الفصل

9

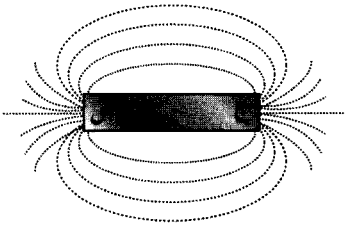
# الكهرومغنطيسية

## «الخوض في الحقول العجائبية»

كان فارادي، خلال مجمل الوقت الذي أمضاه في متابعة تحقيقاته حول كهربية التيار وحول المغنطيسية؛ يتساءل عن الطريقة التي تُنقل بها الآثار الكهربائية أو المغنطيسية. وساد في عصر فارادي تفسيران منطقيان فيما يخص نقل الآثار الكهربائية والمغنطيسية، فرفض فارادي كلتا النظريتين. إذ اعتمدت الأولى، التي اقترحها الكيميائي جون دالتون، على ذرات المادة؛ في حين استندت الثانية إلى مبدأ قديم هو الأثر عن بعد، وينص على أن الأجسام تتجاذب فيما بينها من دون حاجة لوجود أجسام وسيطة لتمرير الآثار. وكان ذلك الرفض أحد أسباب توصل فارادي إلى نظرية «الحقول» والتي تمثل

وسائط ميكانيكية لنقل الطاقة عبر المسافات. ولعله يدين بالفضل في ذلك أيضاً إلى بعض الأفكار المماثلة التي اقترحها الرياضي الإيطالي أر. جي. بوسكوفيتش في القرن الثامن عشر.

وقد استنتج فارادي حتمية وجود نوع من القوى حتى ضمن فضاء فارغ. وتحدث بادئ الأمر عن «منحنيات مغنطيسية» ثم عن «خطوط القوة» وفي نهاية المطاف عن «حقل» مغنطيسي. وكان بالإمكان توضيح خطوط القوة بشكل أنيق بوساطة التجربة الشهيرة التي تقوم على ذر برادة الحديد على ورقة موضوعة فوق مغنطيس، وقد جعل التعرّف على مثل هذه الخطوط نظريته حول الحالة الطنينية الكهربائية لا ضرورة لها. فتخلى عن تلك النظرية على مضض ليهتم بالنواقل الصلبة. كما اقترح فارادي أن خطوط القوة الناجمة عن مغنطيسية الأرض قد تكون المسؤولة عن ظواهر مثل الشفق الشمالي (والتي تعرف أيضاً باسم الأضواء القطبية الشمالية) التي تُرى في السماء قرب القطب الشمالي ويرجح أن تكون ناتجة عن جزيئات مشحونة بالكهرباء.



تنثر برادة الحديد على ورقة توضع فوق مغنطيس. وعندما تنقر الورقة بلطف تتراصف البراة وفق «خطوط القوة» المفترضة.

واكتُشفت في أواخر الستينات من القرن العشرين وثيقة في مكتبة مؤسسة المهندسين الكهربائيين. وكانت تلك الوثيقة عبارة عن مذكرة خاصة من إعداد فارادي، توضح أفكاره حول الذرات والحقول. وتضمنت المذكرة، على نقيض مقالاته المنشورة، عدة إشارات يتساءل في إحداها ما إذا كان الله قد وضع قدرة حول مراكز نقطية كما فعل فيما يخص نوى المواد. وقد قاده إيمانه بالله القادر على كل شيء إلى فكرة المراكز النقطية ومن ثم إلى الحقول المحيطة بها. وأشار البروفسور تريفور لوفير من تورنتو، الذي اكتشف هذه الوثيقة، إلى أن هذه الأفكار الجديدة «تتلاءم وصورة العالم التي تفرضها ديانته». وهكذا وكما عبر أحد الكتاب «كان فارادي يخوض في الحقول العجائبية بالمعنى الحرفي للكلمة».

ثم تحول فارادي عن دراسة كهربية التيار والمغنطيسية إلى الكهرباء الساكنة بغية التعمق في مسألة نقل القوة الكهربائية، حيث أنه بالإمكان تخزين شحنات الكهرباء الساكنة داخل أنواع مختلفة من المكثفات. ويمكن للمكثفات أن تكون وعاء ليدن زجاجي أو كرة مجوفة من النحاس الأصفر موضوعة داخل أخرى أكبر منها بقليل. إلا أن المكثفة التي صُممت طبقاً للمواصفات التي حددها فارادي في عام 1835، فاقت جميع تلك المكثفات إبداعاً. إذ كانت عبارة عن مكعب ذو هيكل خشبي طول ضلعه 12 قدم مغطى بشبكة سلكية. وعلم فارادي أن الشحنة المحرضة في وعاء أجوف إنما توجد على السطح

الخارجي، إلا أنه كان يحتاج لإثبات وجودها هناك فقط وليس في الداخل. لذا صنع قفصاً كبيراً بما فيه الكفاية ليتسع له ولأجهزته. وكما سبق أن توقع لم يجد أي شحنة داخله ولم يتعرض لأي أذى، حتى عندما كان الصندوق يجيش بكميات هائلة من الكهرباء الساكنة. وقد أُطلق عليه قفص فارادي وأضحى في نهاية المطاف جزءاً من المحاضرات والبيانات العملية الأكثر إثارة التي قدمها فارادي على مدرج المحاضرات.

