أدرك دوبلر أن الصوت الذي ينبعث من مصدر ينتقل نحوك سوف يزداد تردده، أو بشكل مكافئ، ينخفض في الطول الموجي (لأن الطول الموجي يعطى فقط عن طريق سرعة الموجة مقسوما علي ترددها). الطول الموجي هو المسافة بين قمم موجة متتالية. لكن مصدرا متحركا لحق بكل قمة إلى حد ما قبل تصاعد القمة التالية، مما أدى إلى تقليل الطول الموجي بشكل فعال وزيادة التردد. ويحدث التأثير العكسي عندما يكون المصدر يتحرك بعيدا، مما يؤدي إلى انخفاض في التردد.

واختبرت موجات الضوء أيضا تأثير دوبلر. في الواقع، أن التحرك بسرعة كافية نحو إشارات المرور الحمراء سيحول لونها إلى طول موجي أقصر باللون الأخضر. ومع ذلك، كنت بحاجة إلى التحرك بحوالي 18 في المائة من سرعة الضوء للقيام بذلك! يتم استخدام تأثير دوبلر من قبل علماء الفلك لحساب الركود أو نهج سرعات النجوم. أيضا يستخدمه مشغلو الرادار للتخطيط لسرعة الطائرات.

الكهرباء والمغناطيسية

الشحنة الكهربائية:

إن الخاصية الأساسية للكهرباء هي الشحنة الكهربائية ويتم قياسها بوحدة الكولوم (C) بعد العالم الفيزيائي الفرنسي شارل أوغستين دي كولوم Charles-Augustin de (Coulomb). وتحمل العديد من الجسيمات غير الذرية شحنة كهربائية، وتظهر عادة في قطع منفصلة تساوي مضاعفات العدد الكلي للشحنة الموجودة على الإلكترون، الذي يرمزله ب (e) ، والذي يأخذ بشكل علمي القيمة 1.6 × 10−19 كولوم.

تؤدي الشحنات الكهربائية إلى المجالات الكهربائية التي تمكن الشحنات من التفاعل مع بعضها البعض من مسافة بعيدة. وتسبب المجالات الكهربائية شحنات لا متماثلة وشحنات متماثلة ، علي سبيل المثال: الشحنات اللامتماثلة (+ج) و(- ج) ينجذبان إلى بعضهما، والشحنات المتماثلة علي سبيل المثال اثنين من الإلكترونات لكل منهما شحنة (- ج) سوف يتنافران.ويعطي حجم التفاعل بين شحنتين عن طريق قانون كولوم والذي

يقول بأن القوة التي تمارسها تزيد مع حجم الشحنات وتقل مع مربع المسافة بينهما. ومثل الطاقة والزخم والكتلة، تخضع الشحنة لقانون المحافظة – إنه من المستحيل إنشاؤه أو تدميره.

التيار الكهربائي:

يعرف تدفق الشحنة الكهربائية باسم التيار الكهربائي، الذي يقاس بالأمبير. يوافق واحد أمبير معدل تدفق الشحنة التي تساوي واحد كولوم في الثانية الواحدة. وقد جعل التيار ليتدفق، على سبيل المثال خلال كابل، عن طريق توصيل السلك بمصدر "القوة الدافعة الكهربائية" (emf)، مثل البطارية؛ يتم قياس القوة الدافعة الكهربائية بالفولت، كما يشار إليه أحيانا باسم 'الجهد الكهربائي.

إن العلاقة بين الشحنة الكهربائية والقوة الدافعة الكهربائية هي بالأحرى مثل العلاقة بين الكتلة ومجال الجاذبية. عند رمي كتلة في حقل الجاذبية سوف تسقط ويتم قياس معدل سقوطها عن طريق سرعتها ويتم تحديدها من خلال قوة المجال. وبالمثل، عند تعرض شحنة كهربائية للقوة الدافعة الكهربائية سوف تتحرك ويتم قياس معدل حركتها من خلال التيار الكهربائي، والتي تحددها قوة القوة الدافعة الكهربائية.

