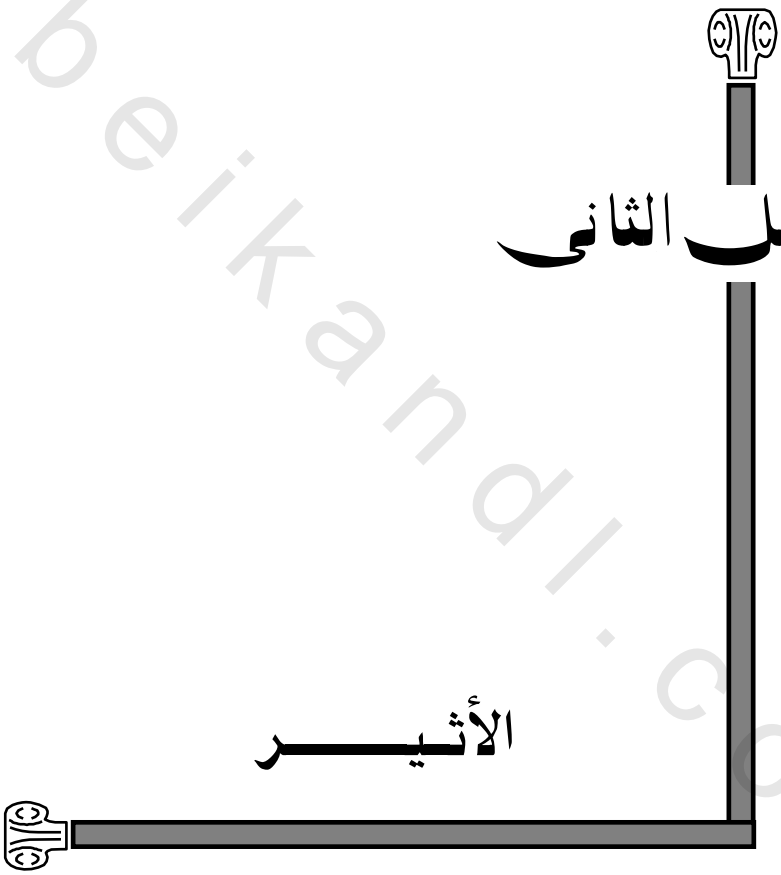


obeikandl.com

obeikandl.com

أشرنا ونحن بصدد عرض التصور الكوبرنيقى للعالَم إلى أن المشاكل الفلكية المتعلقة بالحركة والجاذبية تمثل أحد مصادر نظرية النسبية، أما المصدر الآخر فهو النظرية الكهربية والنظرية الضوئية، وسوف نهتم الآن بتطور نظرية النسبية عن هذا المصدر الأخير، ومن أجل تحقيق هذه الغاية سوف نتتبع اتجاه التصور الحديث للعلم الطبيعى. الحقيقية إن علم الفيزياء اضطر إلى تجاوز تصورات كوبرنيقوس وجاليليو ونيوتن، وذلك بسبب المسائل التى أثيرت بخصوص الكهرباء وظواهر علم البصريات، وهؤلاء الرجال المبدعين فى زمانهم قد واجهوا عصرًا باليًا يدافع عن وجوده، وهؤلاء الرجال أنفسهم أصبحوا فى الفترة اللاحقة يمثلون السلطات العظمى التى هيمنت على الفكر طوال عصر بأكمله، والتى لم يتم عملها إلا من خلال أجيال من الباحثين، وعلى الجيل الأصغر أن يخوض معركة مماثلة لتلك التى خاضها من قبل هؤلاء الرجال المشاهير، ولقد أشار "جاليليو" فى عبارته المأساوية التى سبق أن أوردناها إلى حقيقة هذا الصراع.

يبدو أن التقدم فى مجال معرفة الطبيعة لا يتحقق إلا من خلال الصراع بين جيلين متلاحقين، إن ما يُعْتَبر ثورة فى كل نواحى التفكير فى وقت ما، يكون أمرًا واقعيًا فى عصر لاحق، ويكون معرفة مدرسية يكتسبها الإنسان من بيئته معتقدًا فى صدقها بوصفها يقيناً مستمدًا من الخبرة اليومية، وهكذا يضيع هباءً كل نقد ممكن، مع أن مثل هذا النقد يُعَد ركيزة لأعظم الاكتشافات، وهكذا نفقد القدرة على إدراك الحدود التى تشتمل على أعمق أنواع التبصر. فينسى الإنسان فى غمرة اهتماماته بالجزئيات أن يعيد فحص المعرفة برمتها، ولذا فنحن مضطرون دائمًا إلى الاعتماد على رجال من أمثال كوبرنيقوس يتشككون فى الأمور الواضحة، رجال تنفذ أحكامهم النقدية إلى صميم الحقيقة.

إن تاريخ دراسة الضوء يوضح كيفية تطور نظرية النسبية، إن هذا التاريخ يمثل محاولة واضحة لفهم ظاهرة الضوء على أساس الأفكار التى أثارها علماء الفلك الحديث والميكانيكا، إنها محاولة لجعل علم الميكانيكا صاحب الكلمة العليا لكل معرفة، ولكن هذه المحاولة قد باءت بالفشل، فلقد ثبت فى نهاية الأمر أن مشكلة الضوء هى أيضًا لا تُحل إلا على النمط الكوبرنيقى، لم يكن علم الميكانيكا عاجزًا عن تفسير الظاهرة الكهربية والبصرية فحسب، بل إن هذا العلم نفسه كان مدينًا بتفسيره لهاتين الظاهرتين وكان هذا طريقًا ملتويًا حَفِلَ بالإحباط المستمر، فكلما ظهرت نظريات جديدة ظهرت تجارب جديدة تؤكد عدم كفاية ما تقدمه هذه النظريات من حلول.

