المعادلات تحكم عالمنا

نحن نعيش في عالم الموجات.. تكتشف آذاننا موجات الضغط في الهواء كصوت، وتكتشف عيوننا موجات الضوء، وعندما يضرب زلزال بلدة ما، الدمار سببه الموجات الزلزالية التي تتحرّك خلال الأرض

صحيح أن اختراعات مهمة مثل النار والعجلة حدثت من دون أيّ معرفة رياضية، بالرغم من ذلك من دون معادلات نحن كنا سنظل ملتصقين بعالم القرون الوسطى

عندما يدق جرس المنبه أنت تنظر إلى ساعتك، هناك على الأقل ستّ معادلات رياضية أثّرت على حياتك. فرقاقة الذاكرة التي تخزن الوقت في ساعتك ما كانت قد ابتكرت من دون معادلة رئيسية في ميكانيكا الكم. والتوقيت عليها وضع من قبل إشارة لاسلكية التي نحن ما حلمنا باختراعها من دون معادلات ماكسويل الأربع في الكهرومغناطيسية. والإشارة نفسها تنتقل طبقًا لما يعرف بمعادلة الموجة.

نحن عائمون في محيط مخفي من المعادلات، التي تعمل في النقل، والنظام المالي والصحة ومنع الجرائم والكشف عنها والاتصالات والغذاء والماء والتدفئة والإضاءة. فأنت عندما تدخل الحمام تستفيد من المعادلات المستعملة لتنظيم إمداد المياه. حبوب فطورك تأتي من المحاصيل التي فقّست بمساعدة معادلات إحصائية.

عند ذهابك إلى العمل بالسيارة تذكر أن تصميم سيارتك الديناميكي الهوائي جزء من معادلات نافيير

ستوكس Stokes-Navier التي تصف كيف أن تيارات هوائية تنساب فوق وحول سيارتك. تشغيل SatNav التابع للسيارة (نظام استقبال تحديد المواقع العالمي) يتضمّن فيزياء الكمّ ثانيةً، زائدًا قوانين حركة نيوتن والجاذبية، الذي ساعد على إطلاق الأقمار الصناعية لتحديد المواقع الجغرافية ووضع مداراتها. هو أيضًا يستعمل معادلات مولّد العدد العشوائية لتوقيت الإشارات، ومعادلات مثلثية لحساب الموقع، والنسبية الخاصّة والعامّة للتتبع الدقيق لحركة الأقمار الصناعية ضمن جاذبية الأرض. من دون معادلات، أغلب تقنيتنا ما كانت لتخترع. صحيح أن اختراعات مهمة مثل النار والعجلة حدثت من دون أيّ معرفة رياضية. بالرغم من ذلك من دون معادلات نحن كنا سنظل ملتصقين بعالم القرون الوسطى.

المعادلات تصل أبعد بكثيرٍ من التقنية أيضًا. من دونها، نحن لم يكن عندنا فهم الفيزياء التي تسيطر على المد والجزر، والطقس المتغيّر باستمرار، وحركات الكواكب، والأفران النووية للنجوم، والمجرات اللولبية، وسعة الكون ومكاننا ضمنه.هناك آلاف المعادلات المهمة، لكني سأركّز على سبع معادلات هنا - معادلة الموجة، ومعادلات ماكسويل الأربع، وتحويل فورييه ومعادلة شرودنجر- موضحا كيف أن ملاحظات تجريبية أدّت إلى المعادلات التي نستعملها في كل من العلم والحياة العادية.

معادلة الموجة

نحن نعيش في عالم الموجات. تكتشف آذاننا موجات الضغط في الهواء كصوت، وتكتشف عيوننا موجات الضوء. وعندما يضرب زلزال بلدة ما، الدمار سببه الموجات الزلزالية التي تتحرّك خلال الأرض.