المقاومة:

يتم تحديد شدة التيار الكهربائي الذي يتدفق من خلال قطعة من الأسلاك تتصل بالبطارية عن طريق «المقاومة» من السلك – وهي معارضة تدفق الشحنة. على وجه التحديد، يتم إعطاء شدة التيار الكهربائي عن طريق جهد البطارية مقسوما على المقاومة. يتم قياس المقاومة بالأوم ويختلف باختلاف المواد. فالموصلات الكهربائية الجيدة، مثل المعادن لها مقاومة منخفضة. يمكن أن يمر التيار من خلال موصل لأن هناك حاملات الشحنة التي يمكن أن تنجر من خلال جهد البطارية – الإلكترونات عادة ما تكون حرة– وللمعادن الكثير من الإلكترونات الحرة. من ناحية أخرى، تحتوي الموصلات الرديئة مثل البلاستيك على عدد قليل جدا من الإلكترونات الحرة، وبالتالي يكون عالية المقاومة.

ينبغي أن يبذل التيار الطاقة للتغلب على المقاومة الكهربائية. ويتم قياس هذا المعدل من فقدان الطاقة بالجول في الثانية الواحدة، أو بالوات، ويعطى عن طريق حاصل ضرب المقاومة والتيار التربيعي معا. ويفقد المصباح الكهربائي بفتيلة من التنغستين ذا 100 وات الطاقة بمعدل 100 جول / ثانية بسبب مقاومة التنجستين وتنبعث هذه الطاقة كضوء وحرارة.

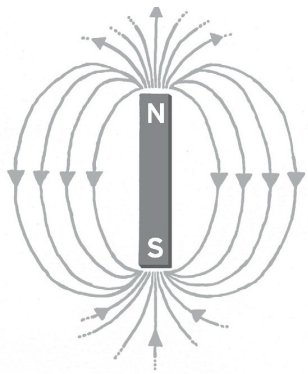
السعة الكهربائية:

إن المكثف هو جهاز قادر على تخزين الشحنة الكهربائية والذي عادة ما يكون مصنوعاً من لوحين موصلين للتيار تفصل بينها مادة عازلة تعرف بالعازل الكهربائي. ومن أمثلة العوازل الهواء، والميلر والسيراميك.

إذا تم شحن المكثف بالكامل، فإنه يمكن أن يتم تفريغه. إنه يقوم فعليا بعمل بطارية مصغرة. ويمكن أن تحمل المكثفات الكبيرة شحناً كافياً لإضاءة مصباح الشعلة لمدة دقيقة أو نحو ذلك؛ وتشمل التطبيقات الأخرى وحدات فلاش الكاميرا، حيث يتطلب نبضات تيار قوية من بطارية صغيرة. يتم قياس السعة الكهربية بالفاراد، نسبة للمهندس الكهربائي البريطاني العظيم مايكل فاراداي (Michael Faraday).

تشكل السحابات الرعادة والأرض نوعا من المكثف الطبيعي- مفصولة بطبقة عازلة من الهواء. في ظل ظروف معينة يمكن للتيار أن يلتوي عبر العازل الكهربائي، ويتم تفريغه بالفلاش والضجة الشديدة.

المغناطيسية:



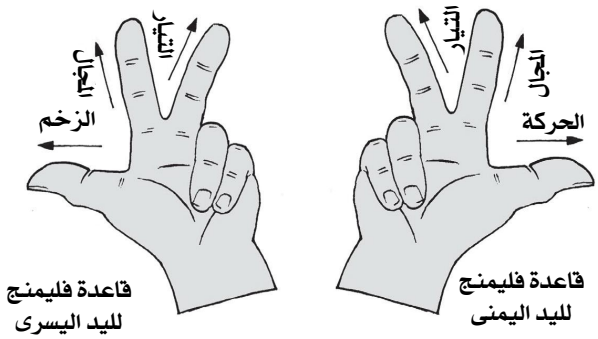
تقوم المغانط بتوليد مجال مغناطيسي حولها، وتكون مكونةً من قطبين شمالي وجنوبي يعمل المجال المغناطيسي بينهما، وتتجاذب الأقطاب المختلفة بينما تتنافر الأقطاب المتشابهة.