إن عالِم الفلك الدانمراكى أولاف رومر (*) Olaf Roemer (1644–1710) قد خطا أول وأهم خطوة نحو فهم الضوء فى زمن نيوتن، ففى عام 1676 حدد سرعة الضوء، وكان ذلك كشفًا بالغ الأهمية، فهو لم يكتشف نتيجة عددية فحسب، بل اكتشف أيضًا تصورًا فيزيائيًا جديدًا، وحتى ذلك الوقت فإن فكرة أن الضوء يتطلب وقتًا للانتشار لم تكن تخطر على بال إنسان مطلقًا، لقد تنبأ عدد قليل

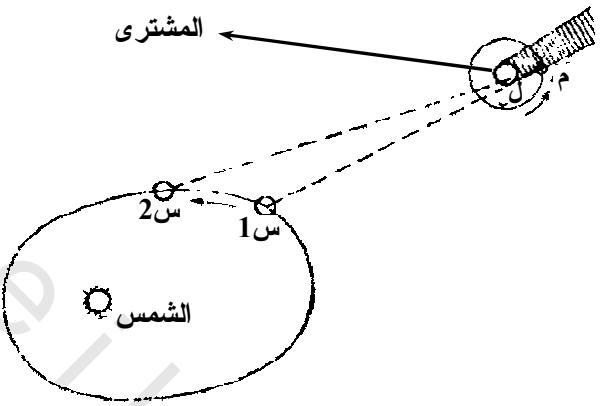
(*) لاحظ "أولاف رومر" عالِم الفلك الدانمراكى عضو أكاديمية العلوم بباريس أن الأقمار التابعة لكوكب المشترى Jupiter تدور حوله بنفس النظام الذى يدور به القمر حول الأرض، وكان أول تابع من توابع كوكب المشترى يدور حول ذلك الكوكب فى زمن متغير (وكان التغير يُقدَّر بحوالى ربع ساعة فى الأسبوع)، وعندما فحص الشروط الأرضية للملاحظة، تبين له أن التابع يصبح "متقدمًا" عن المتوسط الزمنى عندما تقترب الأرض من المشترى (الذى يسير فى دورانه بسرعة أبطأ من الأرض كثيرًا)، ويصبح "متأخرًا" عندما تبتعد عنه الأرض، فخطر بباله عندئذ أن للضوء سرعة معينة، وبالتالى أن الأرض عندما تقترب من المشترى، تتلقى الأشعة المضيئة بسرعة أكبر، أما إذا ازدادت المسافة فإنها تتلقاها ببطء أكبر، بل لقد استخلص من ذلك تقديرًا لسرعة الضوء: وإذا كان ذلك التقدير خاطئًا (186000 ميل فى الثانية) فإنه يُعَد تقديرًا رائعًا فى ذاته، ويرجع خطؤه إلى أسباب لا صلة لها بمنهجه، التقدير الصحيح لسرعة الضوء والذى تم التوصل إليه أخيرًا هو (186281 ميل فى الثانية تقريبًا). (المترجم)

من العلماء ذوى العقول الفذة بإمكان تلك الحقيقة، أما فى أيامنا هذه حيث يكتسب الجيل الأصغر هذه المعلومات من خلال مقاعد الدراسة، فإن هذه الحقيقة تؤخذ كأمر واقع، ولكن على المرء أن يدرك مدى تعارض فكرة أن الضوء يتطلب وقتًا للانتشار، مع الخبرة المباشرة، إنه يبدو طبيعيًا أن نفكر فى أن الضوء يسقط فى الحجرة فى اللحظة التى نضىء فيها المصباح الكهربائى. فى الواقع ليست هذه هى الحقيقة، لأن الضوء ينتشر تدريجيًا من زجاج المصباح إلى المنطقة المحيطة به، ومن المنطقة المحيطة به إلى بقية الحجرة، كلمة "تدريجيًا" تستخدم هنا، بالطبع بمعنى مجازى : إن عملية انتشار الضوء تستغرق فى هذه الحالة واحد على المليون من الثانية، إن سرعة الضوء الهائلة هذه كانت هى السبب الرئيسى الذى يوضح لماذا لم يتم اعتبار الضوء ظاهرة انتشارية، والحسابات الموغلة فى الدقة هى الوحيدة التى تحدد الأزمان الدقيقة التى تستغرقها أشعة الضوء كى تنتشر.

ظل هذا الكشف مُدَّخرًا لعلم الفلك، وهو علم يجمع بين دقة الحساب والملاحظة التى تمتد إلى مسافات هائلة، إن علم الفلك قدم شروطًا مناسبة لتحديد سرعة الضوء، ولقد بحث "أولاف رومر" خسوف الأقمار التابعة لكوكب المشترى فشاهد أختفاءها وعودتها للظهور فى إطار حركتها المدارية التى تجتاز فيها ظل هذا الكوكب المخروطى الشكل، فوجد أن المدة التى يستغرقها أحد هذه الأقمار فى الظلام تتفاوت فى الطول تفاوتًا يُقَدَّر ببضع ثوان على مدار العام، هناك إذن انحرافات طفيفة عن الأرقام الدقيقة، مثل هذه الانحرافات أدت أكثر من مرة – فى تاريخ علم الفلك – إلى النفاذ بعمق لسبر أغوار طبيعة العالَم. ويبدو أن الطبيعة تكشف لنا عن علاقاتها الأساسية من خلال الأخطاء الطفيفة للنظريات المتداولة.

فعلى سبيل المثال نجد أن مثل هذه الانحرافات جعلت العالِم الدانمركى "أولاف رومر" يستدل على وجود سرعة الضوء، حتى وإن كان التحديد العددى لقيمة هذه السرعة يحتاج إلى حساب أدق، ويمكن فهم تفكير "رومر" حينما نفحص

الشكل رقم "2 ".



شكل رقم (2)
ملاحظة رموز لأحد توابع كوكب المشترى

إن مسار الأرض يأخذ (فى شكل 2) الشكل البيضاوى الذى تحتل مركزه كرة الشمس، بينما يتواجد كوكب المشترى – ومعه مدار أحد أقماره – إلى اليمين (ومن الطبيعى أن نسب هذا الشكل لا تحدد لنا الصورة الحقيقية للمسافات والأحجام). والآن حينما يدخل القمر فى نطاق الظل المخروطى للمشترى عند النقطة (م) فإنه يرسل آخر حزمة ضوئية تصل الأرض عند النقطة (س1) بعد بضع دقائق، ثم يخرج القمر من دائرة الظل بعد عدة أيام ويدور ببطء حول المشترى حتى يصل من جديد إلى النقطة (م)، (إن هذه النقطة فى الواقع ليست النقطة السابقة نفسها) لأن المشترى يتحرك مع أقماره باستمرار فى إطار حركة المجموعة الشمسية، إلا أن هذه الحركة تحدث فى غاية البطء، لذلك يمكن تجاهلها، وعندما يعاود القمر اختفاءه مرة أخرى فإنه يرسل من جديد آخر شعاع إلى الأرض التى تكون قد تحركت فى نفس الوقت إلى النقطة (س2) مما يحتم على هذا الضوء أن يقطع رحلة أطول، ولو فرضنا بقاء الأرض عند النقطة (س1) فلسوف يتمكن عالِم الفلك من ملاحظة اختفاء الكوكب عند النقطة (م) فى كل مرة بعد فترة محددة تضاهى الوقت الذى يستغرقه الضوء ليقطع المسافة (م س1)، وفى كلتا

