= ١ \times ١٠^{٥} \times (١٥ - ٥) \times ١٠^{-٣}$

$= ١ \times ١٠^{٣}$ جول

ب) $ش = ض \times \Delta ح$

$= ١ \times ١٠^{٥} \times (٣ - ٥) \times ١٠^{-٣}$

$= -٢٠٠$ جول

حساب الشغل بيانياً:

في المثال السابق يمكن حساب الشغل بيانياً عن طريق تمثيل العملية على منحنى الضغط والحجم (ض ح) كما في الشكل (٤) . فعند تغير الحجم من ح$_{١}$ إلى ح$_{٢}$ على ضغط ثابت ض. ، فإن :

الشغل الذي يبذله الغاز = الضغط x التغير في الحجم

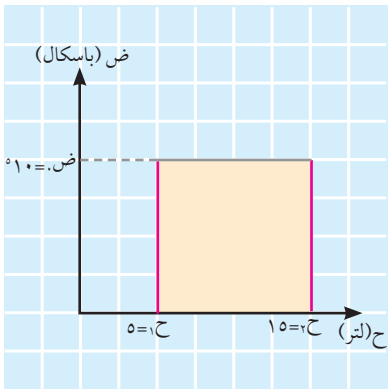
= ض. x (ح$_{٢}$ – ح$_{١}$)

ويساوي عددياً المساحة المحصورة تحت المنحنى (المساحة المظللة) .

وفي الشكل (٤) المساحة المظللة هي مساحة مستطيل ، وعليه فإن :

الشغل = مساحة المستطيل

= (١٥–٥) x ١٠$^{-٣}$ x ١٠^{٥} = ١٠ ^{٣} جول .



الشكل (٤) : شغل الغاز على ضغط ثابت

اعتماد شغل الغاز على المسار:

في الشكل (٥) إذا انتقل الغاز من (أ) إلى (ب) عبر المسار (أجـ ب) فإن الشغل المبذول يساوي عددياً المساحة المحصورة تحت المنحى (أ جـ ب)، أي أن :

ش = ش $_{أجـ}$ + ش $_{جـب}$

ش = ض$_{٢}$ (ح٢ – ح١) + صفر

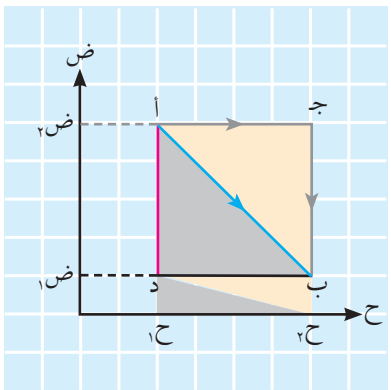
حيث ش $_{جـب}$ = صفر بسبب ثبات الحجم عبر هذا المسار

وإذا انتقل الغاز عبر المسار (أ ب) مباشرةً فإن الشغل يساوي المساحة المحصورة تحت المنحنى (أ ب)

ش = $\frac{١}{٢}$ (ح$_{٢}$ – ح$_{١}$) (ض$_{٢}$ + ض$_{١}$)

وتساوي مساحة شبه المنحرف الذي قاعدتيه (ض$_{٢}$ و ض$_{١}$) وارتفاعه (ح$_{٢}$ – ح$_{١}$)

وهذا يوضح أن الشغل الذي يبذله الغاز المحصور للانتقال بين حالتين مثل (أ ، ب) يعتمد على المسار الذي يسلكه النظام، ولا يعتمد فقط على حالة البداية والنهاية له .



الشكل (٥) : اعتماد الشغل على المسار

نتيجة :

١. الطاقة الحرارية التي يكتسبها نظام ما أو يفقدها تعتمد على المسار الذي يسلكه النظام عند انتقاله من حالة ابتدائية معينة إلى حالة نهائية أخرى ، مثلها في ذلك مثل الشغل .

٢. حيث أن الشغل والحرارة يعتمدان على المسار فإن أياً منهما لن يكون محفوظاً حفظاً مستقلاً عن الآخر في أي عملية تحريك حراري .

٢ - ٥ قوانين التحريك الحراري

الاتزان الحراري:

عندما يتبادل نظامان حرارة، فإن الحرارة تنتقل من النظام الساخن إلى النظام الأقل سخونة إلى أن تتساوى درجة حرارتيهما فيصبح النظامان في حالة اتزان حراري، وهي حالة لا يكون فيها تبادل فعلي للطاقة الحرارية داخل النظام، وذلك بأن تكون المتغيرات التي تصف حالته كالضغط ودرجة الحرارة هي نفسها في جميع أجزاء النظام فيقال: إن النظام متزن مع ذاته.

أولاً: القانون الصفري:

إذا كان النظامان (أ)، (ب) في حالة اتزان حراري مع نظام ثالث (جـ) فإن النظام (أ) يكون في حالة اتزان حراري مع النظام (ب).

ثانياً: القانون الأول للتحريك الحراري:

إذا انتقل نظام من حالة اتزان معينة (ض١، ح١، د١) إلى حالة اتزان جديدة (ض٢، ح٢، د٢)، فإن التغير في درجة حرارته (Δد) والتغير في طاقته الداخلية (Δط$_د$) لا يعتمدان على المسار الذي سلكه النظام.

وقد وجد أن الفرق بين كمية الحرارة التي اكتسبها النظام أو فقدها (ك$_ح$)، والشغل الذي بذله النظام أو بذل عليه (ش) لا يعتمد على المسار بين الحالتين.

وهذا الفرق (ك$_ح$ - ش) يساوي التغير في الطاقة الداخلية للنظام (Δط$_د$)، وهذا هو القانون الأول للتحريك الحراري.

نص القانون:

التغير في الطاقة الداخلية للنظام يساوي كمية الحرارة التي اكتسبها أو فقدها النظام مطروحاً منها الشغل الذي بذل على النظام أو بذله النظام.

رياضياً:

Δط$_د$ = ك$_ح$ - ش ..... (٢)

حيث: Δط$_د$ = ط$_{د٢}$ - ط$_{د١}$ = التغير في الطاقة الداخلية.

Δط$_د$ = صفراً إذا بقيت درجة حرارة النظام ثابتة، أو إذا كان مسار التحريك الحراري مغلقاً ويكون هذا في حالة مسار مغلق (دورة كاملة).

ك$_ح$: كمية الحرارة، وتكون موجبة إذا اكتسب النظام حرارة، وسالبة إذا فقد النظام حرارة.

ش: الشغل، ويكون موجباً إذا بذل النظام شغلاً وسالباً إذا بذل شغلاً على النظام.

ملاحظات على القانون الأول للتحريك الحراري:

١. إن القانون الأول للتحريك الحراري لا يميز بين الشغل وكمية الحرارة، حيث يمكن زيادة الطاقة الداخلية لنظام ما بتزويده بحرارة، أو ببذل شغل عليه أو بكليهما.

٢ . القانون الأول للتحريك الحراري هو قانون حفظ الطاقة، فأي زيادة في أي شكل من أشكال الطاقة يصاحبه نقص في شكل آخر .

٣ . الشغل والحرارة يعتمدان على المسار الذي يسلكه النظام على الرغم من أن كلاً منهما لن يكون محفوظاً حفظاً مستقلاً عن الآخر في أية عملية تحريك حراري .

٤ . التغير في الطاقة الداخلية (Δط$_د$) بين حالتين ثابت مهما كان المسار الذي يسلكه النظام بينهما .

مثال(٣) :

احسب التغير في الطاقة الداخلية لنظام إذا :

أ . فقد كمية حرارة مقدارها (٥٠٠٠)جول تحت حجم ثابت .

ب . زُود النظام بكمية حرارة مقدارها (٢٠٠٠) جول وبذل النظام شغلاً مقداره (٥٠٠) جول .

الحل:

أ . بما أن حجم الغاز بقي ثابتاً إذن الشغل الذي يبذله الغاز = صفر

Δط$_د$ = ك$_ح$ – ش

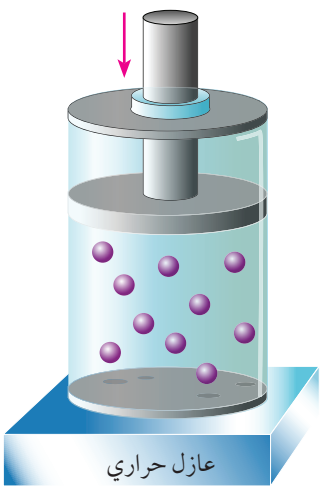
= – ٥٠٠٠ – ٠ = – ٥٠٠٠جول

ب . Δط$_د$ = ٢٠٠٠ – ٥٠٠ = ١٥٠٠ جول .

تطبيقات على القانون الأول للتحريك الحراري :

عرفت أنه يمكن تغيير الطاقة الداخلية للغاز بطريقتين : إما ببذل شغل على الغاز، أو بتزويده بحرارة من مصدر حراري، ويمكن للغاز أن ينتقل بين الحالتين حسب إحدى العمليات الآتية :

١ . **العملية الكظيمة (Adiabatic)** : هي عملية تحريك حراري لا يحدث فيها تبادل حراري بين النظام والوسط المحيط به حيث يكون النظام مغلقاً حرارياً، ويكون الغاز محصوراً في أسطوانة معزولة حرارياً ومزودة بمكبس حر الحركة دون احتكاك، وأي شغل مبذول يساوي التغير في طاقته الداخلية .



الشكل (٦) : العملية الكظيمة

أ . عند ضغط المكبس إلى الداخل يقل الحجم، ويكون شغل الغاز سالباً .

Δط$_د$ = ك$_ح$ – ش، ولأن النظام معزول .

فإن ك$_ح$ = صفر $\Leftarrow$ Δط$_د$ = ٠ – (–ش)

Δط$_د$ = + ش

وهذا يعني أن الطاقة الداخلية تزداد بمقدار الشغل المبذول على الغاز وتزداد أيضاً درجة حرارة الغاز، حيث أن الطاقة الداخلية تعتمد على درجة حرارة الغاز فقط.

ب. إذا تمدد الغاز، يزداد حجمه، ويكون شغل الغاز موجباً،

$ك_{ح}$ = صفر؛ لأن النظام معزول.

وعليه: $\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش = ٠ - ش$

$\Delta ط_{د} = - ش$

إذن تقل الطاقة الداخلية بمقدار الشغل الذي بذله الغاز وتقل تبعاً لذلك درجة حرارة الغاز.

هل تعلم؟

يمكن اعتبار العمليات التي تحدث في زمن قصير نسبياً عمليات كظيمة. وتؤدي العمليات الكظيمة دوراً مهماً في الهندسة الميكانيكية؛ إذ تكون معظم عملياتها كظيمة.

مثال (٤) :

وعاء معزول حرارياً يحتوي على غاز محصور، احسب مقدار التغير في طاقة الغاز الداخلية إذا:

أ. بذل شغل خارجي على الغاز مقداره ١٠٠ جول.

ب. بذل الغاز شغلاً مقداره ١٠٠ جول.

الحل:

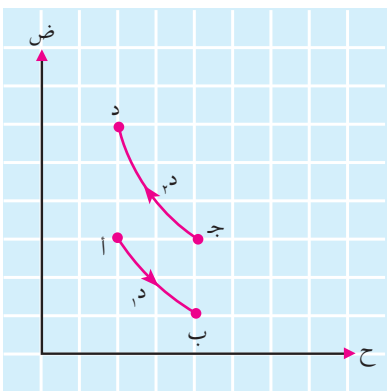
$ك_{ح}$ = ٠ ، لأن النظام معزول.

أ. $\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش = ٠ - (-١٠٠) = ١٠٠$ جول.

ب. $\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش = ٠ - ١٠٠ = -١٠٠$ جول.

٢. العملية تحت درجة حرارة ثابتة (أيزوثيرمال) (isotermal):

إذا كان لدينا غاز محصور في أسطوانة وسمحنا للغاز بالتمدد مع بقاء درجة حرارته ثابتة. هذا الإجراء تحت درجة حرارة ثابتة يسمى(تمدد تحت درجة حرارة ثابتة) وعكس هذا الإجراء يسمى تقلص تحت درجة حرارة ثابتة.



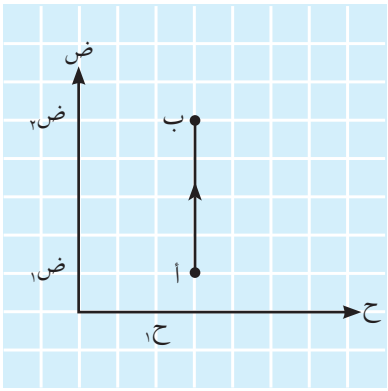
الشكل (٧): عملية تمدد وتقلص الغاز تحت درجة حرارة ثابتة

في الشكل (٧) المنحنى من (أ ⟵ ب) يمثل عملية تمدد تحت درجة حرارة ثابتة ($د_{١}$)، بينما المنحنى (جـ ⟵ د) يمثل عملية تقلص تحت درجة حرارة ثابتة ($د_{٢}$). لذا يمكن تعريف العملية الأيزوثيرمية بأنها عملية تمدد أو تقلص للغاز المحصور تحت درجة حرارة ثابتة، وعليه فإن القانون الأول للتحريك الحراري:

$\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش$ = صفر ، ومنه $ك_{ح} = ش$ لهذه العملية.

٣ . **العملية تحت حجم ثابت (أيزوكورك) isochoric :**

اذا وجد حجم معين من غاز محصور في أسطوانة (وعاء) غير قابل للتمدد وزود هذا النظام بكمية من الحرارة (بالتسخين مثلاً)، لاحظ الشكل (٨)، فإن :



الشكل (٨): العملية تحت حجم ثابت

الشغل الذي يبذله الغاز = ض Δح = صفراً، حيث الحجم لم يتغير .

إذن Δط $_{د}$ = ك $_{ح}$ – ش

= ك $_{ح}$ – ٠ = ك $_{ح}$ ، ومنه Δ ط $_{د}$ = ك $_{ح}$ لهذه العملية

لذلك تزداد الطاقة الداخلية للنظام بمقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها، وتقل الطاقة الداخلية للنظام بمقدار الطاقة الحرارية التي يفقدها .

لاحظ أن طاقة الجزيئات قد زادت وزادت طاقتها الحركية وزاد الضغط .

من الأمثلة على هذا النوع الاشتعال والانفجار المفاجئ والسريع في آلات الاحتراق الداخلي مثل محرك السيارة .

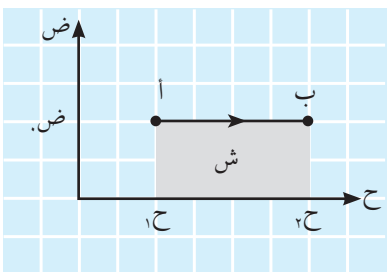
٤ . **العملية تحت ضغط ثابت (أيزوبارك) isobaric:**

كيفية العملية :

١ . أسطوانة تحتوي غاز محصور ومزودة بمكبس خفيف قابل للحركة لأعلى ولأسفل بسهولة .

٢ . زود النظام ببطء بكمية من الحرارة، فتمدد الغاز ببطء ورفع المكبس لأعلى .

٣ . ولأن التغير في الحجم كان بطيئاً فإن هناك اتزاناً ميكانيكياً، وعليه فإن ضغط الغاز سيبقى ثابتاً ومساوياً الضغط الجوي (ض$_{غاز}$ = ض$_{.}$) لاحظ الشكل (٩) .



الشكل (٩): العملية تحت ضغط ثابت

الشغل الذي بذله الغاز = ض . Δح

ش = ض. (ح$_{٢}$–ح$_{١}$) = المساحة المحصورة تحت المنحنى .

إذن Δط $_{د}$ = ك $_{ح}$ – ش .

من الأمثلة على هذا النوع ما يتم في الآلة البخارية .

ثالثاً: القانون الثاني في التحريك الحراري:

يوضح القانون الأول في التحريك الحراري مبدأ حفظ الطاقة، حيث أن أي زيادة في شكل من أشكال الطاقة في النظام يصاحبه نقص في شكل آخر منها، كما أنه لا يفرق بين الشغل والطاقة؛ إذ يمكن زيادة الطاقة الداخلية للنظام بتزويده بحرارة أو ببذل شغل عليه .

يوجد في الواقع فرق مهم بين الحرارة والشغل، إذ يمكن أن يتحول الشغل كلياً إلى طاقة حرارية، لكن العكس غير صحيح فلا يمكن تحويل الحرارة كلياً إلى شغل دون إحداث تغيير في الوسط المحيط بالنظام .

ولتوضيح ذلك نعرض المثالين الآتيين :

١ . عندما يتصل جسمان مختلفان في درجة الحرارة فإن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، لكن العكس مستحيل إذا لا يمكن أن تنتقل الحرارة من الجسم البارد إلى الجسم الساخن .

٢ . يتناقص اهتزاز بندول تدريجياً بفعل اصطدامه بجزيئات الهواء والاحتكاك عند نقطة التعليق، وفي النهاية تتوقف حركته فتكون الطاقة الميكانيكية للبندول قد تحولت كلياً إلى طاقة حرارية، ومن المستحيل أن يستأنف البندول حركته من تلقاء نفسه، بمعنى أنه لا يمكن أن تتحول طاقته الحرارية لا كلياً ولا جزئياً إلى طاقة ميكانيكية .

نلاحظ أن المثالين السابقين يمثلان العمليات التي تحدث حدوثاً طبيعياً في اتجاه واحد (العمليات اللاعكوسية) .

والقانون الثاني للتحريك الحراري يبحث في أي العمليات ممكنة الحدوث وأيها مستحيلة . وستتعرف عليه بالتفصيل في مراحل لاحقة من دراستك الجامعية .

أسئلة الفصل

س١ : وضح المقصود بكل من : الطاقة الداخلية، النظام، درجة الحرارة، الحرارة النوعية بثبوت الضغط، النظام المغلق، الاتزان الحراري .

س٢ : اكتب الصيغة الرياضية للقانون الأول في التحريك الحراري، وبين كيف يمكن استخدامه لإثبات أن الطاقة الكلية لأي نظام حراري معزول محفوظة .

س٣ : أعط أمثلة عملية على كل مما يأتي :

١ . عملية حرارية تحت حجم ثابت .
٢ . عملية حرارية تحت ضغط ثابت .
٣ . عملية حرارية كظيمة .
٤ . النظام الحراري .

س٤ : ارتفعت درجة حرارة (٥) كغم من غاز النيتروجين من ١٠° س إلى ١٣٠° س تحت حجم ثابت، علماً بأن $ح_{ح}$ = ١٤٧ جول / كغم . ك، احسب :

١ . كمية الحرارة المعطاة .
٢ . الشغل الذي بذله الغاز .
٣ . الزيادة في الطاقة الداخلية .

س٥ : تمددت كمية من غاز الهيليوم مقدارها ٣ مول من حجم٠٦٧ , ٠ م^{٣}، تحت ضغط ثابت مقداره ١ ضغط جوي، إلى حجم مقداره ١٣٤ , ٠م^{٣}، علماً بأن $ح_{ض}$ = ٢٠ , ٨ جول / مول . ك . احسب :

١ . التغير في درجة الحرارة، إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية ٢٧٣ ك .
٢ . مقدار الطاقة الحرارية المضافة إلى الغاز .
٣ . الشغل المبذول من الغاز .
٤ . التغير في الطاقة الداخلية للنظام .

أسئلة الوحدة

س١ : ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي :

١- يسجل ميزان حرارة درجة حرارة مقدارها ٩٨ سلسيوس ، هذا الميزان موضوع في أحد الأماكن التالية :

أ- غرفة جلوس مريحة .

ب- كأس ماء فاتر .

جـ- كأس من الشاي المغلي .

د- خارج شباك غرفة الصف في يوم ربيعي .

٢- عندما يتحول الجليد إلى ماء ، فإن الجليد :

أ- يمتص حرارة .

ب- تزداد درجة حرارته .

جـ- يفقد حرارة .

د- تقل درجة حرارته .

٣- في العملية الكظمية :

أ- يمتص النظام كمية حرارة مقدارها مساوٍ للشغل الذي يبذله .

ب- يمتص النظام كمية حرارة مقدارها مساوٍ للطاقة الداخلية للنظام .

جـ- كمية الحرارة التي يمتصها النظام أو يفقدها تساوي صفراً .

د- التغير في الطاقة الداخلية للنظام مساو لدرجة حرارة النظام .

٤- يتم تمثيل العملية تحت حجم ثابت على منحنى الضغط والحجم (ض- ح) بِـ:

أ- خط مستقيم عمودي .

ب- خط مستقيم أفقي .

جـ- قوس مفتوح لأعلى .

د- قوس مفتوح لأسفل .

٥- في عملية ما، تضاعف ضغط غاز مثالي مرتين بحيث كانت كمية الحرارة التي فقدها الغاز مساوية للشغل المبذول عليه، وبالتالي فإن حجم الغاز في هذه العملية :

أ- يتضاعف مرتين .

ب- ينقص إلى النصف .

جـ- يبقى ثابتاً .

د- يتضاعف أربع مرات .

٦ . تنتقل الطاقة الحرارية تلقائياً من الوسط الأعلى درجة حرارة إلى الوسط الأقل، بغض النظر عن الطاقة الداخلية لكل وسط . هذه الحقيقة تعرف :

أ- بالقانون الأول في الديناميكا الحرارية .

ب- بالقانون الثاني في الديناميكا الحرارية .

جـ- بقانون حفظ (بقاء) الطاقة .

د- بقانون حفظ (بقاء) الكتلة .

س٢ : سخن مول من بخار الماء الذي درجة حرارته ١٢٧° س في وعاء محكم الإغلاق (وغير قابل للتمدد) حتى أصبح ضغطه مثلي ما كان عليه عند بدء التسخين . احسب :

١ . درجة حرارته النهائية .

٢ . الطاقة الحرارية التي امتصها البخار .

٣ . التغير في الطاقة الداخلية للبخار .

علماً بأن (ح ن) لبخار الماء = ٢٦ جول / مول . ك .

س٣ : تحول ٢ سم ٣ من الماء بدرجة ١٠٠° س إلى بخار حجمه ٣٣٤٢ سم ٣ ، بدرجة ١٠٠° س تحت ضغط جوي (١,٠١٣ × ١٠ ٥) باسكال فإذا علمت أن الحرارة الكامنة لتصعيد الماء ٥٣٩ سعراً / غ، كثافة الماء = ١ × ١٠ ٣ كغم / م ٣ . احسب :

١ . الشغل المبذول في عملية التحويل .

٢ . الزيادة في الطاقة الداخلية .

الوحـــدة

٤

الكهرباء السكونية

١ الشحنة الكهربائية وقانون كولوم

لا بد أنك لاحظت العديد من الظواهر الطبيعية المختلفة، مثل سماعك صوت فرقعة، أو مشاهدتك ومضة كهربائية عند نزعك لملابسك الصوفية، أو تمشيط شعرك، وقد تشعر بصدمة كهربائية عند ملامستك ليد باب، وقد عرفت أن هذه الظواهر تسببها تراكم شحنات كهربائية سكونية (شحنات كهروستاتيكية).

والكهربائية السكونية ظاهرة اكتشفت قبل الميلاد بنحو ٦٠٠ سنة، واليوم تعد الكهرباء واحدة من أهم مصادر الطاقة التي ساهمت في التقدم الحضاري والتكنولوجي الذي نعيشه، فهي تمكننا من انتاج الحرارة، والضوء، والحركة، إضافة إلى العديد من التأثيرات الطبيعية الأخرى، ويمكن تفسير معظم الظواهر الطبيعية المرتبطة بالكهرباء باستخدام مدلولات الشحنة الكهربائية، وقوى التجاذب والتنافر بين الشحنات. وتلعب الشحنات الكهربائية والقوى المتبادلة فيما بينها دوراً أساسياً في تحديد خواص المادة، فالقوى الكهربائية تتحكم في ترابط الإلكترونات والبروتونات في الذرة، كما أنها مسؤولة عن ترابط الذرات مع بعضها بعضاً لتكوين جزيئات المادة. فما المقصود بالشحنة الكهربائية؟ وكيف يمكن توليدها؟ وكيف تؤثر الشحنات الكهربائية على بعضها بعضاً؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

- تتعرف مفهوم الشحنة الكهربائية.
- تتعرف أنواع الشحنة الكهربائية.
- تتوصل إلى مفهوم القوة الكهربائية.
- تتوصل إلى قانون كولوم.
- تطبق قانون كولوم في حل مسائل مختلفة.

لمحة تاريخية:

اكتشاف الكهرباء:

أدرك اليونانيون بعض الظواهر الكهربائية قديماً، فقد لاحظ (الفيسلوف طاليس ٦٠٠ق.م) أنه عند دلك قطعة من الكهرمان بقطعة قماش فإنها تجذب ريش الطيور والخيوط الصوفية أو القطنية. وكان العالم الإنجليزي وليم جلبرت (١٥٤٤م - ١٦٠٣م) من أوائل العلماء الذين تقصوا الظواهر الكهربائية ولاحظ أن هناك مواد أخرى تمتلك خاصية الجذب، واشتق جلبرت تسمية لقوة الجذب المجهولة هذه من كلمة إلكترون (اسم الكهرمان باليونانية) ونحن العرب حذونا حذوه باشتقاق كهرباء من كهرمان.

في عام ١٧٣٣م، وجد الكيميائي الفرنسي شارل دوفيه أن بعض الأجسام تتجاذب بعد الدلك، وبعضها الآخر يتنافر، لذلك جزم دوفيه بأن الكهرباء سيالاً من نوع ما، وأن هنالك نوعين منها، الأولى: تتولد عند دلك الزجاج والبلور بالحرير؛ والثانية: تتولد عند دلك الكهرمان بالصوف أو الشعر؛ وأن النوعين المختلفين يتجاذبان بينما النوعان المتماثلان يتنافران.

كان بنجامين فرانكلين أول من اقترح فكرة الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة في القرن الثامن عشر. كما بين أن البرق هو انتقال شحنات كهربائية ساكنة، عن طريق تطيير طائرة ورقية في عاصفة رعدية وحصوله على شرر تفريغ كهربائي، وقد حالفه الحظ في تلك التجربة بالنجاة من الموت.

بين الإنجليزي ستيفن غراي (١٦٦٦م - ١٧٣٦م) أن بعض المواد توصل الكهرباء، وبعضها الآخر لا يوصلها. وقد استطاع نقل الكهرباء المتولدة من دلك أنبوب زجاجي طوله أكثر من ١٠٠ متر. وقد أطلق على المواد التي تسمح للشحنات الكهربائية بالإنتقال خلالها إسم **موصلات**، كما أطلق على المواد الأخرى كالزجاج والكهرمان والريش والخشب التي لا تسمح بمرور الشحنات الكهربائية خلالها إسم **عازلات**.

هل تعلم:

- الكهرمان من الأحجار الكريمة التي تتواجد في الطبيعة بألوان مختلفة أشهرها الأصفر والبنّي الفاتح وينتج عن تحجّر الصمغ الموجود على جذوع بعض أشجار الصنوبر.
- إن شرارة البرق تسخن الهواء حولها إلى درجة حرارة تقارب ٣٠٠٠٠٠ ْس أي أعلى بخمس مرات من درجة حرارة سطح الشمس. هذه الحرارة العالية تسبب تمدد الهواء بسرعة كبيرة تفوق سرعة الصوت؛ مما يسبب قصف الرعود.

تجربة فرانكلين

هل تعلم:

إن داخل السيارة هو أكثر الأماكن أماناً من الصواعق لأن هيكل السيارة الفولاذي يمرر الكهرباء إلى سطح الأرض عن طريق سلسلة تصل بين جسم السيارة والأرض.

١ - ١ الشحنة الكهربائية Electric Charge

مفهوم الشحنة الكهربائية

تتكون المادة من ذرات، وتتكون الذرة من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات، ومن المعلوم أن الذرة متعادلة كهربائياً (غير مشحونة)، فعدد البروتونات الموجبة في نواتها يساوي عدد الإلكترونات السالبة التي تدور حول النواة، وإذا فقدت الذرة بعضاً من إلكتروناتها اكتسبت شحنة موجبة، أما إذا اكتسبت عدداً من الإلكترونات أصبحت سالبة الشحنة. ولكل من هذه الجسميات خواصها المميزة، ومن خواص هذه الجسيمات التي تعرفت عليها في دراستك السابقة، هي خاصية الكتلة (mass)، والشحنة (Charge) ويرمز لها بالرمز (ش) وتقاس بالكولوم ويرمز له بالرمز (c).

هل تعلم:
قام العالم ميلكان بقياس شحنة الإلكترون بتجربة تعرف باسمه.

هل تعلم:
وجد العلماء أن البروتون والنيوترون يتكون كل منهما من ثلاثة جسيمات تسمى بالكواركات تحمل شحنة مقدارها $\pm$ ١/٣ ش$_e$ أو $\pm$ ٢/٣ ش$_e$ ولكنها لا يمكن أن توجد منفردة في الطبيعة. لذلك لا يمكن التعامل مع شحنتها كشحنة أساسية.

خواص الشحنات الكهربائية

■ الشحنات الكهربائية نوعان:

موجبة وسالبة، فشحنة البروتون موجبة، وشحنة الإلكترون سالبة.

■ الشحنة مكمّاة:

تتواجد الشحنات في الأجسام المادية المختلفة بكميات مساوية لمضاعفات شحنة الإلكترون، أي أن شحنة الأجسام مكمّاة، فأي شحنة كهربائية يمكن كتابتها على الشكل التالي:

ش = ن ش$_e$ ، ن = ١ ، ٢ ، ٣ ، . . .

حيث ش$_e$: مقدار شحنة الإلكترون.

شحنة الإلكترون (e) السالبة ومقدارها ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ كولوم، ويساويها في المقدار شحنة البروتون ولكنها شحنة موجبة.

ولا يمكن لأي جسم أن يحمل أجزاءً من هذه الشحنة الأساسية، أي أن تكون شحنة جسم ما تساوي نصف أو خمسة أرباع شحنة إلكترون مثلاً.

الشحنة الكلية للجسم: إذا تجمعت شحنات على جسم غير مشحون فإن هذا الجسم يحمل شحنة مقدارها حاصل الجمع الجبري للشحنات التي تجمعت عليه.

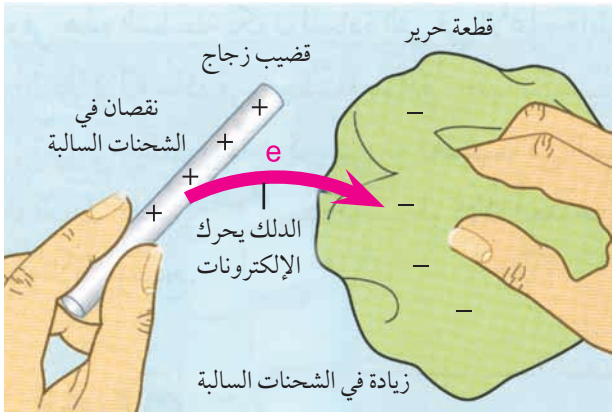
سؤال

أي من قيم الشحنات التالية يمكن أن يحملها جسيم مشحون:

١ × ١٠$^{-٦}$ كولوم، ١ × ١٠$^{-١٩}$ كولوم، -٣,٢ × ١٠$^{-١٩}$ كولوم، ٣,٢ × ١٠$^{-٢١}$ كولوم، -٤,٨ ش$_e$ ، ٥ ش$_e$

■ الشحنة محفوظة:

عند دلك قضيب زجاج بقطعة حرير، تتولد شحنة موجبة على قضيب الزجاج، وفي نفس الوقت تتولد شحنة سالبة على قطعة الحرير مساوية في المقدار للشحنة الموجبة المتولدة على قضيب الزجاج، أي أن الإلكترونات انتقلت من قضيب الزجاج إلى قطعة الحرير، ويعتبر قضيب الزجاج وقطعة الحرير نظاماً وتكون الشحنة في هذا النظام محفوظة لاحظ الشكل (١)، أي أن الشحنة لا تأتي من العدم، ولا تذهب إلى العدم وإنما تنتقل من جسم إلى اخر في النظام.



الشكل (١): إنتقال الشحنات الكهربائية

هناك العديد من الكميات الفيزيائية المحفوظة مثل الطاقة.

توليد الكهرباء الساكنة:

هناك عدة طرق لشحن الأجسام بالشحنات الكهربائية:

١. شحن الأجسام بالدلك: عند دلك مادتين مختلفتين تنتقل الإلكترونات من مادة إلى أخرى، وبذلك تصبح المادة التي فقدت إلكترونات مشحونة بشحنة موجبة والتي اكتسبت الكترونات مشحونة بشحنة سالبة، مثل دلك قضيب زجاج بقطعة حرير، وذلك يعتمد على قوة ارتباط الالكترونات بنواة الذرة. وتتفاوت المواد في ميلها لفقدان الالكترونات كما يبين الشكل (٢)، إذ أن قابلية المادة التي في أعلى السلسلة لفقد الالكترونات أكبر من المادة التي تليها. فمثلاً عند دلك الزجاج بالحرير فإن الزجاج يفقد ألكترونات ليكتسبها الحرير ويصبح الزجاج مشحوناً بشحنة موجبة والحرير بشحنة سالبة.

