

تعد معادلات ماكسويل من أهم الأعمدة التي قامت عليها الحضارة الحديثة و أهم أسس الثورة الصناعية وعلى اغلب الظن فإن ماكسويل نفسه لم يكن يتخيل مقدار تأثير تلك المعادلات على الحضارة البشرية وانتقالها من طور الى طور اخر.

فتقريباً لا يوجد جهاز حديث او معدة هندسية الصنع إلا وتجدها تعتمد في عملها بشكل أساسي على تلك المعادلات التي استطاع العالم جيمس ماكسويل في عام 1865 أن يصيغ استنتاجات فيزيائية لبعض العلماء السابقين له بشكل رياضي فاعتمد بشكل أساسي على العقل و المنطق اثناء استنتاج تلك المعادلات ولم يعتمد على الإثباتات الرياضية .

كانت أيضا هذه المعادلات من أهم الأسس التي اعتمد عليها اينشتاين في قيام النظرية النسبية حيث وصف هذه المعادلات بأنها أكثر ما شهده الفيزياء عمقاً وإثماراً و عند زيارته لجامعة كامبريدج عام 1922 سئل إن كان قد اعتمد على اعمال نيوتن في استنتاجاته فأجاب بأنه اعتمد على اعمال ماكسويل .

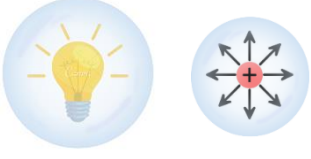
استطاعت هذه المعادلات توصيف خصائص المجال الكهربى (المعادلة i) والمجال المغناطيسى (المعادلة ii) والعلاقة ما بين كل منهما (المعادلات iii & iv)

i. المعادلة الأولى :

او كما تعرف بقانون جاوس للمجال الكهربى لأنه في عام 1785 قام العالم كارل جاوس بوصف المجال الكهربى بشكل فيزيائى حيث استنبط هذا القانون من مشاهد حوله في الحياة

بحيث انه في حالة إحضار مصباح كهربى او شمعة او أي مصدر للضوء وإحاطته بسطح خارجي مغلق فإنه يمكن الاستنتاج بشكل بديهي ان عدد الاشعة المسلطة على وحدة المساحات من هذا السطح تتناسب تناسبا طرديا مع القدرة الاشعاعية لهذه الشمعة او هذا المصباح

ومن ثم قام بتطبيق هذا الاستنتاج العقلي على ما لا يُرى بالعين المجردة وهو المجال الكهربى الناتج من الشحنة الكهربائية فكما نعلم ان الشحنة الساكنة يتولد حولها مجال كهربى و يختلف اتجاهه باختلاف نوع الشحنة، فإذا كانت الشحنة سالبة فإن المجال الكهربى يكون اتجاهه داخل الشحنة وفي حالة كون الشحنة موجبة فإن اتجاه المجال الكهربى يكون خارج الشحنة



وبالتالى عدد خطوط الفيض للمجال الكهربى الناتج من الشحنة الساكنة يتوقف على كثافة هذه الشحنة ρ

وبالتالى $\nabla \cdot E \propto \rho$ (تناسب خطوط الفيض الناتجة تناسبا طرديا مع كثافة الشحنة المنتجة لهذا المجال)

ولكن وجد ان الوسط المحيط بهذه الشحنة يؤثر على هذا المجال بحيث أن عدد خطوط الفيض الناتجة من نفس الشحنة في الفراغ لن تكون كذلك الناتجة في الهواء او الماء وبالتالي كان لزاما علينا ان يكون ثابت التناسب هو قدرة الوسط على إمرار المجال الكهربى (permittivity ϵ)

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon}$$

حيث :

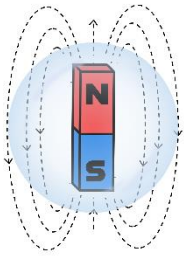
- $\nabla \cdot$ => number of flux – عدد خطوط الفيض
- E => electric field – المجال الكهربى
- ρ => charge density – كثافة الشحنة
- ϵ => permittivity of the medium to the electric field – سماحية الوسط لنفاذ المجال الكهربى

ii. المعادلة الثانية :