علماء الرياضيات والعلماء يمكن أن يخفقوا في التفكير بشأن تلك الأمواج، لكن نقطة انطلاقهم جاءت من الفنون: كيف وتر كمان يصنع صوتًا؟ يعود السؤال إلى جالية يونانيّة قديمة هي الفيثاغوريون Pythagoreans، بنسبة يكونان وأطوالهما رّوالتوت النوع نفس لهما وترين أن وجد فيثاغورث زعيمهم بسيطة، مثل 1 : 2 أو 2 : 3، ينتجان نغمات تبدو سوية منسجمة جدًا. النسب الأكثر تعقيدًا مخالفة شاذة في الصوت.

عالم الرياضيات السويسري يوهان برنولي كان الذي بدأ بفهم هذه الملاحظات. ففي 1727 شكّل وتر كمان كقيم كبيرة من نقاط كتلية متقاربة كثيرًا، مرتبطة سوية بزنبركات. استعمل قوانين نيوتن لكتابة معادلات نظام هذه الحركة، وقام بحلّ تلك المعادلات، من الحلول، استنتج بأنّ الشكل الأسهل لتذبذب وتر هو منحنى جيب. هناك أنماط أخرى من الاهتزاز أيضًا – منحنى الجيب التي فيها يتلاءم أكثر من موجة واحدة إلى طول الوتر، يعرف عند الموسيقيين بالتوافقيات harmonics.

من الموجات إلى اللاسلكي

بعد 20 سنةً تقريبًا، جين دالمبرت Alembert‘d تابع بإجراء مماثل، لكنّه ركّز على تبسيط معادلات الحركة بدًلا من إيجاد حلول لها. الذي ظهر كان معادلةً رائعةً تصف كيف أن شكل الوتر يتغير مع

الزمن. هذه معادلة الموجة، وهي تنص على أن تعجيل أيّ جزء صغير من الوتر يتناسب إلى التوتّر الذي يسلط عليه. يشير ضمنًا إلى أنّ الموجات التي ترددا تها ليست بنسب بسيطة تنتج ضوضاء رنين غير سارة، المعروفة بـ«ضربات beats». هذه أحد الأسباب التي تجعل النسب العددية البسيطة تعطي النغمات التي تبدو منسجمة.

معادلة الموجة يمكن أن تعدّل للتعامل مع الظواهر المضطربة الأكثر تعقيدًا، مثل الزلازل. سمحت الإصدارات المتطوّرة لمعادلة الموجة لعلماء الزلازل أن يكتشفوا ما الذي يحدث على بعد مئات الأميال تحت أقدامنا. يمكن للعلماء أن يرسموا خريطة لصفائح الأرض التكتونية plates tectonic s'Earth كصفيحة تنزلق تحت أخرى مسببة زلازل وبراكين. الجائزة الكبرى في هذا المجال في طريقة موثوقة لتوقّع الزلازل والثورات البركانية، ويتم دعم العديد من الطرق التي يجري استكشافها استنادا إلى معادلة الموجة.

لكن الفكرة الأكثر تأثيرًا من معادلة الموجة ظهرت من دراسة معادلات ماكسويل للكهرومغناطيسية. في 1820م، أضاء أكثر ناس بيوتهم باستعمال الشموع والفوانيس. لكن خلال 100 سنة، البيوت والشوارع أصبحت مضاءة بالكهرباء، والرسائل اللاسلكية يمكن أن ترسل عبر القارات، والناس حتى بدأوا بالكلام مع بعضهم البعض بالهاتف. الاتصال اللاسلكي كان قد عرض في المختبرات.

