

ما هو الضوء !!؟

من السهل الإشارة اليه: " هو كينونة النور في النور", " ! بالرغم من هذا فتعريفه معقد جدا ! إذن كيف تناوله العلم والعلماء"؟

وكما تناوله العلم تناولته الكتب السماوية فلقد ذكر الضوء "النور" في القرآن الكريم: "الله خلق السماوات والأرض وجعل الظلمات والنور" (سورة النور), وفي التوراة قيل: " فليكن نورا" (التكوين ١:٣). وأضاف أينشتاين "سوف استمر بالتفكير في الضوء ما تبقى من حياتي", ألبرت أينشتاين (١٩١٧), ينسب لألبرت أينشتاين أيضا في ذات السياق (١٩٥١) ما يلي: "رغم انني تجاوزت خمسون سنة ابحث في الضوء, الا انني لم اقترب من الإجابة على سؤالي في هذه الحتمية: ماهي جسيمات الضوء؟ وأضاف, من الواضح ان كل صغير يعتقد انه يعرف الإجابة الا انني اعتقد انه واهم."



أضواء شماليه على يد كاشيتيجر ٩٦ (عمل خاص)

[CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)] via Wikimedia Commons.

إذا" فان الضوء هو حتمية ضرورية في الوجود وللوجود, فهو المصدر الرئيسي للطاقة الغذائية. هو أيضا حالة ومغزى في كتب الخليفة, في الشعر, الادب, اللغة وكذلك الحضارة. هو لمسة الجمال في فضاء كوننا في حالتنا الشروق والغروب, في خطوط قوس قزح وفي بريق القطب. وهو شرط وسر الرؤية, فهو أيضا علم. تحتاج الرؤية للضوء, وكذلك الامر بالنسبة للاجهزة البصرية كالتظار والعدسات اللاصقة التي تساعدنا على الرؤية بوضوح. ويستعمل الضوء أيضا في اكتشاف الامراض والعمليات الجراحية بواسطة الليزر.

العين هي جهاز حساس للفوتونات.

By Woodwalker (own work) [CC BY 3.0(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)], via Wikimedia Commons.



وعليه للمعادلة العلمية نصيبها. يكتشف الضوء بواسطة تفاعله مع الكترونات الذرة والجزيئات متعددة الذرات حيث ينتج تيار كهربائي ممكن قياسه. وهكذا تعمل أيضا" الخلايا الحساسة للضوء في شبكية العين. وعلى هذا النمط يعمل القسم شبه - الموصل الحساس للضوء في الكاميرا أيضا. هذا ويعود فضل البحث العلمي والتاريخي

الى نظريات فلاسفة اليونان والعلماء العرب في عصورهم الذهبية والتي احتلت مكانه مهمة على مر التاريخ وحتى يومنا هذا. ومن الجدير بالذكر أن اول كتاب الف في موضوع الضوء هو كتاب "المناظر" للعالم العربي أبو علي الحسن ابن الهيثم (٩٦٥م-١٠٤٠م) .

ان المجتمعات الإنسانية قاطبة تنجذب الى سحر الألوان بالفطرة, والأخيرة بدورها تبعث فينا السعادة والجمال: جمال بيوتنا, مدننا, وانفسنا. وأيضا نسحر بسحر الطبيعة المضيئة في شمسها وقمرها وكواكبها السيارة. اذا هو الضوء, كيان العالم الحديث ننتجه ونتحكم به.

توصيل الضوء والكشف عنه هو جزء لا يتجزأ من منظومة الاتصالات والإنتاج التي تخصنا. كذلك الامر في الأجهزة الطبية, الى الفن, الى البرامج التعليمية وأجهزة المختبر التي ترصد الأبحاث العلمية المتقدمة. بالإضافة الى هذا يشكل الضوء مصدر معلوماتنا في تكون الكون, تطور الكواكب, وقوانين الطبيعة الكونية. وبواسطة علم تحليل الاطياف فان أبحاث الضوء وضحت لنا فهم نظرية الذرة والجزئى وايضا تطبيقها. أبحاث الضوء وتفاعله او تآثره مع المادة أدت الى تطوير نظرية "ميكانيكية الكموم". وما زال الضوء يغري أوراق الفلاسفة والشعراء فمع بداية القرن الخامس قبل الميلاد, فنانون, علماء, ومهندسون انكبوا على معرفته كل بأدواته. والى يومنا هذا ما زال الضوء واسراره الكونية يجمع وتجمع تحت سقفه الحضارات والقوميات محولا إياهم الى أمة ضوئية إنسانية واحده متنوره.