تجذب المجالات - أو الحقول- المغناطيسية المواد المعروفة بالمواد المغناطيسية كالحديد والكوبالت، حيث الخصائص

الذرية لهذه المواد تجعلها أكثر سماحيةً لنفاذ المجال المغناطيسي إليها، وفي الواقع فإن كل المواد التي تعمل مغانط دائمةً – مثل المواد التي تلصقها بثلاجتك– هي مواد مغناطيسية.

وتقاس المجالات المغناطيسية بوحدات تسمى تسلا، ويتم اكتشافها عن طريق أجهزة تعرف بمقاييس المغناطيسية، وللمغناطيسية تطبيقات مهمة في تخزين البيانات، والملاحة، والطب.

الحث:



أصبح من الواضح لدى الفيزيائيين في مطلع القرن التاسع عشر أن الكهرباء والمغناطيسية مرتبطتان مع بعضهما بطريقة ما، حيث أن تحريك سلك موصل في مجال مغناطيسي – أو بشكل مكافئ تعريض سلك ثابت لمجال مغناطيسي متغير– ينتج تياراً في السلك، وبالمثل فإن تمرير تيار في سلك متحرك بواسطة بطارية ينشئ مجالاً مغناطيسياً، هذه التأثيرات تعرف بالحث، وقوانينها الفيزيائية قام باكتشافها مايكل فاراداي Michael Faraday والفيزيائي الأمريكي جوزيف هنري Joseph Henry. ويعد الحث أساس عمل مولدات الدينامو التي تقوم بتحويل الحركة الدورانية (التي أنتجها محرك احتراق داخلي) إلى كهرباء، وكذلك المحركات الكهربائية التي تقوم بتوليد حركة دورانية من تيار كهربائي.

وتعطى العلاقات بين المجال الكهربي والمجال المغناطيسي والحركة في كل حالة باستخدام قاعدة فليمينج لليد اليمنى وقاعدة فليمنج لليد اليسرى على التوالي (انظر الشكل)، وسميت بذلك نسبةً إلى الفيزيائي البريطاني جون أمبروز فليمنج John Ambrose Fleming.

الأرض وكواكب غيرها لديها مجالات مغناطيسية يظن أنها تنشأ بسبب تأثير الحركة (تأثير الدينامو) للسوائل الموصلة التي تدور في مركزها.

التيار المتردد والتيار الثابت AC/DC:

يأخذ التيار الكهربائي أحد شكلين: التيار المتردد أو المتناوب (AC)، والتيار الثابت (DC). لا يتغير التيار الثابت بمرور الزمن، أما التيار المتناوب فهو - مثل اسمه- يتغير بمرور الزمن حسب نظرية الموجة وله ارتفاع وتردد محددان. جميع الأجهزة الكهربائية التي تعمل على البطاريات - كالمصابيح اليدوية، والأجهزة الخليوية، والأجهزة الكفية (كالآيباد)- تعمل على تيار ثابت، أما الكهرباء المنزلية فهي تيار متردد.

المحول:

المحولات هي أجهزة تقوم برفع كهرباء الجهد المنخفض إلى جهد مرتفع (محولات رافعة للجهد)، أو العكس (محولات خافضة)، وتعمل على مبدأ الحث الكهربائي، حيث يدخل جهد الدخل إلى سلك ملفوف حول قلب حديدي على شكل حلقة، ويقوم هذا الجهد الداخل بحث مجال مغناطيسي في القلب الحديدي، وهذا المجال يقوم بدوره جهد خرج في السلك الثاني الملفوف حول الجهة المقابلة من القلب الحديدي، وتقاس نسبة جهد الخرج إلى جهد الدخل بعدد اللفات المناظر للجهد على كل جهة من المحول.

تعمل المحولات فقط في الجهد المتناوب (AC) لأن الحث يتطلب مجالاً مغناطيسياً متغيراً، ولهذا السبب يقتصر استعمال الكهرباء المتناوبة تقريباً على الكهرباء المنزلية، فالكهرباء المنزلية تحتاج لنقلها عبر مسافات طولية من محطات التوليد إلى المستهلكين، ومن الموفر للتكلفة أن يتم عمل ذلك باستخدام جهد مرتفع وتيار منخفض؛ لأن ذلك يقلل من كمية الكهرباء المهدرة في مقاومة الأسلاك على شكل حرارة، ولذلك تحمل الخطوط العالية للطاقة (الكوابل التي فوق الرأس) جهوداً كهربائيةً تبلغ قيمتها مئات الآلاف من الڤولت. ولكن تزويد المنازل بمثل هذه الكهرباء التي تحوي هذه الجهود يعد خطيراً، لذلك يتم توجيه الطاقة إلى محطات مجاورة حيث تقوم المحولات بتخفيضها إلى مئات الفولتات، وهذا مناسب للاستخدام المنزلي.