الحالتين يكون التأخر واحدًا، ويكون الوقت الذى يستغرقه القمر لاجتياز مساره الدائرى صحيحًا تمامًا، ولما كانت الأرض قد تحركت فعلاً إلى النقطة (س2) فإن الضوء لديه الآن مسافة اطول ليقطعها وهى (م س2)، وتكون الزيادة فى الوقت التى يتطلبها هى سبب الامتداد الخاطئ للدورة الفلكية للقمر، ولما كانت الفترة الصحيحة لكل دورة من دورات هذا القمر معروفة من مصادر أخرى (لا مجال لمناقشتها هنا) ولما كانت المسافتان (م س1)، (م س2) يمكن تقديرهما فإن الاختلاف بين كل من الفترتين الزمنيتين اللتين يتطلبهما انتشار الضوء يمكن أيضًا حسابهما، وهكذا يمكن معرفة الوقت الذى يتطلبه الضوء ليجتاز مسافة محددة، كما يمكن بالتأكيد تحديد سرعة الضوء.

علم "نيوتن" بكشف "رومر" ونحن نعلم أن الأول لعب دورًا هامًا ليس فى الميكانيكا وحدها، بل فى البصريات أيضًا، فلقد فسر نيوتن انتشار الضوء بأنه انبعاث جسيمات دقيقة تُلْقَى فى الكون ويمكنها النفاذ عبر الهواء والغازات بفضل دقة حجمها. تمكّن نيوتن اعتمادًا على نظرية انبعاث الضوء هذه من تفسير ظواهر بصرية كثيرة، فسادت هذه النظرية التفسير الفيزيائى للعالَم لمدة قرن من الزمان، رغم أن النظرية الموجية للضوء The Wave Theory of Light كانت قد صيغت فى هذا القرن نفسه، وهى النظرية التى قد حلت فى وقت لاحق محل مفهوم "نيوتن" السابق.

لقد كان عالِم الرياضة "كريستيان هويجنز" (*) Christiaan Huyghens هو

(*) اشتهر كريستيان هويجنز (1629– 1695) العالَم الهولندى بنظريته فى الضوء نظريته فى الجاذبية اللتين كان ينافس بهما نظريتى نيوتن Newton، ولقد دون "هويجنز" نظريته فى كتابين عنوان الأول منهما "مقالة فى الضوء" (1690)، وعنوان الثانى "فى علة الجاذبية"، وكان نيوتن هو واضع النظرية الجسمية فى الضوء، أما النظرية التى أبتدعها كريستيان هويجنز – الذى كان معاصرًا لنيوتن – فلم تصادف فى بداية عهدها نجاحًا كبيرًا، وانقضى قرن كامل قبل أن تُجْرىَ بعض التجارب الحاسمة التى أثبتت الطابع التموجى للضوء، وبذلك وضعت هذه التجارب حدًا للتفسير الذرى للأشعة الضوئية. (المترجم)

الذى اكتشف بمهارة فائقة إمكانية تفسير كل ظواهر انتقال الضوء بطريقة الانتشار الموجى، ولقد رحبت الدوائر العلمية بنظريته رغم أنه قلب الأوضاع رأسًا على عقب، فنظريته تلائم الظواهر التى تتبدى فى التجارب الضوئية الصعبة، لكنها لا تقدم تفسيرًا واضحًا لأعم وأسهل الحقائق ملاحظةً بصدد انتشار الضوء. لقد أدت هذه النظرية إلى فهم ظواهر مثل تداخل وانحناء الضوء، ولكن بقى انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة – الأمر الذى يمكن ملاحظته فى التجربة اليومية كإحدى الخصائص الواضحة للضوء كما فى حالة تكون الظل – بقى هذا الأمر مسألة يصعب تصورها نظرًا لتطابق موجات الضوء التى تأتى من اتجاهات مختلفة، وهذا يوضح سبب تمسك العلم بنظرية انبعاث الضوء – التى نادى بها "نيوتن" – إذ ظل الأمل معقودًا عليها فى أن تفسر الظواهر التجريبية بغض النظر عن الكيفية التى سيتم بها هذا التفسير، وأخيرًا فازت النظرية الموجية تحت الضغط المتلاحق لتجارب ذات الظواهر الطبيعية بسيطة للغاية، والأفضل لنا اليوم أن نقول بصفة عامة إن أبسط الظواهر الطبيعية نادرًا ما تبدو "على نحو طبيعى" ولكنها وليدة الظروف المعملية التى توجهها العوامل الفعالة توجيهًا صناعيًا، إن بساطة الظواهر الطبيعية لتبدو ضربًا من الوهم فى سياق العوامل المعقدة، فمن ينظر من قمة جبل عال إلى سطح البحر سوف يعتقد أن ليس للبحر سطحًا محدبًا كالموجة، بل سيرجح أن سطحه مستويًا، كذلك الحال حينما نواجه الطبيعة من خلال خبرتنا اليومية فلا نراها إلا فى خطوطها العريضة، وعلى أعين العلم الثاقبة أن تلاحظ ما يكمن وراء الطبيعة من عوامل مترابطة وأن تكتشف فيها تداخل القوى الطبيعية.