وما زالت دهشة الباحثون الصغار تعاودهم كلما سقطت اشعة الشمس على قطعة زجاج مكبره تنتج شرارة نار. وآخرون في اصقاع الأرض تتناهبهم الحيرة تلو الدهشة عندما ينظرون عبر المجهر, او المنظار, او عبر عالم الجسيمات الى العوالم البعيدة وكأنها بين الايدي. تاريخيا, من الممكن ان نفهم ماهية الضوء كموجه, كجسيم كمي او ك مجال كمي. الحقيقة, ان الامر لمعقد جدا؟ والحقيقة الأخرى, انه في غالب الأحيان, نستبدل السؤال "ما هو الضوء؟" في صيغة "كيف يتصرف الضوء؟" واذا دققنا في طرح السؤال, فيتوجب علينا ان نسأل: كيف ينتشر الضوء وكيف يتأثر مع المادة؟

أعرض في هذا المقال بعض المصادر المبدئية لاردواجية الموجة - الجسيم, وأيضا النظريات التي تبحث في تآثر الضوء مع المادة التي طورت في القرن العشرين. اخص فيما يلي ما قدمت آينشتاين بما يتعلق بطبيعة فهمنا للضوء وتآثره مع المادة.

ان النظرية النسبية لآينشتاين واثباتها جعلت منه شخصية مشهورة على مستوى العالم, أما اسهامه القليل لموضوع البصرييات فقد ساهم في فهمنا للضوء, وأيضا قدرتنا على السيطرة عليه فيما يخص احتياجاتنا في مجالات مختلفة, مثل الطب, الاتصال, وأيضا فيما يخص ابحاث اساسيه في الفيزياء من خلال ظاهرة او اكثر مثل ظاهرة تكاثف بوزيه- آينشتاين. ان ما نشره آينشتاين في موضوع الضوء, اثر على لوي ده براولي الامر الذي أدى الى اختراع "ميكانيكا الامواج". ان آينشتاين جسّر بين الفجوة في فهم ظاهره انتشار الاشعة وبين التآثر بين الاشعة والمادة. بين ١٩٠٥ الى ١٩١٦, طور آينشتاين وصف ظاهرة ابتلاع وبث كوموم (وحدات منفردة) الضوء وتآثره مع المادة معززا ذلك بتفسيرات لعدة ظواهر فيزيائية مثل ظاهرة سطوكس للاشعاع (التي تنص أن طول موجة الضوء المنبعث اكبر من تلك التي ابتلعت), تأين الغازات بواسطة الأشعة فوق بنفسجيه, والظاهرة ألفتوكهربائيه.

ان وجود ذنبه حرجة للاشعة حتى يتمكن اقتلاع الكترونات من سطح معدني هي خلاصة الظاهرة الفوتوكهربائيه. هذا ويطبق هذا المبدأ في أجهزه اكتشاف الضوء وقياسه حتى يومنا هذا كمثل في الانبوبة المضاعفه للالكترونات. ان فرضية آينشتاين بما يخص وجود انبعاث اشعة مقيدة, شكلت الاساس لاختراع الليزر, الجهاز الذي ما زال يغير حياتنا حتى يومنا هذا بعد خمسين سنة من اختراعه.

التجارب الأولى في موضوع تآثر الضوء مع المادة

من الأهمية ان ننظر الى مجموعة التجارب التي سبقت أبحاث آينشتاين في موضوع التآثر بين الضوء والمادة. ففي سنة ١٨٨٧ لاحظ هينريخ هيرتس والذي عمل في توليد الأمواج الكهرومغناطيسية واكتشافها وتشخيص

