

شرح قانون كولوم

الفيزياء من المواد المهمة في حياة الإنسان والتي تمت دراستها لقرون طوال في عصور مختلفة، ومن أهم الفصول التي يدرسها علم الفيزياء هو الشحنات الكهربائية التي هي عصب الحياة الحديثة المستخدمة حالياً ولا يمكننا الإستغناء عنها، وهذه الشحنات الكهربائية المدروسة لا تتعلق فقط بالتيار الكهربائي الذي يمر عبر الأسلاك الكهربائية ويعطينا الضوء فقط، وإنما مبدأ الشحنات الكهربائية يتعلق بكل عمل الكتروني نستخدمه يومياً، من أجهزة الحواسيب أو الأجهزة الذكية أو أدوات المطبخ الرقمية أو الغسالات الحديثة أو الطابعات وغيرها آلاف الأمثلة، وكل هذا يعتمد على قوانين الفيزياء مثل قانون كولوم.

مفهوم الشحنة الكهربائية

تعرف الشحنة الكهربائية علمياً على أنها الخاصية الفيزيائية الأساسية للمادة التي تحملها بعض الجسيمات الأولية المتحركة في كيفية تأثير الجسيمات بالمجال الكهربائي أو المغناطيسي، ويُعرف الجمع بين المجالات الكهربائية والمغناطيسية باسم المجال الكهرومغناطيسي، حيث أن تفاعل الشحنات يولد قوة كهرومغناطيسية وهذا ما يعتبر أساس الفيزياء الثابت والذي يعرف أيضاً بثابت الشحنة الكهربائية، ويمكن تبسيط تعريف الشحنة الكهربائية بصيغة يفهمها العقل أسهل فنقول، الشحنة الكهربائية هي كمية الطاقة أو الإلكترونات التي تنتقل من جسم إلى آخر عن طريق أوضاع مختلفة مثل التوصيل أو الحث أو طرق أخرى محددة.

أنواع الشحنة الكهربائية

الثابت في علم الفيزياء هو القيمة التي لا تتغير، ومن بين الثوابت في علم الفيزياء هو نوع الشحنات الكهربائية التي تمتلكها جسيمات المادة دون الذرية، وهي:

- الشحنة الموجبة التي تمتلكها البروتونات، فعندما يكون لجسم ما شحنة موجبة، فهذا يعني أنه يحتوي على عدد من البروتونات أكثر من عدد الإلكترونات.
- الشحنة السالبة التي تمتلكها الإلكترونات، فعندما يكون لجسم ما شحنة سالبة، فهذا يعني أنه يحتوي على إلكترونات أكثر من البروتونات.
- الشحنة المحايدة التي تحمل قيمة صفرية وتمتلكها النيوترونات، فعندما يكون هناك عدد متطابق من الشحنات الموجبة والسالبة، فإن الشحنات السالبة والموجبة تلغي بعضها البعض ويصبح الجسم محايداً.

خصائص الشحنة الكهربائية

تمتلك الشحنة الكهربائية ثلاث خصائص أساسية والتي سنتذكرها مع مثال توضيحي بسيط لفهمها بشكل أفضل، وهي:

- الشحنة الكهربائية مضافة طبيعياً: وكمثال، إذا كان لدينا نظام يتكون من شحنتين هما q_1 و q_2 ، فسيكون إجمالي شحنة النظام هو المجموع الجبري لـ q_1 و q_2 ويرمز للمجموع بـ q_n .
- الشحنة الكهربائية كمية محفوظة: وهذا يعني أن الشحنة لا يمكن إنشاؤها أو تدميرها، وإنما فقط يمكن نقلها من جسم إلى آخر بطرق معينة مثل التوصيل والحث، وكمثال واقعي وبسيط يمكن تجربته في المنزل، إذا فركنا أنبوب زجاجي بقطعة قماش، فسننتقل الشحنة الموجبة إليه، وإذا قربناه من قطعة ورق صغيرة فسيجذبها إليه.
- الشحنة الكهربائية قابلة للتكميم: وهذه الخاصة التي أثبتتها فاراداي في تجاربه التي نشرها عام 1912م، والتي تقول أن الوحدة الأساسية للشحنة هي الشحنة التي يحملها الإلكترون أو البروتون، وهذا يدل على حقيقة أن الشحنة كمية محددة ويمكننا التعبير عنها كمضاعفات متكاملة لوحدة الشحنة الأساسية.