هذه الثورة الاجتماعية والتقنية كان سببها اكتشافات عالمين. في غضون 1830م، أسّس مايكل فاراداي مسعاه بدأ Maxwell ماكسويل كلارك جيمس ،ًسنة ثلاثين بعد .للكهرومغناطيسية الأساسية الفيزياء Faraday لصياغة أسس رياضية لتجارب ونظريات فارادايفي ذلك الوقت، أكثر الفيزيائيين الذين يعملون على الكهرباء والمغناطيسية كانوا يبحثون عن أوجه الشبه بالجاذبية - التي ينظر إليها باعتبارها قوة بين الأجسام على مسافة. فاراداي كان عنده فكرة مختلفة، لشرح سلسلة تجارب أجراها على الكهرباء والمغناطيسية، افترض أنّ كلتا الظواهر هي مجالات التي تتخلّل الفضاء متغيرة مع الزمن يمكن اكتشافها بالقوى التي تنتجها. لقد استنتج أن خطوط القوة كانت تماثل المسارات التي تتبعها جزيئات مائع وأن قوّة الحقل الكهربائي أو المغناطيسي كانت مماثلة لسرعة المائع. في عام 1864م ماكسويل كتب أربع معادلات للتفاعلات الأساسية بين الحقول الكهربائية والمغناطيسية. معادلتان تخبراننا بأنّ الكهرباء والمغناطيسية لا تستطيعان التسريب بعيدًا. الاثنتان الأخريان تخبراننا أنه عند منطقة المجال الكهربائي تدور في دائرة صغيرة، تصنع حقلاً مغناطيسيًا، والمنطقة الدوارة من الحقل المغناطيسي تصنع مجالاً كهربائيًا.

لكنّ عمل ماكسويل لاحقا كان مدهشا جدًا. بأداء بضعة تلاعبات بسيطة على معادلاته، نجح في اشتقاق معادلة الموجة واستنتج بأنّ الضوء يجب أن يكون موجةً كهرومغناطيسيةً. هذا لوحده كان خبرًا هائلا، فلا أحد تخيّل مثل هذه الوصلة الأساسية بين الضوء والكهرباء والمغناطيسية. وكان هناك أكثر. يكون الضوء في ألوان مختلفة، مقابلة لأطوال موجة مختلفة. إنّ أطوال الموجة التي نراها مقيّدة بكيمياء

صبغات اكتشاف العين للضوء. أدّت معادلات ماكسويل إلى تنبؤ مثير أن كل الموجات الكهرومغناطيسية لكلّ أطوال الموجة يجب أن توجد، بعضها – ذات أطوال موجات أكبر مما يمكننا رؤيتها - ستغير العالم إنها موجات الراديو.

في 1887م هانريش هيرتز Hertz عرض موجات الراديو بشكل تجريبي، لكنّه فشل في إدراك تطبيقاتها الثورية. نيقولا تيسلا Tesla وجوجليلمو ماركوني Marconi وآخرون حوّلوا الحلم إلى الحقيقة، والابهة الكاملة للاتصالات الحديثة، من الراديو والتلفزيون إلى الرادار ووصلات المايكرويف للتلفونات الخلوية، تتابعت طبيعيًا. وهذا ناتج كليا عن أربع معادلات وبضعة من الحسابات. معادلات ماكسويل لم تغيّر العالم فقط، بل مهدت السبيل لعالم جديد.

بقدر أهمية ما تصفه معادلات ماكسويل وبالرغم من أن المعادلات كشفت بأنّ الضوء هو موجة، وجد الفيزيائيون باكرًا بأنّ سلوك الضوء كان أحيانًا على خلاف مع وجهة النظر هذه. يتألق الضوء على سطح المعدن وينتج كهرباء, دعت هذه الظاهرة بالتأثير الكهروضوئي effect photoelectric. هي مفهومةً فقط إذا تصرّف الضوء مثل جزيئة. لذا هل الضوء موجة أم جزيئة؟ في الحقيقة، قليًلا من كليتهما. المادة مصنوعة من الموجات الكمّية، وباقة متلاحمة من الموجات تتصرّف مثل جزيئة.

حيّاً أو ميّتاً

في 1927م إروين شرودنجر SchrOdinger كتب معادلةً للموجات الكمّية، وافقت المعادلة التجارب بشكل جميل، لكنها رسمت صورة عالم غريب جدًا، في أي جزيئات أساسية مثل الإلكترون التي لم تعد أجسامًا واضحة المعالم، لكن غيوم احتمالية. يدور الإلكترون مثل عملة معدنية التي يمكن أن تكون نصف وجه ونصف وجه آخر حتى يضرب المنضدة. بشكل مبكر علماء نظريون كانوا قلقين حول كلّ الإسلوب الكمّي الغريب، مثل القطط التي تكون ميتة وحيّة بشكل آني، والاكوان المتوازية التي فيها ربح أدولف هتلر الحرب العالمية الثانية.