تقدمها, لاحظ بان الاشعة فوق بنفسجية تسبب شحن سطح معدني بشحنة موجبة. وفي سنة ١٨٩٩, بحث "جوزيف ثومسون" تأثير الاشعة فوق بنفسجية على اقتلاع جسيمات الالكترونات (كما تسمى اليوم) من سطح معدني بواسطة انبوبة كيروكس (مفرغة جزئيا), ولقد وجد جونسون بان التيار المنبعث يزداد كلما ازدادت ذبذبة الضوء وكلما كانت شدة اكبر. هو اول من ادعى في نشره علميه ان تأثير الضوء فوق بنفسجي يسبب انبعاث الكترونات من السطح المعدني. وفي سنة ١٩٠٢ اثبت "فيليب لينارد" تجريبيا بان الاشعة ذات طول موجه قصيره التي تبعث من مصباح كربون قوسي تسبب اقتلاع الكترونات من السطح المعدني. لقد بين ان عدد الالكترونات المنبعثة يكبر كلما ازدادت شدة الضوء, ولكن الطاقة الحركية لتلك الالكترونات لم تكبر. بالإضافة الى ذلك فان الضوء ذو ذبذبه اقل من قيمه حرجه معينه لا يستطيع ان يقتلع الالكترونات من سطح المعدن. بواسطة قياسات من اسطح عينات الومنيوم وباستعمال ثلاثة ذبذبات مختلفة للضوء, اثبت "لينارد" بان الطاقة الحركية للالكترونات المنبعثة من سطح معدني تتعلق فقط بذبذبة الضوء وليس في شدته.

جسيم آينشتاين الضوئي

في عام ١٩٠٥ نشر "آينشتاين" مقالة الثوري اذا صح التعبير: نقطة اطلاق تخمينيه في توليد الضوء وتحوله. في هذا المقال استنتج "آينشتاين" بالاعتماد على أسس النظرية الحرارية الديناميكية التي طورها "بولتسمان" بان انتروبيه (قياس درجة التعادل الحراري) الاشعة كما وصفت في معادلة "وين", شكل مشابه "لانتروبية" غاز من الجسيمات الأساسية, او "الكوم" للطاقة. وان لكل جسيم منها طاقة تتناسب طرديا مع ذبذبة الموجه الكهرومغناطيسية المناسبة له.

من اليسار: صورته تجريدية للمجره الحلزونية كما التقطت من منظار بر كاستل (١,٨ م منظار عاكس) على يد لورد روسيه في عام ١٨٦٥. اما الصورة الوسطى فقد التقطت في كاميرا NASA/ESA وهي عبارة عن دمج بين صورته من منظار



ارضي ٠,٩ متر في مركز المرقاب القومي في كيت بيكو. صورته من الفضاء بواسطة منظار هابل وعلى اليمين صورته للمجره قد اخذت بواسطة الاشعة تحت الحمراء.

لقد كتب آينشتاين: "اشعة أحادية الذبذبة ذات كثافة منخفضة في مجال صحة قانون الجسم الأسود لوين (أي انه $h\nu/kT \ll 1$), تتصرف في مفهوم "النظرية الحرارية الديناميكية" وكأنها تتركب من وحدات كمية مستقلة الواحدة عن الأخرى ذات طاقة $h\nu$ بحيث h , هو ثابت بلانك, k هو ثابت بولتسمان, T هي درجة الحرارة المطلقة (ميزان كلفين), و, ν هي ذبذبة الضوء.

اضافه الى ذلك, عندما ينبعث "شعاع ضوئي" من نقطه, فان طاقته لا تتوزع بشكل متواصل من على حجم فراغي يكبر كلما تقدم الشعاع في الفراغ, بل تتواجد في عدد نهائي من وحدات طاقة منفردة متمركزه في نقاط في الفراغ تتحركن بدون ان تتجزأ, ويمكن ان يتولدن او يبتلعن فقط كوحدة صحيحة متكاملة. هذا وقد استعمل آينشتاين المصطلحات "وحدات طاقة" "*Energiequant*" أو وحدات ضوئيه "*Lichtquant*".

ان مبدأ التوزيع الغير متواصل للطاقة الضوئية المنبعثة والتي تتقدم في الفراغ, ناقض النظرية الموجيه المتواصلة التي طورها "ماكسول" لوصف أمواج كهرومغناطيسية. وبعد قرن وفي سنة ١٩١٦ بحث آينشتاين في كمية الحركة $p = h\nu/c$ وفي كتلة الاستراحه لجسيم الضوء في مقاله "انبعاث الأشعة وامتصاصها في نظرية الكم" "*Duette Physikalische Gesellschaft. Verhandlungen 18, 318*".