واختار فارادي، على نطاق أضيق، في عام 1837 إحدى المكتشفات الكروية وبيّن أنه قد حصل، بإدخال عازل بين الصفيحتين، على كميات مختلفة من الشحنة وفقاً للمادة المكوِّنة للعازل. وبدا أن المسألة تتركز حول المدة التي تستغرقها الكهرباء لاختراق العازل عندما تجرى محاولات شحن الصفيحتين. وأطلق على قياس استعداد العازل للسماح بمرور شحنة كهربائية اسم «السعة التحريضية النوعية» وتُعرف حالياً بثابت العازل. وتقاس السعة في أيامنا هذه بالفاراد تكريماً لمكتشفها. ولم يحظ أي عالم آخر على شرف إطلاق اسمه على وحدتي قياس. وقد فسر فارادي الأثر من خلال جزيئات متجاورة تتزاحم فيما بينها داخل العازل فيتلقى كل واحد شحنته من الجزيء المجاور له.

ثم أخذت صحة فارادي بالتدهور فيما بين عامي 1838 و1840. إذ عانى بادئ الأمر من مزيج من الروماتزم

والإرهاق، ولكن سرعان ما انتابته نوبات دوار مصحوبة بفقدان للذاكرة قصيرة الأجل وهو الأمر الذي كان تحمُله الأشق على فارادي. وأُرغم فارادي في نهاية عام 1839 على أخذ إجازة، كما قام في عام 1841 برحلة في أرجاء سويسرة استغرقت ثمانية أشهر. ثم أُرغم، في السنوات الثلاث أو الأربع التي تلت، على التخلي عن جميع أبحاثه تقريباً. واكتفى بإلقاء بضعة محاضرات وخطابات خلال تلك المدة، كما أصبح أعلى رتبة في الكنيسة الساندمانية، إلا أنه أمضى معظم وقته مسترخياً في المسرح أو حديقة الحيوانات أو في الدار. وقد يبدو هذا التراخي الإلزامي جذاباً بالنسبة للبعض، إلا أنه كان مغيظاً لفارادي الذي كان يعد العمل بهجة إلى جانب كونه واجباً.

وفي عام 1844 استدعاه وزير الداخلية إلى الخدمة كشاهد خبير في قضية انفجار منجم أودى بحياة 95 رجلاً وصبياً في هاسويل كوليري بمقاطعة دورهام. وطُلب إلى فارادي وإلى الجيولوجي تشارلز ليل حضور الاستجواب وتقديم الرأي كخبراء. وبدا لفارادي وليل أن سبب الانفجار هو اشتعال تجمع غاز الميثان الذي تسرب من مصباح ديفي معطوب وتراكم في جوف (قبة تحت الأرض). وجاء قرار المحكمة بأن الوفاة غير مقصودة ولم يحمل مالكي المنجم أي مسؤولية.

ودفع فشل فارادي في إدانة استغلال مالكي المنجم

الأثرياء لعمال المناجم، إلى جانب كرهه العميق للسياسات الثورية، ببعض الأشخاص إلى الاعتقاد بأنه كان محافظاً بفضل الوضع الراهن ويعارض توجيه النقد إلى المؤسسات القائمة. إلا أن ذلك الاعتقاد يتجاهل الجذور الساندمانية لمعتقدات فارادي التي تنأى بنفسها عن كل الأنظمة السياسية، والتي لم تتوانى عن انتقاد الكنيسة الإنكليزية الوجه الأكثر بروزاً في مؤسسات المجتمع. وهو الأمر الذي لا يقوم به محافظ حقيقي. لقد كان لفارادي نزعة محافظة في بعض النواحي إلا أنه كان راديكالياً تاماً في جوانب أخرى وعلى الأخص في ما يتعلق بالكنيسة والدولة.