الشكل (٢): سلسلة الدلك الكهربائي

سؤال

هل يمكن لجسم مشحون أن يشحن جسم آخر دون أن يلامسه؟

٢. شحن الأجسام بالتأثير (الحث): يتم شحن الأجسام الموصلة بالحث عن طريق تقريب جسم مشحون من جسم آخر غير مشحون، وللتعرف على كيفية شحن جسم موصل ما بطريقة الحث قم باجراء النشاط الآتي:

نشاط (١): شحن كشاف كهربائي بالحث:

المواد والأدوات :

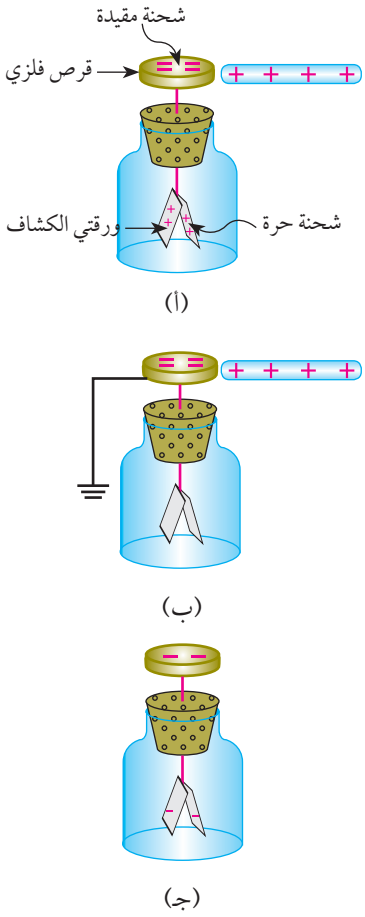
قضيب زجاج تم شحنه بشحنة موجبة، كشاف كهربائي غير مشحون .

خطوات العمل :

١ . قرب قضيب الزجاج المشحون من قرص الكشاف دون أن يلامسه .

٢ . إلمس قرص الكشاف باليد بوجود المؤثر .

٣ . ابعد يدك أولاً ثم ابعد القضيب المشحون (المؤثر) .



الشكل (٣) : الشحن بالحث

في النشاط السابق عند تقريب قضيب الزجاج من قرص الكشاف الكهربائي يشحن قرص الكشاف (الطرف القريب) بشحنة سالبة مقيدة (مخالفة لشحنة قضيب الزجاج)، بينما تشحن ورقتا الكشاف بشحنة موجبة حرة، لاحظ الشكل (-٣أ)، وعند لمس قرص الكشاف باليد، شكل (-٣ب)، بوجود قضيب الزجاج تنتقل الشحنة السالبة من الأرض إلى الكشاف فيصبح الكشاف مشحوناً بشحنة سالبة حتى بعد إبعاد قضيب الزجاج، كما يبين الشكل (-٣جـ) .

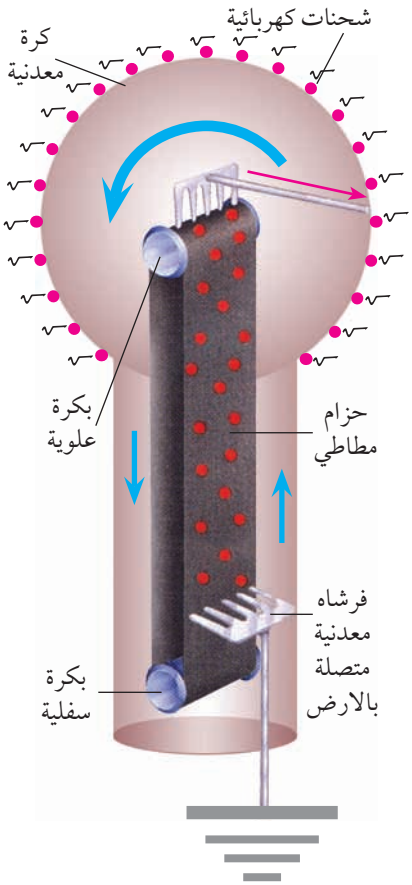
سؤال

فسر ماذا يحدث عند تلامس جسم مشحون مع جسم آخر غير مشحون .

لا تكفي عملية توليد الكهرباء بالدلك أو الحث لإنتاج كميات كبيرة من الشحنات الكهربائية، لذلك كانت الحاجة إلى أجهزة خاصة لإنتاج كميات كبيرة من الشحنات الكهربائية الضرورية لإجراء الدراسات والأبحاث في مجال فيزياء الجسيمات الدقيقة، ودراسة مكونات نواة الذرة، ومن أشهر هذه الأجهزة وأكثرها استعمالاً مولد فاندي غراف كما في الشكل (٤)، الذي يستخدم لتوليد جهد عالٍ قد يصل إلى ١٠٠ ألف فولت، ويتركب الجهاز من :

- كرة فلزية كبيرة مجوفة تستخدم لتخزين الشحنات المتولدة عليها .
- حزام (سير) مطاطي يدور حول بكرتين بوساطة محرك كهربائي، ويمكن إدارته يدوياً، ينقل الشحنات المتولدة الى الكرة الفلزية .
- فرشاتان فلزيتان تتصل الأولى بالكرة والثانية بالأرض .

ويقوم مبدأ عمل هذا الجهاز على أنه عند دوران الحزام المطاطي للمحرك حول البكرة السفلية واحتكاكه بها تكتسب البكرة شحنة كهربائية عن طريق الفرشاة المتصلة بالأرض وتنقلها إلى البكرة الثانية، ومن ثم تنتقل منها إلى السطح الخارجي للكرة الفلزية عن طريق الفرشاة المعدنية المتصلة بها، ومع استمرار الدوران تتجمع كميات كبيرة من الشحنات على الكرة المعدنية فيزيد جهدها حتى يصل في بعض الأحيان إلى ١٠٠ ألف ڤولت إذا كان الجو جافاً ودرجة الحرارة مناسبة.



الشكل (٤): مولد فان دي غراف

تعتمد قيمة الجهد الكهربائي المتولد على مساحة سطح الكرة، كما يعتمد على الظروف الجوية المحيطة من حيث الرطوبة ودرجة الحرارة والضغط الجوي.

١ - ٢ قانون كولوم:

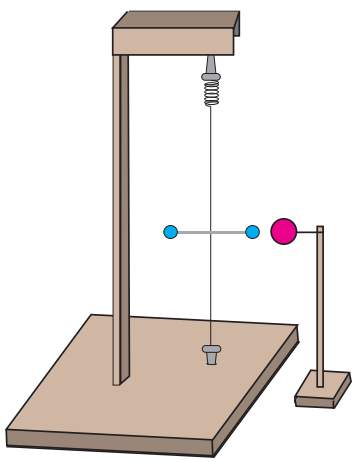
عرفت سابقاً أن الشحنات الكهربائية تتجاذب وتتنافر حسب أنواعها، أي أن هناك قوى متبادلة بين الشحنات الكهربائية تسمى بالقوة الكهربائية. هل يختلف مقدار هذه القوة باختلاف مقدار الشحنات الكهربائية أو البعد بينها؟ وهل يمكن إيجاد مقدار هذه القوة عملياً؟

للتعرف إلى العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط(٢): العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية بين شحنتين نقطتين

المواد والأدوات:

قطع خشبية عدد ٣ بأبعاد مختلفة كما في الشكل المجاور، وزنبرك صغير طوله بحدود ٢سم، وقشة مص عدد ٢، وكرة بولسترين صغيرة عدد ٢، وكرة بولسترين كبيرة، وخيط نايلون رفيع أو سلك نحاس رفيع، وبرغي صغير عدد ٢، وآغو، ومسامير صغيرة، وورق ألمنيوم.



خطوات العمل :

١ . ركب القطع الخشبية كما في الشكل باستخدام مسامير صغيرة أو آغو .

٢ . أثقب قشة المص من منتصفها بدبوس وأدخل الخيط ، ضع نقطة من الأغو على نقطة مرور الخيط من القشة .

٣ . أكمل تركيب الجهاز حسب الرسم .

٤ . غلف الكرات بورق المنيوم ، إذا لم يتوفر كرات بولسترين يمكن تغطية طرفي قشة المص بورق المنيوم .
(يفضل وضع الجهاز في مكان معزول عن التيارات الهوائية) .

٥ . ادلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف واشحن إحدى كرتي الجهاز .

٦ . اشحن كرة البولسترين المثبتة على القاعدة المعزولة وقربها من الكرة السابقة ولاحظ ماذا يحدث .
(يمكن استخدام مولد فان دي غراف لشحن كرات الجهاز بشحنات مختلفة) .

٧ . غير المسافة بين الكرة المشحونة الموجودة على القاعدة المعزولة وكرات الجهاز المشحونة ولاحظ ماذا يحدث . ماذا تستنتج ؟

يتضح من النشاط السابق أن القوة الكهربائية بين شحنتين تعتمد على مقدار كل من الشحنتين وعلى البعد بينهما ، حيث تزداد القوة الكهربائية بازدياد مقدار الشحنات الكهربائية وتقل بزيادة البعد بينهما . وقد وجد العالم شارل كولوم (Charle Coulomb) في عام ١٧٨٥م باستخدام جهاز يسمى ميزان اللّي ، كما في شكل (٥) ، أنّ القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين نقطيتين لها الخصائص الآتية :

١ . تتناسب القوة المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين طردياً مع حاصل ضرب كل من الشحنتين $ش_١$ و $ش_٢$
أي أن : $ق \propto ش_١ \times ش_٢$

٢ . تتناسب القوة عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين $ش_١$ و $ش_٢$
أي أن : $ق \propto \frac{١}{ف^٢}$ حيث ف : البعد بين الشحنتين .

٣ . تكون القوة المتبادلة قوة تجاذب إذا كانت الشحنتان مختلفتين في النوع وتكون قوة تنافر إذا كانتا متشابهتين في النوع ، ويكون خط عمل هذه القوة على الخط الواصل بين الشحنتين أو على امتداده .

الشكل (٥) : ميزان اللي

(تعرف الشحنة النقطية بأنها تلك الشحنة المحمولة على جسيم يمكن اهمال ابعاده إذا قورنت بالمسافة بينها و بين شحنات محمولة على جسيمات أخزى) .

وبناءً على ذلك فإن القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين نقطتين تعطى بالعلاقة الرياضية الآتية :

$$ق = أ \frac{ش_١ ش_٢}{ف^٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

ويسمى هذا القانون بقانون كولوم . . . .

أما ثابت التناسب أ فإن له مقداراً ثابتاً يعتمد على نوع الوسط الفاصل بين الشحنتين وعلى وحدة قياس كل من الشحنة والمسافة والقوة ، وفي النظام الدولي للوحدات ، تقاس الشحنة بالكولوم ، و المسافة بالمتر فتكون وحدة القوة بالنيوتن .

ويعطى الثابت بالعلاقة :

$$أ = \frac{١}{\varepsilon \pi ٤} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

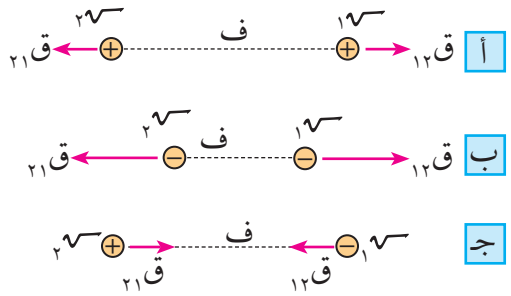
حيث ε : السماحية الكهربائية للوسط الموجود فيه الشحنتين الكهربائيتين ، وتساوي $٨,٨٥ \times ١٠^{-١٢}$ كولوم^٢ / نيوتن م^٢ للفراغ أو الهواء ، ويرمز له بالرمز $ε_.$ ، فتصبح قيمة الثابت أ في الفراغ أو الهواء تساوي تقريباً ٩×١٠^{٩} نيوتن م^٢ / كولوم^٢ .

أي أن القوة الكهروستاتيكية المتبادلة بين أي شحنتين نقطيتين يفصل بينهما الفراغ أو الهواء تعطى بالعلاقة الآتية حسب قانون كولوم .

$$ق = \frac{١}{ε_. \pi ٤} \times \frac{ش_١ ش_٢}{ف^٢} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش_١ ش_٢}{ف^٢}$$

وحدة الكولوم : هي مقدار الشحنة النقطية التي تؤثر بقوة كهربائية مقدارها ٩×١٠^{٩} نيوتن على شحنة نقطية أخرى مماثلة لها وتبعد عنها مسافة متر واحد في الهواء .

وحيث أن القوة الكهربائية التي درسها كولوم كانت بين شحنات نقطية ساكنة ، فقد سميت هذه القوة بالقوة الكهروستاتيكية وتمثل بالأشكال الآتية :



الشكل (٥) : الشحنات المتشابه تتنافر والمختلفة تتجاذب

تذكر أن القوة التي تؤثر بها كل شحنة على الأخرى هي كمية متجهة (أي أن لها مقداراً واتجاهاً)، حيث يعبر طول المتجه عن مقدار القوة، لاحظ الشكل (٥) .

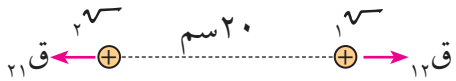
مثال (١):

احسب القوة التي تؤثر بها الشحنة $ش_1$ = ٥ ميكروكولوم على الشحنة $ش_2$ = ٢ ميكروكولوم، وكذلك القوة التي تؤثر بها الشحنة $ش_2$ على الشحنة $ش_1$ ، اذا كان البعد بين الشحنتين ٢٠ سم في الفراغ .

الحل:

- تؤثر $ش_2$ على $ش_1$ بقوة تنافر $ق_{12}$ فتحاول إبعادها عنها في الاتجاه الموضح في الشكل .

وكذلك $ش_1$ تؤثر على $ش_2$ بقوة تنافر $ق_{21}$ لأن الشحنتين موجبتان .



يحسب مقدار هذه القوة من قانون كولوم .

$$ق = أ \frac{ش_1 ش_2}{ف^2}$$

$$ق_{21} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش_1 ش_2}{ف^2}$$

$$ق_{21} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٥ \times ١٠^{-٦} \times ٢ \times ١٠^{-٦}}{(٢٠ \times ١٠^{-٢})^2} = ٢,٢٥ \text{ نيوتن باتجاه اليسار}$$

وبما أن $ق_{21} = ق_{12}$ مقداراً وتعاكسها اتجاهاً فإن $ق_{12} = - ق_{21} = ٢,٢٥$ نيوتن باتجاه اليمين .

سؤال

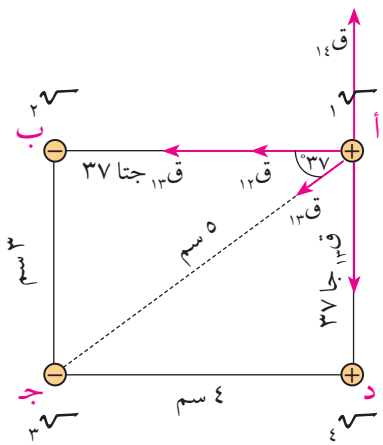
شحنتان موجبتان مقدار كل منهما ٣ميكرو كولوم على بعد ٤٠ سم من بعضهما بعضاً، جد مقدار القوة الكهروستاتيكية التي يؤثران بها على شحنة ثالثة مقدارها ٥ ميكرو كولوم في الحالات الآتية .

١ . اذا وضعت في منتصف المسافة بين الشحنتين على الخط الواصل بينهما .

٢ . اذا وضعت على بعد ١٠ سم من احدى الشحنتين على امتداد الخط الواصل بينهما .

مثال (٢):

وضعت أربع شحنات نقطية $ش_1$ ، $ش_2$ ، $ش_3$ ، $ش_4$ على رؤوس مستطيل كما هو مبين في الشكل المجاور، جد القوة الكلية المحصلة التي تؤثر على الشحنة $ش_1$ ، إذا كانت هذه الشحنات تساوي ١ ، ٢- ، ٣- ، ٤ ميكروكولوم على الترتيب .



الحل:

تؤثر على الشحنة $ش_1$ قوى من الشحنات $ش_2$ ، $ش_4$ ، $ش_3$ هي على الترتيب $ق_{12}$ ، $ق_{14}$ ، $ق_{13}$ وبالاتجاهات المبينة في الشكل .

لحساب مقدار كل قوة على انفراد نستخدم قانون كولوم .

$$ق_{١٢} = \frac{|\overrightarrow{١}| \times |\overrightarrow{٢}|}{ف^{٢}} \times ٩ \times ١٠^{٩}$$

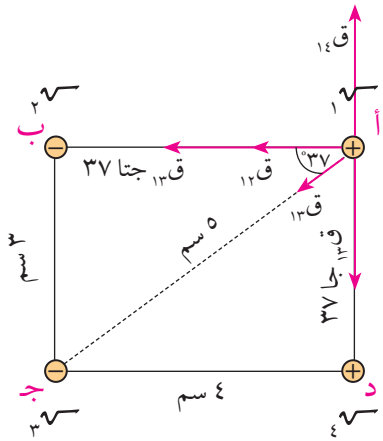
$$ق_{١٢} = \frac{١ \times ١٠^{-٦} \times ٢ \times ١٠^{-٦}}{(٤ \times ١٠^{-٢})^{٢}} \times ٩ \times ١٠^{٩}$$

$$ق_{١٢} = \frac{٩٠}{٨} = ١١,٢٥ \text{ نيوتن}$$

$$ق_{١٣} = \frac{١ \times ١٠^{-٦} \times ٣ \times ١٠^{-٦}}{٢٥ \times ١٠^{-٤}} \times ٩ \times ١٠^{٩}$$

$$ق_{١٣} = \frac{٢٧٠}{٢٥} = ١٠,٨ \text{ نيوتن}$$

$$ق_{١٤} = \frac{١ \times ١٠^{-٦} \times ٤ \times ١٠^{-٦}}{٩ \times ١٠^{-٤}} \times ٩ \times ١٠^{٩} = ٤٠ \text{ نيوتن}$$



لحساب المسافة بين الشحنتين $\overrightarrow{١}$ ، $\overrightarrow{٣}$ ، نجد قطر المستطيل باستخدام نظرية فيثاغورس .

أ جـ = ٥سم .

ولإيجاد محصلة هذه القوى نجد محصلة القوى في الاتجاه الأفقي (س) . وكذلك محصلة القوى في الاتجاه الرأسي (ص)، وذلك بتحليل القوى إلى مركبتين متعامدتين إحداهما باتجاه س والأخرى باتجاه ص .

محصلة القوى بالاتجاه السيني = $ق_{١٢} + ق_{١٣}$ جتا θ

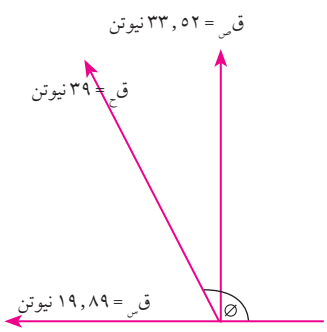
$ق_{س} = ٢٥,١١ + ١٠,٨ \times ٠,٨ = ١٩,٨٩$ نيوتن في الاتجاه السيني السالب .

محصلة القوى في الاتجاه الرأسي $(ق_{ص}) = ق_{١٤} - ق_{١٣}$ جا $٣٣,٥٢ = ٠,٦ \times ١٠,٨ - ٤٠ = \theta$ نيوتن

$$ق_{ح} = \sqrt{ق_{س}^{٢} + ق_{ص}^{٢}}$$

$$ق_{ح} = \sqrt{(١٩,٨٩)^{٢} + (٣٣,٥٢)^{٢}} = \sqrt{٣٩٥,٩ + ١١٢٣,٦} = \sqrt{١٥١٩,٢} \cong ٣٩ \text{ نيوتن}$$

ولايجاد اتجاه المحصلة نجد ظل الزاوية التي تميل بها عن محور السينات كما مر معك سابقاً .



$$ظا \varnothing = \frac{ق_{ص}}{ق_{س}} = \frac{٣٣,٥٢}{-١٩,٨٩} = -١,٧$$

$\varnothing = ١٢٠^{\circ}$ ، الزاوية التي تميل بها المحصلة عن محور السينات الموجب .

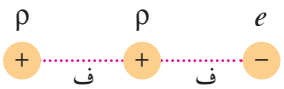
اسئلة الفصل

س١ : وضح المقصود بكل من : الشحنة النقطية ، ومبدأ تكمية الشحنة .

س٢ : تتكون ذرة الهيدروجين من إلكترون واحد يدور حول نواة تحوي بروتوناً واحداً ، فإذا علمت أن نصف قطر المدار الذي يتحرك فيه الإلكترون يساوي تقريباً ٥,٢٨ × ١٠$^{-١١}$ م . احسب القوة الكهربائية التي تؤثر بها النواة على الإلكترون ، علماً أن مقدار شحنة كل من البروتون والالكترون = ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ كولوم .

س٣ : ما عدد الألكترونات التي يجب أن يفقدها جسم متعادل لتصبح شحنته مقدارها ١ كولوم؟

س٤ : يمثل الشكل المجاور بروتونين يقعان على استقامة واحدة مع إلكترون حدد :

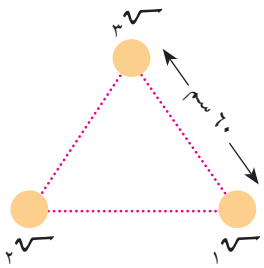


أ. اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة على البروتون الموجود في المركز من البروتون الآخر .

ب. اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة على البروتون الموجود في المركز من الإلكترون .

جـ. اتجاه القوة الكهربائية الكلية المؤثرة على البروتون الموجود في المركز .

س٥ : وضعت ثلاث شحنات نقطية على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه ٦٠ سم ، فإذا علمت أن ـــ$_{١}$ = ـــ$_{٣}$ = ٦ ميكروكولوم ، ـــ$_{٢}$ = ٣ ميكروكولوم . احسب مقدار القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة ـــ$_{٣}$.



س٦ : في الشكل المجاور ، أين يمكن وضع شحنة كهربائية ثالثة بحيث تصبح الشحنات الكهربائية الثلاث في حالة اتزان؟ ما نوع هذه الشحنة؟

س٧ : وزعت شحنة على كرتين صغيرتين متماثلتين ومتلامستين مما أدى إلى تنافرهما وابتعادهما عن بعضهما بعضاً . إذا علمت أن قوة التنافر بينهما تساوي ٠,٤ نيوتن عندما يكون البعد بينهما ٢ متر ، فاحسب مقدار الشحنة على كل من الكرتين .

س٨ : يتكون جزئ كلوريد الصوديوم NaCl من أيون كلور وأيون صوديوم مرتبطين معاً .
إذا علمت أن شحنة أيون الصوديوم (+ـــ$_{e}$) وشحنة أيون الكلور (−ـــ$_{e}$) ، وأن متوسط البعد بين مركزي الأيونين ٢,٣ × ١٠$^{-١٠}$ م ، جد قوة التجاذب بينهما؟

٢ المجال الكهربائي Electric Field

تؤثر الأرض في الأجسام القريبة منها والواقعة في مجال تأثيرها، وتسبب في تسارعها نحوها، كما تؤثر الشحنات الكهربائية على بعضها البعض بقوة كهربائية دون أن يكون بينهما تماس، كيف يتم ذلك عن بعد، ما المقصود بالمجال الكهربائي؟ وكيف يؤثر المجال الكهربائي بقوة على شحنة موضوعة فيه؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

- توضح المقصود بكل من: المجال الكهربائي، خطوط المجال الكهربائي، المجال الكهربائي المنتظم، التدفق الكهربائي، سطح غاوس.
- تحدد مميزات خطوط المجال الكهربائي.
- ترسم خطوط المجال الكهربائي لشحنات كهربائية مختلفة.
- تحسب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطية.
- تعبر عن القوة الكهربائية بدلالة شدة المجال الكهربائي.
- تتعرف المجال الكهربائي المنتظم.
- تعبر عن شدة المجال الكهربائي المنتظم رياضياً وبالرسم.
- تذكر نص قانون غاوس.
- تستنتج العلاقة بين التدفق الكهربائي وشدة المجال الكهربائي.
- تطبق قانون غاوس في حالات خاصة.

١ - ٢ المجال الكهربائي:

نلاحظ أن الأجسام التي تقع بالقرب من سطح الأرض تتأثر بقوة جذب من الأرض فتجعلها تتسارع نحوها، ويقال أن هذه الأجسام تقع في مجال الجاذبية الأرضية، وقد استخدم لفظ المجال للتعبير عن المنطقة المحيطة بالأرض ويظهر فيها تأثير قوة الجاذبية الأرضية، وبالمثل فإن المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربائية والتي يظهر فيها تأثير القوة الكهربائية تسمى بالمجال الكهربائي. وحسب وجهة النظر السائدة اليوم فإن الشحنة الكهربائية لا تبذل قوة مباشرة على شحنة ثانية، بل يتم ذلك عبر مجالها الكهربائي، حيث تعمل الشحنة الأولى على توليد مجال كهربائي يقوم بالتأثير بقوة على الشحنة الثانية.

ولكي نستدل على وجود المجال الكهربائي في موضع ما بالقرب من شحنة نقطية، نستعين بشحنة صغيرة موجبة تسمى شحنة الاختبار ($ش_{.}$) (test charge)، توضع في ذلك الموضع، ويقاس مقدار القوة الكهربائية المؤثرة فيها واتجاهها، لاحظ الشكل (١/ أ)، ويتغير مقدار هذه القوة واتجاهها بتغير موقع النقطة، لاحظ الشكل (١/ ب).

وبما أن القوة كمية متجهه تحدد بالمقدار والاتجاه فإن المجال الكهربائي عند أية نقطة أيضاً هو مجال متجه يحدد بالمقدار والاتجاه، ويكون إتجاه المجال بإتجاه القوة المؤثرة في ($ش_{.}$) عند تلك النقطة، ويعبر عن مقداره وإتجاهه بسهم يدل على اتجاه المجال عند تلك النقطة لاحظ الشكل (٢).

يعبر عن مقدار المجال الكهربائي في نقطة بشدة المجال الكهربائي، تعرف شدة المجال الكهربائي في نقطة ما بأنها القوة التي يؤثر بها المجال على شحنة الاختبار الموضوعة في تلك النقطة مقسوماً على مقدار الشحنة.

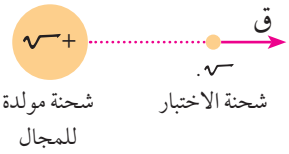
$$\overleftarrow{م} = \frac{\overleftarrow{ق}}{ش_{.}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

حيث $\overleftarrow{م}$: شدة المجال الكهربائي.

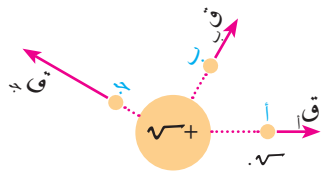
$\overleftarrow{ق}$: القوة الكهربائية مقاسه بوحدة (نيوتن).

$ش_{.}$: شحنة الاختبار المتأثرة بالمجال، مقاسه بوحدة (كولوم).

ويكون للمجال الكهربائي قيمة محددة وإتجاه محدد في كل موضع من المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربائية، لاحظ الشكل (٣).



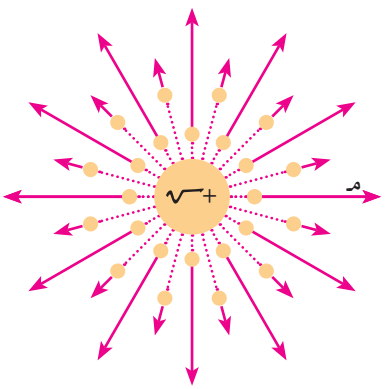
أ-



ب-

الشكل (١): القوة الكهربائية التي تؤثر بها ($ش_{.}$) عند نقاط مختلفة

الشكل (٢): المجال الكهربائي للشحنة ($ش_{.}$) عند النقطة (أ)



الشكل (٣): المجال الكهربائي لشحنة نقطية

فكر:

لماذا تم استخدام شحنة اختبار موجبة صغيرة المقدار موجبة لتحديد المجال الكهربائي لشحنه عند نقطة ما؟

وحدة شدة المجال الكهربائي:

تقاس القوة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات بوحدة (نيوتن) والشحنة الكهربائية بوحدة (كولوم)، وعليه تكون وحدة المجال الكهربائي (نيوتن/ كولوم).

٢ ـ ٢ خطوط المجال الكهربائي:

يمثل المجال الكهربائي في منطقة ما حول شحنة كهربائية عن طريق رسم خطوط القوى الكهربائية حول هذه الشحنة، ويعرف خط القوة بأنه المسار الذي تسلكه شحنة اختبار موجبة عند وضعها في نقطة في المجال، وترسم خطوط القوى بحيث تمثل في موضع ما مقدار واتجاه المجال الكهربائي، فعندما تكون الخطوط متقاربة تكون شدة المجال كبيرة، والعكس صحيح. وللتعرف على شكل هذه الخطوط وخصائصها قم بإجراء النشاط الآتي:

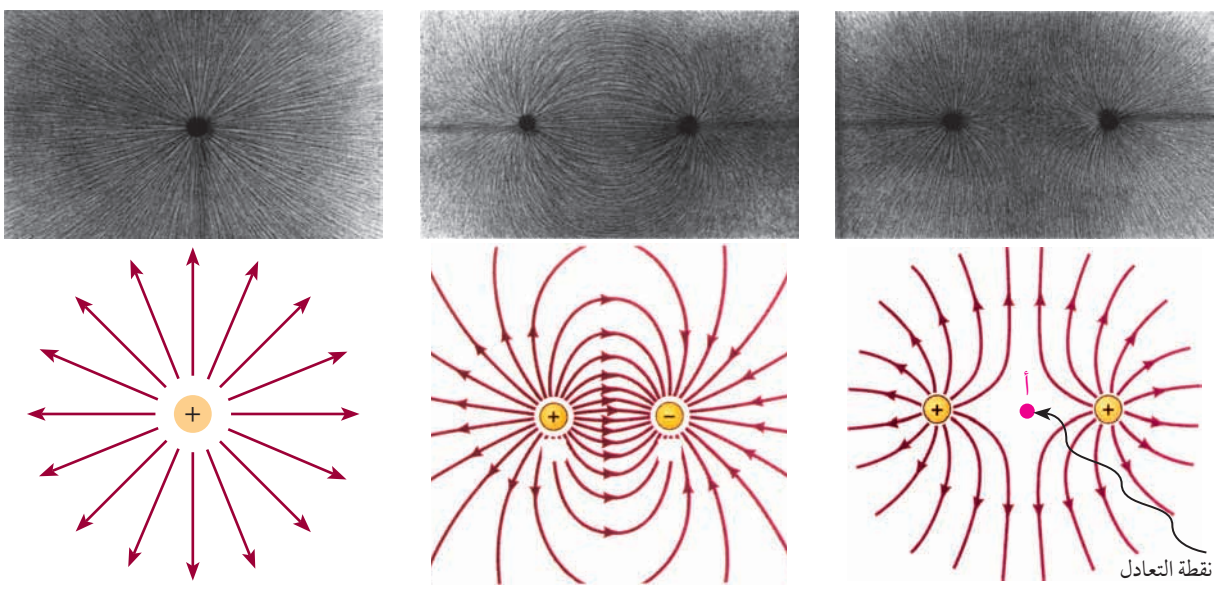
نشاط (١): تخطيط المجال الكهربائي لشحنات كهربائية مختلفة

المواد والأدوات:

زيت خروع، ومولد فان دي غراف، وكرات فلزية متشابهة، وسميد، وحوض زجاجي قليل العمق.

خطوات العمل:

١. ضع قليلاً من زيت الخروع في الحوض الزجاجي لتتكون طبقة زيتية بسمك ١ سم تقريباً.
٢. اشحن كرتين فلزيتين باستخدام جهاز فان دي غراف.
٣. ضع الكرتين في الحوض الزجاجي المملوء بالزيت.
٤. رش دقائق خفيفة من السميد بين الكرتين. ماذا تلاحظ؟ فسر ملاحظاتك؟

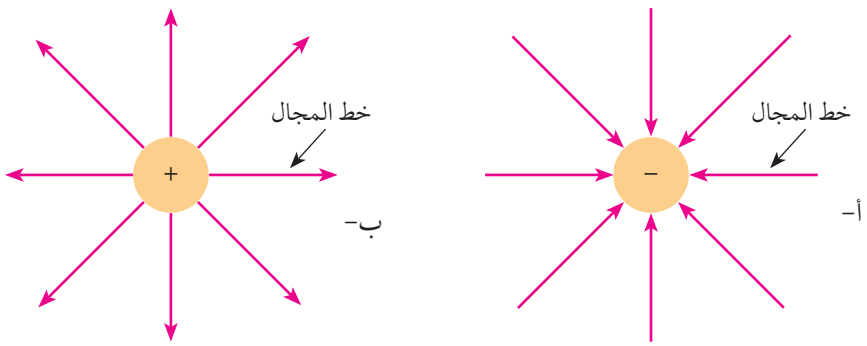


الشكل (٤): خطوط المجال الكهربائي لشحنات كهربائية مختلفة

في النشاط السابق اصطفت الدقائق الخفيفة ممثلة خطوط المجال الكهربائي كما في الشكل (٤)، وذلك لأن كل دقيقة شحنت بالتأثير ثم تحركت على سطح الزيت لتأخذ منحى خط المجال الكهربائي . ويمكن رسم الخطوط بتصور مسار شحنه اختبار صغيرة توضع في مجال شحنة أخرى كبيرة بالنسبة لها (شحنة مولدة للمجال)، إذ ستتأثر شحنة الاختبار بقوة كهربائية تدفعها مقتربة من الشحنة السالبة باتجاه مركزها كما في الشكل (٥/ أ)، أو مبتعدة عنها كما في الشكل (٥/ ب) .