طرق الشحن

الشحن هو عملية إمداد الجسم بالشحنة الكهربائية أو استخلاص الشحنة الكهربائية من هذا الجسم، يمكن شحن الجسم غير المشحون بثلاث طرق مختلفة وهي:

- الشحن عن طريق الاحتكاك: وتحصل هذه العملية عندما يتم فرك جسمين ضد بعضهما البعض ليفقد أحد الأجسام إلكتروناته بينما يكتسب الجسم الآخر إلكترونات، ويصبح الجسم الذي يفقد الإلكترونات مشحوناً إيجابياً والجسم الذي يكتسب إلكترونات يصبح سالباً.
- الشحن عن طريق التوصيل: وتتم عن طريق تقريب جسم غير مشحون من جسم مشحون، بحيث يحتوي الموصل المشحون على عدد غير متساوٍ من البروتونات والإلكترونات، وبالتالي عندما يقترب موصل غير مشحون منه فإنه يفرغ الإلكترونات لتثبيت نفسه.
- الشحن عن طريق الحث أو الاستقراء: عملية شحن موصل غير مشحون عن طريق تقريبه من موصل مشحون دون أي اتصال مادي.

شرح قانون كولوم

يعرف قانون كولوم بشكل بسيط على أنه وصف رياضي للقوة الكهربائية أو التفاعل الكهروستاتيكي بين الأجسام المشحونة بشحنة كهربائية، وقد سمي هذا القانون بهذا الاسم نسبة إلى الفيزيائي الفرنسي تشارلز أوغستان دي كولوم الذي صاغه في عام 1785م، حيث أنه وجد أن هناك علاقة ملموسة في شكل رياضي بين جسيمين مشحونين كهربائياً، وقد نشر هذا القانون وارفقه بمعادلة رياضية شرح فيها القوة التي تتسبب في تجاذب الأجسام أو تنافرها، ويعرف هذا القانون اليوم باسم قانون كولوم أو قانون التربيع العكسي لكولوم.

نص قانون كولوم

يعتبر هذا القانون مشابهاً لقانون اسحق نيوتن في الجاذبية، وينص قانون كولوم وفقاً للفيزيائي الفرنسي الذي وضعه على أن قوة الجذب أو التنافر التي تعمل على خط مستقيم بين جسمين مشحونين تتناسب طردياً مع ناتج ضرب شحناتهما، وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما، وهذا التفاعل الحاصل عن عملية الجذب والتنافر تنتج عنه القوة الكهربائية التي نعرفها.

تحليل قانون كولوم

وفق قانون كولوم، هناك ثلاثة متغيرات تؤثر على القوة الكهربائية وهي الشحنتين والمسافة بينهما، ويتم تحليل هذا التأثير وفق التالي:

- يعتمد اتجاه القوة الكهربائية على ما إذا كانت الأجسام المشحونة مشحونة بشحنة مماثلة أو شحنة معاكسة، فإذا كانت الشحنتان سالبتان أو موجبتان تتنافر، بينما إذا كانت إحداهما موجبة والأخرى سالبة تتجذب.
- يعمل التجاذب أو التنافر على طول الخط الفاصل بين الشحنتين بشكل مستقيم، أي أنه لا يحدث تلامس بين القوتين.
- يختلف حجم القوة عكسياً حسب مربع المسافة بين الشحنتين، وهذا يعني أنه إذا تضاعفت المسافة بين الشحنتين، فإن خاصية التجاذب أو التنافر سوف تضعف وتخفض إلى ربع القيمة الأصلية، بينما إذا اقتربت الشحنات بمقدار 10 مرات فسيزداد حجم القوة بمعامل 100.
- حجم القوة يتناسب مع قيمة كل شحنة من الشحنتين، فإذا كانت هناك شحنتان موجبتان، وإحداهما بمقدار 0.1 كولوم والثانية بمقدار 0.2 كولوم، فسوف تتنافران بقوة تعتمد على ناتج ضرب الشحنتين الأولى والثانية أي 0.1×0.2 ، وبالتالي، إذا تم تخفيض كل من الشحن بمقدار النصف، فسيتم بالمقابل تقليل التنافر إلى ربع قيمته السابقة.