من ناحية أخرى «طُرد» فارادي و18 ساندمانياً آخرين من كنيسة لندن في عام 1844 لأسباب غير جلية البتة. والتفسير المتعارف عليه فيما يخص حالة فارادي هو خرقه لنظام الكنيسة بقبوله دعوة على العشاء بصحبة الملكة فكتوريا يوم الأحد في حين كان يتوجب وجوده في الكنيسة. إلا أنه لا يوجد أي إثبات يدعم هذا الرأي، وفي جميع الأحوال فإن هذا لا يفسر على الإطلاق سبب طرد الأعضاء الآخرين. والأرجح أن السبب يعود إلى خلاف شديد داخل الكنيسة في ذلك الوقت حول أحقية أصحاب المراتب العليا فيها باتخاذ القرارات نيابة عن الكنيسة جمعاء. وحيث أن فارادي لم يكن مهتماً بمسألة حيازة السلطة داخل الكنيسة، فمن المرجح أنه اختلف مع أنداده من شيوخ الكنيسة حول هذه المسألة. ولحسن

الحظ سُوِّيت المسألة سريعاً وضُم فارادي ومعظم الآخرين إلى الكنيسة مجدداً بعد ستة أسابيع. إلا أن تعليق العضوية أثّر كثيراً على معنويات فارادي، وكان له بكل تأكيد دور في نوبة المرض الأخرى التي أصابته في عام 1844.

ومن محاسن القدر أن تماثل فارادي للشفاء في عام 1845، وصار قادراً على التقدم نحو ما يمكن اعتباره أبرز إنجاز علمي له. إذ عكف بعد عقد تقريباً من اكتشافه في عام 1836 للقوانين الأساسية الخاصة بالمواد غير الناقلة للكهرباء (العوازل)، على دراسة المواد التي بدت غير قابلة للمغنطة (وتشتمل على جميع المواد تقريباً باستثناء الحديد ومعدن أو اثنين آخرين). وقد شجعه على الخوض في هذا الاتجاه مراسلاته مع فيزيائي اسكتلندي شاب يدعى ويليام تومسون (والذي عُرف فيما بعد باسم اللورد كالفان، واشتهر بوضعه في وقت لاحق مقياس درجة الحرارة المطلقة). إذ كان قد حاول دراسة آثار حقل كهربائي قوي على ضوء ذو استقطاب مستوي (أي الضوء الذي تنحصر اهتزازاته في مستوى واحد) في مسعى منه للبحث عن وجود رابط بين الضوء والكهرباء. فعندما يمر مثل ذاك الضوء داخل بعض البلورات يخضع مستوي الاستقطاب إلى دوران بزاوية معينة وهو ما يسهل كشفه. إلا أن فارادي لم يتمكن من الحصول على أثر مماثل باستخدام أفضل حقل كهربائي متوافر. لذا تحول إلى المغنطيسية مستخدماً أقوى مغنطيس كان بمقدوره الحصول عليه.

واستخدم فارادي بعض الزجاج البصري النقي من تجاربه القديمة جداً، والذي يتميز بكسره للضوء بشدة. فقام بتعليق قطعة منه داخل الحقل المغنطيسي ثم مرر حزمة من الضوء المستقطب عبر الزجاج. لكنه لم يحصل إلا على أثر طفيف بسبب الصغر النسبي للمغانط التي كانت بحوزته. ثم بدأ في 18 أيلول باستخدام مغنطيس شديد القوة استعاره من الأكاديمية العسكرية الملكية في ولويتش. وحصل بالفعل على أثر أثبت صحة اعتقاده بوجود رابط بين المغنطيسية والكهرباء وقد سر فارادي بذاك الانتصار أشد السرور. ودوّن، بعد أن عمل بهوس شديد على الكثير من المواد المختلفة في ذاك المساء، تصريحاً معبراً «لقد كانت نتيجة طيبة ليوم رائع».

ويطلق اليوم على ظاهرة دوران مستوي الاستقطاب داخل حقل مغنطيسي اسم «أثر فارادي». وقد أسس هذا الأثر لعلم جديد هو البصريات المغنطيسية. وقد دوّن فارادي أفكاراً عن تلك النتائج في رسالة إلى صديقه ريتشارد فيليبس في نيسان 1846. والتي نشرت فيما بعد في فيلوزوفيكال ماغازين مقالة تحت عنوان «أفكار حول اهتزازات الأشعة». وقد اعتبر جون تيندال تلك المقالة «واحدة من التخمينات الأكثر تميزاً التي صدرت عن رجل عالم». لقد اقترب فارادي كثيراً من الإعلان الصريح عن أن الضوء هو شكل من الإشعاع الكهرومغنطيسي، مما يوحّد البصريات مع المغنطيسية والكهرباء. وكانت تلك الفكرة مصدر إلهام لجيمس كليرك ماكسويل، فناقشها في

مقالة رئيسية نشرت في عام 1864 تحت عنوان «النظرية الدينامية للحقل الكهرومغنطيسي».