الشكل (٥): المسار الذي تسلكه ~~ق~~ في مجال كهربائي لشحنة (أ) سالبة ، (ب) موجبة .

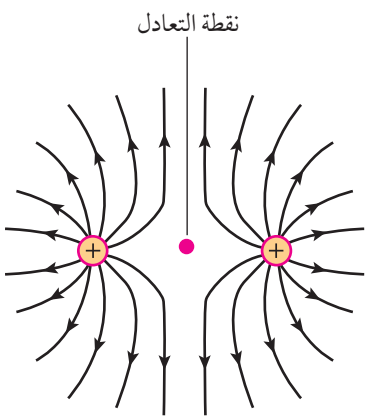
بمعنى آخر فإن متجه المجال الكهربائي في جميع النقاط المحيطة بالشحنة السالبة تتجه نحو الشحنة مباشرة كأنها داخلة فيها، وهذا ما يعرف بخطوط المجال الكهربائي كما في الشكل (٦/ أ)، أو الشكل (٦/ ب) إذ فيه تكون خطوط المجال الكهربائي تبدو كأنها خارجة من الشحنة الموجبة .



الشكل (٦): خطوط المجال الكهربائي لشحنة سالبة (أ) وأخرى موجبة (ب) .

يلاحظ من الشكل (٦) أن خطوط المجال الكهربائي تتباعد عن بعضها كلما ابتعدنا عن الشحنة، ويدلنا ذلك على أن شدة المجال الكهربائي تقل كلما ابتعدنا عن الشحنة المولدة للمجال .

يلاحظ من الشكل (٧) أن خطوط المجال المنطلقة من احدى الشحنتين الموجبة تنحني مبتعدة عن الشحنة الموجبة الأخرى بحيث تتكون نقطة بين الشحنتين خالية من خطوط المجال الكهربائي تسمى نقطة التعادل .

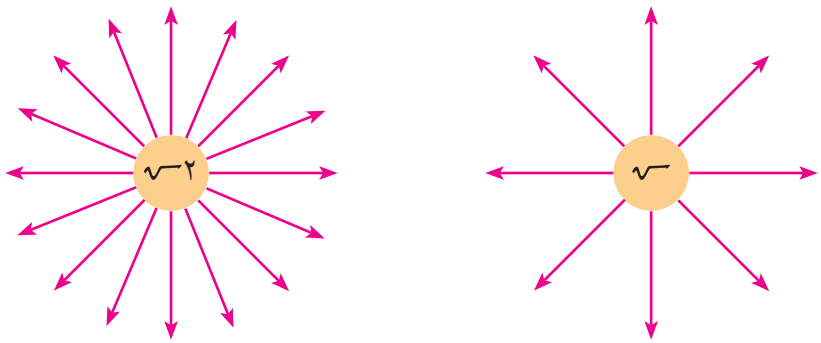


الشكل (٧): خطوط المجال الكهربائي لشحنتين موجبتين .

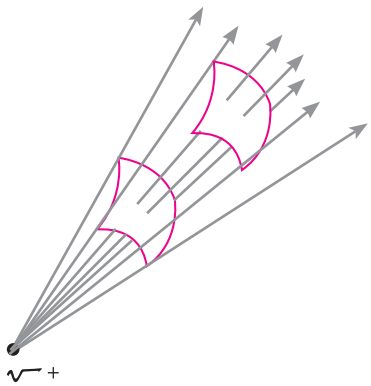
نقطة التعادل : هي النقطة التي ينعدم فيها المجال الكهربائي
أي أن محصلة المجال عند تلك النقطة = صفر .

مميزات خطوط المجال الكهربائي :

١. تتناسب شدة المجال الكهربائي في نقطة ما تناسباً طردياً مع مقدار الشحنة المولدة للمجال، ويمكن توضيح ذلك عن طريق رسم خطوط المجال في تلك المنطقة حيث أن عدد الخطوط المرسومة يمثل شدة المجال كما في الشكل (٨).

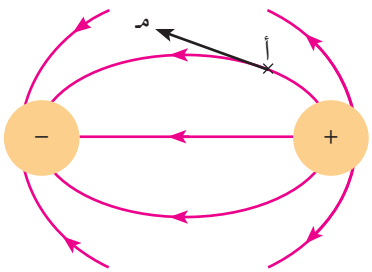


الشكل (٨): شدة المجال الكهربائي تتناسب مع مقدار الشحنة المولدة للمجال.



الشكل (٩): شدة المجال الكهربائي

٢. يتناسب عدد خطوط المجال الكهربائي التي تقطع وحدة المساحة العمودية عليها (كثافة خطوط المجال) طردياً مع شدة المجال الكهربائي. كما في الشكل (٩).



الشكل (١٠): اتجاه المجال الكهربائي عند النقطة (أ)

٣. يدل اتجاه المماس لخط المجال عند أي نقطة على اتجاه المجال الكهربائي في تلك النقطة، كما يبين الشكل (١٠).

٤. تبدو خطوط المجال خارجة من الشحنة الموجبة وتدخل في الشحنة السالبة، كمايبين الشكل (١٠).

٥. خطوط المجال الكهربائي لا تتقاطع، فسر ذلك.

٢ - ٣ حساب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن عدة شحنات نقطية:

أولاً: شدة المجال الكهربائي لشحنة نقطية:

لإيجاد شدة المجال الكهربائي ($\overleftarrow{م}$) الناشئ عن شحنة نقطية ($ش$)، عند نقطة مثل (أ) تبعد مسافة مقدارها (ف) عن الشحنة، كما في الشكل (١١)، نفترض وجود شحنة اختبار موجبة صغيرة مثل ($ش_.$)، في النقطة (أ). ثم نحسب القوة التي تؤثر بها الشحنة ($ش$) على شحنة الاختبار ($ش_.$)، ونقسم القوة ($\overleftarrow{ق}$) على ($ش_.$) فنحصل على ($\overleftarrow{م}$).

$$ق = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش \times ش_.}{ف^{٢}}$$

لايجاد قيمة ($\overleftarrow{م}$) نعوض ($\overleftarrow{ق}$) في المعادلة (١).

$$\overleftarrow{م} = \frac{\overleftarrow{ق}}{ش_.}$$

$$\overleftarrow{م} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش \times ش_.}{ف^{٢}} \times \frac{١}{ش_.} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف^{٢}}$$

$$\overleftarrow{م} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف^{٢}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

الشكل (١١): شدة المجال الكهربائي لشحنة نقطية

ونلاحظ من المعادلة (٢) أن مقدار شدة المجال الكهربائي لا يعتمد على قيمة شحنة الاختبار ($ش_.$)، وإنما يعتمد على قيمة الشحنة ($ش$) (مصدر المجال) وعلى مربع المسافة (ف)، ويقل مقدار شدة المجال الكهربائي كلما ابتعدنا عن الشحنة المولدة للمجال، ويكون اتجاه المجال باتجاه القوة المؤثرة على شحنة الاختبار.

مثال (١):

جد مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة مثل (أ) تبعد مسافة مقدارها ٣٠سم عن شحنة نقطية ($ش$) مقدارها:

أ. ٦ ميكروكولوم (μc).

ب. - ٦ ميكروكولوم (μc).

١ ميكروكولوم = $١٠^{-٦}$ كولوم
١ نانوكولوم = $١٠^{-٩}$ كولوم

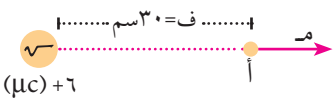
الحل:

أ. نجد مقدار شدة المجال الكهربائي بالتعويض في المعادلة (٢)

$$م = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف^{٢}} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٦ \times ١٠^{-٦}}{(٠,٣)^{٢}}$$

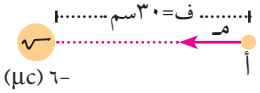
$$= ٦ \times ١٠^{٥} \text{ نيوتن/كولوم}$$

واتجاهه نحو اليمين، كما هو مبين في الشكل المجاور.



ب) $م = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف^{٢}} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٦ \times ١٠^{-٦}}{(٠,٣)^{٢}}$

$= ٦ \times ١٠^{٥}$ نيوتن/ كولوم



واتجاهه إلى اليسار، كما هو مبين في الشكل المجاور.

ونلاحظ هنا أن الاختلاف بين مجالي الشحنتين هو في الاتجاه فقط.

سؤال

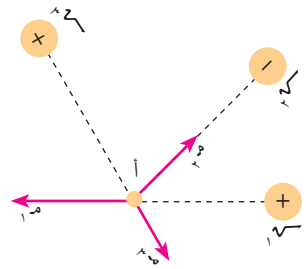
احسب مقدار الشحنة النقطية التي تولد مجالاً مقداره ١ نيوتن/ كولوم عند نقطة تبعد مسافة مقدارها ١ م عن الشحنة.

ثانياً: شدة المجال الكهربائي في نقطة بالقرب من عدة شحنات نقطية:

لحساب شدة المجال الكهربائي عند نقطة مثل أ، والناتج عن عدة شحنات نقطية، كما في الشكل (١٢)، فإننا نحسب المجال الناتج عن كل شحنة عند النقطة (أ) على انفراد، ثم نجمع المجالات جمعاً متجهاً.

$$\overleftarrow{م} = \overleftarrow{م_{١}} + \overleftarrow{م_{٢}} + \overleftarrow{م_{٣}}$$

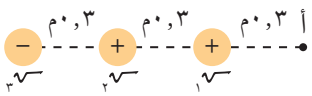
أي أن $\overleftarrow{م}$ = محصلة المجالات الناتجة من عدة شحنات نقطية.



الشكل (١٢): محصلة المجالات الناشئة عن عدة شحنات نقطية

مثال (٢):

وضعت ثلاث شحنات نقطية (٥ ، ٤ ، ٣-) ميكروكولوم على استقامة واحدة وبالترتيب كما في الشكل المجاور، احسب شدة المجال الكهربائي عند النقطة أ.



الحل:

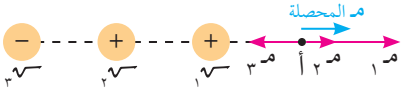
لإيجاد شدة المجال الكهربائي عند النقطة أ، نحسب المجالات الناشئة ($م_{١}$ ، $م_{٢}$ ، $م_{٣}$) عن الشحنات النقطية ($ش_{١}$، $ش_{٢}$، $ش_{٣}$).

باستخدام العلاقة $م = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش}{ف^{٢}}$

$م_{١} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٥ \times ١٠^{-٦}}{(٠,٣)^{٢}} = ٥ \times ١٠^{٥}$ نيوتن/ كولوم، نحو اليمين.

$م_{٢} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٤ \times ١٠^{-٦}}{(٠,٦)^{٢}} = ١ \times ١٠^{٥}$ نيوتن/ كولوم، نحو اليمين.

$م_{٣} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٣ \times ١٠^{-٦}}{(٠,٩)^{٢}} = ٣,٣ \times ١٠^{٤}$ نيوتن/ كولوم، نحو اليسار.

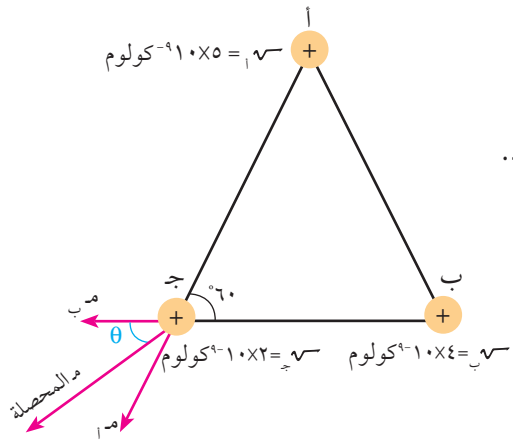


إذن: $م_{(المحصلة)} = م_{١} + م_{٢} - م_{٣}$

$= ٦٧,٥ \times ١٠^{٥}$ نيوتن/ كولوم، نحو اليمين كما يبين الشكل.

مثال (٣):

وضعت ثلاث شحنات نقطية على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه ١٠سم كما في الشكل مقاديرها (٥ ، ٤ ، ٢) نانوكولوم.



احسب:

أ. مقدار المجال الكهربائي واتجاهه عند النقطة حـ.

ب. مقدار واتجاه القوة المؤثرة في الشحنة الموضوعة عند النقطة حـ.

الحل:

تعمل الشحنات ش١، ش ب على توليد مجالات كهربائية م١، م ب على الترتيب عند النقطة (حـ). كما في الشكل.

$م_{١} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش_{١}}{ف^{٢}} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٥ \times ١٠^{-٩}}{(٠,١)^{٢}}$

$م_{١} = ٤٥ \times ١٠^{٢}$ نيوتن/ كولوم وبالاتجاه المبين في الشكل.

$م_{ب} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ش_{ب}}{ف^{٢}} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٤ \times ١٠^{-٩}}{(٠,١)^{٢}}$

$م_{ب} = ٣٦ \times ١٠^{٢}$ نيوتن/ كولوم وبالاتجاه المبين في الشكل.

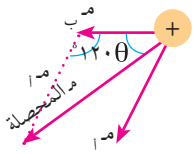
أ. لإيجاد المجال المحصل نستخدم قانون محصلة متجهين يحصران بينهما زاوية

$م_{\text{المحصلة}} = \sqrt{م_{١}^{٢} + م_{ب}^{٢} + ٢ م_{١} م_{ب} \text{جتا}\,\theta}$

$= \sqrt{(٤٥ \times ١٠^{٢})^{٢} + (٣٦ \times ١٠^{٢})^{٢} + ٢ \times ٤٥ \times ١٠^{٢} \times ٣٦ \times ١٠^{٢} \times \frac{١}{٢}}$

$\approx ٧٠,٣ \times ١٠^{٢}$ نيوتن/ كولوم.

وباتجاه يصنع زاوية مقدارها θ مع محور السينات السالب، حيث نجد مقدار θ بتطبيق قانون الجيوب الذي مر معك سابقاً.



$$\frac{م_{ا}}{\text{جا}\,\theta} = \frac{م_{\text{المحصلة}}}{\text{جا}\,١٢٠^\circ}$$

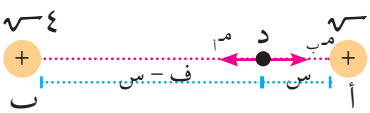
$$\frac{٤٥ \times ١٠^{٢}}{\text{جا}\,\theta} = \frac{٧٠,٢ \times ١٠^{٢}}{\text{جا}\,١٢٠^\circ}$$

$$\text{جا}\,\theta = \frac{٤٥ \times ٠,٨٧}{٧٠,٢} = ٠,٥٥٧ \quad ،\quad \theta = ٣٣,٧^\circ$$ مع محور السينات السالب.

ب. $ق_{ج} = م_{\text{المحصلة}} \times ش_{ج}$ ، $ق_{ج} = ٧٠,٣ \times ١٠^{٢} \times ٢ \times ١٠^{-٩} = ١٤٠,٦ \times ١٠^{-٧}$ نيوتن

مثال (٤):

في الشكل المجاور شحنتان موجبتان قيمة إحداهما (ش) والأخرى (٤ش) وبينهما مسافة (ف)، جد موقع النقطة التى ينعدم عندها المجال الكهربائي(نقطة التعادل).



الحل:

نفترض أن (د) هي نقطة التعادل وتبعد مسافة (س) عن نقطة أ، و (ف – س) عن نقطة ب.

وهذا يعني (د) تقع تحت تأثير مجالين متساويين في المقدار ومتعاكسين بالاتجاه، أي أن م المحصلة عند د = صفر.

$م_{ا} = م_{ب}$

$$\frac{ش}{س^{٢}} \times ٩ \times ١٠^{٩} = \frac{٤ش}{(ف-س)^{٢}} \times ٩ \times ١٠^{٩}$$

$$\sqrt{س^{٢}} \times ٢ = \sqrt{(ف-س)^{٢}}$$

$٢س = (ف - س)$ ، $٣س = ف$

$$س = \frac{١}{٣} ف$$

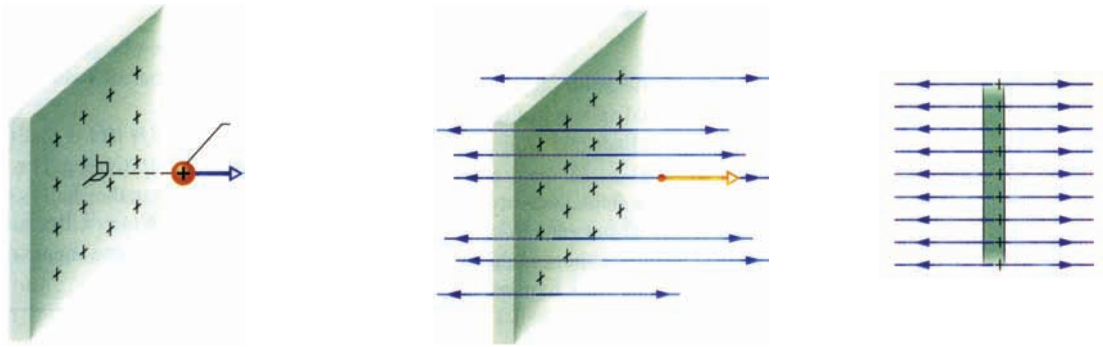
أي أن نقطة التعادل (د) أقرب إلى الشحنة الأقل مقداراً وتقع بين الشحنتين.

سؤال

في المثال السابق، أوجد موقع نقطة التعادل إذا كانت الشحنة في النقطة (أ) سالبة؟

٤ - ٢ المجال الكهربائي المنتظم:

يبين شكل (١٣) جزءاً من صفيحة لانهائية رقيقة عليها توزيع منتظم من شحنات كهربائية موجبة . لو وضعنا شحنة اختبار صغيرة عند أي نقطة بجانب الصفيحة كما في الشكل (١٣/ أ)، فإنها ستتأثر بمجموعة قوى من الشحنات الموزعة بانتظام على الصفيحة بحيث يكون اتجاه محصلة هذه القوى عمودياً على مستوى الصفيحة ويتجه بعيداً عنها، حيث أن القوى المؤثرة في بقية الاتجاهات تلغي بعضها بعضاً بسبب التماثل في توزيع الشحنة .



(أ) (ب) (جـ)

الشكل (١٣) : المجال الكهربائي المنتظم .

ويكون متجه المجال الكهربائي عند أي نقطة في المنطقة المحيطة بالصفيحة من الجهتين عمودياً على مستوى الصفيحة ويتجه بعيداً عنها كما في الشكل (١٣/ ب) . ولأن الشحنة موزعة بانتظام على الصفيحة فقيم المجال عند جميع النقاط لها نفس المقدار والاتجاه، (لاحظ توازي خطوط المجال الكهربائي الذي يدل على أن للمجال الكهربائي نفس القيمة عند جميع النقاط) كما في الشكل (١٣/ جـ)، فالمجال في هذه الحالة لا يعتمد على بُعد النقطة التي حُسِب المجال عندها عن الصفيحة .

تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

للتعرف على خطوط المجال المنتظم نقوم بالنشاط الآتي :

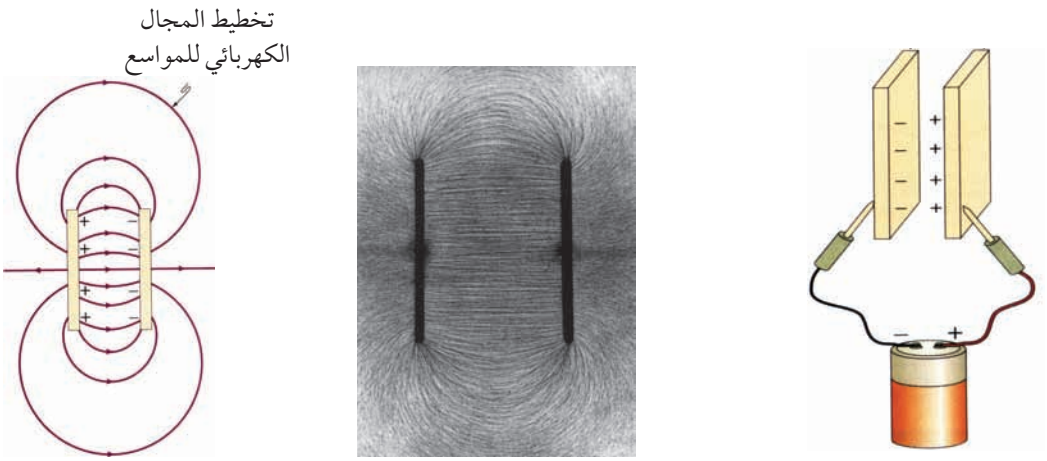
نشاط (٢) تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

أرجع إلى النشاط رقم (١)، واستبدل الكرات الفلزية بصفيحتين فلزيتين من الألمنيوم متوازيتين، وصل كل طرف من أطراف مصدر فرق الجهد مع صفيحة من الصفيحتين كما في الشكل (١٤/ أ) .

تلاحظ أن الدقائق الخفيفة قد اصطفت بين الصفيحتين بشكل خطوط متوازية عمودية على الصفيحتين كما في الشكل (١٤/ ب) .

الشكل (١٤/ جـ) يبين نظاماً لصفيحتين فلزيتين رقيقتين وواسعتين ومتوازيتين تحمل الأولى شحنة موجبة موزعة على سطحها بانتظام، بينما تحمل الثانية شحنة سالبة مساوية للأولى موزعة أيضاً على سطحها بانتظام

لاحظ أن المجال الكهربائي بين هاتين الصفيحتين هو مجال كهربائي منتظم، إذ تتجه فيه خطوط المجال الكهربائي من الصفيحة الموجبة إلى الصفيحة السالبة، وفي الخارج تكون شدة المجال الكهربائي صفراً.



الشكل (١٤): تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

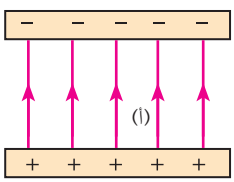
مميزات المجال الكهربائي المنتظم:

١. تكون خطوط المجال الكهربائي المنتظم متوازية والبعد بين كل خطين منها متساوي.

٢. شدة المجال المنتظم لها نفس المقدار عند جميع النقاط بين الصفيحيتين.

مثال (٥):

صفيحتان متوازيتان مشحونتان بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع كما في الشكل المجاور، وضعت شحنة مقدارها ٣ميكروكولوم في نقطة (أ) بين اللوحين فإذا كانت شدة المجال في تلك النقطة ٤ × ١٠ ٤ نيوتن/ كولوم، فجد مقدار القوة الكهروستاتيكية التي تتأثر بها الشحنة.



الحل:

$$م = \frac{ق}{ش}$$

$$ق = م ش$$

ق = ٤ × ١٠ ٤ × ٣ × ١٠ ⁻٦ = ١٢ × ١٠ ⁻٢ نيوتن

وهي القوة الكهروستاتيكية التي تتأثر بها الشحنة عند نقطة (أ).

مثال (٦):

جسم كتلته ١ , ٠ غم يحمل شحنة سالبة مقدارها ٢٠ ميكروكولوم، تحرك من السكون بتأثير مجال كهربائي منتظم مقداره ١٠ × ١٠^{٣} نيوتن/ كولوم مسافة ١٠ سم . احسب :

١ . القوة التي يؤثر بها المجال في الجسم .

٢ . الشغل الذي بذله المجال على الجسم .

٣ . السرعة النهائية للجسم .

٤ . الطاقة الحركية للجسم . ماذا تستنتج؟

الحل:

١ . القوة المؤثرة في الجسم المشحون :

ق = مـ ـــ٧

= ١٠ × ١٠^{٣} × ٢٠ × ١٠$^{-٦}$ = ٢٠٠ × ١٠$^{-٣}$

= ٠ , ٢ نيوتن باتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي لأن الشحنة سالبة . [تم اهمال الوزن]

٢ . الشغل الذي بذله المجال على الجسم

ش = ق . ف جتا θ

= ٠ , ٢ × ١٠ × ١٠$^{-٢}$ × جتا صفر حيث θ = صفر

= ٠ , ٠٢ جول

٣ . لحساب سرعة الجسم النهائية نحسب تسارعه من قانون نيوتن الثاني

ق = ك × ت

$$ت = \frac{٠,٢}{١,٠ \times ١٠^{-٣}} = ٢٠٠ \text{ م/ ث}^{٢}$$

وبتطبيق معادلة الحركة ع$_{٢}^{٢}$ = ع$_{١}^{٢}$ + ٢ ت ف ، فإن

= صفر + ٢ × ٢٠٠ × ١٠ × ١٠$^{-٢}$

= ٤٠٠

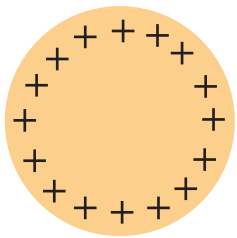
ع = $\sqrt{٤٠٠}$ = ٢٠ م/ ث

٤ . الطاقة الحركية : ط ح = $\frac{١}{٢}$ ك ع^{٢} = $\frac{١}{٢}$ × ٠ , ١ × ١٠$^{-٣}$ × ٤٠٠ = ٠ , ٠٢ جول

أي أن الطاقة الحركية للجسم تساوي الشغل الذي بذله المجال ، مما يعني أن الشغل المبذول استهلك في زيادة سرعة الجسم وإكسابه طاقة حركية ، وهذا يتفق مع مبرهنة (الشغل – الطاقة) .

٢ ـ ٥ التدفق الكهربائي وقانون غاوس:

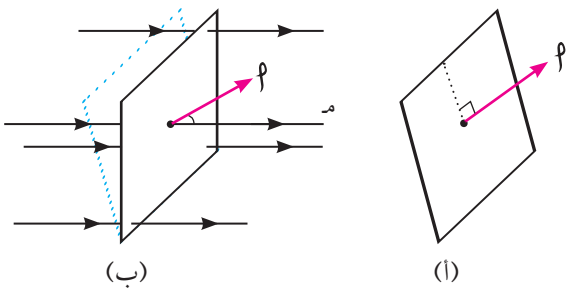
تعلمت سابقاً كيفية حساب المجال الكهربائي لتوزيع معين من الشحنات النقطية باستخدام قانون كولوم، لكن إذا كان لدينا توزيع متصل من الشحنات الكهربائية ذات التماثل العالي سواءً على شكل توزيع طولي مثل توزيع الشحنات على قضيب طويل ورفيع أو سطحي مثل توزيع الشحنات على صفيحة رقيقة أو حجمي مثل توزيع الشحنات على كرة ثلاثية الأبعاد كما في الشكل (١٥)، فإننا نستخدم طريقة أخرى لحساب المجال الكهربائي باستخدام «قانون غاوس» الذي يعتمد على مفهوم التدفق الكهربائي الناتج من المجال الكهربائي أو الشحنة الكهربائية.



الشكل (١٥): توزيع متصل ومتماثل من الشحنات

التدفق الكهربائي

يُعرف تدفق المجال الكهربائي بأنه عدد خطوط المجال الكهربائي التي تخترق سطح معين ويمكن حساب قيمته العددية من حاصل الضرب النقطي بين شدة المجال $\overleftarrow{م}$ ومساحة السطح $\overleftarrow{ف}$ المتجهةعمودية على السطح، ويرمز له بالرمز (Φ). حيث تمثل مساحة سطح ما بكمية متجهه (ف) ومقدارها يساوي القيمة العددية لمساحة السطح واتجاهها هو اتجاه العمود على ذلك السطح لاحظ الشكل (١٦/ أ).



الشكل (١٦): تدفق المجال الكهربائي

$$\Phi = \overleftarrow{م} \cdot \overleftarrow{ف}$$

$$\Phi = م ف \text{ جتا } \theta$$

وذلك لأنّ المساحة الفعلية التي يسقط عليها المجال بشكل عمودي هي (ف جتا θ). حيث:

$\overleftarrow{م}$: شدة المجال الكهربائي الذي يخترق السطح.

$\overleftarrow{ف}$: مساحة السطح الذي تخترقة خطوط المجال.

θ : الزاوية بين خطوط المجال الكهربائي، والعمود على السطح.

الشكل (١٦/ ب) يمثل مجالاً كهربائياً منتظماً (م) يخترق سطحاً مساحته (ف) ومستواه يميل بزاوية Θ على اتجاه خطوط المجال الكهربائي.

وعندما تكون الزاوية بين خطوط المجال الكهربائي والعمودي على السطح (ف) تساوي صفراً

فإن $\Phi = م ف$ جتا صفر $= م ف$

أما إذا كانت $\theta = ٩٠^\circ$ أي أن مستوى السطح موازياً لخطوط المجال الكهربائي، فإن التدفق الكهربائي = صفر

$\Phi =$ صفر عندما $\theta = ٩٠^\circ$

تلاحظ من علاقة التدفق أعلاه أنّ وحدة التدفق في النظام الدولي هي نيوتن م^٢ / كولوم.

مثال (٧):

مجال كهربائي منتظم مقداره ٤ × ١٠^٤ نيوتن/ كولوم يقطع سطحاً مستوياً مساحته ٥ سم^٢ ، أوجد تدفق المجال الكهربائي من السطح ، إذا كانت الزاوية بين خطوط المجال والعمود المقام على السطح = ٦٠° .

الحل: $\Phi = م \, أ \, جتا \, \theta$

$\Phi = م \, أ \, جتا \, ٦٠ = ٤ \times ١٠^{٤} \times ٥ \times ١٠^{-٤} \times \frac{١}{٢} = ١٠$ نيوتن م^٢/ كولوم

قانون غاوس:

يمثل الشكل (١٧) سطحاً كروياً مغلقاً ، يحيط بشحنة موجبة بداخله ، وهو سطح وهمي على درجة عالية من التماثل ، حيث قيمة شدة المجال عند كل نقطة من نقاط السطح الكروي متساوية وتتجه عمودياً إلى خارج السطح . وقد ربط العالم الألماني غاوس مقدار التدفق الكهربائي عبر هذا السطح بمقدار الشحنة الكهربائية الموجودة بداخله من خلال علاقة تعرف باسم قانون غاوس ، وسمي هذا السطح المغلق بسطح غاوس .

وقد وجد أن التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق يرتبط بالشحنة المحصورة بداخله بالعلاقة الرياضية :

$$\Phi = \frac{ش}{ε_{.}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

وهذه هي الصيغة الرياضية لقانون غاوس

وبشكل عام فإن : $\Phi = \overleftarrow{م} \cdot \overleftarrow{أ} = \frac{ش}{ε_{.}}$

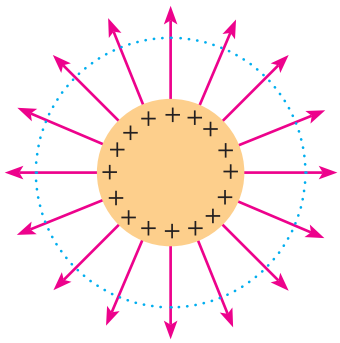
حيث : Φ : التدفق الكهربائي من سطح غاوس المغلق .

ش : الشحنة المحصورة داخل سطح غاوس .

$\overleftarrow{م}$: شدة المجال الكهربائي على سطح غاوس .

$\overleftarrow{أ}$: مساحة سطح غاوس وإتجاهها عمودي على السطح .

$ε_{.}$: نفاذية الفراغ أو الهواء .

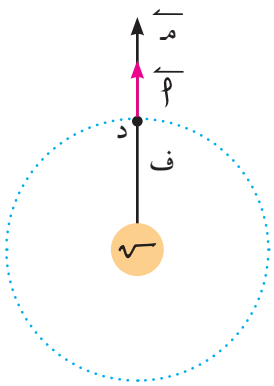


الشكل (١٧) : سطح غاوس

قانون غاوس : التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق يساوي مقدار الشحنة الكلية المحصورة داخل ذلك السطح (ش) مقسومة على نفاذية الفراغ ($ε_{.}$) ، ورياضياً $\Phi = \frac{ش}{ε_{.}}$ ، $\overleftarrow{م} \cdot \overleftarrow{أ} = \frac{ش}{ε_{.}}$

مثال (٨):

احسب شدة المجال الكهربائي (م) عند نقطة (د) التي تبعد مسافة (ف) عن شحنة نقطية (ش) ، باستخدام قانون غاوس .



الحل: نفرض وجود سطح غاوس تخيلي شكلة كروي يمر بالنقطة د ، أي نصف قطره يساوي ف ويحيط بالشحنة ش . كما في الشكل .

وبتطبيق قانون غاوس

$$\Phi = \frac{ش}{\varepsilon_0}$$

$$م_أ \text{ جتا صفر} = \frac{ش}{\varepsilon_0}$$

حيث أن الزاوية المحصورة بين العمودي على السطح وشدة المجال تساوي صفراً كما يبين الشكل المجاور .

$$م_أ = \frac{ش}{\varepsilon_0}$$

$$م (٤ \pi ف^٢) = \frac{ش}{\varepsilon_0}$$

$$م = \frac{ش}{٤ \pi \varepsilon_0 ف^٢}$$ ، وهذه النتيجة هي نفسها التي توصلنا إليها باستخدام قانون كولوم .