ألفوتون

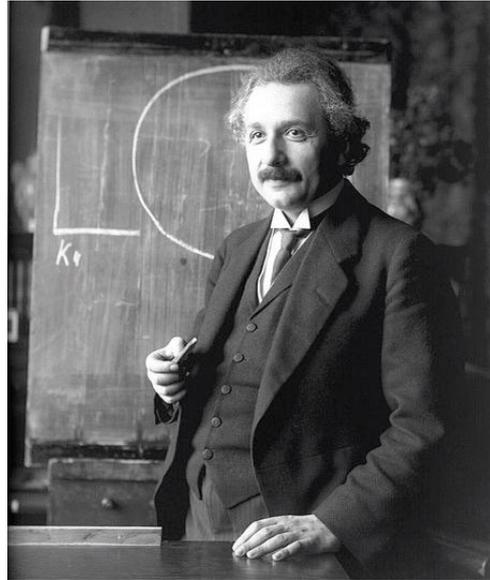
الكيميائي الفيزيائي الأمريكي "جيلبرت ن. لويس", اطلق الاسم "فوتون" في مقال نشر في مجلة "نيتشر" سنة ١٩٢٦ حيث كتب: "ليس من المنصف ان نتكلم عن المصطلحات الفرضية هذه كجسيم للضوء, كوحدة منفصلة

للضوء, او كم من الضوء اذا فرضنا أنه يتواجد فقط لزمان قصير كمن يحمل طاقة الاشعة, واما باقي الوقت يقضيه كجزء من بنيان الذرة. وأضاف, لذا اسمح لنفسي ان اوجد لتلك الذرة الفرضية الجديدة التي هي ليست "ضواً" ولكن عبارته عن جزء مهم من عملية الاشعاع اسم "فوتون". بعد ان اقترح لويس اسم "فوتون" سنة ١٩٢٦, بدأ استعماله على يد فيزيائيين آخرين كاسم لوحدة "الضوء المنفردة لأينشتاين". مع هذا, فان فهم لويس للفوتون كان يختلف اختلافا جوهريا عن فهم أينشتاين له. كما اكتشف ذلك لاحقا فان الاسم فوتون اقترح على يد اكثر من أربعة علماء قبل عام ١٩٢٦, هكذا وما تبقى من "فوتون لويس" هو الاسم فقط. من الممكن أيضا معاينة مقال "لامب" سنة ١٩٩٥ تحت عنوان "أنتي فوتون" حيث يتناول فيه نبذات تاريخيه إضافيه في ذات الموضوع.

فرضية الكموم الضوئية لأينشتاين تفسر الظاهرة الفوتوكهربائية

لقد طبق "أينشتاين" فكره "الكم الضوئي" في تفسير الظاهرة "الفوتوكهربائية" والتي كان من غير الممكن تفسيرها بواسطة النظرية الموجية "لماكسول". كتب أينشتاين: "إذا كان تصرف اشعه ذات ذبذبة واحدة وكأنها وسط غير متواصل, مركب من وحدات منفردة ذات طاقة $h\nu$, اذن من المنطق ان نفحص اذا كانت أسس انبعاث الضوء وتحوله مركبة أيضا من نفس الوحدات." لقد فرض أينشتاين ان الضوء يتأثر مع المادة عن طريق امتصاص او انبعاث "كموم ضوئية". وبهذا اقترح طريقه جديدة لتفسير الظاهرة "الفوتوكهربائية المركبة". اعتمد التفسير الاتي: ان "الكموم الضوئية", تخترق سطح المعدن وطاقتها تتحول لطاقة حركية "للكترولونات المادة". كل الطاقة في الكم الضوئي الواحد تنتقل الى "الكترولون" واحد فقط. وأضاف:

"ان الكترولون داخل المادة يخسر قسم من طاقته حتى يصل الى السطح". بالاضافه الى ذلك, افترض أينشتاين "ان على الكترولون ان يصرف عملا معيناً ϕ , متعلق في نوع المادة ويدعى "دالة العمل للمادة", حتى يتغلب على القوى الجاذبه داخل المادة وبهذا يستطيع الانبعاث خارج السطح. لذا فطاقة الكترولون كهذه القصوى هي: $h\nu - \phi$. الوصف الحديث لذلك هو: $eV = h\nu - \phi$. بحيث e هو شحنة الكترولون, و V هو الجهد الكهربائي المطلوب حتى يتوقف الكترولون ذو السرعة القصوى. ان هذه المعادلة هي الحقيقة الاولى في نظرية الكموم لتأثر الاشعة مع المادة. اثبات تفسير أينشتاين أتى عام ١٩١٢ عندما قاس آرثور ه. يوز السرعة القصوى للكترولونات المنبعثة من عدد من المعادن.