معادلات ماكسويل:

في مطلع القرن التاسع عشر كان من الواضح لدى العلماء أن الكهرباء والمغناطيسية ما هما إلا وجهان مختلفان لظاهرة واحدة، وقد قام الفيزيائي الأسكتلندي چيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell أخيراً بصياغة نظرية شاملة تشرحهما عام 1861 عندما قام بنشر نظريته التي تعرف بـ (الكهرومغناطيسية). وقد اختصرت إلى أربع معادلات رئيسة نستطيع استخلاص كل خصائص المغناطيسية والشحنة الكهربية منها، وقد تضمنت الروابط بينها.

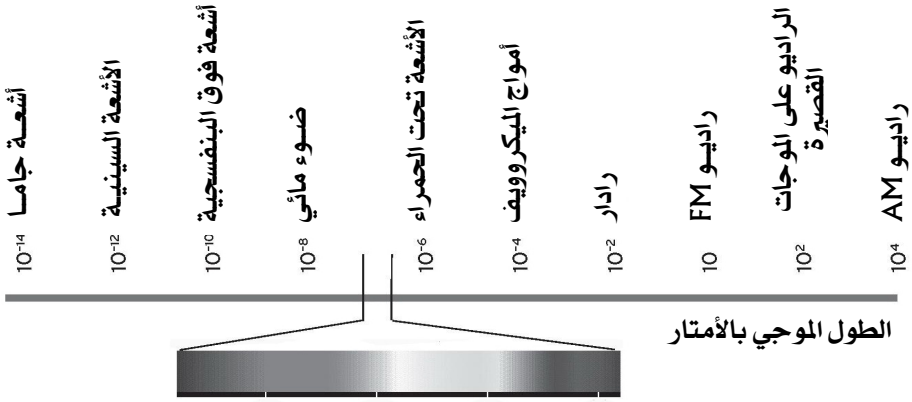
وقد قدمت معادلات ماكسويل في الكهرومغناطيسية أول مثال لنظرية الاتحاد، وهي إطار علمي واحد يضم القوى المختلفة في الطبيعة، وتوالت النظريات بعد ذلك مثل نظرية كالوزا وكلين Kaluza-Klein ونظرية الأوتار.

الإشعاع الكهرومغناطيسي:

تتوقع النظرية الكهرومغناطيسية – التي تحكمها معادلات ماكسويل– وجود موجات من الطاقة الكهرومغناطيسية تنتقل عبر الفضاء، ويتكون الإشعاع الكهرومغناطيسي من مجالات كهربائية ومغناطيسية تهتز – حسب نظرية الموجة– في زوايا قائمة بالنسبة لبعضها البعض وتتحرك عبر الفضاء بسرعة الضوء (300000 كيلومتر في الثانية). ويصنف الإشعاع عبر الطيف الكهرومغناطيسي بواسطة طول موجته. على الجانب طويل الموجات من الطيف – حيث تبلغ طول الموجات فيه عدة كيلومترات– تقبع موجات الراديو ذات الطول الموجي العالي، وتحتل هذه الموجات مساحةً واسعةً من الطيف، وعلى الجانب القصير توجد موجات تصل إلى سنتيمترات في الطول حيث نكون حينها دخلنا في منطقة الأمواج فائقة القصر (أمواج الميكروويف)، وفي مقياس المليمترات تكون الطريق إلى الموجات تحت الحمراء.