مثال (٩):

موصل كروي نصف قطره (نق) مشحون بشحنة كهربائية موزعة عليه بانتظام ، احسب شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) التي تبعد مسافة ف عن مركز الموصل . إذا كانت :

أ. (ف > نق) خارج الموصل الكروي .

ب. (ف < نق) داخل الموصل الكروي .

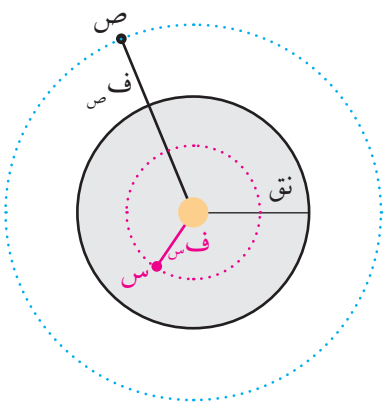
الحل:

بما أن الشحنة موزعة بانتظام على سطح الموصل الكروي ، فإن مقدار شدة المجال ثابت عند جميع النقاط الواقعة على أي سطح كروي تخيلي مركزه هو نفس مركز الموصل الكروي . كما في الشكل .

يعتمد مقدار شدة المجال في نقطة على بعد تلك النقطة عن مركز الموصل الكروي المشحون ، بناءً على ذلك نتخيل سطحاً غاوسياً مغلقاً كرويا متحدِ في المركز مع الموصل ويمر بالنقطة المراد إيجاد شدة المجال عندها والتي تبعد (ف) عن مركز الموصل لاحظ الشكل . لاحظ أن متجه المساحة $\overleftarrow{أ}$ يكون موازياً دائماً لاتجاه $\overleftarrow{م}$ أي أن θ = صفر ، وأنّ مساحة سطح غاوس الافتراضي تساوي ٤ π ف^٢ .

وبتطبيق قانون غاوس

$$م_أ = \frac{ش}{\varepsilon_0}$$



أ. عند نقطة ص

$$م_ص (٤ \pi ف_ص^٢) = \frac{ش}{\varepsilon_0}$$

$$م_ص = \frac{ش}{٤ \pi \varepsilon_0 ف_ص^٢}$$

نلاحظ أن هذه النتيجة تماثل المجال الناتج عن شحنة نقطية كما في المثال (٨) ، أي أن الموصل الكروي المشحون بشحنة مقدارها ش ينتج مجالاً كهربائياً وكأن شحنته موجودة في مركزه .

ب . عند نقطة س ف$_{س}$ < نق

نختار سطح غاوس افتراض كروي الشكل مركزه مركز الموصل، ونصف قطره (ف$_{س}$) كما في الشكل .

وبتطبيق قانون غاوس

$$\text{م}_{ف} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{.}}$$

م$_{س}$ = صفر حيث أنه لا توجد شحنة داخل سطح غاوس الافتراضي (لماذا)؟

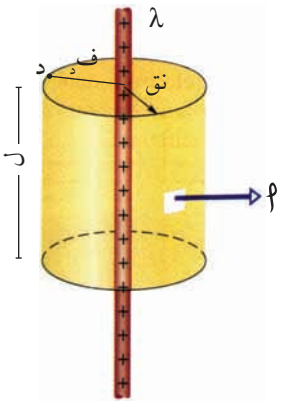
يلاحظ من هذه النتيجة أن المجال الكهربائي داخل الموصل الكروي يساوي صفراً .

سؤال

هل المجال الكهربائي داخل جميع الموصلات يساوي صفراً مهما كان شكلها؟

مثال (١٠):

سلك فلزي مستقيم لانهائي الطول، يحمل شحنة موجبة كثافتها الطولية (الشحنة على وحدة الأطوال : (λ) كولوم/ م)، موزعة عليه بانتظام كما هو مبين في الشكل . أوجد شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) تبعد (ف) عن محور السلك .



الحل:

يكون المجال الناتج عن الشحنة المنتظمة على السلك المستقيم باتجاه أنصاف الأقطار المتعامدة مع محور السلك، لاحظ الشكل، ومن ثمّ فإن سطح غاوس المناسب، هو سطح أسطواني متحد في المحور مع السلك، على فرض أن طول السطح الأسطواني (ل) ونصف قطر مقطعة (ف$_{د}$) .

التدفق الكلي عبر الأسطوانة = التدفق عبر القاعدتين للأسطوانة + التدفق عبر السطح الجانبي .

= صفر (لماذا) + م ف جتا θ

حيث : θ = صفر

وبتطبيق قانون غاوس :

$$\text{م}_{ف} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{.}}$$

حيث : σ (الشحنة على السلك المحصورة داخل سطح غاوس حوله)

= كثافة الشحنة الطولية × طول سطح غاوس

= λ × ل

ρ (مساحة سطح غاوس) = المساحة الجانبية للإسطوانة

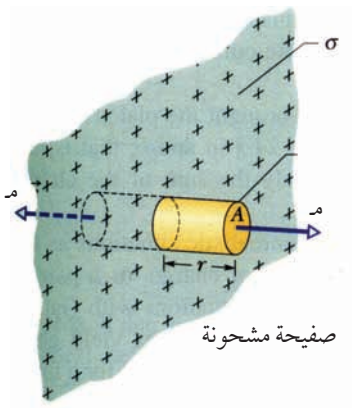
$= 2\pi ف_د \times ل$

$م_د = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ $= \frac{\lambda \times ل}{2\pi ف_د \times ل \varepsilon_0}$

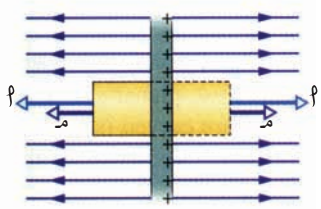
$= \frac{\lambda}{2\pi ف_د \varepsilon_0}$ نيوتن / كولوم

مثال (١١):

صفيحة غير موصلة رقيقة (لانهائية) تحمل شحنة منتظمة كثافتها السطحية σ كولوم/ م^2 (الشحنة على وحدة المساحة) لاحظ الشكل . احسب شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) على بعد (ف) من سطح الصفيحة .



صفيحة مشحونة



منظر جانبي للصفيحة

الحل:

إن خطوط المجال الكهربائي عمودية على سطح الصفيحة، وخارجة منه، لأن الشحنة موجبة، حيث أن المجال على يمين الصفيحة يماثل المجال على يسارها، فإن سطح غاوس المناسب هو أسطواني الشكل يقطع الصفيحة من الناحيتين لاحظ الشكل .

أي أن سطح غاوس أسطوانة مغلقة تخترق الصفيحة بشكل عمودي عليها .

التدفق عبر سطح غاوس :

$\Phi = \Phi_1$ (عبر السطح الجانبي للأسطوانة) + Φ_2 (عبر القاعدة الأولى) + Φ_3 (عبر القاعدة الثانية) .

$\Phi =$ صفر + م ρ + م ρ

$\Phi = 2$ م ρ

$م \rho 2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ حيث $\sigma = \rho \sigma$

$م_د = \frac{\rho \sigma}{2 \rho \varepsilon_0} = \frac{\sigma}{2 \varepsilon_0}$

سؤال

إذا لم تكن الصفيحة رقيقة وكانت تحمل شحنة كثافتها السطحية σ على كل من وجهيها . جد قيمة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة ف عن الصفيحة .

اسئلة الفصل

س١ وضح المقصود بالمجال الكهربائي لشحنة كهربائية . واذكر العوامل التي تعتمد عليها شدة المجال الكهربائي لشحنة كهربائية عند نقطة ما .

س٢ ماذا نقصد بقولنا أن المجال الكهربائي لشحنة كهربائية عند نقطة يساوي ٣ × ١٠^٦ نيوتن/ كولوم؟

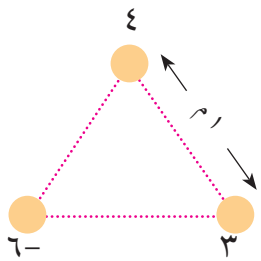
س٣ ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة تقع على بعد ٢٠٠سم عن شحنة نقطية موجبة مقدارها ٤٠٠ ميكروكولوم في الهواء؟

س٤ ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة تقع في منتصف المسافة بين شحنتين نقطيتين الأولى –٣٠٠ ميكروكولوم، والثانية + ٧٥٠ ميكروكولوم والبُعد بينهما ٥٠سم؟

س٥ أرسم المجال الكهربائي الناتج عن لشحنات الكهربائية الآتية :

أ- شحنة كهربائية سالبة مقدارها (–ش).

ب-شحنة كهربائية موجبة مقدارها ٢ش.



س٦ وضعت ثلاث شحنات نقطية (٣، –٦ ، ٤) ميكروكولوم على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه ١م، جد مقدار المجال الكهربائي عند الشحنة ٣ ميكروكولوم، ثم احسب القوة المؤثرة في تلك الشحنة .

س٧ احسب شدة المجال الكهربائي عند أحد رؤوس مربع طول ضلعه $\sqrt{٢}$ م عند وضع ثلاث شحنات نقطية متماثلة قيمة كل منها ١٠٠ ميكروكولوم على الرؤوس الثلاث الأخرى للمربع .

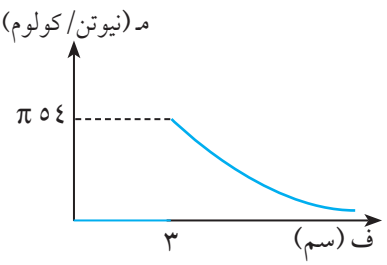
س٨ شحنتان نقطيتان ٥ × ١٠^–٨ كولوم، ٢ × ١٠^–٨ كولوم البعد بينهما ٢٠سم .

أ. حدد موقع نقطة التعادل .

ب. ما نوع الشحنة التي إذا وضعت في نقطة التعادل، تصبح الشحنات الثلاث متزنة .

جـ. ما مقدار الشحنة الثالثة .

س٩ الشكل المجاور يمثل العلاقة بين المجال الكهربائي والبعد عن مركز كرة فلزيّة مشحونة، جد :



أ. كثافة الشحنة السطحية للكرة .

ب. شدة المجال عند ١٠سم .

س١٠ شحنة نقطية مقدارها ١٧,٧ × ١٠^–١٠ كولوم موضوعة في مركز سطح كروي مساحته ١٠٠٠ سم^٢، احسب التدفق من جزء مساحته ٥٠ سم^٢ .

٣ الجهد الكهربائي Electric Potential

يعتبر الجهد الكهربائي من أهم الكميات الفيزيائية التي تصف المجال الكهربائي، حيث أن مقدار الجهد الكهربائي لنقطة ما في المجال الكهربائي يتم تحديده بالنسبة إلى نقطة مرجعية أخرى. وكما أن الجسم الساقط في مجال الجاذبية الأرضية يسقط من النقطة الأعلى ارتفاعاً إلى النقطة الأقل ارتفاعاً، فإن الشحنة الموجبة في المجال الكهربائي تندفع من النقطة الأعلى جهداً إلى النقطة الأقل جهداً.

فما الجهد الكهربائي؟ وما العوامل التي يعتمد عليها؟ وكيف تنتقل الشحنة من جسم إلى آخر؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

- تتعرف مفهوم الجهد الكهربائي.
- تجد قيمة جهد نقطة في مجال شحنات كهربائية.
- تتعرف فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين.
- تتوصل إلى جهد موصل كروي مشحون.
- تشتق العلاقة الرياضية لفرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم.
- تطبق قوانين الجهد في حل مسائل مختلفة.

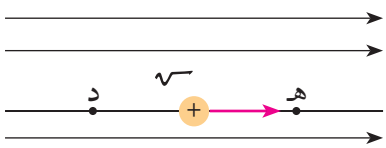
١ - ٣ الجهد الكهربائي و طاقة الوضع الكهربائية

عند رفع جسم كتلته (ك) في مجال الجاذبية الأرضية من سطح الأرض الى نقطة على ارتفاع (ف)، فإنه يكتسب مقداراً من الطاقة يساوي (ك حـ ف)، ويكتسب الجسم هذه الطاقة نتيجة لوضعه بالنسبة لسطح الأرض تسمى طاقة الوضع الميكانيكية أو الطاقة الكامنة، وتساوي الشغل المبذول لنقل الجسم من سطح الأرض الى تلك النقطة، على اعتبار أن طاقة الوضع عند سطح الأرض تساوي صفراً. وبالمثل عند وضع شحنة كهربائية (ـــ٧) في مجال كهربائي (مـ) فإن الشحنة تكتسب مقداراً من الطاقة يعتمد على وضعها بالنسبة للشحنة المولدة للمجال يسمى باسم طاقة الوضع الكهربائية .

أي أن تحريك شحنة في مجال كهربائي يغير من طاقة الوضع الكهربائية لتلك الشحنة، فإذا حركنا شحنة الاختبار الموجبة باتجاه معاكس للمجال فإننا نبذل عليها شغلاً خارجياً فتزداد طاقة وضعها أما إذا تحركت الشحنة الموجبة باتجاه المجال فأن الشحنة ستبذل شغلاً فتقل طاقة وضعها، وتعتمد طاقة الوضع الكهربائية لشحنة في نقطة ما على مقدار هذه الشحنة وعلى مقدار الجهد الكهربائي عند تلك النقطة، فما الجهد الكهربائي؟ وكيف نجد قيمته رياضياً؟

فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين:

إذا وضعت شحنة كهربائية موجبة حرة الحركة في مجال كهربائي عند النقطة (د) مثلاً، فإنها ستتحرك مع المجال الكهربائي وتمر بالنقطة (هـ) كما في الشكل (١)، أي أنّ المجال الكهربائي (مـ) يبذل شغلاً على الشحنة في تحريكها من النقطة (د) إلى النقطة (هـ) (ش د ← هـ) ، ومن مبرهنة الشغل والطاقة :



الشكل (١)

$$(ش_{د \leftarrow هـ})_{المجال} = -(\Delta ط\ و)_{شحنة}$$
$$= -((ط\ و)_{هـ} - (ط\ و)_{د})$$
$$= (ط\ و)_{د} - (ط\ و)_{هـ} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

ويعرّف خارج قسمة الشغل المبذول في تحريك شحنة كهربائية بين نقطتين (د، هـ) على الشحنة المنقولة (ـــ٧)، بأنه فرق الجهد بين النقطتين (د ، هـ) أي أنّ :

$$حـ_{هـد} = حـ_{هـ} - حـ_{د} = \frac{الشغل_{د \leftarrow هـ}}{ـــ٧} = \frac{ش_{د \leftarrow هـ}}{ـــ٧} \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

اصطلح العلماء على اعتبار الجهد الكهربائي قي نقطة في المالانهاية يساوي صفراً كنقطة مرجعية حتى نتمكن من حساب جهد أي ١ نقطة بالاعتماد عليها، فإذا اعتبرنا النقطة د تقع في المالانهاية، فتصبح العلاقة (١٠) كالآتي :

$$حـ_{هـ} = حـ_{هـ} - حـ_{\infty} = حـ_{هـ} - \text{صفر}$$

$$\text{إذاً } حـ_{هـ} = حـ_{هـ \leftarrow \infty} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٣)$$

فكر :
لماذا تم اعتبار طاقة الوضع الكهربائية في المالانهاية تساوي صفراً.

ومن هذه العلاقة يمكن أن نعرّف الجهد الكهربائي في نقطة ما مثل (ب)، بأنه الشغل المبذول في تحريك وحدة الشحنات الكهربائية من المالانهاية إلى تلك النقطة دون إحداث إي تغيير في طاقتها الحركية .

وحدة الجهد الكهربائي:

ويتضح من تعريفنا للجهد الكهربائي بأن وحدته هي وحدة طاقة مقسومة على شحنة أي جول/ كولوم، وتسمى هذه الوحدة بالفولت (Volt) ويرمز بالرمز (V) .

سؤال

- عرِّف الفولت .
- ما الفرق بين الجهد الكهربائي لنقطة ما وطاقة الوضع الكهربائية لشحنة ما عند تلك النقطة .

مثال (١):

١ . احسب الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة (ـــ٧) قدرها ٤ ميكروكولوم من النقطة (أ) التي جهدها ٤٠ فولت إلى النقطة (ب) التي جهدها ٦٠ فولت بسرعة ثابتة .

٢ . احسب طاقة الوضع الكهربائية للشحنة في كل من الموضعين أ و ب .

٣ . جد الفرق في طاقة الوضع بين النقطتين .

الحل:

١ . $حـ_{بـ ا} = حـ_{ب} - حـ_{ا} = \frac{\text{الشغل}_{ا \leftarrow ب}}{ـــ٧} = \frac{ش_{ا \leftarrow ب}}{ـــ٧}$

$ش_{ا \leftarrow ب} = ـــ٧ \times حـ_{بـ ا}$

$= ٤ \times ١٠^{-٦} (٤٠ - ٦٠)$

$= ٨ \times ١٠^{-٥}$ جول

٢ . طاقة الوضع الكهربائية عند النقطة أ :

$(ط و)_{ا} = ـــ٧ حـ_{ا}$

$= ٤ \times ١٠^{-٦} \times ٤٠ = ١,٦ \times ١٠^{-٤}$ جول

$(ط و)_{ب} = ـــ٧ حـ_{ب}$

$= ٤ \times ١٠^{-٦} \times ٦٠ = ٢,٤ \times ١٠^{-٤}$ جول

٣. الفرق في طاقة الوضع الكهربائية (Δ ط و) بين النقطتين أ و ب

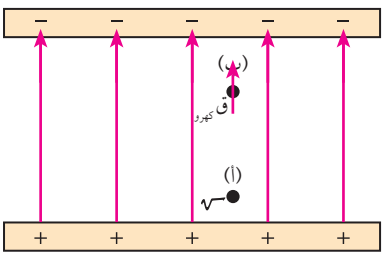
Δ ط و = (ط و)$_{ب}$ − (ط و)$_{أ}$

= ٢,٤ × ١٠$^{-٤}$ − ١,٦ × ١٠$^{-٤}$ = ٨ × ١٠$^{-٥}$ جول

تلاحظ أن الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية يساوي التغير في طاقة وضع تلك الشحنة .

٣ - ٢ فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم:

يمثل الشكل (٢) شحنة كهربائية موجبة (ـــ٧) تتحرك بخط مستقيم من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) في مجال كهربائي منتظم (م) وبسرعة ثابتة تحت تأثير قوة كهروستاتيكية مقدارها (م ـــ٧) .



الشكل (٢): فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم

الشغل الذي تبذله هذه القوة يساوي

الشغل$_{أ\leftarrow ب}$ = $\overrightarrow{ق}$. $\overrightarrow{ف}_{أ\leftarrow ب}$

الشغل$_{أ\leftarrow ب}$ = ق ف جتا θ

حيث :

$\overrightarrow{ق}$ = م ـــ٧

ف$_{أ\leftarrow ب}$: المسافة التي تتحركها الشحنة في المجال .

θ : تمثل الزاوية بين اتجاه ق و ف

إذن الشغل = م ـــ٧ ف جتا θ

$$جـ_{ب\,أ} = \frac{\text{الشغل}_{أ\,ب}}{\text{الشحنة}} = \frac{ش}{ـــ٧}$$

ش$_{أ\,ب}$ = ـــ٧ جـ$_{ب\,أ}$

إذن : جـ$_{ب\,أ}$ = م ف$_{ب\leftarrow أ}$ جتا θ . . . . . (٤)

لكن : θ = صفر في الشكل (٢) .

إذن : جـ$_{ب\,أ}$ = م ف$_{ب\,أ}$ . . . . . (٥)

نستنتج من هذه العلاقة أن فرق الجهد بين صفحيتين متوازيتين ومشحونتين يساوي حاصل ضرب المجال المنتظم بينهما x البعد بين الصفيحتين .

لاحظ أن وحدة المجال الكهربائي من المعادلة (٥) تساوي ڤولت/ متر ، وهي نفسها الوحدة التي تعلمتها سابقاً للمجال الكهربائي : نيوتن/ كولوم .

مثال (٢):

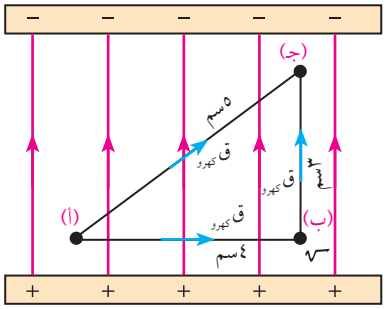
الشكل المجاور يبين ثلاث نقاط أ، ب، حـ، في مجال كهربائي منتظم شدته ٢٠٠ ڤولت/ متر، يتجه نحو محور الصادات الموجب.

احسب:

الشغل الذي يبذله المجال لنقل شحنة مقدارها ٤ × ١٠$^{-٦}$ كولوم من النقطة أ إلى النقطة جـ.

أ. عبر المسار أب جـ

ب. عبر المسار أجـ مباشرة



الشغل المبذول لنقل شحنة بين نقطتين في مجال كهربائي

الحل:

أ. الشغل$_{أ ب جـ}$ = الشغل$_{أ ب}$ + الشغل$_{ب جـ}$

الشغل = مـ ف جتا θ

الشغل$_{أ ب جـ}$ = مـ ف$_{أ ب}$ جتا ٩٠ + مـ ف$_{ب جـ}$ جتا صفر

= ٢٠٠ × ٤ × ١٠$^{-٦}$ × ٠,٠٤ × صفر + ٢٠٠ × ٤ × ١٠$^{-٦}$ × ٠,٠٣ × ١

= ٢٤ × ١٠$^{-٦}$ جول

ب. الشغل$_{أ جـ}$ = مـ ف$_{أ جـ}$ جتا θ

= ٢٠٠ × ٤ × ١٠$^{-٦}$ × ٠,٠٥ × ٠,٦

= ٢٤ × ١٠$^{-٦}$ جول

سؤال

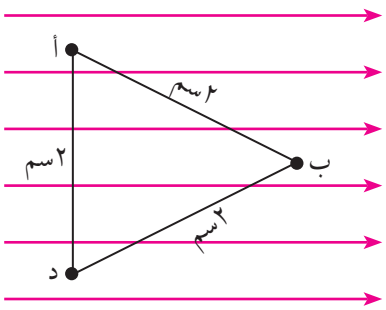
▪ يوضح الشكل المجاور مجالاً كهربائياً منتظماً مـ مقداره ١٠ ڤولت/ م، والنقاط أ، ب، د واقعة في المجال، والخط أ د عمودي على خطوط المجال، كما هو موضح في الشكل.

احسب:

الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية موجبة مقدارها ٢ × ١٠$^{-٩}$ كولوم من النقطة أ إلى النقطة ب عبر المسار.

أ. من أ ← ب مباشرة

ب. من أ ← د ← ب



٣ - ٣ حساب الجهد الكهربائي:

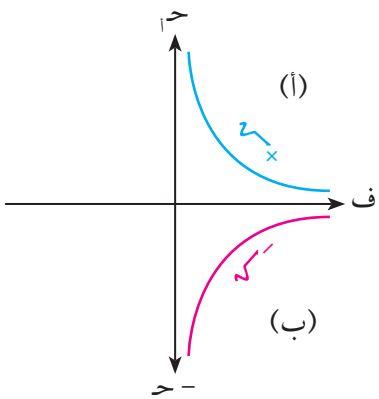
أولاً: لشحنة نقطية:

تعطى قيمة الجهد الكهربائي عند نقطة مثل (أ) تبعد مسافة (ف) عن شحنة نقطية (ـــ)، لاحظ الشكل (٣)، بالعلاقة الآتية :

الشكل (٣): الجهد عند نقطة أ بالقرب من شحنة نقطية

$$\text{حـ} = \frac{١}{٤\pi\varepsilon_{.}} \times \frac{\text{ـــ}}{\text{ف}}$$

$$\text{حـ}_{١} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{\text{ـــ}}{\text{ف}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٦)$$



الشكل (٤): علاقة الجهد الكهربائي لشحنة نقطية مع المسافة

ويمكن تمثيل العلاقة بيانياً كما في الشكل (٤).

نلاحظ من الشكل (٤/ أ) ازدياد قيمة الجهد كلما اقتربنا من الشحنة في حالة الشحنة الموجبة، وبالمقابل فإن الجهد يتناقص في الشكل (٤/ ب) (أي يصبح أكثر سالبية) كلما اقتربنا من مركز الشحنة السالبة.

مثال (٣):

أوجد الجهد الكهربائي لنقطة على بُعد ٨×١٠^{-١٠} م من بروتون شحنته $١,٦ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم.

الحـــل:

$$\text{حـ}_{١} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{\text{ـــ}}{\text{ف}}$$

$$\text{حـ}_{١} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{١,٦ \times ١٠^{-١٩}}{٨ \times ١٠^{-١٠}\ \text{م}} = ١,٨ \text{ ثولت}$$

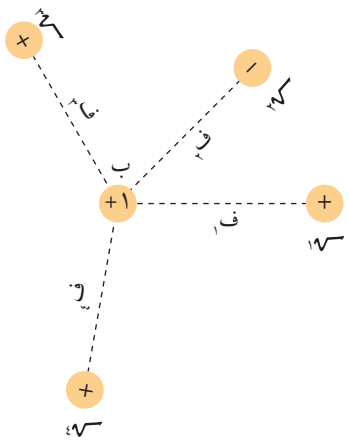
ثانياً- لمجموعة من الشحنات النقطية:

لحساب الجهد الناتج عن مجموعة من الشحنات النقطية، كما في الشكل (٥)، نحسب الجهد الناتج عن كل شحنة على حدة، متجاهلين وجود الشحنات الأخرى، ثم نجمع قيم هذه الجهود جمعاً جبرياً لأن الجهد كمية غير متجهة.

أي الجهد الكلي

= الجهد الناتج عن الشحنة الأولى + الجهد الناتج عن الثانية + . . .

$$\text{حـ}_{ب} = \text{حـ}_{١} + \text{حـ}_{٢} + \text{حـ}_{٣} + \text{حـ}_{٤} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٧)$$

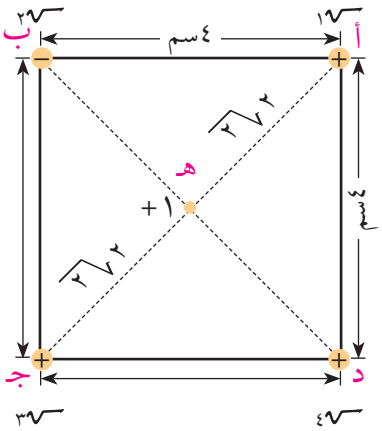


الشكل (٥): جهد نقطة ب بالقرب من عدة شحنات نقطية

مثال (٤):

احسب الجهد الكهربائي عندا لنقطة (هـ) التي تقع في مركز مربع تقع على رؤوسه أ، ب، حـ، د الشحنات النقطية التالية (١٠ ، −٢٠ ، ٥ ، ١) ميكروكولوم على الترتيب، كما هو مبين في الشكل .

الحل:



$$حـ_{هـ} = حـ_{أ} + حـ_{ب} + حـ_{حـ} + حـ_{د}$$

$$حـ_{هـ} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{١}{ف} (ـــ_{١} + ـــ_{٢} + ـــ_{٣} + ـــ_{٤})$$

حيث جميع الشحنات لها نفس البعد عن النقطة هـ.

$$حـ_{هـ} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{١}{\sqrt{٢} \times ١٠^{-٢}} (١٠ + -٢٠ + ٥ + ١) \times ١٠^{-٦}$$

$$حـ_{هـ} = -١٢,٨٥ \times ١٠^{٥} \text{ فولت}$$

ثالثاً : الموصل الكروي المشحون والمعزول عن أي مؤثرات خارجية:

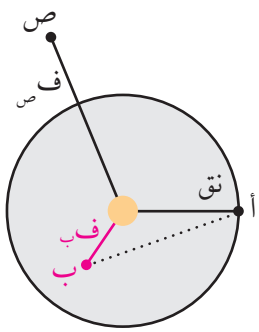
لقد تم اعتبار شحنة الموصل الكروي في الفصل السابق كأنها متجمعة في مركز الموصل (تشبه الشحنة النقطية)، وعليه فإن الجهد الكهربائي عند أي نقطة على سطح موصل كروي مشحون ومعزول، وموضوع في الفراغ أو الهواء يُعطى بالعلاقة :

الموصل المعزول :
البعيد عن تأثير أي مجالات كهربائية

$$جـ = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ـــ}{نق} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٨)$$

حيث ـــ : شحنة الموصل الكروي، نق : نصف قطره

أما إذا كانت النقطة تقع على بُعد (ف) من مركز الموصل كما في الشكل (٦)، بحيث أن ف > نق، فإن الجهد الكهربائي يُعطى بالعلاقة :



الشكل (٦) : الجهد الكهربائي داخل موصل

$$جـ_{ص} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{ـــ}{ف_{ص}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٩)$$

ولكن ماذا عن الجهد الكهربائي بداخل الموصل الكروي المشحون، أي عند ف < نق؟

لو أردنا نقل شحنة من النقطة (أ) على سطح الموصل إلى النقطة (ب) بداخل الموصل، لاحظ الشكل (٦)، فإن الشغل اللازم لنقل الشحنة ش $_{أ \leftarrow ب}$ يساوي

ش $_{أ \leftarrow ب}$ = σ جـ $_{ب أ}$

= م σ ف جتا θ

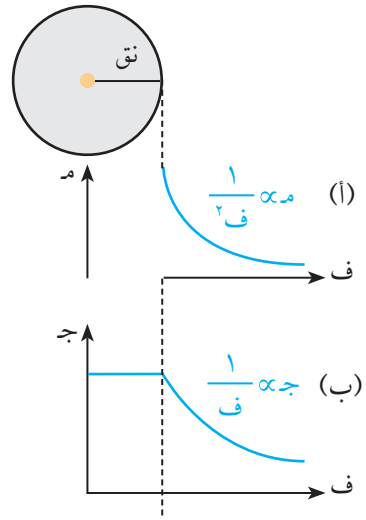
= صفر

حيث م بداخل الموصل = صفر

إذاً جـ $_{ب أ}$ = صفر

إذاً جـ $_{ب}$ = جـ $_{أ}$

نستنتج من ذلك أن الجهد عند أي نقطة داخل الموصل يساوي الجهد على سطحه .



الشكل (٧) : المجال والجهد الكهربائيان لموصل كروي مشحون بشحنة موجبة

ويبين الشكل (٧/ أ) العلاقة بين المجال الكهربائي في نقطة وبعد تلك النقطة عن مركز موصل كروي مشحون، ويبين الشكل (٧/ ب) العلاقة بين الجهد الكهربائي في نقطة وبعد تلك النقطة عن مركز موصل كروي مشحون .

مثال (٥):

كرة موصلة نصف قطرها ٢ سم موضوعة في الهواء وتحمل شحنه كهربائية مقدارها ٦ × ١٠$^{-٩}$ كولوم، احسب :

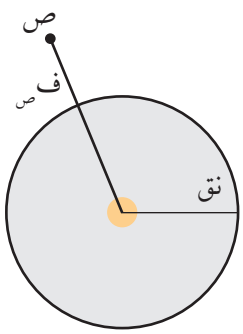
١ . جهد الكرة .

٢ . جهد نقطة ص التي تبعد مسافة مقدارها ١٠ سم عن مركز الكرة .

الحل:

١ . جهد الكرة $= \frac{\sigma_{\text{الكرة}}}{\text{نق}_{\text{الكرة}}} \times ٩ \times ١٠^{٩}$

$= ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٦ \times ١٠^{-٩}}{٢ \times ١٠^{-٢}} = ٢٧ \times ١٠^{٢}$ ڤولت .



٢ . جهد النقطة ص $= \frac{\sigma_{\text{الكرة}}}{\text{ف}_{\text{ص}}} \times ٩ \times ١٠^{٩}$

$= ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{٦ \times ١٠^{-٩}}{١٠ \times ١٠^{-٢}} = ٥٤٠$ ڤولت .

رابعاً: جهد موصل كروي بالقرب من موصلات أخرى:

إذا كان الموصل موجوداً في مجال شحنات كهربائية أخرى فإن جهده سيتأثر بها، وللتعرف على مدى تأثير هذه الشحنات على جهد الموصل قم بإجراء النشاط الآتي :

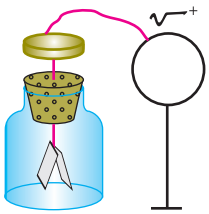
نشاط (٢): الجهد الكلي لموصل مشحون موجود بالقرب من موصلات أخرى مشحونة

المواد والأدوات :

كشاف كهربائي، ثلاث كرات معزولة ومشحونة كل منها على حامل، وسلك نحاسي رفيع .

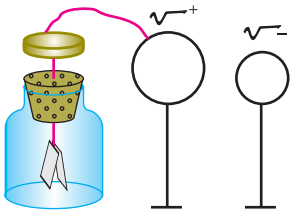
خطوات العمل :

١. ضع الكرة الأولى بالقرب من الكشاف الكهربائي وصل الكرة بقرص الكشاف كما في الشكل (أ)، ماذا تلاحظ .



(أ)

٢. ضع الكرة الثانية بالقرب من الكرة الأولى دون أن تلامسها ولاحظ الشكل (ب) .