إن تاريخ علم البصريات Optics هو انتصار مستمر للمناهج النسقية على التصورات الساذجة، ولذلك فمن السهل أن نعى أن كل من يقف خارج نطاق العلوم الطبيعية سيهاجم باستمرار علم الضوء لأنه يسلك المنهج الخاطئ، وقد يكون لمثل هذا الشخص إنجازات عظيمة فى مجالات أخرى هى ثمرة التفكير المستقيم المباشر

بالطبيعة، هؤلاء الأشخاص – مثل "جوته" (*) Goethe وأتباعه العديدين – فشلوا فى معرفة أن الفضل فى اصطناع العلوم الطبيعية الحديثة لمناهجها يعود إلى الدراسة التجريبية للطبيعة أكثر مما يعود إلى تأمل الحقيقة وتجريدها، وأنهم يستطيعون أن يجروا بحوثهم على الطبيعة بطريقة أكثر دقة، إذ إن ظروف المعمل تتيح للظواهر أن تحدث تحت رقابة لا توجد فى الطبيعة. وأخيرًا فإن قبول الدلائل الحسية المباشرة بثقة، ليس إلا مغالاة فى تقدير هذه الحواس الفجة التى تتطلب إلى جانبها قوى العقل الحذرة وبعيدة المدى، إن الحقائق التى جمعها العلماء عن ظاهرة تداخل الضوء، أسهمت بقدر كبير فى تحقيق النصر الذى أحرزته النظرية الموجية للضوء، وقد يبدو من المحال على عقل نشأ وتربى فى ظل الخبرة المباشرة أن يستوعب هذه النظرية، إذ إن جوهر هذه النظرية يقول : إن إضافة ضوءين يعطى ظلامًا ويمكن صياغة ذلك فى صورة معادلة :

(*) "جوته" Goethe (1749– 1832) هو شاعر ألمانيا العظيم، له إضافات رائعة فى مجال الأدب والشعر، ومن أشهر أعماله "آلام فرتزر" و"فاوست".
ويشير المؤلف فى هذا الصدد إلى واقعة حدثت عام 1770 حين أصدر "هولباخ" كتابه "نظام الطبيعة"، فقام جوته وأصدقاؤه من ستراسبورج بمهاجمة هذا الكتاب ومؤلفه أشد الهجوم، يقول "جوته":

"لقد تصفحنا كتاب نظام الطبيعة بدافع الفضول لا غير، وكم كان شعورنا بالخيبة والفراغ عظيمًا وسط هذا الجو السوداوى فى هذا الليل الكئيب الذى رأينا الأرض فيه تتلاشى مع كل صورها، والسماء تغيب مع كل نجومها : إذ ذهب الكتاب إلى أن هناك مادة تتحرك منذ الأزل، وبهذه الحركة ذات اليمين وذات الشمال وفى كل الجهات، وبلا شىء آخر تُخْلَقَ مظاهر الوجود التى لا تعد ولا تحصى .. وبعد، إذا كان هذا الكتاب قد أثار أستياءنا ونفورنا من الفلسفة والعلوم الطبيعية، فإننا قد ألقينا بأنفسنا فى أحضان المعرفة الحية والخبرة والعلم وقرض الشعر واضعين فى ذلك المزيد من الحياة والمعرفة".

ورغم هذا العداء الواضح للعلم والعلماء فقد كان "جوته" – بجانب مواهبه الأدبية – عالمًا، فله أبحاثه العميقة فى العلوم وله مكتشفاته فى علم طبقات الأرض وعلم الأحياء والبصريات، وقد سمُىَّ أحد أنواع الصخور بأسمه برهانًا على فضله فى علم طبقات الأرض، كما كان مهتمًا اهتمامًا كبيرًا بأصل الأنواع. (المترجم)

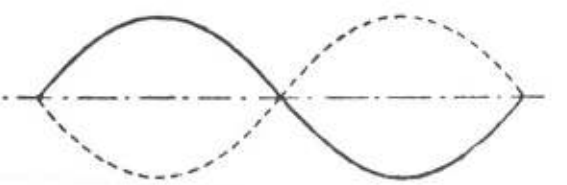
ضوء + ضوء = ظلام

إن هذه النظرية تتعارض مع خبرتنا المباشرة، فنحن لا نلاحظ فى الحياة اليومية إن إضافة ضوءين يعطى ظلامًا، إذ إن تحقيق هذا يتطلب تنسيقًا خاصًا لأشعة الضوء، كما أن النظرية التى تعتبر الضوء ذا طبيعة مادية تعجز عن تفسير هذه المعادلة، لأن الجمع بين جزيئين ماديين لا يسفر إلا عن شىء مادى لا أكثر (ولكى يفسر نيوتن ظاهرة التداخل هذه، افترض أن جزيئات الضوء مجهزة بمقدرة معينة، إلا أن هذه المحاولة للتفسير تفترض تسوية أساسية يجب على النظرية الموجية أن ترفضها).

ومن ناحية أخرى فإن ظاهرة التداخل تكون واضحة فى إطار النظرية الموجية، ولنتخيل موجة أحدثها حبل يتأرجح مثبت فى صارية العَلَمَ، إن وصول الموجة إلى قمة الصارى سيهزه، كما ستحدث هزة فى الاتجاه المضاد أيضًا عن طريق تيار من الأمواج، وإذا أحدثنا موجتين فى الحبل بحيث تصل ذروة إحداهما وتيار الأخرى إلى قمة الصارى فى وقت واحد فإن الذروة والتيار سيلاشى كل منهما الآخر، وسوف لا يتحرك الصارى، إن فى هذا شرحًا لمعادلتنا التى يمكن كتابتها على النحو التالى :

دفع + دفع = سكون

ولكى نفهم معادلة الضوء السابقة فهمًا جيدًا، علينا أن نفهم أن البريق كدفعة تحدثها موجة الضوء لها أثر مزدوج الاتجاه، وفى شكل "3" يوجد رسم تخطيطى يمثل تداخل هذه الموجات المتقاطعة.