ويبدأ الطيف المرئي (الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي نستطيع رؤيته بأعيننا) عند 0.75 ميكرون (0.75 جزء من ألف من المليمتر)، وهذا هو الضوء الأحمر، ويستمر الطيف المرئي ليشمل الضوء البرتقالي، والأصفر، والأخضر، والأزرق، والنيلي، والبنفسجي،

ليصل في النهاية إلى الموجات فوق البنفسجية عند حوالي 0.35 ميكرون، ويعتبر الضوء الأبيض (الذي نتعامل معه عادةً) مزيجاً من كل ألوان الطيف المرئي، وتستمر الموجات فوق البنفسجية لتصل إلى حوالي واحد من المليون من المليمتر حيث توجد الأشعة السينية (أشعة إكس) المستخدمة في التصوير الطبي، وتختم أشعة غاما الطرف الجانب عالي الطاقة من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يبدأ عند الطول الموجي الذي يبلغ 10 أجزاء من المليون من المليمتر تقريباً.



الفوتونات:

بعض المعادن تبعث إلكترونات عند سقوط الضوء عليها فيما يعرف بالتأثير الكهرضوئي ،حيث يتصرف الضوء كسيل من الجسيمات كما يتصرف كأمواج، وقد كانت هذه ملحوظة أساسية في تطوير نظرية الكم، وتسببت في الفوز بجائزة نوبل للعالم الشاب ألبرت آينشتاين Albert Einstein الذي كان أول من فسر كيف تعمل بالفعل.

وقد تمت ملاحظة التأثير الكهرضوئي لأول مرة في 1893، لكن لم يستطع أحد أن يفسر كيف تستطيع أمواج الضوء طرد الإلكترونات خارج المادة الصلبة، وكانت فكرة آينشتاين العبقرية أن يعتبر الضوء وابلاً من الجسيمات الصلبة تسمى فوتونات (هذه الفكرة كان أول من استخدمها الفيزيائي الألماني ماكس پلانك Max Planck لتطوير نظرية للإشعاع

الحراري)، هذه الفوتونات تتصادم مع الإلكترونات في المعدن ككرات البلياردو، لذلك عندما يأتي فوتون ذو طاقة كافية فإنه يطرد الإلكترون الذي يطرحه إلى خارج المعدن، ويتشابه التأثير الكهرضوئي مع التأثير الكهرضوئي الجهدي حيث تنتج الكهرباء عندما يشع الضوء على وصلة من أشباه الموصلات، وتستند على هذا التأثير – أي التأثير الكهرضوئي الجهدي– آلية عمل الألواح الشمسية الحديثة.

الهيدروديناميكية المغناطيسية:

تسبب ألماً شديداً لطلاب الفيزياء والرياضيات في أنحاء العالم، أنها الهيدروديناميكية المغناطيسية، ذلك الفرع المعقد جداً والذي يضم ديناميكا الموائع ومعادلات ماكسويل في الكهرومغناطيسية في محاولة لوصف سلوك الموائع الموصلة كهربائياً في وجود مجال مغناطيسي، وقد استخدم هذا الفرع في بناء المولدات حيث تمر الموائع المشحونة عبر مجال مغناطيسي كي تقوم بتوليد فرق جهد بنفس مبدأ عمل الدينامو، وهذا الفرع أيضاً يشكل الأساس لنظام دفع تجريبي في السفن والغواصات حيث يتم تمرير تيار في ماء البحر وفي مجال مغناطيسي ثم يتم تطبيقه ليجبر ماء البحر على العودة للوراء مثل النافورة.

غير مقتنعين بتعقيد الهيدروديناميكية المغناطيسية، حاول بعض الفلكيين الذين يدرسون نظرية الانفجار العظيم دمجها بالنسبية العامة لآينشتاين لوصف الموائع الموصلة في الفضاء المنحني.

البصريات

أمواج الضوء:

بما أن الصوت عبارة عن نوع من الموجات الميكانيكية التي تلتقطها آذاننا، فإن يعد الضوء أحد أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي تلتقطه أعيننا، وقد تم استيعاب الطبيعة الموجية للضوء قبل استحداث علم الكهرومغناطيسية بوقت طويل حيث قام الفيزيائي الهولندي كريستيان هايجنز Christian Huygensبنشر النظرية الموجية للضوء عام 1678 والذي لا يزال الكثير منها فعالاً إلى يومنا هذا، وبعد ذلك في القرن التاسع عشر تم تطوير