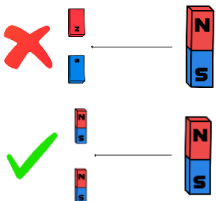
المعروفة أيضا باسم قانون جاوس للمجال المغناطيسى فقد قام العالم كارل جاوس عام 1832 باستخدام نفس السطح الوهمى الذي افترض إحاطته بالشحنة وافترض أيضا إحاطته بمغناطيس كما بالشكل.

فوجد أن عدد خطوط الفيض المغناطيسى الخارجة من المغناطيس تساوي عدد خطوط الفيض العائدة إليه مرة أخرى وبالتالي المجموع الجبرى لها دائما يساوي الصفر فصاغ ما رأى بشكل رياضي على الصورة التالية $\nabla \cdot B = 0$

حيث :

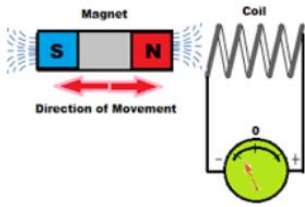


- $\nabla \cdot$ => number of flux – عدد خطوط الفيض
- B => magnetic field – المجال المغناطيسى



ومن هنا تم استنتاج ان المغناطيس يلزم في جميع الحالات ان يتكون من قطبيه الشمالى والجنوبى بحيث تتحقق هذه المعادلة في كل الأحوال وبالتالي في حالة كسر مغناطيس الى جزئين متساويين فإنه لا يتحول الى قطبين منفصلين بل يتحل الى مغناطيسين جديدين حتى تستمر حركة خطوط الفيض من القطب الشمالى الى الجنوبى خارج المغناطيس ومن الجنوبى الى الشمالى داخل المغناطيس تحقيقا للمعادلة الثانية

iii. المعادلة الثالثة :



تطلق على هذه المعادلة قانون فاراداي; لأن ماكسويل استطاع صياغة تجربة العالم مايكل فاراداي للحث الكهرومغناطيسي بشكل رياضي حيث ان تجربة فاراداي التي أجريت في عام 1831 كانت في الأساس تعتمد على تولد تيار كهربى مستحث نتيجة لحركة مجال مغناطيسي داخل ملف كهربى كما بالشكل

وبالتالى استنتج ماكسويل أن المجال الكهربى يمكن أن ينشأ عن طريق التغير في المجال المغناطيسي عندما وجد أن التيار الكهربى نشأ في الملف نتيجة لحركة المغناطيس وعند توقف المغناطيس عن الحركة فإن التيار المار يتوقف فقام بصياغة

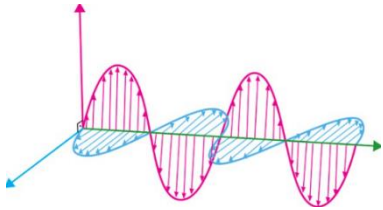
$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

معادلته الثالثة على النحو التالى

التي يمكن تفسيرها بشكل مبسط انه يمكن انتاج المجال الكهربى عن طريق مجال مغناطيسي متغير بمرور الزمن

وتم إضافة الإشارة السالبة لتطبيق مبدأ حفظ الطاقة حيث انه من المنطقي ان يقل المُنتج (والذي هو المجال المغناطيسي) بإنتاج المُنتج (والذي هو المجال الكهربى) حيث :

- $\nabla \times$ => source of producing - سبب انتاج
- E => electric field – المجال الكهربى
- $\frac{\partial}{\partial t}$ => rate of changement in time – معدل التغير بالنسبة للزمن
- B => magnetic field – المجال المغناطيسي