البرت أينشتاين في سنة ١٩٢١. المصدر:

F Schmutzer [public domain], via Wikimedia

ان الاثبات الاول لنظرية "الكموم" طرح من مجال آخر في الفيزياء ألا وهو مجال الحالة الصلبة, حيث فسر "أينشتاين" عام ١٩٠٧, كيف ان "الكموم الطاقية" بإمكانها تفسير العلاقة الغير متوقعة بين السعة الحرارية لمواد صلبة, (السعة الحرارية تقل مع ازدياد درجة الحرارة) ودرجة الحرارة, مطورا "نظرية المادة" المبنية على وجود ذبذبات للمادة غير متواصلة وتحمل وحدات طاقة أي كموم. ان اثبات معادلة "أينشتاين" في هذا المجال أتى عام ١٩١٠ على يد "ولتر نيرنيست" ومساعدته "فريدريك ا. ليندمان".

ان التبرير في حصول أينشتاين على جائزه نوبل عام ١٩٢٢ ارتبط بمقالة منذ عام ١٩٠٥ في موضوع الظاهره "الفوتو كهربائية".



ليزر اللياقوت الاول مفكك الى اجزائه.

لقد لاقت نظرية "آينشتاين" معارضة قوية من علماء آخرين مثل "ماكس بلانك", "هنريك ا. لورنتس", "ماكس فون لاوه", "ويلهلم وين" و, "ارنولد سومرفيلد", اللذين أتوا بظاهرة "تداخل الأمواج الضوئية" التي تتوافق مع النظرية الموجية للضوء. لقد قبل بلانك ولورنس الحقيقة ان تأثير الأشعة والمادة يحدث عن طريق الكموم من الطاقه المنفردة, ولكن رفضوا الفكرة القائلة ان كموم الضوء تتقدم كموجه. ولقد كان منفردا في رؤية "يوهانس سطارك", الذي اقترح عام ١٩٠٩ وحدات من الطاقة لأشعة اكس وايد فرضية آينشتاين بشأن وجود وحدات من الطاقه. فهم آينشتاين ان فرضيته تحتاج لاثبات او عدمه عن طريق التجارب. وفي مؤتمر سولفي عام ١٩١١ اعلن, "انا مصمم على طبيعته الصدفيه لمبدأ جسيمات الضوء المنفردة". في مؤتمر سولفي الثالث في بروكسل اعلن "موريس دي برولي" ان تحليله لنتائج انبعاث الالكترونات من المادة بواسطة اشعاعه بأشعة "اكس" يتوافق مع الفرضية ان "الأشعة اكس" طاقة تساوي $h\nu$. اما اخاه "لويس دي برولي" فكان قد قرا مقالات آينشتاين في موضوع الضوء وفي اعقاب ذلك طور نظريته ل"أمواج المادة". وبالاعتماد على مقالات لويس دي برولي طور ارفين شريبنجر "ميكانيكا الأمواج".

التشكك, ومن ثم اثبات تجريبي لجسيمات الضوء المنفصلة لآينشتاين

في عام 1916 اثبت "ربرت ا. مليكان" تجريبيا نظرية آينشتاين بما يتعلق "بالظاهرة الفوتوكهربائية". حيث وسع نطاق التجارب التي اجراها "ل. لينارد". لقد بين "مليكان" ان الطاقة الحركية القصوى للالكترونات المنبعثة تتناسب طرديا مع ذبذبة الضوء المهيج للالكترونات. ومن خلال التجارب رأى ان الجهد الكهربائي المطلوب لايقاف الالكترونات يتغير بعلاقة طردية مستقيمة مع ذبذبة الضوء كما توقع "آينشتاين", وان معامل التناسب h لعدد من المعادن يساوي القيمة التي حسبها "بلانك" عام ١٩٠١. لقد بين "مليكان" أيضا ان عدد الالكترونات المنبعثة يتناسب "طرديا" مع شدة الضوء. بالرغم من ذلك لقد رفض "مليكان" فكرة الكم الضوئي التي اقترحها آينشتاين .