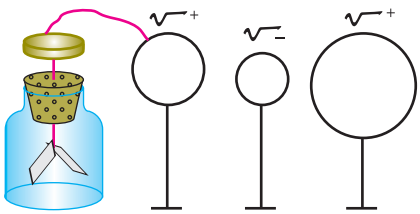


(ب)

٣. ضع الكرة الثالثة بالقرب من الكرتين الأولى والثانية كما في الشكل (جـ) .

٤. ابعد احدى الكرات نهائياً ولاحظ ما يحدث لورقتي الكشاف في كل حالة، فسر ذلك .

بامكانك استخدام مولد فان دي غراف لشحن الكرة الأولى .



(جـ)

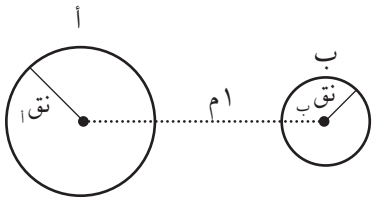
يتضح من النشاط السابق أن جهد الموصل يتأثر بشحنات الموصلات الأخرى القريبة منه، أي أن :

الجهد الكلي للموصل المشحون يساوي جهده بفعل شحنته، ويسمى الجهد المطلق، مضافاً إليه الجهد بفعل الشحنات الأخرى المحيطة به، ويسمى الجهد الحثي (التأثيري) أي أن :

الجهد الكلي للموصل = الجهد المطلق + الجهد الحثي .

مثال (٦):

وضعت كرة معدنية أ نصف قطرها ٥ سم وتحمل شحنة مقدارها ٥×١٠^{-٩} كولوم بالقرب من كرة معدنية ب أخرى نصف قطرها ١ سم، وتحمل شحنة مقدارها ٢×١٠^{-٩} كولوم، فإذا كانت المسافة بين مركزيهما متراً واحداً.



احسب:

١. الجهد الكهربائي على سطح كل من الكرتين.

٢. فرق الجهد بين الكرتين: $جـ_{اب}$.

الحل:

١. جهد الكرة (أ) = جهدها المطلق + جهدها الحثي

$$= ٩ \times ١٠^{٩} \frac{شـ_{أ}}{نق_{أ}} + ٩ \times ١٠^{٩} \frac{شـ_{ب}}{ف_{اب}}$$

$ف_{اب}$: البعد بين مركزي الكرتين

$$= \frac{٩ \times ١٠^{٩} \times ٥ \times ١٠^{-٩}}{١٠ \times ٥^{-٢}} + \frac{٩ \times ١٠^{٩} \times ٢ \times ١٠^{-٩}}{١}$$

$= ٩٠٠ + ١٨ = ٩١٨$ فولت.

جهد الكرة ب = جهدها المطلق + جهدها الحثي

$$= ٩ \times ١٠^{٩} \frac{شـ_{ب}}{نق_{ب}} + ٩ \times ١٠^{٩} \frac{شـ_{أ}}{ف_{اب}}$$

$$= \frac{٩ \times ١٠^{٩} \times ٢ \times ١٠^{-٩}}{١٠ \times ١^{-٢}} + \frac{٩ \times ١٠^{٩} \times ٥ \times ١٠^{-٩}}{١}$$

$= ١٨٠٠ + ٤٥ = ١٨٤٥$ فولت.

٢. فرق الجهد بين الكرتين = الجهد الكلي للكرة أ – الجهد الكلي للكرة ب

$= ٩١٨ - ١٨٤٥ = -٩٢٧$ فولت.

سؤال

كرتان موصلتان نصف قطر الأولى ٢ سم، والثانية ١٠ سم، شحنت الأولى بشحنة مقدارها شـ والثانية ٣ شـ ووضعتا بحيث كان البعد بين مركزيهما ٣٠ سم، فأصبحت القوة المتبادلة بينهما ٢,٧ نيوتن.

إحسب:

١. شحنة كل من الكرتين.

٢. جهد كل منهما.

٣ - ٤ سطوح تساوي الجهد:

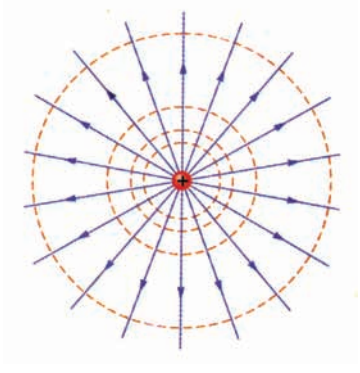
عرفت أنه عند توصيل موصلين مختلفين في الجهد الكهربائي فإن الشحنات الكهربائية الموجبة تنتقل من الموصل ذي الجهد الأعلى إلى الموصل ذي الجهد المنخفض، ويستمر انتقال الشحنات حتى يتساوى جهد الموصلين، ومن هنا ندرك أنه لا يمكن أن توجد نقطتان مختلفتان في الجهد الكهربائي على سطح موصل واحد أو عدة موصلات متصلة مع بعضها.

تشكل مجموعة النقاط التي لها نفس الجهد سطحاً يسمى بسطح الجهد، وقد يكون هذا السطح خيالياً أو حقيقياً، حيث لا يبذل أي شغل عند نقل أي شحنة بين نقطتين على هذا السطح، لماذا؟

لاحظ الشكل (٨) الذي يمثل سطوح تساوي الجهد لأجسام مشحونة مختلفة، نستنتج من هذا الشكل أن:

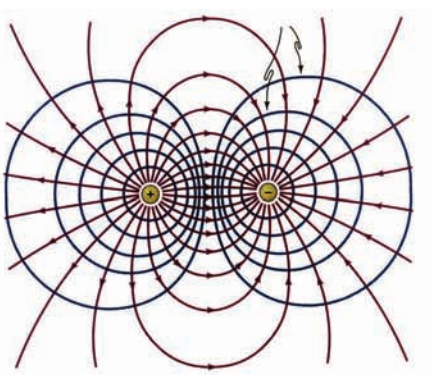
١. سطوح تساوي الجهد متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي، لاحظ الشكل (٨/ أ / جـ)، لأنها لو لم تكن متعامدة، لكان هناك مركبة للمجال الكهربائي باتجاه سطح تساوي الجهد، حيث تعمل هذه المركبة على تحريك الشحنات الكهربائية الموجبة في اتجاهها، أي أنّ هناك انتقال للشحنة من نقطة إلى أخرى، ما يعني أن هناك فرق جهد بين هاتين النقطتين وهذا يتنافى مع تعريف سطح الجهد.

٢. سطوح تساوي الجهد لا تتقاطع، لماذا؟



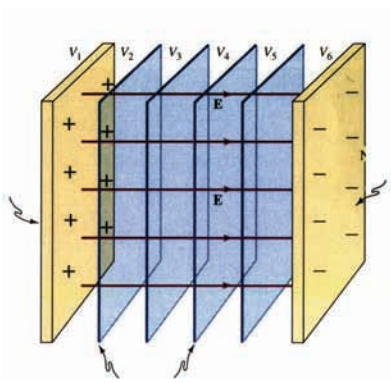
سطوح تساوي الجهد لشحنة نقطية موجبة

(أ)



سطوح تساوي الجهد لموصلين كرويين مختلفين في نوع الشحنة ولهما نفس المقدار

(ب)



سطوح تساوي الجهد بين صفيحتين مشحونتين بشحنتين متساويتين مقداراً، ومختلفتين نوعاً

(جـ)

الشكل (٨): سطوح تساوي الجهد

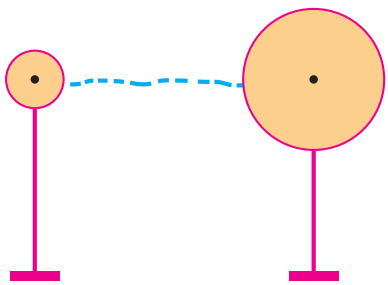
٣ - ٥ توزيع الشحنة على الموصلات:

تتوزع الشحنة على السطوح الكروية بانتظام، وذلك بسبب تماثل هذه السطوح، ونقول أن كثافة الشحنة على السطح متساوية، وتعرّف كثافة الشحنة السطحية (σ) بأنها كمية الشحنة على وحدة المساحة من سطح الموصل، وعليه تكون كثافة الشحنة السطحية (σ) لموصل كروي نصف قطره (نق) وشحنته ـــ .

$$\sigma = \frac{\text{ـــ}}{٤ \pi \text{نق}^{٢}}$$

والآن إذا تلامس سطحان كرويان مختلفان كما في الشكل (٩)، فكيف تتوزع الشحنة على سطحيهما؟

إذا تلامس موصلان فإن الشحنات الكهربائية تنتقل من الموصل ذي الجهد الأعلى إلى الموصل ذي الجهد الأقل، ويستمر انتقال الشحنات حتى يتساوى جهدا الموصلين، فإذا تلامس موصلان كرويان نصف قطر الأول نق$_{١}$، والثاني نق$_{٢}$ فإن الشحنة تتوزع عليهما بحيث :



الشكل (٩): توزيع الشحنة على الموصلات

جـ$_{١}$ = جـ$_{٢}$ وبتعويض علاقة الجهد

$$٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{\text{ـــ}_{١}}{\text{نق}_{١}} = ٩ \times ١٠^{٩} \times \frac{\text{ـــ}_{٢}}{\text{نق}_{٢}}$$

$$\frac{\text{ـــ}_{١}}{\text{نق}_{١}} = \frac{\text{ـــ}_{٢}}{\text{نق}_{٢}}$$

أي أن الشحنة الكلية على كل من الموصلين تتناسب طردياً مع نصف قطر كل منهما .

وبالتعويض عن الشحنة في المعادلة السابقة بكثافة الشحنة نجد أن :

ـــ = كثافة الشحنة السطحية × مساحة الموصل

$$\text{ـــ}_{١} = \sigma_{١} \times ٤ \text{ نق}_{١}^{٢} \times \pi$$

$$\text{ـــ}_{٢} = \sigma_{٢} \times ٤ \text{ نق}_{٢}^{٢} \times \pi$$

حيث : $\sigma_{١}$ كثافة الشحنة السطحية على الموصل الذي نصف قطره نق$_{١}$.

$\sigma_{٢}$ كثافة الشحنة السطحية على الموصل الذي نصف قطره نق$_{٢}$.

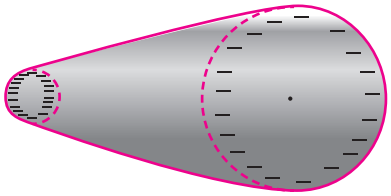
$$\frac{٤ \times \sigma_{١} \text{ نق}_{١}^{٢} \times \pi}{\text{نق}_{١}} = \frac{٤ \times \sigma_{٢} \text{ نق}_{٢}^{٢} \times \pi}{\text{نق}_{٢}}$$

$$\sigma_{١} \times \text{نق}_{١} = \sigma_{٢} \times \text{نق}_{٢}$$

$$\frac{\sigma_{١}}{\text{نق}_{٢}} = \frac{\sigma_{٢}}{\text{نق}_{١}}$$

أي أن : $\sigma_{١}$ نق$_{١}$ = $\sigma_{٢}$ نق$_{٢}$ = عدد ثابت .

ماذا تستنتج من ذلك؟



الشكل (١٠): توزيع الشحنة على الرؤوس المدببة

عند تلامس موصلين كرويين مشحونين، فإن الشحنة تتوزع بينهما بحيث تتناسب كثافة الشحنة(σ) عكسياً مع نصف قطر كل منهما، وبناءً على ذلك نستطيع تفسير لماذا تكون كثافة الشحنة على الأجزاء المدببة ذات التحدب الكبير من الأسطح الفلزية أكبر منها على الأجزاء المستوية ذات التحدب الصغير، كما بين الشكل (١٠).

ويستفاد من هذه الخاصية في تطبيقات واسعة في الحياة العملية، مثل أجهزة توليد الجهد العالي، ومانعات الصواعق.

سؤال: بيّن أثر الرؤوس المدببة في تفريغ الشحنة ا. لكهربائية ومن ثم بيّن كيفية عمل مانعة الصواعق.

اسئلة الفصل

س١ وضح المقصود بكل مما يلي:

١. الجهد الكهربائي.

٢. فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين.

٣. سطوح تساوي الجهد.

س٢ علّل: لا يلزم بذل شغل لتحريك شحنة كهربائية على سطح موصل كروي.

س٣ احسب قيمة الشحنة النقطية التي تولد جهداً مقداره + ٩٠ فولت في نقطة تبعد عنها ١٠ سم.

س٤ احسب فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي إذا كان الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية مقدارها ٤ كولوم بين هاتين النقطتين = ٢٨ جولا.

س٥ كرتان معدنيتان لهما نفس الحجم أحدهما مجوفة والأخرى مصمتة شحنتا بنفس المقدار من الشحنة. هل يوجد فرق في توزع الشحنات على جسمي الكرتين؟ وضح ذلك.

س٦ موصلان كرويان، نصف قطر الأول ١٠ سم، ونصف قطر الثاني ٥٠ سم، فإذا شحن الأول بشحنة مقدارها ٢٠ ميكروكولوم، والثاني بشحنة مقدارها ٢٥ ميكروكولوم، احسب:

أ. جهد كل من الموصلين، على فرض أنهما بعيدان جداً عن بعضهما.

ب. جهد كل منهما، إذا وصل الموصلان بسلك رفيع طويل، ثم فصلا بعد ذلك.

س٧ احسب مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين بشحنتين مختلفتين ومتساويتين مقداراً، إذا كانت المسافة بين اللوحين ٤ سم، ويؤثر المجال بين اللوحين بقوة مقدارها ١٦×١٠^{-١٦} نيوتن على شحنة مقدارها $٣,٢ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم عند انتقالها بين اللوحين.

٤ السعة الكهربائية والمواسعات

إننا نحكم على وعائين ونقول أن أحدهما أكبر من الآخر من حيث الحجم إذا كان يتّسع لكمية أكبر من المادة، فهل نستطيع القول بأن الموصلات تتفاوت في مقدار الشحنات التي تحملها؟ وما الذي يحدد ذلك؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

- تعرف كل من المفاهيم والمصطلحات الآتية: السعة الكهربائية، الفاراد، المواسع الكهربائي، الطاقة الكامنة في مواسع مشحون، المواسع المكافئ لمجموعة من المواسعات، توصيل المواسعات على التوالي، توصيل المواسعات على التوازي.
- تذكر العوامل التي تعتمد عليها سعة الموصل.
- تذكر بعضاً من القوانين المتعلقة بسعة بعض أنواع المواسعات.
- تحل مسائل حسابية بسيطة على السعة.
- تميز بين توصيل المواسعات على التوالي وتوصيلها على التوازي.

١ - ٤ السعة الكهربائية:

يُعد الوعاء أوسع من الآخر إذا كان يتسع لكمية أكبر من المادة، وتُعد الغرفة أوسع من المجاورة لها إذا كانت تتسع لعدد من الأشخاص مثلاً أكثر من الأخرى، وكذلك في مجال الكهرباء فإن الموصلات تختلف في استيعابها للشحنات الكهربائية، فإذا كان الموصل يستوعب كمية كبيرة من الشحنة نقول أن السعة الكهربائية للموصل كبيرة. ولتتعرف مفهوم السعة الكهربائية قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (١): السعة الكهربائية

المواد والأدوات:

موصلان كرويان مختلفان في الحجم، جهاز فان دي غراف، كشاف كهربائي، مادة عازلة.

خطوات العمل:

١. ضع الموصلين على مادة عازلة ثم اشحنهما باستخدام جهاز فان دي غراف.
٢. صل الموصلين معاً حتى يتساوى جهديهما، ثم افصلهما عن بعضهما.
٣. أجعل كلا الموصلين يلامس قرص الكشاف، ولاحظ انفراج ورقتي الكشاف في الحالتين، أي الموصلين أدى إلى انفراج الورقتين أكثر؟ ماذا تستنتج من ذلك؟

ستلاحظ من هذا النشاط أنه بالرغم من تساوي جهدي الموصلين، إلا أن الموصل ذي الحجم الأكبر أدى إلى انفراج ورقتي الكشاف بشكل أكبر، أي أن الشحنة التي يحملها أكبر من الموصل الآخر.

إذاً نستطيع أن نقول أنه كلما ازداد حجم الموصل ازداد استيعابه للشحنات الكهربائية، أي قدرته على تخزينها، أي أن سعته أكبر، وبناءً عليه تكون السعة الكهربائية مقياساً لقدرة الجسم على تخزين الشحنات الكهربائية.

وإذا أردنا رفع جهد موصل كروي مثلاً، فإننا نحتاج إلى شحنه بشحنة أكبر، حيث يطلق على كمية الشحنة اللازمة لرفع جهد جسم ما بمقدار واحد فولت اسم السعة الكهربائية لذلك الجسم (س)، أي أن:

$$ش \propto جـ$$

$$ش = \text{ثابت} \times جـ$$

حيث هذا الثابت يمثل السعة الكهربائية أي أن

$$س = \frac{ش}{جـ} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

حيث جـ: جهد الموصل، ش: شحنة الموصل

من خصائص سعة الأجسام:

١. أنها دائماً موجبة، لماذا؟
٢. ثابتة في المقدار للجسم الواحد.
٣. تعتمد على الأبعاد الهندسية للجسم، والوسط الذي يوجد فيه.

في النظام الدولي للوحدات تكون وحدة السعة الكهربائية هي وحدة شحنة مقسومة على وحدة جهد، أي كولوم/ ڤولت. وتسمى هذه الوحدة باسم الفاراد (F) ، وهذه الوحدة كمية كبيرة جداً لذلك نستخدم وحدات عملية للسعة ومنها المايكروفاراد (μF)، ويساوي ١٠$^{-٦}$ فاراد، والنانوفاراد (nF)، ويساوي ١٠$^{-٩}$ فاراد.

سؤال

وضح المقصود بالفاراد.

مثال (١):

احسب السعة الكهربائية لموصل كروي نصف قطره (نق) ومشحون بشحنة مقدارها (ـــ٧) وجهده يساوي (حـ)؟

الحل:

بالرجوع إلى العلاقة (١)

$$\text{س} = \frac{\text{ـــ٧}}{\text{جـ}}$$

$$\text{حـ} = \frac{١}{\varepsilon_{\cdot} \pi ٤} \times \frac{\text{ـــ٧}}{\text{نق}}$$

$$\text{س} = ٤ \pi \varepsilon_{\cdot} \times \text{نق} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

لاحظ أنّ سعة الموصل الكروي تعتمد على الأبعاد الهندسية للموصل أي (نق)، كما أنها تعتمد على الوسط الذي يوجد فيه الموصل.

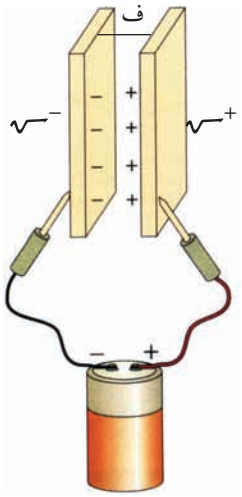
٤ ـ ٢ المواسع الكهربائي:

يستخدم المواسع الكهربائي لتخزين الشحنات الكهربائية لاستخدامها حين الحاجة إليها، ويوجد في أشكال متعددة، وبشكل عام يتكون من موصلين معزولين كهربائياً بينهما مادة عازلة، كما يمكن أن يتكون من موصل واحد فقط. لاحظ الشكل (١)، وأبسط صورة له يتكون من لوحين متوازيين يفصل بينهما مادة عازلة إما الهواء أو الورق أو الزجاج . . . ، ويرمز له بالرمز (⊣⊢)، ويدل على مواسع سعته ثابتة، أما إذا كانت سعته متغيره فيرمز له بالرمز (⊣↗⊢).

الشكل (١): مواسعات مختلفة

المواسع ذو الصفيحتين المتوازيتين:

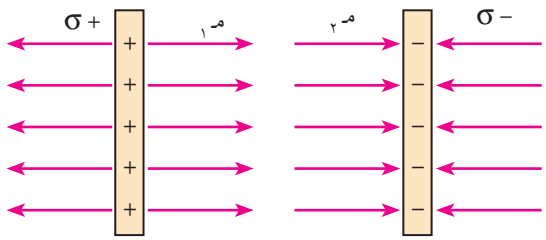
يمثل الشكل (٢) مواسعاً ذا صفيحتين فلزيتين متوازيتين مساحة كل منهما (أ) والبُعد بينهما ف، عند شحن المواسع تحمل كل صفيحة منهما شحنة مساوية في المقدار للأخرى وتعاكسها في النوع، وتكون كثافة الشحنة السطحية على الصفيحة الأولى (+σ)، وعلى الصفيحة الثانية (−σ).



الشكل (٢): المواسع ذو اللوحين المتوازيين

ولحساب سعة المواسع المبين في الشكل (٢)،
نستخدم العلاقة س = $\frac{\text{ـــ}}{\text{جـ}}$ ، وحيث أن جـ = مـ ف ،
فإننا نحتاج لحساب شدة المجال (مـ) في المنطقة الواقعة بين الصفيحتين.

لإيجاد المجال في المنطقة الواقعة بين الصفيحتين، نحسب المجال الناتج عن كل صفيحة على حدة، متجاهلين وجود الصفيحة الأخرى، ثم نجد محصلة المجالين معاً. لاحظ الشكل (٣).



الشكل (٣)

باستخدام قانون جاوس نجد أن المجال الناتج عن الصفيحة الموجبة (مـ١) يساوي المجال الناتج عن الصفيحة السالبة (مـ٢)، والمجالان يؤثران بنفس الاتجاه في النقطة (ب) (بين الصفيحتين) حيث :

$$\text{مـ}_{١} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{.} ٢}$$

$$\text{مـ}_{٢} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{.} ٢} \text{ باتجاه مـ}_{١}$$

المجال الكلي بين الصفيحيتين (مـ) = مـ١ + مـ٢

$$= \frac{\sigma}{\varepsilon_{.} ٢} + \frac{\sigma}{\varepsilon_{.} ٢} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{.}}$$ وباتجاه مـ١ ، أي من الصفيحة الموجبة إلى السالبة.

بما أن : جـ = مـ ف ، وبالتعويض بقيمة المجال الكهربائي :

$$\text{جـ} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{.}} \text{ ف ،} \qquad \text{وحيث أن} \qquad \sigma = \frac{\text{ش}}{\text{أ}}$$

فإن جـ = $\frac{\text{ش . ف}}{\varepsilon_{.} \text{ أ}}$ إذا كان الوسط بين الصفيحتين هو الفراغ أو الهواء .

إذاً تعطى سعة المواسع ذي اللوحين المتوازيين بالعلاقة :

$$\text{س} = \frac{\text{ش}}{\text{جـ}} = \frac{\text{ش}}{\frac{\text{ش . ف}}{\varepsilon_{.} \text{ أ}}} = \frac{\varepsilon_{.} \text{ أ}}{\text{ف}}$$

$$\text{س} = \frac{\varepsilon_{.} \text{ أ}}{\text{ف}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٣)$$

تلاحظ من هذه النتيجة أن سعة المواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين تعتمد على :

١ . مساحة الصفيحة الواحدة (أ) .

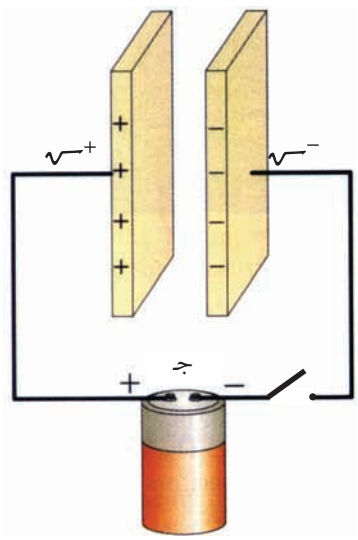
٢ . البعد بين الصفيحتين (ف) .

٣ . ثابت نفاذية الوسط ، الفراغ في هذه الحالة ($\varepsilon_{.}$)

ولا تتأثر سعة المواسع بزيادة ش أو نقصانها ، تماماً كسعة خزان الماء التي تبقى ثابته في المقدار سواء أكان خزان الماء فارغاً أم مملوءاً بالماء .

شحن المواسع:

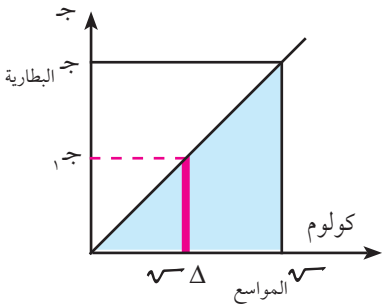
عند إغلاق المفتاح في الدارة شكل (٤) يبدأ التيار الكهربائي بالسريان ، حيث تنتقل الالكترونات من الصفيحة المتصلة بالقطب الموجب عبر البطارية إلى الصفيحة المتصلة بالقطب السالب فتصبح الأولى موجبة الشحنة والثانية سالبة الشحنة . وتستمر عملية الشحن حتى يتولد فرق جهد على المواسع يساوي ويعاكس فرق الجهد على البطارية ، عندها يتوقف تدفق الالكترونات ونقول بأن المواسع قد شحن .



الشكل (٤) : شحن المواسع

الطاقة المختزنة في المواسع:

عند بداية شحن المواسع يكون فرق الجهد بين طرفي المواسع يساوي صفراً، وتتم عملية شحن المواسع بوصل طرفيه ببطارية إذ يعمل فرق الجهد للبطارية على تحريك الإلكترونات من صفيحة المواسع المتصلة بالقطب الموجب ونقلها للقطب السالب، ويلزم بذل شغل مقداره يساوي الشحنة المنقولة مضروباً في فرق الجهد بين طرفي المواسع لاتمام عملية النقل هذه، ويخزن هذا الشغل في المواسع على شكل طاقة وضع كهربائية، وباستمرار عملية الشحن يزداد تراكم الشحنة على صفيحتي المواسع مما يؤدي لزيادة فرق الجهد بين طرفيه .



الشكل (٧): العلاقة بين شحنة المواسع وجهده

وتستمر عملية الشحن حتى يصبح فرق الجهد بين طرفي المواسع مساوياً لفرق الجهد بين طرفي البطارية، وعندئذ يكون المواسع قد شُحن أي تحمل كل صفيحة من الصفيحتين شحنة مساوية للأخرى في المقدار ومعاكسة لها في النوع، وبناءً على العلاقة (ش = س حـ) فإن العلاقة بين شحنة المواسع وجهده علاقة خطية، لاحظ الشكل (٧) .

إنّ المساحة المظللة في الشكل (٧) تمثل مساحة مثلث طول قاعدته شحنة المواسع وارتفاعه هو جهد المواسع، وهي عبارة عن الشغل المبذول في شحن المواسع .

$$\text{أي أنّ الشغل} = \frac{١}{٢} \text{ ش حـ}$$

وبما أنّ الشغل المبذول في شحن المواسع يخزن على شكل طاقة وضع كهربائية .

أي أنّ ش = ط$_و$

$$\text{ط}_\text{و} = \frac{١}{٢} \text{ ش حـ}$$

$$= \frac{١}{٢} \text{ س حـ}^{٢}$$

$$= \frac{١}{٢} \frac{\text{ش}^{٢}}{\text{س}}$$

حيث س : سعة المواسع، ش : شحنة المواسع، حـ: جهد المواسع .

مثال (٢):

مواسع سعته ٨ ميكروفاراد متصل مع مصدر لفرق الجهد مقداره (١٠٠ فولت)، فإذا علمت أنّ المسافة بين صفيحتيه ١ مم، والوسط العازل بينهما هو الهواء. فاحسب:

أ. الطاقة المختزنة فيه.

ب. شحنته العظمى.

جـ. المجال الكهربائي بين صفيحتيه.

أ. الطاقة المختزنة في المواسع

$$\text{ط} = \frac{١}{٢} \text{ س حـ}^{٢}$$

$$= \frac{١}{٢} \times ٨ \times ١٠^{-٦} \times (١٠٠)^{٢} = ٤ \times ١٠^{-٢} \text{ جول}.$$

ب. شحنة المواسع ـــ العظمى.

$$\text{ـــ} = \text{س حـ} = ٨ \times ١٠^{-٦} \times ١٠٠ = ٨ \times ١٠^{-٤} \text{ كولوم}$$

جـ. شدة المجال الكهربائي بين صفيحتيه

$$\text{مـ} = \frac{\text{جـ}}{\text{ف}} = \frac{١٠٠}{١ \times ١٠^{-٣}} = ١٠^{٥} \text{ فولت/ متر}$$

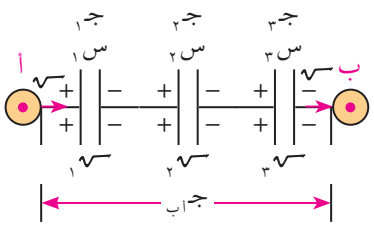
٣٤- توصيل المواسعات:

عند توصيل مجموعة من المواسعات في دارة كهربائية، فإنه يمكننا أن نستبدل هذه المجموعة بمواسع واحد يكافئ هذه المجموعة، أي له نفس سعة مجموعة المواسعات معاً.

هناك طريقتان أساسيتان لتوصيل المواسعات في الدارات الكهربائية هما التوصيل على التوالي (in series) والتوصيل على التوازي (in parallel).

أولاً- التوصيل على التوالي:

الشكل (٨) يمثل ثلاثة مواسعات س١، س٢، س٣، موصوله على التوالي مع بطارية فرق الجهد بين طرفيها يساوي (حـ) بمعنى آخر فرق الجهد بين النقطتين أ، ب يساوي (حـ)، وهذا التوصيل يجعل فرق الجهد بين طرفي المواسعات س١، س٢، س٣، يساوي حـ١، حـ٢، حـ٣، على الترتيب حيث حـ = حـ١ + حـ٢ + حـ٣



الشكل (٨): توصيل المواسعات على التوالي

وانطلاقاً من مبدأ حفظ الشحنة فإن مجموع الشحنات (الإلكترونات) المنقولة من البطارية يجب أن يساوي مجموع الشحنات (الإلكترونات) المنقولة إليها . أي أن جميع المواسعات الموصولة معاً على التوالي شحنت بشحنة متساوية أي أنّ :

$$ش = ش_١ = ش_٢ = ش_٣$$

وحيث أن $ح = \frac{ش}{س}$

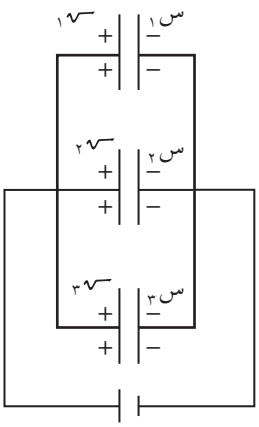
إذاً $\frac{ش}{س_م} = \frac{ش}{س_١} + \frac{ش}{س_٢} + \frac{ش}{س_٣}$

أي أنّ : $\frac{١}{س_م} = \frac{١}{س_١} + \frac{١}{س_٢} + \frac{١}{س_٣}$

وبشكل عام : $\frac{١}{س_م} = \frac{١}{س_١} + \frac{١}{س_٢} + \frac{١}{س_٣} + \ldots + \frac{١}{س_ن}$

حيث : ن عدد المواسعات .

$س_م$: السعة المكافئة للمواسعات معاً .



الشكل (٩) : توصيل المواسعات على التوازي

ثانياً- التوصيل على التوازي:

يمثل الشكل (٩) مجموعة مواسعات موصولة معاً على التوازي، حيث أن أطرافها موصولة مباشرة مع طرفي البطارية، أي أن فرق الجهد بينها متساوياً ويساوي فرق الجهد بين طرفي البطارية بينما تتوزع الشحنة الكهربائية (الإلكترونات) المنتقلة من القطب السالب إلى القطب الموجب على المواسعات الثلاثة حسب سعتها، أي أنّ :

$$ش = ش_١ + ش_٢ + ش_٣$$

وحيث أن $ش = س\ ح$

فإن $س_م\ ح = س_١\ ح_١ + س_٢\ ح_٢ + س_٣\ ح_٣$

وبما أن $ح = ح_١ = ح_٢ = ح_٣$

فإن $س_م = س_١ + س_٢ + س_٣$

وبشكل عام :

$$س_م = س_١ + س_٢ + \ldots + س_ن$$

حيث ن : عدد المواسعات

$س_م$: السعة المكافئة لمجموعة مواسعات موصولة معاً على التوازي .

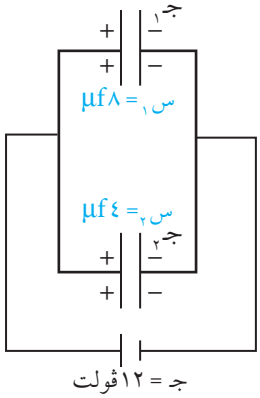
مثال (٣):

مواسعان سعتهما ٤ µf و ٨ µf، احسب :

١ . شحنة كل منهما عند التوصيل على التوازي مع بطارية ١٢ فولت .

٢ . جهد كل منهما عند التوصيل على التوالي مع بطارية ١٢ فولت .

الحل:



١ . المواسعات س١ ، س٢ موصولان على التوازي .