شكل رقم (3)
ظاهرة التداخل

إن الفضل فى جعل النظرية الموجية فى الضوء مقبولة إلى حد ما، إنما يرجع إلى الفيزيائى الفرنسى "فرينل" (*) Fresnel (1788–1827) الذى قام ببحث يتعلق بمشكلة الطبيعة الحقيقية للموجات الضوئية، فوجد أن هناك نوعين من الموجات، موجات طولية وأخرى مستعرضة Transverse، ومن أمثلة الموجات المستعرضة، موجات الماء، إذ تتراقص جزيئات الماء إلى أعلى وإلى أسفل فتتحرك هذه الجزئيات عرضيًا فى الاتجاه المتتابع للموجة، أما فى الموجات الطولية فالجزئيات تتذبذب إلى الخلف والأمام فى اتجاه انتشار الموجة، مما يؤدى إلى حدوث تكاثف واضمحلال مصحوبًا بانتشار إلى الأمام، ومن أمثلة هذه الموجات الطولية موجات الصوت، لقد استطاع "فرينل" أن يحدد ارتباط الضوء

(*) فرينل أوغستان جان Fresnel Augustin Jean فيزيائى ومهندس فرنسى (1788 – 1827) درس فى "كاين" و"باريس"، وعمل مهندسًا فى باريس، غير أنه وجه أهتمامه للدراسات الفيزيائية وبخاصةٍ المتعلقة بالضوء، وساعده تعليمه الهندسى على بناء الأجهزة التى كانت تلزمه لإجراء تجاربه، كما لجأ لهذا الغرض نفسه للتعامل مع حداد القرية.
كان "فرينل" أول من أنتج تأثيرات تعزى إلى تداخل الضوء، وتظهر على شكل حواف تُعرْف بـ "حواف فرينل" Fresnel's Fringes، وهذا مما أعطى دليلاً قاطعًا على النظرية الموجية للضوء. كما أثبت بالتجربة أن الضوء الأبيض يتألف من عدد من الأمواج المختلفة الأحوال الأحمر إلى البنفسجى.
قام "فرينل" بدراسات واسعة لإثبات استقطاب الضوء، وكانت محصلة أعماله دفع النظرية الموجية للأمام. كما اخترع منشورًا لعرض حواف التداخل، وتمكن عام 1815 من أن يستبدل العواكس المستعملة فى المنارات البحرية (الفنارات) لتحل محلها عدسات. وتمكن من وضع صيغة رياضية للانعكاس يمكن الوصول منها إلى الجزء المنعكس من الضوء الساقط على وسط شفاف. ومما يذكر أن أعمال "فرينل" لم تلق التقدير الكافى لها أثناء حياته.
(المترجم)

بالموجات المستعرضة وتناول فى دراساته بشكل مبدأى ما يسمى باستقطاب الضوء، وهى خاصية من خواص الظاهرة المستعرضة للضوء.

وإذا كان للضوء طبيعة موجية، وبالتالى فهو ليس عنصرًا (*)، بل ظاهرة حركية فى وسط، فماذا يا تُرى يكون ذلك الوسط نفسه ؟ إنه السؤال الشهير عن **الأثير** والذى ينبغى أن نعيره الآن بعض الاهتمام، إن واضعى النظرية الموجية اعتقدوا من خلال تجاربهم أن انتشار الضوء كموجات يتم فى وسط اسمه **الأثير**، مستفيدين بذلك من أحد المفاهيم القديمة للفلسفة الطبيعية. وفى الواقع أن الوسط معلوم بالنسبة للظواهر الموجية الأخرى، وضرورته كذلك واضحة، فموجة الماء على سبيل المثال تتكون من جزئيات مادية تتذبذب إلى أعلى وإلى أسفل محدثة إيقاعًا حركيًا مع مثيلاتها مما يسبب الحركة المستعرضة للموجة، وهذه الحركة تمثل ظاهرة غير مادية مصدرها مادى، وعلى أية حالة فالحركة الموجية تبدو صعبة الإدراك، أنها تبدو غير منفصلة عن المادة، ولقد كان هذا الزعم هو المصدر الرئيسى لكل محاولات الكشف عن **الأثير** بوصفه وسطًا للضوء.

ومهما يكن من شىء، فإن كان هناك ثمَّة وسط مادى(**) فلابد أن يتجلى فى نواحى أخرى بالإضافة إلى انتشار الضوء، فنحن يجب ألا نستدل على وجود الماء من ملاحظة الموجات، إن هناك أنشطة أخرى مباشرة تدلنا على وجود الماء، مثل مقاومته للحركة أو الشعور بالرطوبة حين لمس الماء، ولا يحق لنا بطبيعة الحال أن نتوقع من الأثير – وهو ألطف المواد التى تتخلل فراغ الأجسام الصلبة – أن يتجلى

(*) على الرغم من أن كلمة Substance تُستَخدم فى الفلسفة للتعبير عن "الجوهر"، فقد فضلنا ترجمتها إلى "عنصر"، حيث أن المؤلف لا يناقش هنا موضوعات فلسفية، وإنما يصف تجارب علمية. (المترجم)

(**) الترجمة الحرفية للكلمة المركبة a Substance medium "وسط عنصرى"، أى، وسط للضوء يكون أحد عناصر الطبيعة، ومن المعروف أن جميعها عناصر مادية، لذا فضلنا ترجمتها إلى "وسط مادى" حيث تؤدى المعنى على نحو أوضح. (المترجم)

تجليًا ظاهرًا كالماء، ولكن يجب أن يكون هناك بعض الآثار التى تدل على وجوده، كما يجب أن يُبرهن على وجوده بواسطة الأجهزة العلمية الدقيقة. وفى الحقيقة يحفل تاريخ الفيزياء بمحاولات فذة للبرهنة على وجود الأثير والكشف عن جوهره، إلا أن النتائج كانت سلبية تمامًا.

ولا يتسع المجال هنا للوصف التفصيلى لهذه التجارب، وإن كنا سنناقش هذه التجارب فى الفصل التالى، ويكفى أن نذكر أن الطابع "المستعَرض" لموجات الضوء يسبب متاعب تفسيرية، إذ إن الموجات الطولية هى التى يمكن توقعها فى مثل هذه الوسط اللطيف، وعلاوة على ذلك فهناك تساؤل آخر عن التيارات التى تحدث فى الأثير، إن الأثير لا يُحدث حركة تموجية وحسب، بل يُحدث أيضًا حركة تيارية تنتج عن اقترابه من الأجسام الصلبة والأجرام السماوية، تمامًا كالماء الذى يُحدث مثل هذه الحركة الدوامية، إن ظهور هذه التيارات ما هو إلا اضطرابًا يعترى انتشار الضوء، إلا أنه لم يتم أبدًا ملاحظة شىء من هذا القبيل، إن معظم التجارب البصرية اتجهت نحو إثبات وجود الأثير، ومع هذا ذهبت كلها هباءً، فالنتائج التى تم الحصول عليها بُنيت على الزعم أنه لا وجود للأثير.