واما مجتمع الفيزيائيين أخذ يتقبل فكرة الكموم الضوئية التي اقترحها آينشتاين فقط بعد ١٩٢٣, عندما نشر "كومبتون" وتلاه "بيتر ديبياي", أعمالهم عن انتشار اشعة اكس على يد الالكترونات اللتين كن معتمدات على فرضية آينشتاين. لقد عمل "كومبتون" في انتشار "اشعة اكس واشعة جاما" على يد عناصر خفيفة. ان نظريته منذ عام ١٩٢٣ بينت ان طاقة الضوء (الكم المنفرد) المنتشرة اقل من تلك للضوء المهيج, حيث الفرق في الطاقة يساوي الطاقة الحركية للالكترونات. لقد طور كومبتون معادلة التي ربطت بين طول الموجه الأكبر للضوء المنتشر وبين الزاوية التي تفصل الضوء المنتشر عن الضوء المهيج. الكم الضوئي ذو ذبذبة ν ينتشر على يد الكترون ذو كتلة m . كما وفرض كومبتون ان الالكترون موجود في حالة استراحة قبل عملية الانتشار. بعد الانتشار يدفع الالكترون الى الورا. بالاعتماد على قوانين حفظ كمية الحركة والطاقة في عملية الانتشار توصل الى المعادلة التالية التي تصف تغير طول موجه اشعة اكس بعد الانتشار:

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$$

لقد اثبت "كومبتون" هذه المعادلة من خلال سلسلة تجارب دقيقة وكتب: "أتلانم الجميل بين التوقعات النظرية للنتائج التجريبية مدهش للغاية وحتى انه لا يوجد أي ثابت توافق لكي يربط بين قيم المعطيات. لقد وجد ان التغيير في طول موجه اشعة اكس غير متعلق في طول الموجه ولخص ذلك في ما يلي: "ان انتشار اشعة اكس هي ظاهرة كمومية" وهكذا ". . . تبين لنا تلك النظرية بشكل مقنع ان الكم الضوئي يحمل معه كمية حركة ذات اتجاه وليس فقط كمية طاقة".

نظرية آينشتاين المتعلقة بازواجية الضوء جسيم - موجه

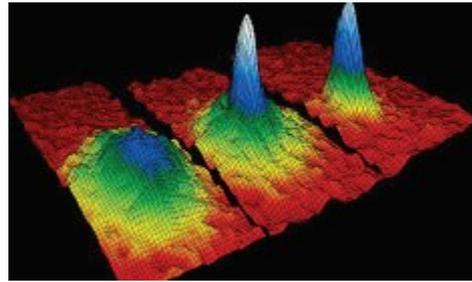
ان جذور الثنائية "جسيم - موجه" للضوء, تعود الى مقال آينشتاين الثوري منذ عام ١٩٠٩, في موضوع تقلبات الطاقة "عن الوضع القائم لمشكلة الأشعة". لقد حسب آينشتاين تقلبات الطاقة وكمية الحركة في تحليله للحركة البراونية (١٩٠٥) وطبق هذه الأسس على اشعة الجسم الأسود. بذلك قد عمم النظرية منذ عام ١٩٠٥

لمجموعات غير ميكانيكية. بحث أينشتاين تقلبات الطاقة لجسم اسود موجود في مرنان متساوي الحرارة (متحاور) في درجة حراره T وذو حجم V . استنتج من خلال توزيع طاقة الجسم الأسود لبلاك, ان التغيير في تقلبات الطاقة هو:

$$\langle (E - \langle E \rangle)^2 \rangle = \langle E \rangle h\nu + \frac{c^3 \langle E \rangle^2}{8\pi\nu^2 d\nu V}$$