$س_م = س_1 + س_2$

$س_م = 8 + 4 = 12$ µf

بما أن س١ ، س٢ موصولان على التوازي، فإن :

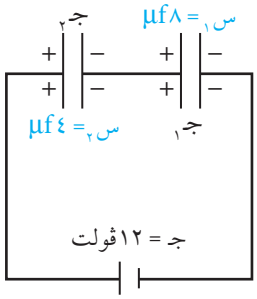
$حـ = حـ_1 = حـ_2 = 12$ فولت

شحنة المواسع الأول $ش_1 = س_1 حـ_1$

$= 8 \times 10^{-6} \times 12 = 96 \times 10^{-6}$ كولوم

شحنة المواسع الثاني $ش_2 = س_2 حـ_2$

$= 4 \times 10^{-6} \times 12 = 48 \times 10^{-6}$ كولوم



٢ . عند وصل المواسعان معاً على التوالي .

$$\frac{1}{س_م} = \frac{1}{س_1} + \frac{1}{س_2}$$

$$\frac{1}{س_م} = \frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{3}{8}$$

$$س_م = \frac{8}{3} \text{ µf}$$

أ . نحسب أولاً شحنة المواسع المكافئ $ش_م$

$ش_م = س_م حـ_م$

$= 12 \times \frac{8 \times 10^{-6}}{3} = 32 \times 10^{-6}$ كولوم

ب . بما أن س٢ ، س١ موصولان على التوالي فان شحنتيهما متساوية

أي : $ش_1 = ش_2 = ش_م = 32 \times 10^{-6}$ كولوم

$$حـ_1 = \frac{ش_1}{س_1} = \frac{32 \times 10^{-6}}{8 \times 10^{-6}} = 4 \text{ ثولت .}$$

$$حـ_2 = \frac{ش_2}{س_2} = \frac{32 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}} = 8 \text{ ثولت .}$$

اسئلة الفصل

س١ مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، المسافة بينهما (ف) ومساحة كل صفيحة (أ) ويفصل الهواء بين الصفيحتين، ماذا يحدث لسعته في الحالات الآتية:

أ. انقاص المسافة (ف).
ب. مضاعفة مساحة كل صفيحة بحيث تصبح (٢أ).
جـ. مضاعفة فرق الجهد بين الصفيحتين.

س٢ شحن مواسع باستخدام بطارية، ثم فصلت البطارية، ثم أنقصت المسافة بين صفيحتي المواسع، أشرح ماذا يحدث لكل من:

أ. شحنة المواسع.
ب. سعة المواسع.
جـ. فرق الجهد بين لوحي المواسع.
د. المجال الكهربائي بين لوحي المواسع.
هـ. الطاقة المخزونة في المواسع.

س٣ احسب الطاقة المخزونة في مواسع سعته ٤×١٠^{-٦} فارد وفرق الجهد بين لوحيه ١٢٠٠ ڤولت.

س٤ أثبت أن السعة المكافئة لمواسعين موصولين معاً على التوالي أقل من سعة أصغرهما.

س٥ وصل مواسع سعته ١ ميكروفاراد على التوالي مع مواسع آخر سعته ٢ ميكروفاراد، ثم وصلت المجموعة إلى مصدر فرق جهد مقداره ١٠٠ ڤولت:

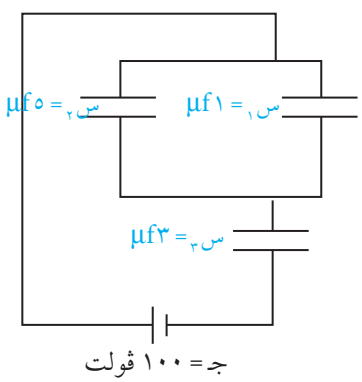
أ. احسب الشحنة وفرق الجهد على كل مواسع.
ب. إذا فصل المواسعان أحدهما عن الآخر وعن المصدر، ثم أعيد توصيلهما على التوازي بحيث يتصل اللوحان الموجبان معاً والسالبان معاً، فاحسب الشحنة والطاقة لكل منهما.

س٦ أ. ماذا يحدث للشحنة على لوحي مواسع إذا زاد فرق الجهد بينهما إلى الضعف؟
ب. ما فائدة توصيل المواسعات على التوالي وعلى التوازي؟

س٧ أ. استنتج العلاقة الرياضية التي تعطي طاقة المواسع ذي اللوحين المتوازيين بدلالة سعته وفرق الجهد بين صفيحتيه.

ب. شحن مواسع سعته ٢،٥ ميكروفاراد حتى أصبح جهده ١٠٠ ڤولت، ثم فصل عن المصدر الكهربائي، ووصلت صفيحتيه بصفيحتي مواسع آخر غير مشحون سعته ١٠ ميكروفاراد، احسب:

١. فرق الجهد بين طرفي المجموعة.
٢. الطاقة الكلية المخزونة في المجموعة.
٣. قارن بين: الطاقة الكلية للمواسعين وطاقة المواسع الأول قبل توصيله بالمواسع الثاني.



س٨ من الشكل المجاور احسب كل مما يأتي:

أ. السعة المكافئة للمجموعة.
ب. الشحنة وفرق الجهد والطاقة المختزنة لكل مواسع.

س١ ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة :

١ . ما العامل الذي لا يعتمد عليه مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين نقطتين .

أ . نوع كل من الشحنيتن ب . مقدار كل من الشحنتين

جـ . نوع الوسط الفاصل بين الشحنتين . د . المسافة بين الشحنتين .

٢ . في الشكل المجاور إذا كانت القوة المؤثرة على الشحنة (ـــ١) تساوي (ق) نيوتن باتجاه الغرب فإن القوة المؤثرة على (ـــ٢) تساوي بالنيوتن .

أ . ٣ق غرباً ب . ٣ق شرقاً

جـ . ق غرباً د . ق شرقاً .

٣ . إذا كان مقدار المجال الكهربائي في النقطة (أ) يساوي ١٦ نيوتن/ كولوم فإن مقدار المجال في نقطة تبعد (٢ف) عن الشحنة يساوي :

أ . ٤ نيوتن/ كولوم ب . ٩ نيوتن/ كولوم

جـ . ١٦ نيوتن/ كولوم د . ١٢ نيوتن/ كولوم .

٤ . يتحرك بروتون باتجاه محور السينات الموجب ، فإذا دخل مجالاً كهربائياً باتجاه محور السينات الموجب ، إن سرعة البروتون :

أ . تتناقص ب . تتزايد جـ . تبقى ثابتة د . تتغير بعشوائية .

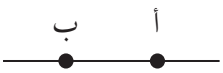
٥ . وضعت شحنة داخل موصل كروي فكان التدفق عبر سطح هذه الكرة $\Phi = ٦ \times ١٠^{٥}$ نيوتن م^{٢}/ كولوم ، وإذا وضعت تلك الشحنة داخل مكعب طول ضلعه ١٠ سم ، فإن مقدار التدفق عبر المكعب بوحدة (نيوتن م^{٢}/ كولوم) تساوي :

أ . ١×١٠^{٥} ب . $٣,١٤ \times ١٠^{٥}$ جـ . ٦×١٠^{٥} د . ٣×١٠^{٥}

٦ . وضعت شحنة مقدارها ـــ في مركز مكعب فكم يكون التدفق عبر أحد أوجه المكعب .

أ . $\frac{ـــ}{٤}$ ب . $\frac{ـــ}{٦ ,٤}$ جـ . $\frac{ـــ}{٣ ,٤}$ د . $\frac{ـــ}{٤ ,٤}$

٧ . في الشكل التالي إذا كان جهد النقطة أ = ٥ ڤولت ، وجهد النقطة ب = ٧ ڤولت ، فإن اتجاه المجال الكهربائي يكون من :



أ . من أ إلى ب ب . من ب إلى أ

جـ . عمودي على الخط الواصل بين أ و ب وباتجاه الأعلى .

د . عمودي على الخط الواصل بين أ و ب وباتجاه الأسفل .

٨. الشكل في السؤال السابق، عند انتقال شحنة سالبة من (أ) إلى (ب) فإن :

أ. طاقة وضعها تقل　　ب. طاقة وضعها تزداد

جـ. الشغل المبذول موجب　　د. طاقة وضعها تبقى ثابتة

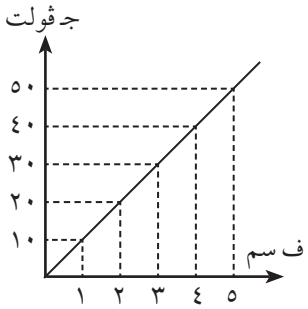
٩. إذا كان الشغل اللازم لنقل شحنة من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) في مجال كهربائي يساوي ٢×١٠^{-٤} جول فإن التغير في طاقة وضع الشحنة عند انتقالها من (ب) إلى (أ) يساوي بوحدة (جول) .

أ. -٢×١٠^{-٤}　　ب. ٢×١٠^{-٤}　　جـ. صفر　　د. ٤×١٠^{-٣}

١٠. المجال الكهربائي على بُعد ٢ ملم من صفيحة رقيقة لا نهائية مشحونة كثافة الشحنة السطحية لها (σ) كولوم/ م^{٢} يساوي .

أ. $\frac{\sigma}{\varepsilon_{.}}$　　ب. $\frac{\sigma}{\varepsilon_{.} ف}$　　جـ. $\frac{\sigma}{\varepsilon_{.} أ}$　　د. $\frac{\sigma}{\varepsilon_{.} ٢}$

س٢ أ ، ب نقطتان بين صفيحتين تقعان على أحد خطوط المجال الكهربائي يتغير فرق الجهد بينهما بتغير المسافة حسب الرسم البياني الآتي، وذلك في مجال كهربائي منتظم ناشىء عن صفيحتين معدنيتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين مختلفتين في النوع ومتساويتين في المقدار والبعد بينهما ٥ سم .



إحسب : أ. المجال الكهربائي المنتظم .

ب. القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة مقدارها ٢ ميكروكولوم عند وضعها في المجال .

جـ. الشغل المبذول في نقل شحنة مقدارها -٢ ميكروكولوم من النقطة ب إلى النقطة أ باتجاه المجال .

س٣ أ. اذكر العوامل التي تعتمد عليها سعة المواسع ذي اللوحين المتوازيين .

ب. لإيجاد سعة مواسع كهربائي، أحضر طالب مواسعاً آخر سعته ٤ ميكروفاراد وشحنه من مصدر يعطي ٦٠ ڤولتاً . ثم وصل طرفي المواسعين معاً، وقاس فرق الجهد بين الطرفين فكان ١٥ ڤولت، أحسب سعة المواسع المجهول .

س٤ وضع جسيم صغير شحنته -٥×١٠^{-٩} كولوم في مجال كهربائي منتظم فأثر عليه المجال بقوة مقدارها ٢٠×١٠^{-٩} نيوتن لأسفل . أوجد :

١. شدة المجال الكهربائي واتجاهه .

٢. تسارع الجسيم إذا كانت كتلته ٢×١٠^{-٢٧} كغم (مهملا تأثير الجاذبية الأرضية) .

س٥ لوحان معدنيان متوازيان المسافة العمودية بينهما ٢سم ومشحونان بشحنتين مختلفتين . إذا كانت شدة المجال الكهربائي بينهما منتظمة وأطلق إلكترون من السكون من اللوح السالب فتحرك حتى اصطدم باللوح الموجب خلال زمن قدره ١ × ١٠$^{-٨}$ ثانية فأوجد :

أ. شدة المجال الكهربائي بين اللوحين .

ب. سرعة الإلكترون لحظة اصطدامه باللوح الموجب ، علماً بأن ك$_{e}$ = ١١ , ٩ × ١٠$^{-٣١}$كغم .

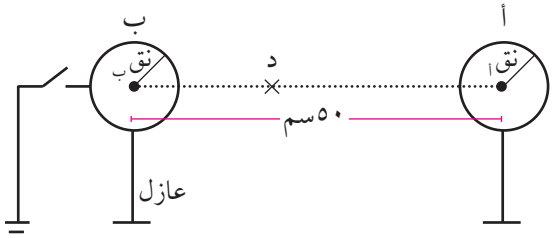
س٦ في الشكل المجاور : الموصل (أ) يحمل شحنةمقدارها ٤ × ١٠$^{-٦}$ كولوم والموصل (ب) يحمل شحنة مقدارها ٢ × ١٠$^{-٦}$ كولوم موزعة على سطحه بانتظام حيث نق$_{أ}$=نق$_{ب}$ = ١سم أوجد :

أ. الجهد الكهربائي على سطح الكرة (أ) والمفتاح مفتوح .

ب. بعد إغلاق المفتاح أوجد :

١. الشحنة التي تظهر على سطح الكرة (ب) .

٢. شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) التي تبعد ٢٠سم عن مركز الكره (ب) .



س٧ في الشكل المجاور : س$_{١}$ = ١٠ ميكروفاراد ، س$_{٢}$ = ١٠ ميكروفاراد ، س$_{٣}$ = ٥ ميكروفاراد .

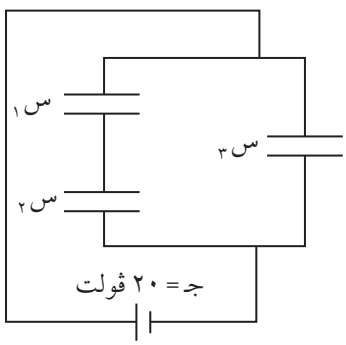
احسب :

أ. السعة المكافئة للمواسعات الثلاثة .

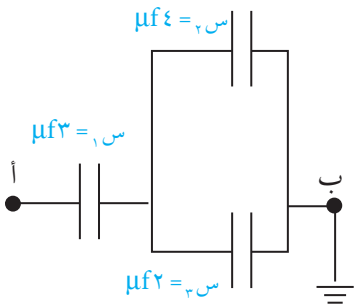
ب. الشحنة على كل مواسع .

جـ. فرق الجهد بين طرفي كل مواسع .

د. الطاقة المخزونة في كل مواسع .



س٨ احسب السعة المكافئة لمجموعة المواسعات في الشكل المجاور ، وإذا كان جهد النقطة أ = ١٢٠٠ ڤولت ، وجهد النقطة ب = صفراً ، فجد مقدار شحنة كل مواسع .



الوحدة

٥

الالكترونيات الفيزيائية

اول ترانزستور تم صناعته

١ أشباه الموصلات

أحدث استخدام المواد شبه الموصلة ثورة في عالم الالكترونيات والتكنولوجيا التي تعتمد عليها، حيث استخدمت هذه المواد في تصنيع العناصر الأساسية في الدارات الالكترونية كالثنائيات والترانزستورات والتي حلت محل الصمامات المفرغة وتفوقت عليها في كثير من الخصائص العملية، وفيما بعد أصبحت هذه المواد هي الأساس لتصنيع الدارات المتكاملة والمعالجات الميكروية (Microprocessors) والخلايا الشمسية وغيرها .

عناصر الكترونية قديمة وحديثة

ما المواد شبه الموصلة ؟ وما الخصائص الفيزيائية لها ؟ وما الفرق بينها وبين المواد الصلبة الأخرى ؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الاجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادرا على أن :

- تقارن بين المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة من حيث : مقاومتها النوعية – تأثير درجة الحرارة على مقاومتها للتيار الكهربائي – عدد الالكترونات الحرة في كل منها .
- تقارن بين كل من حزمتي التكافؤ والتوصيل وفجوة الطاقة في المواد العازلة وشبه الموصلة والموصلة .
- توضح المقصود بكل من المفاهيم الآتية : حزمة التكافؤ– حزمة التوصيل – فجوة الطاقة– طبقة النفاد– الانتشار– حاجز الجهد .
- توضح المقصود بأزواج (الثقوب– الالكترونات) في المادة شبه الموصلة .
- تشرح مفهوم عملية التطعيم وأثره على مقاومة المادة شبه الموصلة .
- تقارن بين المادة شبه الموصلة غير النقية من النوع الموجب والمادة شبه الموصلة غير النقية من النوع السالب من حيث : نوع الشوائب المستخدمة – الحاملات الأكثرية والأقلية للشحنة في كل منهما .
- تشرح التركيب الفيزيائي للوصلة الثنائية م– س .
- تشرح الفرق بين عملية الانحياز الامامي والانحياز العكسي للوصلة الثنائية .

١ - ١ الخواص الكهربائية للمواد الصلبة

يمكن تقسيم المواد الصلبة من حيث خواصها الكهربائية إلى ثلاثة أقسام :

١ . مواد جيدة التوصيل للتيار الكهربائي (Conductors) : مثل النحاس والألومنيوم والفلزات الأخرى .

٢ . مواد عازلة أو رديئة التوصيل للتيار الكهربائي (Insulators) : مثل المطاط والزجاج والميكا .

٣ . مواد شبه موصلة (Semiconductors) : مثل السليكون والجرمانيوم والكربون والسلينيوم والغاليوم وسلفيد الرصاص .

وتتميز المواد شبه الموصلة عن غيرها من المواد الأخرى بما يلي :

١ . مقاومتها النوعية أكبر بكثير من المقاومة النوعية للمواد الموصلة وأقل بكثير من المقاومة النوعية للمواد العازلة .

٢ . مقاومتها تقل مع ارتفاع درجة الحرارة على عكس المواد الموصلة التي تزداد مقاومتها مع ارتفاع درجة الحرارة .

٣ . عدد الالكترونات الحرة في المواد شبه الموصلة أقل منها في المواد الموصلة وأكثر منها في المواد العازلة .

والجدول التالي يبين المقاومة النوعية والمعامل الحراري لمجموعة من المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة :

نوع المادة	اسم المادة	المقاومة النوعية (أوم متر)	المعامل الحراري/ سْ
مواد موصلة	الفضة	$١,٥٩ \times ١٠^{-٨}$	٠,٠٠٦١
	النحاس	$١,٦٨ \times ١٠^{-٨}$	٠,٠٠٦٨
	الألومنيوم	$٢,٦٥ \times ١٠^{-٨}$	٠,٠٠٤٢٩
	التنجستون	$٥,٦ \times ١٠^{-٨}$	٠,٠٠٤٥
مواد شبه موصلة	الكربون (الجرافيت)	$(٣ - ٦٠) \times ١٠^{-٥}$	-٠,٠٠٠٥
	الجرمانيوم	$(١ - ٥٠٠) \times ١٠^{-٣}$	-٠,٠٥
	السليكون	٠,١ - ٦٠	-٠,٠٧
مواد عازلة	الزجاج	$(١ - ١٠٠٠) \times ١٠^{٩}$	...
	الكوارتز	$٧,٥ \times ١٠^{١٧}$	
	المطاط القاسي	$(١ - ١٠٠) \times ١٠^{١٣}$	...

جدول رقم (١) : المقاومة النوعية والمعامل الحراري لبعض المواد عند ٢٠ سْ

المقاومة $= \rho \frac{ل}{أ}$

حيث :

ل = طول الموصل

أ = مساحة مقطعه

ρ = المقاومة النوعية

■ المعامل الحراري : مقدار الزيادة أو النقص في المقاومة لكل درجة سلسيوس .

■ المقاومة ذات المعامل الحراري الموجب تزداد مقاومتها مع زيادة درجة الحرارة، بينما ذات المعامل الحراري السالب تقل مقاومتها مع زيادة درجة الحرارة .

١ - ٢ نظرية أحزمة الطاقة Band Theory of solids

هل تعلم:
فيزياء الحالة الصلبة هو ذلك الفرع من الفيزياء الذي يدرس المواد الصلبة والتي تنتظم الذرات فيها بنمطية متناظرة ثابتة تكرر نفسها عبر الجسم الصلب، وتدعى مثل هذه المجموعة البلورة.

يمكن تفسير الفروق الفيزيائية بين المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة حسب نظرية أحزمة الطاقة في المواد الصلبة حيث تشكل هذه النظرية الأساس لفهم ظواهر التوصيل الحراري والكهربائي في المواد الصلبة .

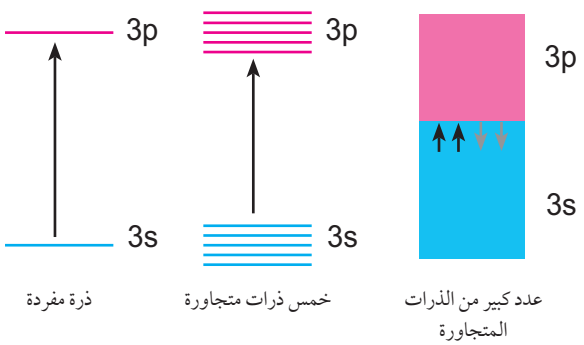
من المعروف أن كل ذرة تحتوي على عدد من الالكترونات السالبة الشحنة، وتتوزع هذه الالكترونات حول أنوية الذرات في مدارات رئيسة ، وكل مدار من هذه المدارات يتسع لعدد محدد من الالكترونات، فالمدار الأول يتسع لالكترونين والثاني ٨ الكترونات والثالث ١٨ الكترون حسب القانون :

$$ع = ٢ ن^{٢}$$

حيث (ع) : عدد الالكترونات في المدار و (ن) : يمثل رقم المدار الرئيسي

ويحتوي كل مدار رئيسي على مستويات فرعية للطاقة تعطى الرموز f,d,p,s ، وكل مستوى من هذه المستويات الفرعية يتسع لأعداد محددة من الالكترونات، فالمستوى s يتسع ٢ الكترون، و p يتسع ٦ الكترونات و d يتسع ١٠ الكترونات و f يتسع ١٤ الكتروناً، ويكون للالكترون في كل من هذه المستويات طاقة محددة ، ويمكن للالكترونات فقط الانتقال بين مستويات الطاقة المحددة هذه ولا يمكنها أن توجد بين هذه المستويات، ويمكن تشبيه ذلك بدرجات السلم، فعند الصعود أو الهبوط يمكن الاستراحة على كل درجة ولكن ليس بين الدرجات .

وعندما تكون الذرات المنفردة بعيدة عن بعضها البعض تمتلك كل واحدة منها مستويات طاقة متشابهة، وإذا أصبحت ذرتان قريبتين من بعضهما بعضاً فإن الالكترونات تتأثر في كل ذرة بالقوى الكهربائية للذرة المجاورة، وعندها لا نستطيع أن نعتبر أن الالكترون تابع لإحدى الذرتين فقط، وتصبح مستويات الطاقة للذرتين المتداخلتين مستويات مشتركة بفوارق ضئيلة بينها، حيث تشترك الذرتان بالالكترون المتواجد في أي مستوى طاقة فيهما، وعندما يوجد عدد أكبر من الذرات المتقاربة يصبح لدينا أعدادا متزايدة من مستويات الطاقة المتداخلة والقريبة من بعضها البعض (٣ ذرات : ٣ مستويات، ٤ ذرات : ٤ مستويات . . . وهكذا) .

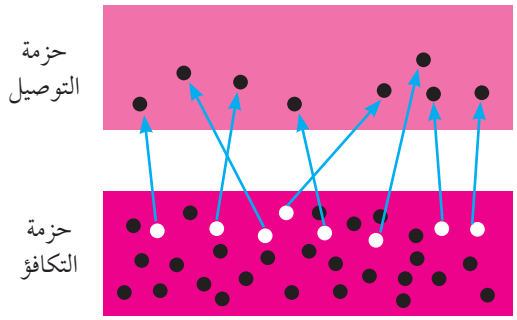


الشكل (١) : تكون أحزمة الطاقة في المواد الصلبة

وتوصف هذه المستويات المتقاربة من الطاقة بحزم الطاقة Energy Bands، وتمتد الطاقة المسموحة عبر الحزمة الواحدة من أسفلها وحتى أعلاها ويبين الشكل (١) مستويات الطاقة للإلكترونات عندما تقترب من بعضها بعضاً، ويكون بين هذه الحزم فجوات لا يمكن أن تتواجد فيها الالكترونات تسمى **فجوات الطاقة**

(Energy gaps)، ويعتمد اتساع حزم الطاقة والفجوات بينها على الترتيب الالكتروني للمادة والتركيب البلوري لها، ويترتب على ذلك الاختلاف في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة.

تسمى أعلى حزمة للطاقة في المادة بحزمة التوصيل (Conducting Band)، وحزمة الطاقة الأقل منها بحزمة التكافؤ (Valance Band)، وعند امتصاص المادة لبعض الطاقة على شكل حرارة أو ضوء أو طاقة كهربائية تنتقل الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل، حيث تتحرك بحرية من ذرة إلى أخرى، وعندها تصبح المادة موصلة للتيار الكهربائي كما في الشكل (٢).



الشكل (٢): انتقال الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل

وفيما يلي مقارنة لحزم وفجوات الطاقة في كل من المواد العازلة وشبه الموصلة والموصلة:

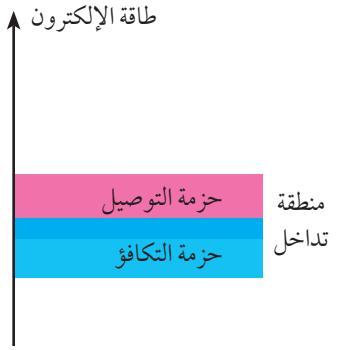
- **في المواد العازلة** تكون حزمة التكافؤ ممتلئة بالالكترونات وحزمة التوصيل فارغة، وتكون فجوة الطاقة بين الحزمتين كبيرة جدا كما في الشكل (٣)، ويحتاج الالكترون لطاقة كبيرة لينتقل بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل، ويمكن إبطال العزل (انهيار العزل) بين حزمتي التوصيل والتكافؤ في المواد العازلة باستخدام درجات حرارة عالية جداً أو مجالات كهربائية كبيرة جداً، حيث تصبح المادة أكثر توصيلا للكهرباء ويكون لها معامل حرارة سالب للمقاومة.

الشكل (٣): أحزمة الطاقة في المادة العازلة

- **أما في المواد شبه الموصلة** فتكون حزمة التكافؤ ممتلئة وحزمة التوصيل فارغة عند درجات حرارة منخفضة، ولكن تكون فجوة الطاقة بين الحزمتين صغيرة جداً، بحيث تتمكن الالكترونات من القفز إلى حزمة التوصيل باضافة طاقة حرارية كما في الشكل (٤)، أي يكفي تسخين المادة لتصبح هذه المادة موصلة للكهرباء، وتزداد موصلية هذه المواد بقدر ما يتحرر من الكترونات ولذلك فإن مقاومتها الكهربائية تقل بازدياد درجة الحرارة (مقاومة ذات معامل حراري سالب).

الشكل (٤): أحزمة الطاقة في المادة شبه الموصلة

- **وفي المواد الموصلة** تكون حزمة التكافؤ ممتلئة بالالكترونات وحزمة التوصيل ممتلئة جزئياً وإضافة كمية قليلة من الطاقة سوف تسمح للالكترونات بالحركة ضمن حزمة التوصيل، وفي هذه المواد يمكن أن تتداخل حزمتي التوصيل والتكافؤ كما في الشكل (٥).



الشكل (٥): أحزمة الطاقة في المادة الموصلة

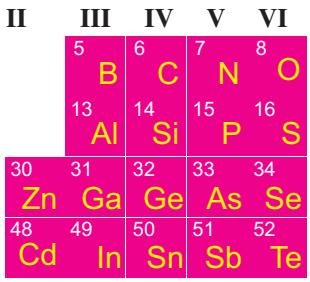
والجدول التالي يبين مقدار فجوة الطاقة لكل من الجرمانيوم والسيلكون وكلاهما من المواد شبه الموصلة على درجات حرارة مختلفة، ونلاحظ نقصان فجوة الطاقة بازدياد درجة الحرارة .

المادة	فجوة الطاقة (eV)		
	صفر° كلفن (= – ٢٧٣°س)	٢٧٣° كلفن (= صفر °س)	٣٠٠° كلفن (= ٢٧°س)
Si	١,١٧	١,١٤	١,١١
Ge	٠,٧٤	٠,٦٧	٠,٦٦

جدول رقم (٢): فجوة الطاقة على درجات حرارة مختلفة

١ - ٣ المواد شبه الموصلة النقية (Intrinsic Semiconductor)

يعتبر الجرمانيوم والسليكون أكثر المواد شبه الموصلة استخداما في تصنيع العناصر الالكترونية كالثنائيات (الدايودات) والترانزستورات والدارات المتكاملة، وحسب نظرية أحزمة الطاقة يتميز هذان العنصران بأن حزمة التكافؤ في كل منهما تكون مملوءة تماما وحزمة التوصيل فارغة، ولكن فجوة الطاقة بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ تكون صغيرة جدا، كما في الجدول (٢).

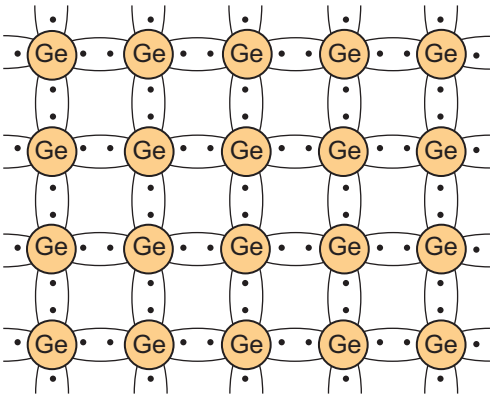


الشكل (٦) موقع العناصر شبه الموصلة في الجدول الدوري

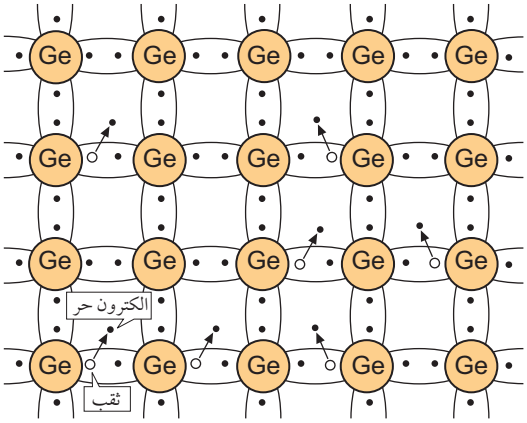
وفي درجات الحرارة المنخفضة، فإن الإثارة الحرارية لالكترونات التكافؤ تكون غير كافية لانتقالها لحزمة التوصيل، ولذلك تتصرف هذه المواد كمواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة، ومن المعروف أن كلا من عنصري السيلكون والجرمانيوم رباعي التكافؤ، أي أنه يوجد في المدار الالكتروني الرئيسي الأخير ٤ الكترونات، ويقع هذان العنصران ضمن عناصر المجموعة الرابعة من الجدول الدوري (العمود الرابع) كما في الشكل (٦).

وكل ذرة في البلورة ترتبط مع أربع ذرات مجاورة لها بروابط تشاركية بواسطة هذه الالكترونات كما هو موضح في الشكل (٧)، ويسمى هذا التركيب بالتركيب الماسي لأنه يشبه تركيب بلورة الماس ($_6C$) . وعند درجة حرارة صفر كلفن (– ٢٧٣ °س) تكون جميع الكترونات التكافؤ مرتبطة بشكل كامل مع أنويتها ولكن في درجة حرارة

الغرفة العادية فإن الطاقة الحرارية للإلكترونات تصبح أكثر من طاقة الربط مع الأنوية وعندئذ تكسر الرابطة



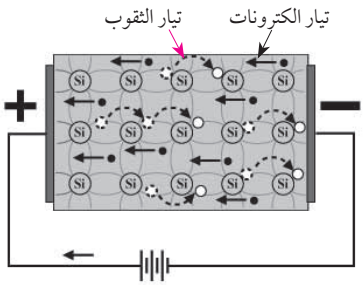
الشكل (7): الترتيب البلوري للجرمانيوم في درجة صفر كلفن



الشكل (8): الترتيب البلوري للجرمانيوم في درجة حرارة الغرفة العادية

التساهمية، ويمكن لالكترون معين أن يترك ذرته الأصلية ويتجول بشكل حر، ويصبح لدى الذرة الأصلية التي غادرها الالكترون فراغ يطلق عليه اسم ثقب (Hole)، وتصبح هذه الذرة مشحونة بشحنة كلية موجبة وعندها يمكن أن ينجذب اليها الكترون من ذرة أخرى مجاورة، وبالتالي يبدو الثقب وكأنه قد تحرك الى ذرة أخرى كما في الشكل (٨) .

وتكون حركة الثقوب في المادة شبه الموصلة حركة عشوائية وتكون كلا من الالكترونات والثقوب حاملات للشحنة، ولكن إذا وصلت هذه المادة بمصدر لفرق الجهد كبطارية مثلا كما في الشكل (٩) تتحرك الكترونات التكافؤ في اتجاه واحد معاكس لاتجاه المجال وتتحرك الثقوب باتجاه المجال كأنها حاملات تحمل شحنة موجبة .