وهكذا وجد العلم الطبيعى نفسه فى موقف دقيق للغاية، إذ إن تجارب هذا العلم تدحض نظرية الأثير. إذن ما الذى يؤكد وجود الأثير ؟ إن النتيجة النهائية هى أنه لا يحملنا على التسليم بوجود الأثير إلا التفكير النظرى الذى له – رغم كل شىء – أثر مقنع وهو أنه مادامت هناك حركات موجية فلا بد من وجود وسط تتم فيه هذه الحركات، وهكذا يقوم تعارض بين العقل والخبرة، ولا بد من انتصار أحدهما فى النهاية.

وعند قيام مثل هذا التعارض ينبغى إخضاع الفكرة للتمحيص، فكم من أفكار ادعى أصحابها صدقها المطلق، وأنها مُؤيَدّة بالقوة المقنعة للنتائج المنطقية، ومع هذا لم تصمد هذه الأفكار أمام النقد العميق، بيد أن تصور الأثير لم يتشكل اعتمادًا على نتائج منطقية، بل بالأحرى فإن له مصدرًا آخر، إن كل الأفكار العامة التى

تتضمن معرفة بالطبيعة، مثل : العنصر، والمادة، والموجة، أو الحركة، لم تنبثق عن النظر المجرد، بل عن خبرة تلقائية بالحياة اليومية، وليس هناك ما هو أخطر من أن نتناسى مصدر هذه الأفكار فننسب لها وجودًا مطلقًا وضروريًا، بل على العكس فمن المهم أن ندرك أنها وليدة الملاحظة العابرة للطبيعة، ولذا فمن الصعب أن تزيد عن كونها تعميمات سطحية خاصة بالعالَم، كما أنه ليس مؤكدًا بشكل أو بآخر أن مثل هذه الأفكار تؤدى بنا إلى فهم الطبيعة على نحو أفضل.

إن العنصر المادى هو مجرد فكرة تحاول أن تعبر عن شىء بالغ التعقيد فى صورة مبسطة منطقيًا، فما أكثر تعقيد مركبات المادة والقوى، فإذا أخذنا على سبيل المثال، عنصر الماء، فإن المرء يعتقد أن الماء – طبقًا للنظرية الذرية – هو مجموعة من الجزئيات التى تتجاذب وتتنافر مع بعضها البعض، وهذه الجزيئات تعتمد أحيانًا بعضها على البعض الآخر، وفى أحيان أخرى يستقل كل منها عن الآخر استقلالاً تامًا، إن الصورة المطابقة للماء هى وابل من الكرات أكثر منه مادة متماسكة، إننا قد نسلم بأن تصور الماء على هذا النحو المعقدة قد يفيد كل الأغراض العملية، ولكن هل سيفيد فى شرح أدق أسس العمليات الطبيعية ؟

إن هذا السؤال يُطْرَح بتدبر فقط لإلقاء بذرة الشك فى عقولنا تجاه أية إجابة إيجابية، وعلينا على العكس أن نفترض أن تصور العنصر المادى نادرًا ما ينطبق على انتشار الضوء الذى يتم سواء بين فراغ الذرات أو فى الفضاء الكونى، لقد وُضِعَ هذا التصور ليلائم العلاقات الخاصة بما "يُرى بالعين المجردة"، والحال هذه فإن علماء الطبيعة سيهتمون أكثر بالأثير، وسيواجهون احتمالاً بأنه لا يوجد أثير على الإطلاق، وفى عبارة أخرى، فقد توجد عملية انتشار تذبذبية لا علاقة لها إطلاقًا بأى وسط مادى، وما لنا لا نصوغ هذا التصور الجديد الذى يتسق على نحو أفضل مع خبرتنا فى علم البصريات ؟ هل يجب علينا أن نحول – تحت كل الظروف – الأفكار المتعلقة بما "يُرى بالعين المجردة" إلى أبعاد "ميكروسكوبية" ؟ ألا يمكننا اعتمادًا على تجارب العلم الدقيقة والمعقدة للغاية أن نصوغ مبادئ

أساسية جديدة تقديرًا لمعرفتنا الجديدة ؟

إن علم البصريات قد اتخذ هذا المسار نتيجة التقدم الذى أحرزه نظام فيزيائى آخر، وهو النظرية الكهربية، فحينئذ عرفنا قوى من نوع آخر غير التى عهدناها فى الميكانيكا منذ عهد بعيد، إن بحوث "فاراداى" (*) Faraday التجريبية أظهرت ليس فقط أن هناك تيارًا كهربيًا ينساب فى السلك، ولكن أيضًا أن هناك مجالات (*) مغناطيسية وكهربية توجد فى الهواء أو الفضاء، تحتوى فى الحقيقة على قوة وطاقة، فاتجه التفكير إلى وجود مجالات كهربية ومغناطيسية فى صورة برادة الحديد كنوع من البرهان، وهذه المجالات تؤكد وجود حالات مغناطيسية وكهربية تتخلل الفضاء وتخترق الأجسام.

إن الأثير هو شيء جّد مختلف عن الأجسام المادية كالماء والهواء، فضلاً عن أنه من المتعذر أن يحتل جسمان ماديان حيزّا واحدًا فى ذات الوقت، بينما يمكن أن يتداخل مجالان كهربيان دون أن يلغى أحدهما الآخر، وذلك لأنهما لا يشغلان فراغاً على الإطلاق، ولذلك فامتزاج الأشياء المادية أمر آخر، فهو عبارة عن وضع جزيئاتها "بعضها إلى جوار بعض" وليس "فى داخل بعض". وهكذا

(*) وُلِدَ "مايكل فاراداى" Michael Faraday فى 22 سبتمبر سنة 1791 ببلدة "نيونجتن" Newingtan، وتوفى فى 25 أغسطس سنة 1867 بلندن.
بدأ "فاراداى" حياته فقيرًا واشتغل بتجليد الكتب، وقد أفاده ذلك فى قراءة الكتب العلمية. واكتشف "فاراداى" البنزين باستقطاره من قطران الفحم الحجرى، وهو الذى اخترع "المُولِّد" Dynamo. كما اكتشف خاصية الحث Induction الكهرومغناطيسية، وادخل كلمة "حائل" Dielectric، كما اكتشف "فاراداى" كيفية إنتاج دافعة كهربية بتحريك موصل فى مجال مغناطيسى. وله إنجازات رائعة عديدة بخاصة فى المجال التجريبى، إذ يُعَد من أعظم من اتقنوا التجارب المعملية (المختبرية) لاستنباط العلاقات بين المتغيرات المختلفة، واكتشف قوانين الكهربية والمغناطيسية الساكنة والتيارات الجلفانية، ومع أن فاراداى لم يضع نظريته فى قالب رياضى فقد اقترح بوحى من حدس رائع إمكان إرجاع هذه الحقائق كلها إلى نتائج الحركة فيما اسماه بالمجال الكهرومغناطيسى. (المترجم)