بحيث $\langle \rangle$ معناه المتوسط الاحصائي, E هي طاقة الاشعة ذات ذبذبات في المجال ما بين ν و $\nu + d\nu$, و c هي سرعة الضوء في الفراغ. هذه المعادلة تعرف كمعادلة أينشتاين لتقلبات اشعة الجسم الأسود. لقد ادعى معتمدا على أسس الميكانيكا الإحصائية ان القسم الأول في جهه اليمين للمعادلة مصدره الصفات الكمومية للاشعة. هذا الجزء الذي يتناسب بعلاقة مستقيمة مع معدل الطاقة موجود في مجال الذبذبات العالية حيث قانون "وين" ذو صلاحية. استنتج أينشتاين, ان الاشعة وبالأخص التقلبات في طاقتها, تتصرف كغاز من الجسيمات المستقلة, أي كموم من الاشعة لكل منهم طاقه $h\nu$. وبناءً على الوحدات, ادعى ان القسم الثاني في جهه اليمين للمعادلة الذي يتعلق بشكل تربيعي في معدل الطاقه, فان مصدره التداخل بين الأمواج. افترض أينشتاين ان الطاقة داخل المرنان مركبه من حالات كثيره حيث لكل منها سعة معينة, زاوية تأخير (phase), وتقطب, والتي تتقدم في اتجاهات مختلفه. لذلك فان التقلبات في كل حجم جزئي للمرنان ممكن ان تتكون نتيجة تداخل بين أمواج مستقيمة مختلفة. في عام ١٩٠٩ كتب أينشتاين: . . . المرحلة القادمة في الفيزياء النظرية سوف توصلنا لنظرية الضوء التي يمكن تفسيرها عن طريق دمج بين نظرية موجيه ونظرية انبعاث الضوء.)

تكايف بوزيه - أينشتاين. معطيات توزيع السرعه (الصور الثلاثة) لغاز ذرات الروبيديوم, تثبت اكتشاف حالة جديده للمادة, تكايف بوزيه - أينشتاين. من اليسار: قبل ان يحدث التكايف. في الوسط: لحظات بعد ظهور التكايف. الى اليمين: بعد تبخر اضافي تبقى العينة في حالة تكايف تقريبا نقيه.



By NIST/JILA/ CU-Boulder (NIST Image)
[Public domain], via Wikimedia Commons

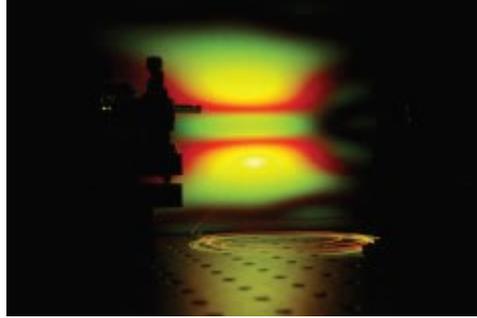
نظرية الانبعاث المقيد لأينشتاين

بعد ان نشر فكرة "الكم الضوئي" بتسع سنوات رجع أينشتاين لمشكلة التأثير بين الاشعة والمادة, وبالأخص الانتقالات بين مستويات الطاقة للذره ووظيفة الكموم الضوئية وفيما يتعلق بذلك. اقترح في عام ١٩١٦ عملية الانبعاث المقيد في مقاله الثوري "انبعاث الاشعة وامتصاصها في نظرية الكموم". ومن الجدير ذكره بشكل خاص انه يعود الى هذا المقال طرح فيزياء الكموم على شكل احتمالات. والذي يحتوي على "المعاملين A و B " وتنبأ عملية الانبعاث المقيد والانبعاث التلقائي. وفي نفس الفتره ان مبدا الانتقال بين مستويات الطاقة في الذرات عن طريق كموم ضوئية لم يحظى بقبول واسع من مجتمع الفيزيائيين. نظرية ذره الهيدروجين التي طورها "بوهر" لم تستعمل فكرة جسيم الضوء. عمليا لقد رفض بوهر نفسه هذا المبدأ حتى أوائل سنوات العشرين حتى ان ماكس بلانك الذي يعتبر مؤسس نظرية الكموم في عام ١٩٠٠ لم يعترف في وجود الكموم حتى عام ١٩١٣ عندما طبقها بوهر على مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين.

لقد ادعى أينشتاين ان مجال الاشعة ممكن ان يسبب الى تكبير الطاقة في الذرات او الى تصغيرها, وقد افترض العمليه التي تختلط فيها حالتان من الطاقه الأولى ذات طاقه منخفضه, والثانية ذات طاقه عالية بحيث ان الانتقال من الواحدة الى الأخرى يرافقه انبعاث او امتصاص جسيم ضوئي ذو طاقه متساويه للفرق بين الطاقتين. اذا امتصت الذره جسيم الضوء فان طاقتها تكبر وتنتقل الى حالة تهيج, اما الذره في حالة التهيج فبإمكانها ان تبتث جسيم ضوئي بشكل تلقائي, ومع ذلك تنتقل الى حالة طاقة اقل او ما يسمى حالة الصفر او الحالة الأساسية.