ما هو ثابت كولوم

ثابت كولوم أو ما يسمى فيزيائياً 1 كولوم المسؤول، هو الشحنة التي تصد شحنة متساوية من نفس العلامة بقوة 8.98×10^9 نيوتن، وذلك عندما تكون الشحنات على بعد متر واحد في الفراغ، وهي قوة مقياسة وثابتة من قبل العالم كولوم، ويتم تعريف قوة كولوم على أنها القوة المحافظة المتبادلة والداخلية في الشحنة، ويجدر الذكر أن قانون كولوم وثابت كولوم تكون قيمته صحيحة فقط في حالة الشحنات الاستاتيكية أي الشحنة الساكنة.

الصيغة الرياضية لقانون كولوم

- الصيغة الرياضية لقانون كولوم أو معادلة قانون كولوم، تعتمد على نص القانون نفسه والذي يحدد المتغيرات والثوابت في المعادلة، ومعادلته هي $f = k \times (q1 \times q2) / r^2$ ، ودلالة هذه الرموز وفقاً لنص القانون ما يلي:
- **دلالة f:** وتعبير عن القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين مقياسة بالنيوتن.
 - **دلالة k:** وهي ثابت كولوم وقيمتها 9.0×10^9 نيوتن.
 - **دلالة q1:** مقدار الشحنة الأولى مقياسة بالكولوم.
 - **دلالة q2:** مقدار الشحنة الثانية مقياسة بالكولوم.
 - **دلالة r:** مربع المسافة بين الشحنتين مقياسه بالمتر.

حدود قانون كولوم

المقصود بحدود قانون كولوم هي الحالات أو الشروط التي يتم فيها استخدام هذا القانون، وفي حال تغيرت هذه الحالات فهناك قوانين فيزيائية أخرى، أما هذه الحدود فهي:

- قانون كولوم ينطبق فقط على رسوم النقاط التي هي في حالة سكون، أي أنه في حالة الشحنات الساكنة.
- لا يمكن تطبيق هذا القانون إلا في الحالات التي يتم فيها الامتثال لقانون التربيع العكسي الذي ينص عليها هذا القانون وهذا شرط أساسي.
- من الصعب تطبيق هذا القانون عندما تكون الشحنات في شكل تعسفي، لأنه في تلك الحالات لا يمكننا تحديد المسافة بين الشحنات، وهذا الشرط واضح جداً في نص القانون.

حل مسائل حسابية على قانون كولوم

لتوضيح القانون بشكل عملي أكثر وزيادة فهم قانون كولوم وتطبيقه، سنقوم بحل بعض المسائل في ظل هذا القانون مع شرح الحل، وفي سياق هذه المسائل، سنوضح الفرق بين الحل البسيط الذي يمكن التوصل إليه بسهولة، والحل الذي يحتاج إلى آليات تحويل وكيفية حلها، ويجدر الذكر أن الصيغ المتعارف عليها في التحويل إلى كولوم هي:

$$1 \text{ كولوم} = 10^6 \text{ ميكرو كولوم.}$$

$$1 \text{ كولوم} = 10^9 \text{ نانو كولوم.}$$

المسألة الأولى

إذا افترضنا أنه لدينا شحنتين نقطيتين كل منها بتكلفة +1.00 كولوم، وهاتين الشحنتين مفصولتين بمسافة متر، أوجد مقدار القوة الكهربائية للتناظر بينهما.

الحل: هذه المسألة بسيطة، ولا يوجد فيها قيم تحتاج إلى تحويل وتتضمن كافة العناصر التي يتطلبها الحل ضمن إطار المعادلة الموضوعية في قانون كولوم وهي مقدار الشحنتين والمسافة، وبالتالي يمكن تعويض القيم المعطاة في معادلة قانون كولوم،
 $f = k \times (q_1 \times q_2) / r^2$ ، بشكل مباشر لحل المسألة وفق التالي:

$$F = (9.0 \times 10^9) \times (1.00) \times (1.00) / (1\text{m}^2)$$

$$F = 9.0 \times 10^9$$

المسألة الثانية

يتم شحن بالونين بنفس كمية ونوع الشحنة -6.25 نانو كولوم، ثم يتم فصلهما عن بعضهما البعض على مسافة فاصلة تبلغ 61.7 سم، أوجد مقدار القوة الكهربائية للتنافر بينهما.