ميكانيكا الكم لم تنحصر في مثل هذه الألغاز الفلسفية. تقريبًا كلّ الأدوات الحديثة من حاسبات وتلفونات خلوية ولوحات مفاتيح ألعاب وسيارات وثلاجات وأفران – التي تحتوي ذاكرةً مستندة إلى الترانزستور، الذي عمله يعتمد على ميكانيكا كم أشباه الموصلات. الاستخدامات الجديدة لميكانيكا الكم تصل أسبوعيا تقريبًا. النقاط الكمّية Quantum dots- كتل صغيرة جدًا شبه موصل - يمكن أن تبعث ضوء بأيّ لون وتستعمل للتصوير الحيوي، حيث تحل محل الأصباغ التقليدية السامّة في أغلب الأحيان،. المهندسون والفيزيائيون يحاولون اختراع حاسوب كمّي، الذي يمكن أن يؤدّي العديد من الحسابات المختلفة بشكل متوازٍ.الليزر تطبيق آخر من ميكانيكا الكم، نستعمله لقراءة المعلومات من الحفر أو العلامات الصغيرة جدًا على الأقراص المدمجة، والمضغوطة وأقراص بلو راي Blu-ray. يستعمل الفلكيون الليزر لقياس المسافة من الأرض إلى القمر. قد تكون محتملة حتى لإطلاق عربات الفضاء من الأرض على ظهر

شعاع ليزر قوي.

الفصل النهائي في هذه القصّة يأتي من المعادلة التي تساعدنا لنفهم الموجات. نبدأ من عام 1807م، عندما ابتكر جوزيف فورييه Fourier معادلةً لتدفق الحرارة. تقدّم بورقة علمية إلى الأكاديمية الفرنسية للعلوم، لكنّها رفضت. في 1812م، جعلت الأكاديمية موضوع الحرارةً جائزتها السنوية. فورييه تقدّم بورقةً أطول ومنقحة- وربح الجائزة.

السمة الأكثر إثارةً في ورقة فورييه الفائزة ما كانت المعادلة، لكن حلّها. مشكلة مثالية كانت أن تجد كيفية أن درجة الحرارة على طول قضيب رفيع تتغير بمرور الوقت، بافتراض درجة الحرارة الجانبية الأولية. فورييه يمكن أن يحلّ هذه المعادلة بسهولة إذا تغيّرت درجة الحرارة مثل موجة جيب على طولها، لذا مثّل الشكل الجانبي الأكثر تعقيدا كإتلاف من منحنيات الجيب بأطوال الموجة المختلفة، وحلّ المعادلة لكلّ منحنى جيب مكوّن، وأضافت هذه الحلول سوية.

ادّعى فورييه بأنّ نجاح هذه الطريقة لأي وضع على الإطلاق، حتى لو كانت درجة الحرارة تقفز فجأة في القيمة. كل ما عليك القيام به كان هو إضافة عدد لا نهائي من الإتلافات من منحنيات الجيب مع ذبذبات أكثر فأكثر.

بالرغم من ذلك، ورقة فورييه الجديدة انتقدت بسبب انها ما كانت صارمة بما فيه الكفاية، ومرةً أخرى الأكاديمية الفرنسية رفضت نشرها. في 1822م فورييه أهمل الاعتراضات ونشر نظريته ككتاب. بعد سنتين، عين فورييه في وظيفة سكرتير في الأكاديمية، تحدّى نقّاده، ونشر ورقته الأصلية في مجلّة الأكاديمية. على أية حال، النقّاد كانت عندهم وجهة نظر. علماء الرياضيات كانوا بدأوا بإدراك أن تلك المتسلسلات اللانهائية كانت وحوشًا خطرة؛ هي لم تتصرّف مثل الكميات المحدودة اللطيفة دائمًا. حلّ هذه القضايا ظهر صعبًا بوضوح، لكن القرار النهائي كان أن فكرة فورييه يمكن أن تكون صارمة باستبعاد التشكيلات الشاذّة جدًا. والنتيجة هي تحويل فورييه transform Fourier، وهي تلك المعادلة التي تتعامل مع إشارة زمنية متفاوتة كمجموع متسلسلة منحنيات الجيب المكوّنة وتحسب سعتها وتردداتها.