الشكل (٩) تيار الاكترونات والثقوب في المادة شبه الموصلة

١ - ٤ المواد شبه الموصلة غير النقية (Extrinsic semiconductors)

من المعروف أنه لا يوجد مادة نقية تماما في الطبيعة، ولكن هل يغير إضافة الشوائب الى مادة معينة من خصائصها الفيزيائية ؟ لعل ردك سيكون بالايجاب بناء على ما تعلمته سابقا حول أثر إضافة الملح مثلا على درجة غليان الماء، ولكن هنا سوف ندرس مثالا آخر وهو أثر اضافة شوائب معينة على بعض الخصائص الفيزيائية للمواد شبه الموصلة مثل خاصية توصيل هذه المواد للكهرباء. فعندما تضاف كمية صغيرة من المواد الشائبة إلى المادة شبه الموصلة بحيث تستبدل ذرة واحدة من المادة شبه الموصلة بذرة من المادة الشائبة، ويكون عدد ذرات الشوائب أقل بكثير من ذرات المادة شبه الموصلة (بمعدل ذرة واحدة في كل ١٠٠ مليون ذرة (10^8) تقريبا، ينتج عن ذلك زيادة موصلية المادة شبه الموصلة، فعلى سبيل المثال فإن إضافة ذرة واحدة من المادة

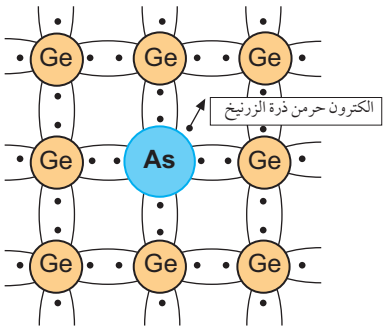
الشائبة في مئة مليون ذرة سوف تزيد موصلية الجرمانيوم بمعدل ١٢ مرة عند درجة ٣٠٠° كلفن، وتسمى عملية اضافة الشوائب للمادة شبه الموصلة بالتطعيم (doping)، ولكن كيف تؤثر عملية التطعيم بالمواد الشائبة على الخصائص الكهربائية للمادة شبه الموصلة ؟

إن هذا التأثير يعتمد على نوع المادة الشائبة المستخدمة، وهناك نوعان من المواد الشائبة المستخدمة في ذلك، ويترتب على ذلك انتاج نوعين من المواد شبه الموصلة غير النقية هما :

النوع السالب- س (n-Type) : ويستخدم في هذا النوع شوائب خماسية التكافؤ (تقع في المجموعة الخامسة من الجدول الدوري) مثل الانتمون (Sb) والزرنيخ (As) والفسفور (P) .

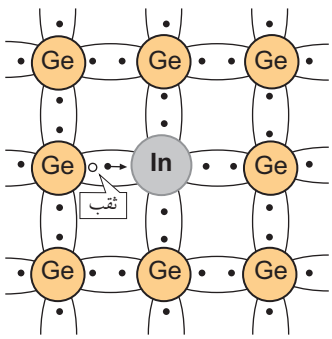
النوع الموجب- م (p-Type) : ويستخدم في هذا النوع شوائب ثلاثية التكافؤ (تقع في المجموعة الثالثة من الجدول الدوري) مثل الانديوم (In) والالومنيوم(Al) والجاليوم(Ga) .

والشكل (١٠) يبين بلورة من الجرمانيوم تم تطعيمها بكمية قليلة من ذرات الزرنيخ (As) التي تحتوي على ٥ الكترونات تكافؤ، حيث تشترك ذرة الزرنيخ بأربع الكترونات من الكترونات التكافؤ الموجودة فيها مع اربع ذرات مجاورة من الجرمانيوم، ويبقى الكترون إضافي حر الحركة، ويصبح غير مرتبط بذرته الأصلية ويتجول بحرية، كما تستمر عملية انتاج أزواج الالكترونات- الثقوب بفعل الاستثارة الحرارية، ولكن يصبح عدد الالكترونات الحرة في البلورة أكثر من الثقوب، وتسمى البلورة في هذه الحالة مادة شبه موصلة من النوع السالب، حيث تمنح كل ذرة شائبة الكترون حر للبلورة ولذلك تسمى هذه الذرات بالذرات المانحة (Donors) .



الشكل (10) : بلورة من الجرمانيوم تم تطعيمها بذرات من الزرنيخ

و الشكل (11) يظهر بلورة جرمانيوم تم تطعيمها بذرة ثلاثية التكافؤ مثل الانديوم (In) حيث تميل كل ذرة من الانديوم لتشكيل روابط تساهمية مع الذرات الأربع المجاورة لها في البلورة، وبما أنها لا تحتوي إلا ثلاث الكترونات تستطيع المشاركة بها ينشأ ثقب واحد في البلورة عن كل ذرة شائبة من هذا النوع، ويستطيع هذا الثقب أن يتجول في البلورة مثل الثقوب الناتجة عن الاستثارة الحرارية، وفي هذه الحالة يكون عدد الثقوب أكثر من الالكترونات وتسمى المادة مادة شبه موصلة غير نقية من النوع الموجب، وتسمى الذرات الشائبة بالمستقبلات (Acceptors) .



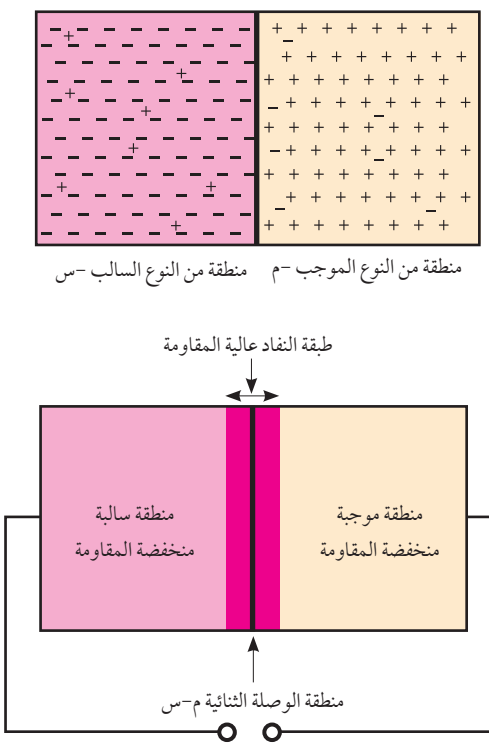
الشكل (11) : بلورة من الجرمانيوم تم تطعيمها بذرات من الانديوم

ومن الجدير بالذكر أن البلورة شبه الموصلة غير النقية من النوع السالب أو الموجب تكون بشكل عام متعادلة

كهربائيا، لأن كل ذرة من الشوائب هي نفسها متعادلة كهربائيا ولكن يكون لديها القابلية لنقل التيار الكهربائي بتأثير أي مجال كهربائي خارجي، حيث ينشأ تيار اندفاعي (drift current) في المادة شبه الموصلة من أحد طرفيها وخارجا من الطرف الآخر، وحيث أن الشحنات الموجبة تكون فعليا ثابتة في البلورة، ولا تتحرك فإن الالكترونات هي التي تشكل التيار الاندفاعي في البلورة، ويحدث النقل في نوعي المواد شبه الموصلة غير النقية من حركة كل من الثقوب والالكترونات، وتسمى الجسيمات التي تساهم بصورة أكبر في النقل الحاملات الأكثرية (majority carriers) والأخرى الحاملات الأقلية (minority carriers)، ففي المادة من النوع الموجب- م تكون الحاملات الأكثرية هي الثقوب والأقلية هي الالكترونات، أما في المادة من النوع السالب – س فالحاملات الأكثرية هي الالكترونات والأقلية هي الثقوب.

١ - ٥ الوصلة الثنائية م- س (p-n Junction)

إذا تم تطعيم بلورة من مادة شبه موصلة نقية بذرات مانحة على أحد طرفيها وذرات مستقبلة على الطرف الآخر للبلورة ينشأ لدينا بلورة فيها منطقتان إحداهما من النوع السالب-س والأخرى من النوع الموجب – م، وينشأ منطقة مشتركة بينهما تسمى الوصلة الثنائية، حيث يؤدي التركيز العالي للثقوب الحرة في أحد الطرفين والالكترونات الحرة في الطرف الآخر من الوصلة الثنائية إلى انتشار الالكترونات من المادة شبه الموصلة السالبة إلى المادة شبه الموصلة الموجبة لتتحد مع الثقوب الموجودة فيه، وبنفس الطريقة تنتشر الثقوب من الطرف الموجب الى الطرف السالب لتتحد مع الالكترونات الموجودة فيه إن عملية انتقال حاملات الشحنة من الثقوب والالكترونات عبر الوصلة الثنائية تسمى الانتشار (Diffusion)، وينشأ عنها تيار عابر لفترة قصيرة يسمى تيار الانتشار (Diffusion current)، رغم أن كلا الطرفين كان أصلا متعادلا كهربائيا رغم احتوائهما على تركيز من حاملات الشحنة الحرة سواء السالبة (الالكترونات) او الموجبة (الثقوب)، وبعد عملية الانتشار يصبح الطرف السالب محتويا على فائض من الشحنة الموجبة والطرف الموجب يصبح محتويا على فائض من الشحنة السالبة، وينشأ عن ذلك مجال كهربائي داخلي يتجه من الطرف من النوع – س الى الطرف من النوع الموجب – م، وتسمى المنطقة الفاصلة بين الشحنات الموجبة والسالبة بطبقة النفاد (Depletion Layer)، وهي



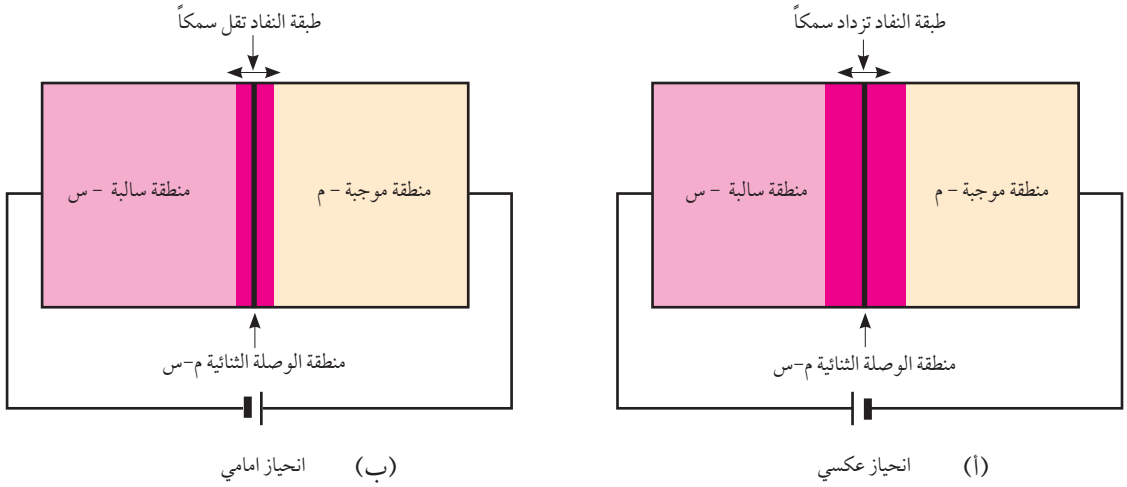
الشكل (12): تكون الوصلة الثنائية وطبقة النفاد فيها

منطقة رقيقة جدا يبلغ سمكها حوالي $١٠^{-٤}$مايكروميتر كما في الشكل (١٢)، ويسمى فرق الجهد بين طرفي طبقة النفاد بحاجز الجهد (Potential barrier) ويصل إلى بضعة أعشار من الفولت، ويمنع هذا الجهد مزيدا من الانتشار خلال الوصلة الثنائية حيث تمنع الثقوب الموجبة الفائضة على المنطقة–س انتقال المزيد من الثقوب اليها من المنطقة– م وبنفس الطريقة تمنع الالكترونات الفائضة الموجودة على الطرف – م انتقال المزيد من الالكترونات من المنطقة – س .

والآن ماذا يحدث لو تم وصل جهد خارجي خلال الوصلة الثنائية باستخدام بطارية مثلا؟

سوف ينشأ عن هذا الجهد مجال كهربائي خارجي، فإذا كان هذا المجال بنفس اتجاه المجال الداخلي، فإن حاجز الجهد يزداد، وبالتالي يزداد منع مرور الشحنات خلال الوصلة، ويتم ذلك عندما يتم توصيل القطب الموجب للبطارية مع الطرف من النوع – س والقطب السالب مع الطرف من النوع –م، ويسمى توصيل الوصلة الثنائية بهذه الطريقة بالانحياز العكسي كما في الشكل (–١٣أ) حيث تمنع الوصلة الثنائية مرور التيار الكهربائي خلالها .

وإذا عُكس توصيل البطارية بحيث يوصل القطب الموجب للبطارية مع الطرف الموجب من الوصلة والقطب السالب مع الطرف السالب من الوصلة، فإن المجال الكهربائي الناشىء يعاكس المجال الداخلي وبالتالي يقل حاجز الجهد وتبدأ الشحنات بالمرور خلال الوصلة، وتسمى طريقة التوصيل هذه بالانحياز الأمامي كما في الشكل (–١٣ب) .



الشكل (13): الانحياز الامامي والعكسي في الوصلة الثنائية

ونستنتج مما سبق أن مقاومة الوصلة الثنائية للتيار الكهربائي تكون صغيرة في حالة توصيل الانحياز الأمامي وكبيرة جدا في حال توصيل الانحياز العكسي، أي أن الوصلة الثنائية تمرر التيار في اتجاه واحد فقط .

اسئلة الفصل

١ . اكتب المصطلح العلمي الذي تعبر عنه كل من العبارات التالية :

( ) : مقاومة موصل طوله وحدة طول واحدة ومساحة مقطعه وحدة مساحة واحدة .

( ) : نظرية أعطت تفسيرا مقبولا للفروق الفيزيائية بين الأنواع المختلفة من المواد الصلبة .

( ) : حزمة الطاقة الأعلى في المادة الصلبة والتي يمكن أن تتحرك فيها الالكترونات بحرية .

( ) : مصطلح يطلق على الفراغ الذي يتركه الالكترون عندما يغادر ذرته الأصلية .

( ) : حاملات الشحنة الأكثرية في المادة شبه الموصلة من النوع الموجب .

٢ . وضح المقصود بكل من المصطلحات التالية : التطعيم – الذرات المانحة– الكترونات التكافؤ– الحاملات الأكثرية .

٣ . قارن بين المادة الموصلة والعازلة وشبه الموصلة من حيث :

أ . المقاومة النوعية لكل منها .

ب . حزمتي التكافؤ والتوصيل وفجوة الطاقة في كل منها موضحا بالرسم؟

٤ . وضح كيف تتغير موصلية المادة شبه الموصلة :

أ . مع درجة الحرارة . ب . مع إضافة الشوائب .

٥ . فسر لماذا لا يُحدث إضافة ذرة شائبة ذات تكافؤ يختلف عن تكافؤ ذرات البلورة شبه الموصلة تغييراً في الشحنة الكلية للبلورة رغم أنها تصبح من النوع السالب أو الموجب .

٦ . علل : تزداد مقاومة المادة الموصلة عند تسخينها بينما تقل المقاومة للمادة شبه الموصلة عند تسخينها .

٧ . أجب بوضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة :

( ) : المادة شبه الموصلة هي ذات معامل حراري سالب .

( ) : جميع الفلزات تتساوى في درجة توصيلها للكهرباء .

( ) : الالكترون الموجود في مستوى معين لذرة منفردة أسهل له أن ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى من الكترون مشابه في ذرة مشابهة موجودة ضمن تجمع من الذرات المتقاربة .

( ) : المادة شبه الموصلة النقية في درجات حرارة منخفضة جداً يمكن اعتبارها كمادة عازلة .

( ) : في المادة شبه الموصلة تكون حزمتا التكافؤ والتوصيل متداخلتين .

( ) : مقدار فجوة الطاقة للجرمانيوم لا تتغير بتغير درجة الحرارة .

٨ . قارن بين المواد شبه الموصلة من النوع السالب والمواد شبه الموصلة من النوع الموجب من حيث : نوع الشوائب المستخدمة في كل منهما – حاملات الشحنة الأكثرية في كل منهما .

٩ . أ . وضح كيف يتم انتاج الوصلة الثنائية .

ب . وضح كل من المصطلحات التالية المتعلقة بالوصلة الثنائية : تيار الانتشار، طبقة النفاد، حاجز الجهد .

١٠ . ما الفرق بين الانحياز الأمامي والعكسي للوصلة الثنائية من حيث :

أ . طريقة التوصيل مع البطارية ؟

ب . أثر كل منهما على : حاجز الجهد – مقاومة الوصلة الثنائية – طبقة النفاد ؟

٢ العناصر الالكترونية شبه الموصلة (Semiconductor Componemts)

استناداً إلى مبدأ عمل الوصلة الثنائية فقد تم صناعة عناصر تشكل أساسا لعمل الدارات الالكترونية مثل الثنائيات والترانزستورات والدارات المتكاملة، وفي هذا الفصل سنتعرض لإثنين من هذه العناصر الالكترونية وهما الثنائي شبه الموصل والترانزستور.

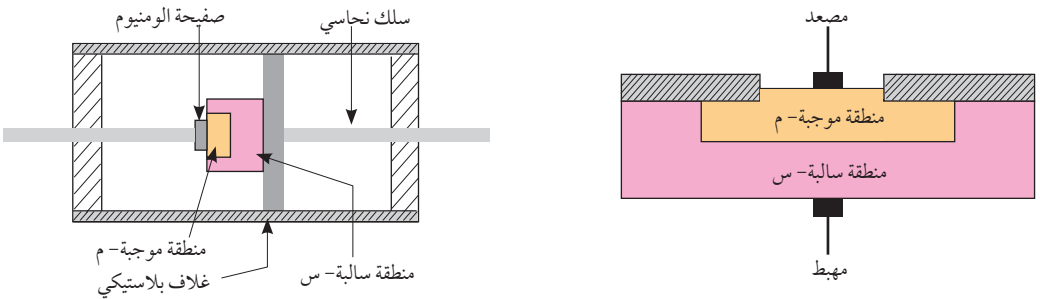
فما هو الثنائي شبه الموصل؟ ومم يتكون؟ وما هي استخداماته؟ وما هو الترانزستور؟ ومما يتركب؟ وما هي استخداماته؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل وستكون قادرا على أن :

- تشرح تركيب الثنائي شبه الموصل .
- تستنتج عمليا الفرق بين الانحياز الأمامي والانحياز العكسي للثنائي شبه الموصل.
- ترسم منحنى الخواص المميزة للثنائي شبه الموصل .
- تقوم ببناء دارة تقويم نصف الموجة وتفسر مبدأ عملها .
- تقوم ببناء دارة تقويم الموجة الكاملة وتفسر طريقة عملها .
- تتعرف تركيب الترانزستور من حيث الطبقات التي يتكون منها والفروق بين هذه الطبقات .
- توضح مبدأ عمل الترانزستور .

٢ - ١ الثنائي شبه الموصل

يتكون الثنائي شبه الموصل من وصلة ثنائية تشكل في بلورة من الجرمانيوم أو السليكون النقي حيث يتم تطعيم جزء من البلورة بشوائب ثلاثية التكافؤ بحيث تصبح مادة شبه موصلة غير نقية من النوع الموجب (P-type)، ويتم تطعيم الجزء الآخر من هذه البلورة بشوائب خماسية التكافؤ، لتصبح مادة شبه موصلة من النوع السالب (N-type)،

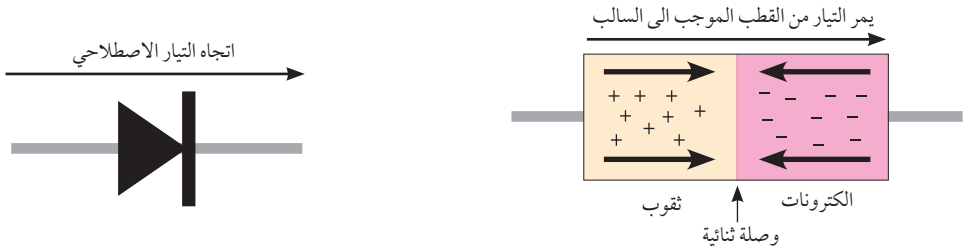


الشكل (١): التركيب الداخلي للثنائي شبه الموصل

ويتصل كل طرف من طرفي البلورة بواسطة سلك موصل الى خارج جسم الثنائي، ويتم تغليف هذه البلورة في داخل غلاف بلاستيكي محكم الأغلاق لمنع دخول الرطوبة كما في الشكل (١).

بعض أنواع الثنائيات شبه الموصلة

ويرمز للثنائي شبه الموصل بالرمز (⊣▶⊢) حيث يمثل المثلث الطرف الموجب (ويسمى المصعد أو الآنود) والخط المستقيم على رأس المثلث الطرف السالب للوصلة الثنائية (ويسمى المهبط أو الكاثود)، ومن الجدير بالذكر أن اتجاه تدفق التيار الاصطلاحي في الثنائي يكون دائما باتجاه السهم كما في الشكل (2).



الشكل (2): اتجاه التيار في الثنائي شبه الموصل

٢ - ٢ الانحياز الأمامي والانحياز العكسي

من خلال ما تعلمناه سابقا حول مبدأ عمل الوصلة الثنائية، نستنتج أن الثنائي شبه الموصل هو عنصر الكتروني يوصل التيار الكهربائي في اتجاه واحد فقط، حيث يبدي مقاومة صغيرة لمرور التيار إذا وصل بطريقة الانحياز الأمامي، أي إذا تم توصيل القطب الموجب للبطارية مع المصعد (الآنود) للثنائي والقطب السالب للبطارية مع المهبط (الكاثود)، ويبدي مقاومة عالية (أي لا يمرر تيار) إذا وصل القطب الموجب للبطارية مع المهبط للثنائي والقطب السالب الى المصعد.

وللتعرف على طريقة توصيل الثنائي في حالتي الانحياز الأمامي والانحياز العكسي قم باجراء النشاط الآتي :

نشاط (١): الانحياز الأمامي والانحياز العكسي

المواد والأدوات :

بطارية ٩ فولت، ومصباح ٩ فولت، وقاعدة مصباح، وثنائي سيلكون رقم 1N4007، وأسلاك توصيل.

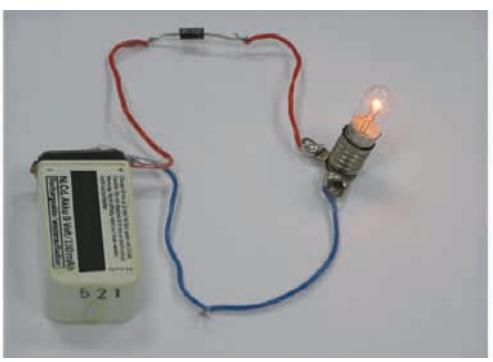
خطوات العمل :

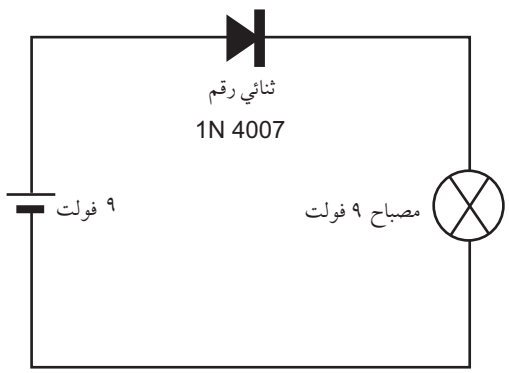
١. قم بتركيب الدارة الكهربائية الموضحة في الشكل (٣) ويتم فيها توصيل كل من الثنائي والمصباح على التوالي مع البطارية بحيث يكون الطرف الموجب للثنائي متصلا بالقطب الموجب للبطارية ولاحظ إضاءة المصباح.

ملاحظة : تستطيع تمييز القطب السالب للثنائي من الخط الدائري المرسوم على أحد طرفيه ويكون الطرف الآخر هو الطرف الموجب.

٢. اعكس طريقة توصيل الثنائي، بحيث توصل الطرف السالب للثنائي مع القطب الموجب للبطارية. ماذا تلاحظ ؟

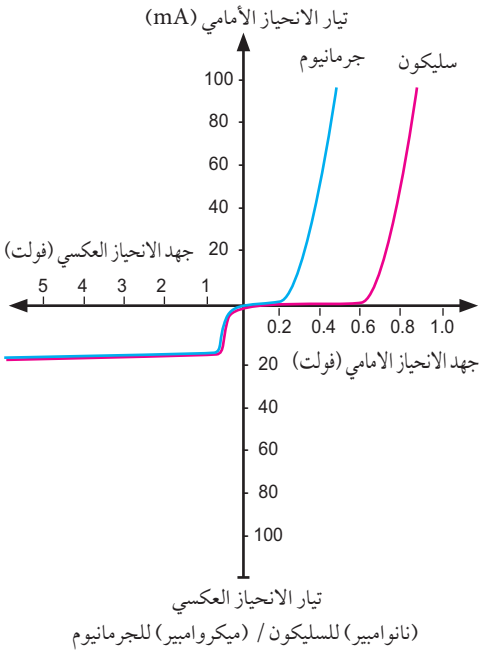
- ماذا نسمي طريقة توصيل الثنائي في الحالة الأولى ؟ وماذا نسميها في الحالة الثانية ؟
- فسر النتائج العملية التي حصلت عليها ؟
- في أي الحالتين تكون مقاومة الثنائي عالية، وما الدليل على ذلك ؟
- لو قمت بعكس البطارية بدل الثنائي هل ستحصل على نفس النتيجة ؟





الشكل (٣) : اختبار عملي لانحياز الثنائي شبه الموصل

٢ ـ ٣ الخواص المميزة للثنائي شبه الموصل



الشكل (٤) : منحنى الخصائص المميزة لثنائيين إحداهما من السليكون والآخر من الجرمانيوم

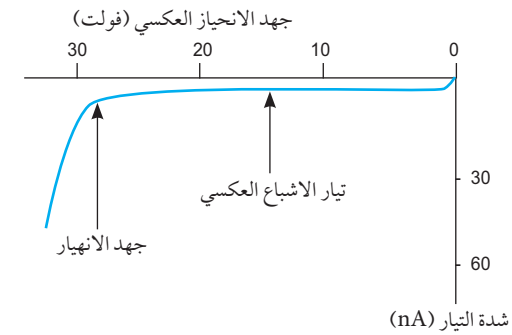
يمثل الشكل (٤) تغير التيار المار خلال ثنائي من الجرمانيوم والآخر من السليكون مع تغير الجهد المطبق بين طرفيهما ، ونلاحظ من الشكل أن التيار في حالة الانحياز الأمامي لا يزداد الى درجة ملحوظة حتى يصبح جهد الانحياز الأمامي أكثر من ٠,٧ فولت لثنائي السيلكون وأكثر من ٠,٣ فولت لثنائي الجرمانيوم ، ويسمى هذا الجهد بالجهد الحرج (threshold voltage) .

وفي حالة الانحياز العكسي تنجذب حاملات الشحنة الأكثرية في كلا البلورتين الموجبة والسالبة بعيدا عن منطقة الوصلة الثنائية وبالتالي يزداد حاجز الجهد ويزداد سمك طبقة النفاد ، ولكن ينشأ تيار عن حاملات الشحنة الأقلية ، وهذا التيار يزداد مع زيادة جهد الانحياز الى النقطة التي تصبح فيها معظم حاملات الشحنة الأكثرية غير قادرة على اجتياز الوصلة الثنائية ، ويصبح عندها التيار خلال الوصلة ثابتا وناتجا فقط عن حاملات الشحنة الأقلية ، ويسمى التيار في هذه الحالة تيار الإشباع العكسي (the reverse saturation current) ، ويظهر من الشكل أن تيار الإشباع العكسي للسليكون أقل بكثير منه للجرمانيوم . ونلاحظ اختلاف وحدة القياس على الشكل حيث يقاس هذا التيار للجرمانيوم بوحدة μA وللسليكون بوحدة nA .

وإذا زاد جهد الانحياز العكسي عن قيمة معينة تنشأ زيادة مفاجأة في التيار وهذا الجهد يسمى جهد الانهيار (Break down voltage) ، وهناك عاملان مسؤولان عن هذا الانهيار :

١ . تأثير زينر (Zener effect) : حيث يكون المجال الكهربائي الناشئ عن الجهد الخارجي قويا لكسر بعض الروابط التساهمية في الذرات .

٢ . تأثير التكافؤ (Avalanche effect) : وينشأ عن الزيادة في تسارع حاملات الشحنة لدرجة تكون قادرة على كسر الروابط التساهمية عن طريق التصادم .



الشكل (٥) : منحنى الخصائص المميزة لثنائي في حالة الانحياز العكسي

والشكل (٥) يبين الخصائص المميزة (للتيار – الجهد) في حال توصيل الانحياز العكسي للوصلة الثنائية .

نشاط (٢): تعرف على الثنائيات شبه الموصلة

من اللوحات الالكترونية لأجهزة مستهلكة أو تالفة ، حاول أن تميز الثنائيات عن غيرها من العناصر الالكترونية في هذه اللوحات ، واجمع أنواعا مختلفة منها ، وقم بعرضها أمام زملائك في غرفة الصف ، وباستخدام جهاز الملتميتر الرقمي حاول أن تتعرف على المصعد (الطرف الموجب) والمهبط (الطرف السالب) لكل منها بمساعدة معلمك ، وقارن ما توصلت اليه مع الاشارة التي تشير للطرف السالب الموجودة على جسم الثنائي إن وجدت .

وللتعرف على الخصائص المميزة لثنائي السليكون قم بإجراء النشاط الآتي :

نشاط (٣): منحنى الخواص المميزة للثنائي شبه الموصل في حالة الانحياز الأمامي

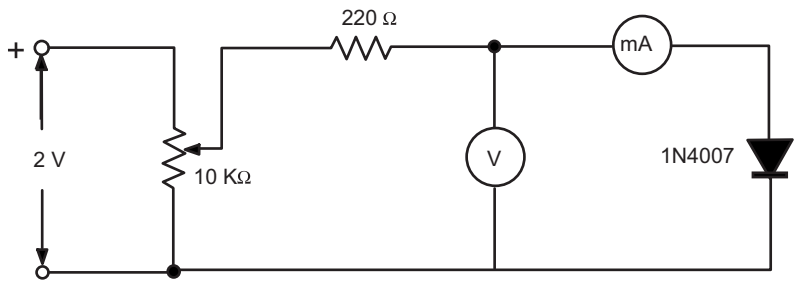
المواد والأدوات :

حاوية تتسع لبطاريتين ١,٥ فولت، وبطاريتان كل منهما ١,٥ فولت، ولوحة توصيل، وثنائي سليكون رقم 1N4007، وملتميتر رقمي عدد ٢، ومقاومة ٢٢٠ Ω ، ومقاومة متغيرة ١٠ KΩ .

خطوات العمل :

١. اضبط أحد جهازي الملتميتر الرقمي كفولتميتر للجهد المستمر (DC V) وعلى مدى قياس أكثر من ٢ فولت والملتميتر الرقمي الآخر كمقياس للتيار المستمر (DC A) وعلى مدى 200mA .

٢. قم بتركيب الدارة كما في الشكل (٦) .



الشكل (٦) الدارة العملية لدراسة الخواص المميزة لثنائي شبه موصل

٣. قم باختيار قيم لجهد الانحياز الأمامي للثنائي كما في الجدول التالي عن طريق تغيير قيمة المقاومة المتغيرة، وسجل قراءات جهاز قياس التيار عند كل قيمة لجهد الانحياز الأمامي في نفس الجدول .

الجهد (فولت)	٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨
التيار (ملي امبير)								

٤. من خلال النتائج التي حصلت عليها، ارسم منحنى الخواص لثنائي السليكون الذي استخدمته في التجربة .

٥. من خلال المنحنى الذي قمت برسمه جد :

أ. الجهد الحرج للثنائي الذي استخدمته ؟

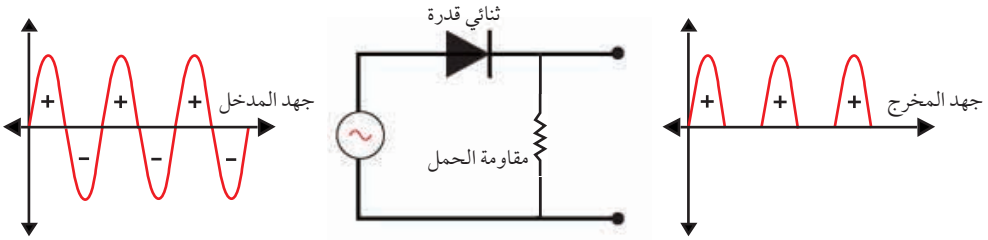
ب. قيمة تيار الانحياز الأمامي عند قيمة الجهد الحرج للثنائي المستخدم .

٢ - ٤ استخدام الثنائي شبه الموصل في دارات تقويم التيار المتردد

تحتاج معظم الدارات الالكترونية الموجودة في الأجهزة الكهربائية الى جهود مستمرة لتشغيلها، وبعض هذه الأجهزة لا تستهلك طاقة كبيرة ويتم تشغيلها بوساطة البطاريات، ولكن هناك أجهزة أخرى تستهلك طاقة كبيرة ويتم تغذيتها من الشبكة العامة للكهرباء التي تمد المنازل بالتيار المتردد بعد أن يتم تحويل هذا التيار الى تيار مستمر باستخدام دارات تقويم التيار، وهناك نوعان من هذه الدارات :

دارة تقويم نصف الموجة (Half Wave Rectifier)

وهذه هي الطريقة الأسهل لتقويم التيار، وتتكون بشكل أساسي من ثنائي واحد متصل على التوالي مع مصدر الجهد المتردد كما في الشكل (٧)، ويظهر من الشكل شكل الإشارة الداخلة والخارجة، حيث يوصل الثنائي الجزء الموجب من التيار المتردد (حيث يكون الانحياز أماميا) ولا يسمح بمرور الجزء السالب من التيار المتردد (حيث يكون الانحياز عكسيا) مما ينتج عنه وجود تيار فقط خلال الجزء الموجب. ومن الشكل يظهر أن هذا التيار رغم أنه موحد الاتجاه إلا أنه يبقى متغير القيمة ويمكن إضافة عناصر إضافية للدارة للحصول على جهد موحد الاتجاه وثابت القيمة تقريبا.