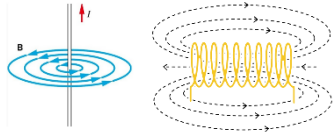


ومن الشكل السابق يمكن ملاحظة ان خطوط المجال المغناطيس كانت عمودية على اتجاه التيار المستحث وبالتالي يمكن هنا تفسير شكل الموجة الكهرومغناطيسية المعروف (self-propagating wave) وهو ان المجال المغناطيسي والمجال الكهربى كل منهما متعامد على الآخر كما بالشكل

iv. المعادلة الرابعة :

بعد ان أوجَدَ ماكسويل المعادلة التي تعبر عن تكون المجال الكهربى واصل البحث عن المعادلة التي تعبر عن تكوين المجال المغناطيسي وكان من المنطقي بالنسبة له أن يعتمد تكون المجال المغناطيسي أيضا على معدل التغير في المجال الكهربى كما بالشكل السابق

بالإضافة إلى أنه كان من المعلوم بالنسبة له نتيجة لتجاربه العالم اندريه امبير عام 1820 ان المجال المغناطيسي يتكون نتيجة للشحنة المتحركة كمرور تيار داخل ملف او مرور تيار داخل سلك كهربى كما هو موضح بالشكل, ولذلك أطلق على المعادلة الرابعة قانون امبير.



ومن هذا المنطلق تم استنتاج ان المجال المغناطيسي يتكون نتيجة:

- معدل التغير في المجال الكهربى بالنسبة للزمن $\frac{\partial E}{\partial t}$
- الشحنة المتحركة – عدد الشحنات بالنسبة لوحدة المساحات (كثافة التيار الكهربى) J

وبالتالى قام بصياغة معادلته الرابعة والأخيرة على النحو التالى:

$$\nabla \times B = - \frac{\partial E}{\partial t} - J$$

وتم استعمال الإشارات السالبة لتطبيق مبدأ حفظ الطاقة كما سبق التوضيح انه من المنطقي أن يقل المُنتج بإنتاج المُنتج

ولكن تم ضرب المعادلة في (-1) بغرض تبسيط الشكل لتصبح:

$$- \nabla \times B = \frac{\partial E}{\partial t} + J$$

وتم اخذ كل من معامل نفاذية الوسط للمجال الكهربى (ϵ) ومعامل نفاذيته للمجال المغناطيسي (μ) في الاعتبار لأن قدرة أي من المجال المغناطيسي او المجال الكهربى على الانتشار في الفراغ تختلف عن قدرته على الانتشار في الماء او الهواء وهكذا

فتصل المعادلة الى شكلها الأخير وهو:

$$- \nabla \times B = \mu \frac{\partial E}{\partial t} + \mu J$$

حيث :

- $\nabla x \Rightarrow$ source of producing - سبب انتاج
- $B \Rightarrow$ magnetic field – المجال المغناطيسي
- $\frac{\partial}{\partial t} \Rightarrow$ rate of changment in time – معدل التغير بالنسبة للزمن
- $E \Rightarrow$ electric field – المجال الكهربائي
- $\mu \Rightarrow$ permeability of the – سماحية الوسط لنفاذ المجال المغناطيسي
- $\varepsilon \Rightarrow$ permittivity of the medium to the electric field – سماحية الوسط لنفاذ المجال الكهربائي
- $J \Rightarrow$ current density – كثافة الشحنة

ساهمت أعمال ماكسويل في مجالات عديدة منها مجال الهندسة الكهربائية و تطوير المولدات و المحولات الكهربائية و أفران المايكروويف و الأقمار الصناعية بالإضافة إلى الإسهامات في مجال الاتصالات اللاسلكية وتطوير تقنيات موجات الراديو و ال Wi-Fi. كما ساهمت في فهم كل من عمليات الانكسار والحيود والانعكاس وتعامل الضوء مع المواد والأوساط المختلفة وغيرها من موضوعات علم البصريات الضوئية التي ساهمت فيما بعد في تطوير الطائرات الحربية التي لا ترصد بالرادار وتطوير أنظمة الليزر وغيرها. ولا تغفل الإسهامات في المجالات الطبية وبخاصة ابتكار تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي MRI, والاسهامات في تكنولوجيا النانو وعلم الفلك.