الحل: قبل الحل يجب تحويل الأعداد إلى وحداتها الصحيحة، فمثلاً الشحنة مطروحة في وحدة النانو كولوم ويجب تحويلها إلى كولوم، وكذلك الأمر فالمسافة مطروحة بالسنتيمتر ويجب تحويلها إلى المتر وفق التالي:

- $q_1 = q_2 = -6.25 = -6.25 \times 10^{-9}$
- $r = 61.7 \div 100 = 0.617$ م

نعوض بعدها القيم بالمعادلة لنستخلص الناتج ونستخدم الخطوات الجبرية المناسبة لحل المعلومات غير المعروفة أو المجهولة وفق التالي:

- $F = (10^9 \times 9.0) \times (6.25 \times 10^{-9}) \times (6.25 \times 10^{-9}) / 0.617^2$
- $F = 9.23 \times 10^9$

المسألة الثالثة

يجذب بالونان بشحنات +3.37 درجة مئوية و -8.21 درجة مئوية بعضهما البعض بقوة 0.0626 نيوتن، حدد المسافة الفاصلة بين البالونين.

الحل: هنا القيمة المجهولة هي المسافة، وقبل الخوض في الحل، يجب تحويل الوحدات من ميكرو كولوم إلى كولوم وفق التالي:

- $q_1 = 3.37 = +3.37 \times 10^{-6}$
- $q_2 = 8.21 = -8.21 \times 10^{-6}$

فيما يلي نستخدم معكوس معادلة قانون كولوم للحصول على المسافة، فإذا كان $f = k \times (q_1 \times q_2) / r^2$ ، فإن $r^2 = k \times q_1 \times q_2 / f$ وبالتالي يكون الحل وفق معكوس المعادلة هو:

- $r^2 = (9.0 \times 10^9) \times (+3.37 \times 10^{-6}) \times (-8.21 \times 10^{-6}) / (0.0626)$
- $r^2 = 3.98$ م
- $r = 1.99$ م

تطبيقات قانون كولوم

تعتبر تطبيقات قانون كولوم من أكثر التطبيقات التي نستخدمها بشكل اعتيادي في حياتنا اليومية دون أن نشعر بذلك، وفيما يلي سنقدم أكثر هذه التطبيقات استخداماً في كل مكان نتواجد فيه وبشكل شائع.

تذويب المواد في الماء

وأكبر مثال عليها هو كلوريد الصوديوم أو ملح الطعام الذي نستخدمه باستمرار، حيث أنه يوجد هناك تفاعل إلكتروستاتيكي بين المذاب والمذيب، فالمحيط قطبي بطبيعته، ولهذا ينجذب إلى الماء ويذوب فيه بسهولة، بينما الزيت غير قطبي بطبيعته، ولذلك لا يختلط بالماء.

مشط الشعر أو البالون

وهذه عملية شائعة يمكن تجربتها في المنزل أيضاً بكل بساطة، فعند تمشيط الشعر، تترسب الشحنات على أسنان المشط عند فركه بالشعر، وإذا قربنا المشط المشحون من قطع الورق المشحونة بشحنة معاكسة أو المحايدة بطبيعتها، فستجذب الأوراق إلى المشط، وكذلك الأمر إذا قمنا بفرك بالون بالشعر أو قطعة قماش وقربناه من الحائط، فسوف ينجذب إليه ويتعلق به.

طلاء السيارات

الطلاء الذي يتم استخدامه لدهان السيارات هو عبارة عن مزيج من البوليستر والأصباغ، وعندما يوضع الطلاء في مسدس الرش، يتم شحنه إيجابياً بمساعدة ملف كهرومغناطيسي، ويتم شحن القطعة التي يتم طلاؤها بشحنة سالبة بواسطة سلك يسمى سلك التأييض أو التفريغ، وهنا تسمح قوة جذب كولوم الموجودة بين الطلاء موجب الشحنة والجسم السالب الشحنة للطلاء بالتساقط بالتساوي على سطح الجسم.

الطابعات

تتكون الطابعات من ثلاثة أجزاء رئيسية وهي المصباح الهيدروجيني واسطوانة حساسة للضوء مصنوعة من السيلينيوم واسطوانة حبر، وعندما يتم وضع الورقة في الماسح الضوئي، تبدأ مناطق الأسطوانة المعرضة للضوء في التصرف كموصل، في حين تبقى المنطقة غير المعرضة للضوء مشحونة سلباً، وعندها، تُنشئ الأسطوانة انطباعاتاً كهربائية عن المستند على سطحه ليُدور ويتلامس

مع مسحوق الحبر موجب الشحنة، ومن ثم يجذب إلى الأجزاء السالبة الشحنة من الانطباع، وهنا تقوم الأسطوانة بنقل الصورة إلى الورق لتكتمل عملية النسخ.