(*) المقصود بالمجال Field : نطاق معين من المكان يتحكم كل جزء من أجزائه فى الآخر تحكمًا "متبادلاً" طبقًا للتركيب الخاص للمجموعة. (المترجم)

يكون مبدأ عدم النفاذ قائمًا فى حالة الأشياء المادية، بينما بتداخل المجالان الكهربيان معًا فى آنٍ واحد، بمعنى أن يكون الواحد فى داخل الآخر، كله أو بعضه، لكى يشكلان معًا مجالاً كهربيًا جديدًا. وعلى هذا الأساس يكون تعريف المجال الكهربى بأنه عنصر مادى مناقضًا لفكرتنا القديمة عن العنصر المادى. ومن ثمَّ يمكن القول إن دراسة الكهرباء أتاحت لنا أن نتصور المادة بصورة مختلفة، أعنى أنها مجال وليست عنصرًا، ونحن ندين لهذا التصور بالانتصار على النظرية العقيمة للأثير المادى.

كان الفضل فى حسم مشكلة علم البصريات وردها إلى ظواهر كهربية راجعًا إلى العالِم الإنجليزى "جيمس ماكسويل" (**) James Maxwell، فلقد انطلق

(**) وُلِدَ جيمس كلارك ماكسويل James Clerk Maxwell فى "أدنبرة" Edinburgh فى 13 يونية سنة 1831، وتوفى فى "كمبردج" Cambridge بإنجلترا فى 5 نوفمبر سنة 1879.
نشأ "ماكسويل" نشأة مختلفة كل الاختلاف عن نشأة "فاراداى". فقد وُلِدَ وترعرع فى بيت فضل وعلم وجاه، وتلقى العلوم بجامعتى أدنبرة وكمبردج. وظهرت عليه سمات النبوغ وهو لا يزال فتى لا يعدو الخامسة عشرة من عمره، إذ نشر باسمه رسائل علمية تنطوى على كثير من الابتكار، كما كان يواظب على حضور اجتماعات الجمعية الملكية الاسكتلندية فى مدينة أدنبرة.
فى سنة 1871 عُيِنَ أستاذًا للفيزياء التجريبية فى كمبردج حيث نظم مختبر كافنديش. توصل "ماكسويل" إلى فهم الطبيعة الرياضية للمجال الكهرومغناطيسى. وعمل على تثوير النظرية الكهربية حين توصل إلى النظرية الكهرومغناطيسية فى الضوء (حوالى عام 1865). وقد أدى هذا إلى اكتشاف الموجات الكهربية. أوضح "ماكسويل" أن سرعة الضوء تساوى سرعة الموجات الكهربية، وأن كلا النوعين من الموجات هى موجات مستعرضة Transverse. لاقت نظرية ماكسويل الكهرومغناطيسية فى الضوء إهمالاً حتى بعد وفاته بسنوات، ثم عادت إلى بؤرة الاهتمام حين قدم "هرتز" Hertz عام 1888 إثباتًا عمليًا أظهر فيه أن الموجات الكهرومغناطيسية ذات أطوال أكبر بكثير من الموجات الضوئية.
أشار "ماكسويل" إلى أن الحلقات المحيطة بكوكب زحل لا يمكن أن تكون صلبة ولا متصلة. كما أوضح أن للضوء ضغطًا حركيًا (ميكانيكيا). وضع "ماكسويل" كتابًا شهيرًا بعنوان المادة والحركة Matter and Motion عام 1876. ويرجع إليه الفضل فى اكتشاف وتطوير العلاقات =

من تجارب "فاراداى"، واضعًا تصورًا رياضيًا للمبادئ الأساسية للكهربية، منتهيًا إلى صياغة معادلاته (الماكسويلية) الشهيرة، وكانت النتيجة هى التركيز، أى ربط الظروف الكهربية والمغناطيسية معًا كما هو ملاحظ فى ظاهرة الحث (*) The Phenomena of induction (والمتمثلة فى خلق مجال مغناطيسى بواسطة تيار كهربائى أو العكس). ولقد أدى هذا التصور الرياضى الماكسويلى إلى استنتاج أن هناك موجات كهربية عبر الفضاء هى الضوء ذاته، وما الضوء فى رأى ماكسويل إلا مجالات كهربية تشبه المجالات الكهربية أو المغناطيسية التى توجد فى جوار التيار الكهربى، والخلاف بين الواحد والآخر يكمن فى سرعة التردد المرتفعة بطريقة غير عادية، ولا يزال البرهان التجريبى على هذه النظرية الرياضية لماكسويل مفتقدًا، كما أنها تنتظر الدعم من الملاحظة الجيدة.

تأكدت نظرية "ماكسويل" خلال طريقين، الأول منهما هو إمكان معرفة أثر المجالات الكهربية والمغناطيسية على مولدات الضوء والذرات المشعة (ظاهرة "شتارك" Stark و"زيمان" Zeeman) (*) وهكذا أمكن البرهان على أن انبعاث الضوء ظاهرة كهربية، ومن جهة أخرى، فقد ظهر قبل هذا بكثير الاكتشاف العظيم "لهينريش هرتز" (**) Heinrich Hertz الذى ولَّدَ بجهاز كهربى ذبذبات الضوء

=

التبادلية بين الكهرباء والمغناطيسية، ويُعَد هذا الكشف أحد الركائز الأساسية التى قامت عليها الصناعات الكهربية وصناعة الراديو والتليفزيون. (المترجم)

(*) المقصود بالحث Induction هو التأثير الكهربائى أو المغناطيسى أو الكهروستاتيكى بين الدوائر الكهربائية أو المواد المغناطيسية، أو بين الأجسام النووية. (المترجم)