وأعلن فارادي عن النتائج التي توصل إليها أمام المؤسسة الملكية في الثالث من تشرين الثاني 1845 وأرسلها إلى الجمعية الملكية في السادس من ذاك الشهر. إلا أن وقوع حدث بالغ الأهمية، دفعه إلى التخلي حتى عن متعة التواجد في الجمعية الملكية فتمت قراءة مقالته بالنيابة عنه. كما مُنع الزوار من دخول المختبر، وكتب فارادي يقول: «إنني لا أجد وقتاً حتى لتناول الطعام». لقد اكتشف فارادي في الواقع في الرابع من تشرين الثاني ظاهرة أخرى بالغة الأهمية للعلم. حيث وجد، باستخدام مغنطيس ولويتش، أن المواد التي كانت لا مغنطيسية تتحرك رغم ذلك بتأثير الحقل المغنطيسي. إذ قام بتعليق قضيب صغير من زجاج البوروسيليكات بين قطبي مغنطيسه الكهربائي المذهل، فلاحظ لدى وصل التيار دوران قضيب الزجاج بسبب المغنطيس، ليتخذ وضعيةً عموديةً على الحقل المغنطيسي. أو بتعبير آخر اتخاذه لمحور شرق، غرب، في حين أن الحديد وبعض المعادن الأخرى القليلة تشير إلى اتجاه شمال، جنوب. فاستنتج أنها تبحث عن أضعف نقاط الحقل المغنطيسي. وأطلق على المواد التي لها هذا السلوك اسم المواد الديامغنطيسية (المغنطيسية المغايرة) لأنها تستقر بشكل عمودي على الحقل المغنطيسي (البادئة ديا تعني من جانب إلى آخر). وذلك على النقيض من المواد البارامغنطيسية كالحديد

والكوبالت والنيكل التي تستقر موازية للحقل المغنطيسي. كما اختبر عدداً كبيراً من المواد الديامغنطيسية، بما فيها المعادن، فكان البزموث (عنصر فلزي أبيض) هو الأشد ديامغنطيسية بينها.

وقد تسبب اكتشاف الديامغنطيسية لفارادي بإثارة وإجهاد عصبي أجبراه على قضاء إجازة في برايتون بعد الحدث مباشرة. إلا أنه لم يستطع حتى وهو في إجازته الإلزامية منع نفسه عن إفشاء نتائجه بصورة شخصية إلى صديق له هو الفيزيائي السويسري أوغست دولاريف. وفتحت تلك النتائج مرة أخرى الباب أمام علم جديد يصل بين المغنطيسية والكيمياء. وقد لعب هذا العلم الذي أُطلق عليه الكيمياء المغنطيسية دوراً حيوياً في تحديد البنى الكيماوية. ولم يتوقف الأمر عند هذا الحد. فقد استأنف فارادي بعد عودته إلى لندن دراساته في مجال مغنطيسية المواد بشكل كبير مستنداً إلى أن كل المواد التي ليست بارامغنطيسية ينبغي أن تظهر سلوكاً ديامغنطيسياً. ومما لا شك فيه أن قناعة فارادي بوحدة القوى المختلفة كانت نابعة من إيمانه بخالق أعطى الكون وحدة وانسجاماً. ومن ثَمَ فإن ما ينطبق على الأجسام الصلبة ينبغي أن يصلح أيضاً للسوائل والغازات. وجاءت أولى النتائج مخيبة للآمال، إلا أن الاكتشاف الذي قام به العالم الإيطالي مايكل بانكالاري في عام 1847 حول الديامغنطيسية في اللهب (وهو عبارة عن غازات مشتعلة) قد شجع على ما يبدو فارادي على المضي قدماً. وأعاد

فارادي حتى عام 1851 استخلاص الكثير من النتائج التي توصل إليها بانكالاري. ولم يكتف بإثبات أن الكثير من الغازات الشائعة هي ديامغنطيسية، بل وجد أيضاً خلال تجارب أجراها بين عامي 1849 و 1850 أن الأكسجين هو شديد البارامغنطيسية. وقد استخدم هذه النتيجة المدهشة في صياغة نظرية حول مغنطيسية الأرض تقوم على حقيقة بارامغنطيسية الأكسجين. مما أكد مرة أخرى على الترابط الكبير الذي يتميز به مجمل ما سبره العلم من الكون.

obeikandl.com

مايكل وسارة فارادي بصحبة جان بارنارد شقيق سارة قرابة عام 1858، ويبدو على يسار الصورة زميل فارادي في المؤسسة الملكية جون تيندال.