اليوم يؤثّر تحويل فورييه على حياتنا بطرق لا تعد ولا تحصى. على سبيل المثال، نحن يمكن أن نستعمله لتحليل إشارة الذبذبات الناتجة عن زلزال وحساب الترددات في الطاقة العظمى المتحررة من الأرض المهتزة . تتضمّن التطبيقات الأخرى إزالة ضوضاء من تسجيلات الصوت القديمة، وايجاد تركيب الحمض النووي DNA باستعمال صور الأشعة السينية ، وتحسّين الاستقبال الإذاعي ومنع الاهتزازات غير المرغوبة في السيارات، بالإضافة إلى التطبيق الذي معظمنا يستعمله بشكل غير متعمّد في كلّ مرّةٍ وهو التقاط صورة رقمية.

إذا حسبت كم المعلومات المتطلبة لتمثيل اللون والسطوع في كلّ نقطة ضوئية لصورة رقمية، ستكتشف بأنّ الكاميرا الرقمية تحشر المعلومات إلى بطاقة ذاكرتها حوالي 10 مرات بقدر البيانات التي يمكن للبطاقة استيعابها! الكاميرات تعمل ذلك باستعمال ضغط بياناتJPEG، الذي يجمع خمس خطوات ضغط

مختلفة، إحداها نسخة رقمية من تحويل فورييه، التي تستعمل إشارة تتغير ليس مع الوقت لكن مع مرور الصورة. إنّ الرياضيات متماثلة فعليا، تقلل الخطوات الأربع الأخرى البيانات إلى مستوى أبعد، إلى حوالي عشر الكمية الأصلية.

هل حان الوقت للتخلي عن المعادلات؟

هذه فقط سبع من العديد من المعادلات التي نصادفها كلّ يوم، لا ندرك بأنّها هناك. لكن تأثير المعادلات على التأريخ يذهب إلى أبعد من ذلك بكثير. يمكن لمعادلة ثورية حقًا أن يكون لها تأثير أعظم على الوجود الإنساني من كلّ الملوك والملكات الذين تملأ مكائدهم كتب تاريخنا.

هناك (أو قد يكون) معادلة واحدة، اهم من ذلك كله هي التي الفيزيائيون وعلماء الكونيات cosmologists يحبّون أن اًكثير بها يتمسكوا أن :كل نظرية شيء توحّد التي ميكانيكا الكم والنسبية. أفضل النظريات المعروفة من النظريات العديدة المرشّحة في هذا المجال هي نظرية الأوتار الفائقة superstrings، لكن ما كل ما نعرفه ان معادلاتنا للعالم الطبيعي قد تكون نماذج مجرد في مبالغة التبسيط التقاط التركيب العميق للواقع. حتى إذا الطبيعة تطيع قوانين كونية، فالقوانين قد لا تكون قابلة للتعبير عنها كمعادلات. بعض العلماء يعتقدون بأنّه قد حان الوقت لنتخلى عن المعادلات التقليدية تماما لمصلحة الخوارزميات algorithms - وصفات أكثر عمومية لحساب الأمور التي تنطوي عليها عملية اتخاذ القرارات، لكن حتى يجيء ذلك الوقت، رؤانا العظمى بقوانين الطبيعة - أكثر مما مضى - لا تزال تأخذ شكل المعادلات، ونحن يجب أن نتعلّم كيف نفهمها ونقدّرها، المعادلات لها سجل نجاحات، غيّرت العالم حقًا وهي ستغيّره ثانيةً.