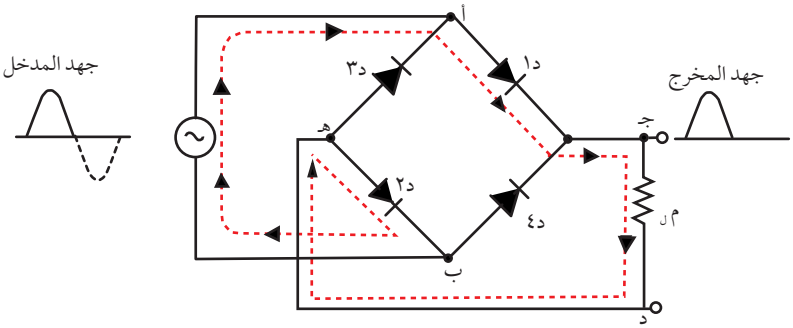


الشكل (٧): دارة تقويم نصف الموجة

سؤال ابحث في سلبيات تقويم التيار بهذه الطريقة. وما التطبيقات العملية التي يمكن استخدام هذه الطريقة فيها دون أن تتأثر بهذه السلبيات؟

دارة تقويم الموجة الكاملة (Full Wave Rectifier)

يستخدم في هذه الدارة أربع ثنائيات توصل على شكل قنطرة كما في الشكل (٨)، حيث يوصل مصدر فرق الجهد المتردد الى النقطتين أ، ب، وخلال النصف الموجب من الموجة والذي تكون فيه النقطة أ موجبة بالنسبة للنقطة ب فإن كلا من الثنائيين د١، د٢ يكونا موصلين للتيار لأنهما في حالة انحياز أمامي، أما الثنائيين د٣، د٤ فيكونا غير موصلين لانهما في حالة انحياز عكسي، فيمر التيار خلال الثنائي د١ إلى النقطة جـ ومنها إلى النقطة د خلال مقاومة الحمل م١ ثم الى النقطة هـ ومنها للثنائي د٢ ليكمل الدارة الى منبع الجهد المتردد.



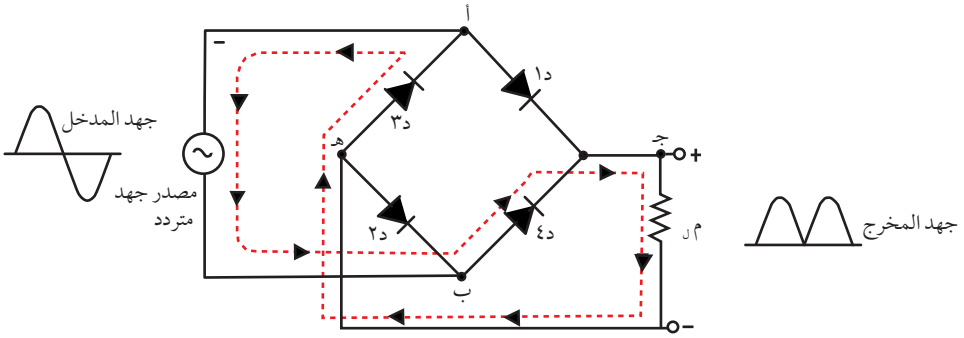
الشكل (٨): دارة تقويم الموجة الكاملة خلال النصف الموجب

وخلال النصف السالب حيث تكون النقطة أ سالبة بالنسبة إلى ب، فإن كلا من الثنائيين د٣، د٤ يكونا موصلين للتيار لأنهما في حالة انحياز أمامي، أما الثنائيين د١، د٢ فيكونا غير موصلين لانهما في حالة انحياز عكسي ويكون جهد أ السالب مساويا تقريبا لجهد النقطة هـ والنقطة د على مقاومة الحمل، فيمر تيار من النقطة جـ الى النقطة د

خلال المقاومة م$_{ل}$ ثم إلى هـ ومنها إلى أ خلال الثنائي د$_{٣}$ ثم إلى منبع الجهد المتردد ليكمل الدارة عبر الثنائي د$_{٤}$.

ونلاحظ بذلك أن اتجاه مرور التيار خلال المقاومة م$_{ل}$ يكون دائما باتجاه واحد جـ ← د

ويكون الجهد الناتج عن دارة التقويم كما في الشكل (٩) .



الشكل (٩) : دارة تقويم الموجة الكاملة خلال النصف السالب

نشاط (٤): بناء دارة تقويم نصف موجة ودارة تقويم موجة كاملة

المواد والأدوات :

جهاز راسم الإشارة ، ومصدر جهد منخفض ، وجهاز مولد الإشارة ، وثنائيات قدرة رقم 4007 عدد 5 (أو أي رقم آخر من ثنائيات القدرة) .

خطوات العمل :

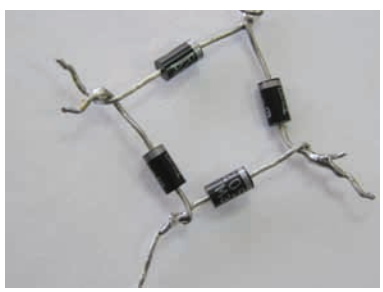
١ . شغل جهاز راسم الإشارة وقم بتوصيل مدخل القناة الأولى الى جهاز مولد الإشارة بواسطة مجس التوصيل .

٢ . شغل مولد الإشارة واضبطه ليعطي إشارة جيبية ترددها من ١٠٠ – ١٠٠٠ هيرتز .

٣ . اضبط جهاز راسم الإشارة حتى تظهر الإشارة الداخلة بشكل ثابت على شاشة الجهاز على وضعية DC للقناة الأولى واضبط القناة الثانية على وضع GND بحيث يظهر خط مستقيم على المحور الأفقي (لغرض المقارنة) واضبط مفتاح إظهار القنوات على وضعية DUAL .

٤ . قم بتوصيل الطرف الموجب لثنائي السيلكون إلى المخرج في مولد الإشارة وطرفه الآخر الى مدخل الآشارة في جهاز راسم الإشارة ولاحظ شكل الموجة التي تظهر على شاشة راسم الإشارة وارسمها في دفترك ، ماذا نسمي طريقة التقويم هذه؟

٥ . قم بتركيب أربع ثنائيات على شكل قنطرة كما في الشكل(١٢) ، عن طريق لي كل طرفين مع بعضهما البعض (أو لحمهما بالقصدير) ، ثم وصل طرفي مدخل القنطرة إلى مخرج جهاز مولد الإشارة وطرفي المخرج للقنطرة إلى مدخل راسم الإشارة .



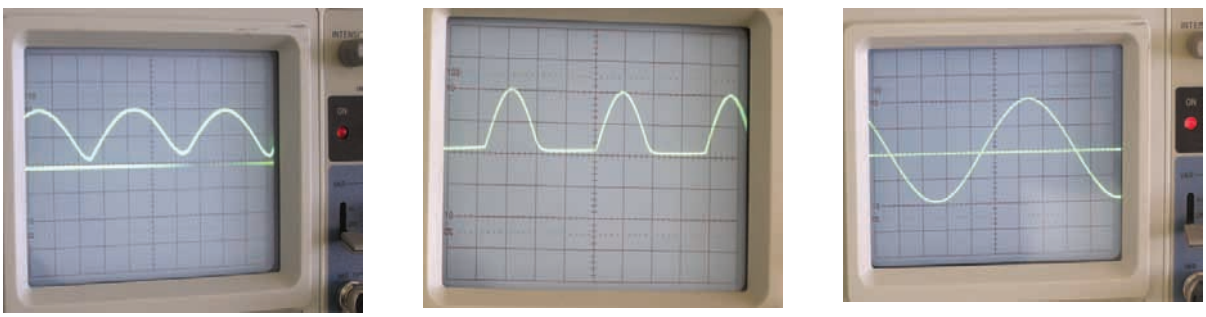
الشكل (١٢) : قنطرة تقويم الموجة الكاملة

٦. اضبط جهاز راسم الإشارة للحصول على شكل موجي ثابت على الشاشة . ما شكل الموجة الظاهرة، ماذا نسمي طريقة التقويم هذه؟ ارسم الدارة التي قمت بتركيبها والشكل الموجي الناتج في دفترك .

٧. انزع القنطرة ثم صل مخرج مولد الإشارة الى مدخل راسم الإشارة مباشرة بدون قنطرة التقويم ولاحظ شكل الإشارة الناتجة . ماذا تلاحظ ؟

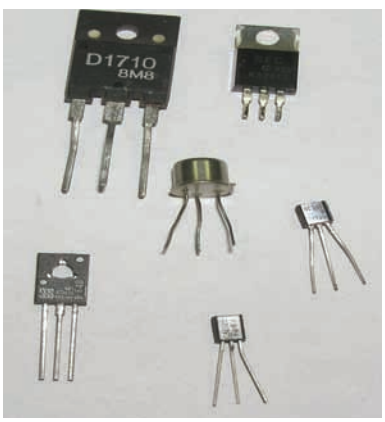
٨. يمكن القيام بهذه التجربة باستخدام مصدر قدرة منخفض كمصدر للجهد المتردد بدل جهاز مولد الإشارة وذلك بوصل طرفي المدخل للقنطرة إلى مصدر الجهد المتردد (٣ فولت AC) وطرفي المخرج الى مقاومة متغيرة (٥ KΩ) وهي مقاومة الحمل بعد ضبطها على أعلى قيمة .

٩. شغل جهاز الاوسيلسكوب (راسم الإشارة) واضبط مفتاحي الجهد والزمن على قيم مناسبة، وصل مجسي القياس للقناة الأولى بين طرفي مدخل القنطرة (لرؤية إشارة الجهد المتردد قبل التقويم)، وصل مجسي القناة الثانية بين طرفي مقاومة الحمل .



الشكل (١٣) : اشارات كهربائية قبل وبعد التقويم كما تظهر على شاشة جهاز راسم الاشارة

٢ - ٥ الترانزستور (The Transistor)



أنواع مختلفة من الترانزستورات

لقد أحدث اكتشاف الترانزستور ثورة في عالم الالكترونيات وتطبيقاتها العملية، ففي عام ١٩٤٨ اكتشف الترانزستور من قبل ثلاثة من العلماء الذين كانوا يعملون في مختبرات بيل الهاتفية وهم شوكلي (Shockley) وبراتن (Brattain) وباردين (Bardeen)، وقد حصل هؤلاء العلماء الثلاثة على جائزة نوبل في الفيزياء لابحاثهم في مجال اشباه الموصلات ولاكتشافهم الترانزستور .

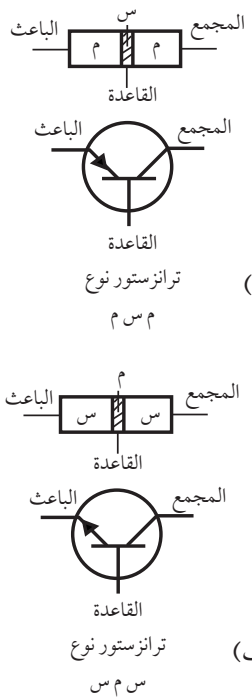
ورغم مرور فترة ليست قصيرة على اكتشاف الترانزستور، فإنه ما زال العنصر الأساس في عمل الدارات الالكترونية في احدث التطبيقات التكنولوجية كالحواسيب وأنظمة التحكم وغيرها .

تركيب الترانزستور

يتركب الترانزستور من مواد شبه موصلة ويتكون بشكل أساسي من بلورة من السيلكون أو الجرمانيوم، تحتوي على ثلاث مناطق من المواد شبه الموصلة غير النقية، مرتبة على التوالي، بحيث توجد منطقتان من النوع الموجب – م بينهما منطقة من النوع السالب– س، ويسمى الترانزستور في هذه الحالة ترانزستور م س م (PNP)، أو يتكون من منطقتين من النوع السالب – س بينهما منطقة من النوع الموجب – م ويسمى الترانزستور في هذه الحالة ترانزستور س م س (NPN)، وتسمى المنطقة الوسطى من الترانزستور بالقاعدة أما المنطقتان الأخريان فإحداهما تسمى الباعث والأخرى المجمع، وتكون منطقة المجمع أكبر من منطقة الباعث لأن القدرة المتوقع تشتتها خلالها أكبر، وتعالج منطقتا الباعث والمجمع في كلا النوعين من أنواع الترانزستور بإضافة المزيد من الشوائب لكي تكتسبا موصلية عالية، وتعالج منطقة القاعدة بإضافة كمية قليلة من الشوائب وتكتسب موصلية منخفضة القيمة.

يرمز للترانزستور من النوع م س م كما في الشكل (١٤– أ) وللترانزستور من النوع س م س كما في الشكل (١٤– ب)، ونلاحظ أن الفرق بين الرمزين هو في اتجاه السهم على طرف الباعث حيث يشير إحداهما للداخل والآخر للخارج.

سؤال ناقش الفروق الفيزيائية بين تركيب الطبقات الثلاث التي يتكون منها الترانزستور معللا سبب هذه الفروق.



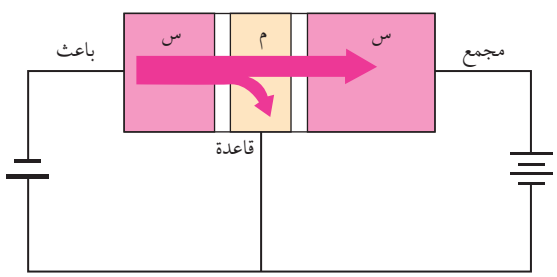
الشكل (١٤): الرموز المستخدمة لتمثيل الترانزستور في الدارات الالكترونية

هل تعلم:

أن شريحة من السيلكون لا تتعدى مساحتها اسم^2 قد تحتوي على مليون من الترانزستورات في داخل جهاز الحاسوب الخاص بك.

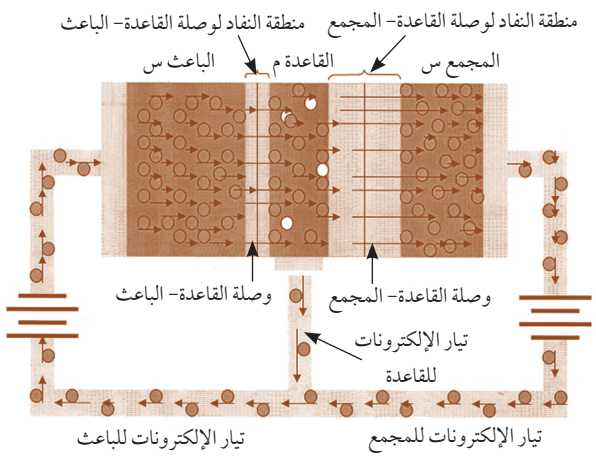
مبدأ عمل الترانزستور :

يتكون الترانزستور من وصلتي س– م هما وصلة الباعث–القاعدة ووصلة المجمع – القاعدة، وفي العادة يوصل الترانزستور في الدارة بحيث تكون وصلة الباعث– القاعدة أمامية الانحياز ووصلة المجمع– القاعدة عكسية الانحياز كما في الشكل (١٥).



الشكل (١٥) : توصيل الترانزستور في الدارات الإلكترونية

وفيما يلي توضيح لفيزيائية عمل الترانزستور من نوع س م س (NPN)، وهو النوع الأكثر استخداما في الدارات العملية، وبطريقة مماثلة ينطبق ذلك على الترانزستور من نوع م س م (PNP). عندما يكون جهد الانحياز لوصلة الباعث– القاعدة صفرا سيكون التيار الناتج عن حاملات الشحنة الأكثرية (الالكترونات) والتي تقطع وصلة الباعث– القاعدة مساويا لتيار حاملات الشحنة الأقلية التي تقطع نفس الوصلة في الاتجاه المعاكس، وبالتالي يكون التيار الكلي خلال هذه الوصلة صفرا، وفي هذه الحالة تكون وصلة المجمع – القاعدة عكسية الانحياز بواسطة الجهد $جـ_{م-ق}$ ويمر تيار قليل من حاملات الشحنة الأقلية خلال المجمع، وهذا التيار هو تيار الإشباع العكسي الذي تحدثنا عنه سابقاً عن دراسة وصلة م– س، وسوف نسميه الآن بتيار التسريب للمجمع (Collector leakage current) ويعطى بالرمز $ت_{م ق}$، والآن إذا ازداد جهد الانحياز لوصلة الباعث– القاعدة في الاتجاه الأمامي يحدث انسياب للتيار بين منطقتي القاعدة والباعث، وبما أن منطقة الباعث معالجة بإضافة كمية أكبر من الشوائب فإن الفرصة تصبح مهيأة تماما لانبعاث الالكترونات الى منطقة القاعدة، وبما أن موصلية منطقة القاعدة منخفضة القيمة (لأن نسبة الشوائب فيها قليلة)، فإن عددا قليلا نسبيا من الالكترونات العابرة للوصلة يتحد مع العدد الصغير من الفجوات المتاحة القادرة على الحركة في منطقة القاعدة، ونتيجة لذلك يتواجد تركيز عال من الالكترونات العابرة للوصلة في القاعدة (حيث تعتبر حاملات الشحنة من الالكترونات هناك أقلية)، ويقوم مصدر الجهد المتصل بدارة الباعث– القاعدة بتعويض النقص في الفجوات التي تكون قد اتحدت بالفعل مع الالكترونات في منطقة القاعدة من نوع – م، مما يؤدي إلى مرور تيار القاعدة للترانزستور، ويقال بإن الالكترونات قد ضخت إلى القاعدة، وبما أن الالكترونات في القاعدة من النوع – م هي حاملات الشحنة الأقلية فإنها تبدأ بالانتشار باتجاه منطقة المجمع، ويساعدها على ذلك أن سمك منطقة القاعدة قليل، كما أن نسبة تطعيمها بالشوائب قليلة وبالتالي تحتوي على عدد قليل من الثقوب، مما يترتب عليه أن معظم الالكترونات التي وصلت القاعدة تنتقل إلى المجمع والعدد القليل المتبقي يتحد مع الثقوب الموجودة في القاعدة كما في الشكل (١٦).



الشكل (١٦) : تيار الإلكترونات في الترانزستور

سؤال

علل : يكون تيار المجمع أقل من تيار الباعث .

مما سبق نلاحظ أن التيار الكلي الذي يدخل الى الترانزستور يجب أن يكون مساويا للتيار الكلي الذي يخرج منه ، وبالتالي فإن تيار الباعث $ت_{ب}$ يساوي مجموع تياري القاعدة والمجمع :

$$ت_{ب} = ت_{ق} + ت_{م}$$

وفي العادة فإن تيار المجمع يساوي حوالي ٠,٩٩ من تيار الباعث :

$$ت_{م} = ٠,٩٩\ ت_{ب}$$

ويكون : $ت_{ق} = ٠,٠١\ ت_{ب}$

مثال (١):

اذا كانت شدة تيار الباعث لترانزستور في لحظة ما تساوي ٣٠ مللي أمبير ، كم تبلغ شدة التيار لكل من المجمع والقاعدة اذا علمت ان شدة تيار القاعدة تساوي ٠,٠١ من تيار الباعث .

الحل:

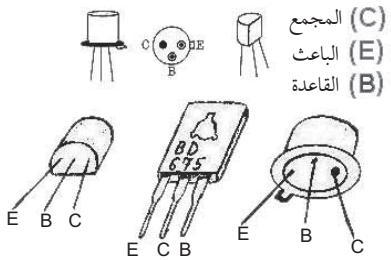
$$ت_{ق} = ٠,٠١\ ت_{ب} = \frac{١}{١٠٠} \times ٣٠ = ٠,٣ \text{ مللي أمبير}$$

$$ت_{م} = ت_{ب} - ت_{ق}$$

$$= ٣٠ - ٠,٣ = ٢٩,٧ \text{ مللي أمبير}$$

يمكن وصف عمل الترانزستور بشكل بسيط ، حيث تؤدي منطقة الباعث دور الباعث لحاملات الشحنة التي تجمع أخيراً في منطقة المجمع ، وتقوم منطقة القاعدة بدور القطب الذي يتحكم في قيمة تيار المجمع .

وللترانزستور استخدامات عديدة في الدارات الالكترونية حيث يستخدم في دارات تكبير الإشارة ، وفي المذبذبات ، أو كمفتاح الكتروني ، إضافة الى استخدامه في بناء الدارات المنطقية التي تعتمد عليها الالكترونيات الرقمية ، الى غير ذلك من التطبيقات العملية الهامة .



الشكل (١٧) : بعض اشكال تصنيع الترانزيستور ووصلاته

اسئلة الفصل

س١ وضح بالرسم الأجزاء التي يتكون منها الثنائي شبه الموصل .

س٢ قارن بين مقاومة الثنائي شبه الموصل عند توصيله بطريقة الانحياز الأمامي وعند توصيله بطريقة الانحياز العكسي ، وارسم دارة لتوضيح ذلك عمليا .

س٣ من خلال منحنيات الخواص لكل من ثنائيي الجرمانيوم والسليكون :

أ. قارن بين ثنائيي الجرمانيوم والسيلكون من حيث : الجهد الحرج لكل منهما- تيار الإشباع العكسي لكل منهما .

ب. ما المقصود بجهد الانهيار ومتى يحدث ؟

جـ. ما المقصود بكل من : تأثير زينر و تأثير التكافؤ وما علاقتهما بحدوث الانهيار في الثنائي شبه الموصل ؟

س٤ ما المقصود بعملية تقويم التيار وما هي أنواع دارات التقويم المستخدمة لذلك؟

س٥ ارسم دارة تقويم نصف الموجة وفسر طريقة عملها موضحا شكل الإشارة الداخلة والخارجة من هذه الدارة .

س٦ ارسم دارة تقويم الموجة الكاملة موضحاً إتجاه التيار خلال النصف الموجب للموجة والنصف السالب لها .

س٧ اذكر ثلاثة استخدامات للترانزستور في الدارات الالكترونية .

س٨ وضح بالرسم الأجزاء التي يتكون منها الترانزستور .

س٩ ما الفرق بين ترانزستور من نوع س م س (NPN) وترانزستور من نوع م س م (PNP)، وأيهما أكثر استخداما في الدارات العملية ؟

س١٠ علل :

أ. تكون منطقة المجمع في الترانزستور أكبر من منطقتي القاعدة والباعث .

ب. تصنع معظم أنواع الترانزستور من السليكون في الوقت الحاضر .

جـ. في الدارات العملية لا يجب استبدال ترانزستور معين تالف الا بترانزستور من نفس النوع او مكافىء .

د. عند تطبيق انحياز أمامي على وصلة القاعدة- الباعث في الترانزستور من نوع س م س فإن معظم الالكترونات التي تصل القاعدة تنتقل للمجمع .

اسئلة الوحدة

س١ أختر الاجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية :

١ . في الترانزستور يكون :

أ . تيار المجمع أقل من تيار القاعدة .

ب . تيار الباعث أكبر من تيار المجمع .

جـ . تيار القاعدة أكبر من تيار الباعث .

د . تيار القاعدة يساوي مجموع تياري الباعث والمجمع .

٢ . أكثر دارات الترانزستور استخداماً في التطبيقات العملية هي دارة توصيل :

أ . القاعدة المشتركة جـ . المجمع المشترك

ب . الباعث المشترك د . جميعها تستخدم بنفس المستوى

٣ . المواد الموصلة :

أ . تكون فجوة الطاقة فيها كبيرة . جـ . تقل مقاومتها مع ازدياد درجة الحرارة .

ب . تكون حزمة التوصيل فيها ممتلئة جزئياً . د . تكون حزمة التكافؤ فيها فارغة .

٤ . يتم الحصول على مادة شبه موصلة من النوع السالب باضافة :

أ . شوائب خماسية التكافؤ . جـ . شوائب رباعية التكافؤ .

ب . شوائب ثلاثية التكافؤ . د . جميع ما ذكر .

س٢ أجب بوضع اشارة (√) أمام العبارة الصحيحة واشارة (X) أمام العبارة غير الصحيحة فيما يلي :

أ . إذا أضيفت ذرة شائبة ثلاثية التكافؤ الى بلورة من مادة شبه موصلة فإننا نحصل على بلورة من مادة شبه موصلة غير نقية من النوع السالب .

ب . يمكن أن نسمي الثنائي شبه الموصل بالمقوم البلوري لأن الوظيفة الوحيدة للثنائيات هي تقويم التيار المتردد .

جـ . تزداد سعة منطقة النفاد في الوصلة الثنائية عند توصيلها مع بطارية بطريقة الانحياز الأمامي .

د . فجوة الطاقة في المادة شبه الموصلة أكبر منها في المادة الموصلة .

هـ . يوصل الترانزستور في الدارات الالكترونية بحيث تكون دارة (القاعدة- الباعث) دائما أمامية الانحياز ودارة (المجمع – القاعدة) عكسية الانحياز .

س٣ وضح كيف تنشأ أحزمة الطاقة في المادة الصلبة .

س٤ اشرح أثر اضافة الشوائب على موصلية المادة شبه الموصلة .

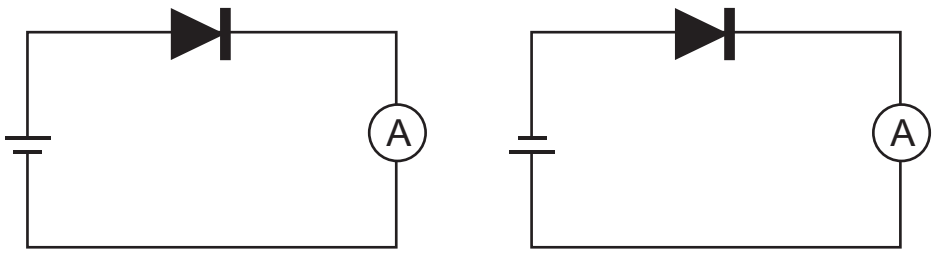
س٥ ناقش التغيرات الفيزيائية الحادثة لكل من طبقة النفاد وحاجز الجهد في الوصلة الثنائية عند توصيلها مع بطارية بطريقة الانحياز الأمامي ، ثم بطريقة الانحياز العكسي .

س٦ وضح كيف يمكن الحصول على :

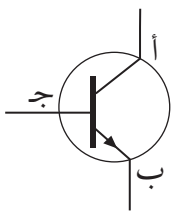
أ. بلورة شبه موصلة من النوع السالب .

ب. بلورة شبه موصلة من النوع الموجب .

س٧ في أي من الشكلين التاليين تكون قراءة الأميتر أكثر ، ولماذا ؟



س٨ ما اسم العنصر الذي يشير اليه كل من الرموز التالية؟ اكتب أسماء الأطراف المشار اليها بالأحرف الأبجدية أ، ب، جـ :



س٩ ما المقصود بعملية تقويم التيار المتردد وما هي العناصر الالكترونية شبه الموصلة التي تستخدم في هذه العملية ؟

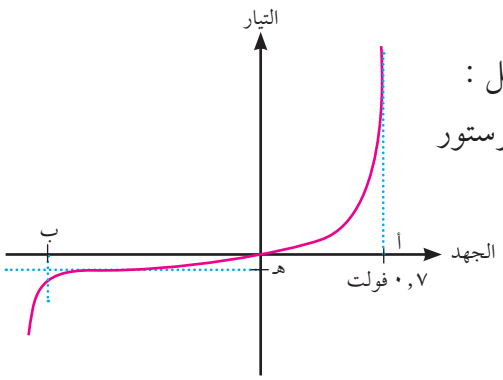
س١٠ الشكل المجاور يمثل منحنى الخواص لثنائي شبه موصل :

أ. ما المادة شبه الموصلة المستخدمة لصنع هذا الترانزستور

ب. ماذا نسمي الجهد عند النقطة أ وماذا يعني ؟

جـ. ماذا نسمي الجهد عند النقطة ب وماذا يعني ؟

د. ماذا نسمي التيار عند النقطة هـ وماذا يعني ؟



قائمة المراجع والمصادر

- إبراهيم شريف (١٩٧٧). الحرارة، دار المعارف، مصر.
- أحمد شوقي عمار (١٩٨٥). الحرارة، دار الراتب، بيروت.
- الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (٢٠٠٤). الموسوعة العلمية المعاصرة. مكتبة لبنان ناشرون، لبنان.
- الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (١٩٩٨). االموسوعة العلمية الشاملة. مكتبة لبنان ناشرون، لبنان.
- الكوفحي، محمود؛ غيث، عبد السلام (١٩٩٦). الكهرباء والمغناطيسية، دار الأمل، اربد الأردن.
المخبري، دار ا لمناهج، عمان.
- ألفين، هالبيرن؛ إرلباخ، إريك (٢٠٠١). شوم – المقررات الجامعية – الفيزياء الجامعية II، ترجمة: فايز فوق العادة، أكاديميات انترناشيونال.
- رأفت كامل واصف (٢٠٠٣). أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة. دار النشر للجامعات، القاهرة.
- شاهين، جميل نعمان (٢٠٠٣). الطرائق العملية في المختبرات التعليمية: الإدارة والسلامة في العمل
- محمد عطية سويلم (١٩٩٧). الفيزياء العامة، دار الفكر، الأردن.
- محمد شحادة الدغمة (٢٠٠٠). خواص المياه والحرارة، مكتبة الفلاح، الكويت.
- (١٩٩٨). الفيزياء المتقدمة، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، دمشق.
- (١٩٩٧). الفيزياء العامة، جامعة القدس المفتوحة.

- David Halliday (2001). Fundamentals of Physics , 6th ed, John Wiley & sons, Inc, New York.
- David Halliday (1997). Fundamentals of Physics: EXTENDED, 5th ed, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Franctis Weston Sears (1960). College Physics:Mechanics, Heat, and Souund, 3th ed, Addison Wesley Iublishing Company, Inc, London.
- Graw - Hill (1998). Schum's Outline Beginning Physics II. Inc.
- M. Nelkon and P. Pavker (1975). Advanced level Physics, Heinemann Education Books, London.
- D.C.G Green (1985). Electronics II, 3th. ed, Pitman Publishing Limitted, London.
- Joseph Abruscato (1986). Holt, Rinehart and Winston, Publishers, New York.
- Sears & salinger.(1974). Thermodynamics, .
- Symonl. (1980). Mechanics,
- Paul M. Fishbane (1993). Physics: For scientists And Engineers, Prentice - Hall Internatiional, Inc, New Jersey.
- Walter A. Thurber (1977). Exploring Physical Science, 4th ed, Allyn And Baconm Inc, New York.
- http://library.thinkquest.org
- http://www.darvill.clara.net
- http://zebu.uoregon.edu
- http://www.angelfire.com
- http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/class/energy/u511a/html.
- http://www.wellesley.edu/physics/phyllisflemingphysics/104-p-workenergy.html.
- /http:///www.taftan.com/thermodynamics
- http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu
- http://www.cord.edu/dept/physics
- http://www.hazemsakeek.com/physics-Lectures/Mechanics
- http://www.grc.nasa.gov.
- www.schoolarabia.net

ساهم في انجاز هذا العمل:

لجنة المناهج الوزارية: (قرار الوزير بتاريخ ٢٣ / ١١ / ٢٠٠٢م)

- د. نعيم أبو الحمص (رئيساً)
- د. عبد الله عبد المنعم (نائب الرئيس)
- زينب الوزير (عضواً)
- جهاد زكارنة (عضواً)
- هشام كحيل (عضواً)
- د. صلاح ياسين (أمين السر)

اللجنة الفنية للمتابعة:

- د. صلاح ياسين (منسقاً)
- د. عمر أبو الحمص (عضواً)
- د. هيفاء الآغا(عضواً)
- د. غازي أبو شرخ(عضواً)
- أ. صبحي الكايد (عضواً)
- أ. جميل أبو سعدة (عضواً)
- أ. منير الخالدي (عضواً)
- أ. محمد مطر (عضواً)

المشاركون في ورشة عمل الكتاب:

محمد صالح العطاونة	حسام عارف إبراهيم	د. عزيز شوابكة
عيسى محمد صبري	عبد الفتاح صبري شمارل	رشا عمر
منذر علي عام	صالح عبد ياسين	أحمد سياعرة
زياد محمد عواد	محمد حسين عبد رومي	محمد صباح
محمد يوسف حمد	أحمد سيف الدين جبر	نهى عطير
مهند مراد بهار	سماء حاتم جبر	عنان وحيد برغوثي
زاهر مصطفى عطوة	نعمة ترافع	إيهاب شكري
هاني فهمي أبو بكر	خديجة عبد اللطيف حسين	ياسر صبحي علي مرار
رائد صبحي أحمد	رؤوفة محمد أبو النجا	رضا زهير الصدر
عبد الرحمن محمد الدارس	علا كاظم جابر	تغريد راجي خليل بنسورة
مرسي عدنان سمارة	فوزي محد حمدان	عفيفة يوسف نعمان الشرباتي
حازم خليل صلاح	معاوية إبراهيم السيد	محمد حسين عبد رومي
أحمد عودة براهمة	سفيان أحمد صويلح	زياد أمين محمد أبو علي
آية كامل شحادة	خميس عبد الله برحة	رباب عمر عارف جرار
جمال صالح علي	عنان سمير ناجي	أشرف عبد الله القرنية
باسمة جميل محمد	إسماعيل شاكر الشروق	أميمة محمود محمود اسعيرات
فتحي أحمد عطية	ثروت طهبوب	إيناس عارف ناصر
أيمن محمود الشروف	سالم عبد اللطيب طنجير	أنس إبراهيم نور

تم الجزء الأول بحمد الله