(*) المقصود بهذه الظاهرة هو انشطار الخط الطيفى الضوئى إلى خطين أو أكبر عندما يوضع مصدر الضوء فى مجال مغناطيسى قوى. والمصطلح منسوب إلى عالم الفيزياء الألمانى "يوهانس شتارك" وعالم الفيزياء الهولندى "ب. زيمان". وهذه الظاهرة هى حالة خاصة من حالات "ظاهرة زيمان الشاذة" anomalous zeeman effect ومن الغريب أن هذه الظاهرة الشاذة هى الأغلب حدوثًا. (المترجم)

(**) وُلِدَ "هينريش رودلف هرتز" Heinrich Rudolph Hertz بمدينة "هامبورج" Hamburg بألمانيا فى 22 فبراير سنة 1857، وتوفى بمدينة "بون" Bonn فى الأول من يناير سنة

=

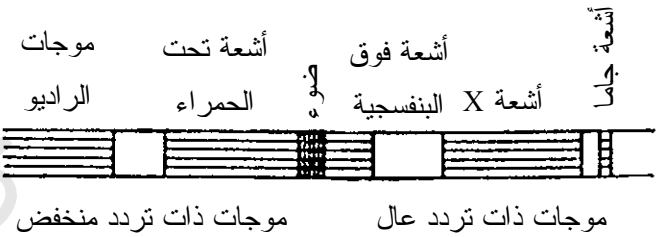
رغم ترددها المنخفض، وهى قادرة على الانتشار تلقائيًا دون أسلاك، وكانت هذه هى الموجات اللاسلكية، وهى موجات الراديو التى نعرفها اليوم، لقد استخُدِمَت هذه الموجات فى التلغراف والراديو على نطاق واسع، الأمر الذى يؤكد قيمة الفكر النظرى الذى يتجه لفهم ظواهر طبيعية، فيفيد الصناعة كثيرًا بما لا يخطر على بال المكتشف نفسه.

إن للموجات الكهربية مجالات لا تمت إلى الوسط المادى بصلة، أنها موجات تتغاير فيها الكهربية دومًا بين السالب والموجب، وهى مستقلة عن صعود وهبوط الجزيئات المادية، كما تتحرك باستقلال تام خلال الفضاء، إلا أنها أبطأ من موجات الضوء الذى تتحرك موجاته الكهربية بتردد عال.

لقد قادتنا هذه المعرفة العميقة بالكهربية إلى إدراك أن هناك عديدًا من الموجات الكهربية، وبالتالى أمكن إنتاج موجات كهربية أسرع من موجات الضوء نفسه ألا وهى أشعة أكس the X - rays التى اكتشفها "رونتجن" Roentgen، عندما فحص المواد المشعة ثبت أنها ترسل أشعة أسرع ترددًا وأعظم نفاذًا، سميت بأشعة جاما the Gamma rays التى تشبه أشعة أكس فى أوجه كثيرة.

وأمكن بالإضافة إلى ذلك اجتياز الفجوة التى كانت قائمة بين أشعة الضوء والموجات اللاسلكية، فموجات اللاسلكى (وهى أقصر)، وفى الجانب الآخر الموجات الأطول التى لا يمكن للعين المجردة رؤيتها قد عزلت من بين أشعة الضوء، ومجموع كل هذه الموجات – وهو ما يسمى بالطيف Spectrum – يتضح فيه اختلاف أطوال تلك الموجات (شكل 4).

= 1894. وقد اشتهر "هرتز" باكتشافه الموجات المسماة باسمه : "موجات هرتز". تعلم فى برلين، ثم اشتغل بالتدريس مساعدًا لهلمولتس Helmholtz، وقد كشف "هرتز" أن الإشعاعات الكهرومغناطيسية تسلك مسلك الضوء من حيث الانعكاس والانكسار والاستقطاب، وهكذا أضاف إثباتًا جديدًا إلى فكرة "ماكسويل" بأن الضوء هو صورة لإشعاعات كهرومغناطيسية.



شكل رقم (4)
مجمل مكونات الطيف

فالضوء إذن قطاع محدود فى نطاق طيف الموجات الكهربية، فهناك موجات كهربية ذات ترددات تبدأ من الصفر، وتصل إلى أى كم، وأعظم الأشعة ترددًا هى أشعة جاما، ولا يمكن للعين المجردة إدراك غير أشعة الضوء، ولاكتشاف الموجات الأخرى فلا محيص لنا من استخدام أجهزة معقدة.

إن تاريخ تطور الإنسان ليؤكد محدودية قدرة العين البشرية، فهى لا ترى إلا أشعة الشمس، وعن طريق العين يحدث التأثير والتأثر بين الإنسان والأشياء على سطح الأرض، وتلك هى العملية التى نطلق عليها اسم "الرؤية" Seeing، ولا نستطيع الجزم بأن العين عاجزة عن رؤية موجات أخرى كاللاسلكى، إلا أن استعدادنا البيولوجى لا يسمح بهذا، أى لا يسمح بالتأقلم مع هذا النوع الجديد من الموجات، وبالتالى فنحن نُعَدِّل من حواسنا باستخدام بعض الأجهزة لإدراك الموجات ذات التردد الأعلى أو الأقل من موجات الضوء، لكى نحصل على آثار تترجمها حواسنا إلى ظواهر مسموعة ومرئية، ومثل النطاق المحدود من الرؤية المتاح لأعيننا (والموضح فى شكل 4) – إذ لا نرى أشعة الضوء من بين الكم الهائل من أشعة الطيف – كمثل الذى يغشى عينيه ستار كثيف به ثقب يرى من خلاله.

وأخيرًا قد يسأل المرء : وماذا عن موجات الصوت ؟ إن تلك الموجات لا

تدخل فى اعتبارنا الآن، فهى لا مكان لها فى الشكل رقم "4"، لأنها ليست موجة كهربية، لكن لها خاصية التردد فى وسط والتى تشبه تلك التى نعزوها إلى الضوء، إن أثيرها ليس مجالات وإنما هو الهواء أو أى وسط مادى كالماء، لهذا فإن صوت الجرس الكهربائى يختنق فى الفراغ، فلا يمكن سماعه فى المناطق بين الذرية inter - atomic إن الموجات الصوتية كظاهرة عيانية تمامًا تحتاج إلى وسط مادى، بخلاف موجات الضوء ذات الخاصية الكهربية.

obeikandl.com