طاقة الجسيم الضوئي المنبعث تساوي الفرق بين طاقتي الحالتين المتهيج والاساسي. هذا وان انبعاث تلقائي ممكن ان يحدث أيضا بغياب الأشعة. في الانبعاث المقيد, الذرة في حالة تهيج موجوده في تآثر مع

المجال الكهرومغناطيسي الذي بدوره يقيد الذره ويجبرها ان تنتقل من حالة التهيج الى الحالة ذات الطاقه المنخفضه, وفرق الطاقة ينتقل للمجال الكهرومغناطيسي. ان الجسم الضوئي المنبعث في هذه العملية مماثل في ذبذبه, في زاوية تاخره, في تقطبه وفي اتجاه تقدمه للجسيمات الضوئية الموجوده في المجال الكهرومغناطيسي المقيد.



توليد اشعه فوق متواصله في ليف ضوئي من النوع البلوري الفوتوني. المصدر:

J Dudley, Chair of the Steering Committee of the International Year of Light

افترض أينشتاين مجموعه من الذرات في وضع توازن حراري كما وصف اعلاه, لقد افترض عمليه ذات حالتية طاقة مختلفتين, والانتقال بينهما بواسطة امتصاص او انبعاث لجسيم ضوئي ذو طاقه تساوي الفرق بين طاقات الحالتين. ان عدد الذرات في كل حالة لا يتغير مع الزمن, لانه في وضع توازن حراري نفس عدد الذرات يبث او يبتلع الأشعة.

في تلك الظروف ميز أينشتاين بين نوعين من الانتقال. الأول هو عندما يحدث الإشعاع بدون تأثير خارجي ربما يشابه قانون النشاط الإشعاعي "لرذرفورد". اما في أيامنا هذه يدعى هذا النوع "بالانبعاث التلقائي" الذي يحدث بدون اشعه خارجيه ويتميز بالمعامل A . ان الجسيم الضوئي المنبعث في هذه العملية ممكن ان يتقدم في أي اتجاه. افترض أينشتاين ان تأثير الأشعة الخارجية يتناسب طرديا مع كثافتها وتسبب الانتقال بين الحالتين, كما وافترض ان العملية معكوسة على المستوى الميكروسكوبي, أي ان الانتقال من الحاله المهيجه الى الحاله المنخفضة يساوي معدل الانتقال المعاكس. طلب أينشتاين ان عملية الانبعاث المقيد تتم بحيث انه في حالة ان مستويات طاقة الذرات والأشعة في توازن, فان مجال الأشعة يكون متوافق مع توزيع بولتسمان وقانون الأشعة لبلانك. اذا كان معامل أينشتاين يساوي صفرا" فان توزيع بولتسمان للحالات في توازن حراري لن يحصل. في حالة توازن, عدد الذرات ذات الطاقة المتزايدة يجب ان يساوي عدد الذرات ذات الطاقة المتناقصه. بناء" على ذلك استنتج أينشتاين ان احتماليين الانبعاث المقيد والامتصاص يجب ان يتساويان.

لقد اقترح أينشتاين بشكل تنبؤ تقريبا, ان المعاملان A و B يمكن حسابهم بحيث يكون توافق بين علم "الميكانيكا والالكتروديناميكا" من جهة, وبين "نظرية الكموم" من جهة ثانيه, وبكلمات أخرى (نظرية ميكانيكا الكموم الجديده). هذا التنبؤ قد تحقق في عام ١٩٢٧, عندما عرض "ديراق" صيغته لميكانيكا الكموم واستعملها ليحسب في احد المقالات, المعامل A وفي آخر, المعامل B .

ان الاثبات التجريبي لمبدأ الانبعاث المقيد أتى فقط بعد عشرات السنوات من تنبأ أينشتاين. لقد اقترح برتوليتي تفسيراً لهذا التأخير في مقاله: "لماذا أوجد الليزر متأخراً" لتلك الدرجة؟" (انظر *ICO newsletter*, January 2010, Number 82, <http://e-ico.org/node/94>).

وفي عام ١٩٥٤ اوجد "جوردون, زايجر, وتاونس الميزر" (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) الذي عمل في مجال امواج الميكرو. وفي عام ١٩٦٠ حصل "تيودور مايمان" على انبعاث اشعه مقيد من بلورة الياقوت, التي كوّنت جزءاً "مهما" لجهاز الليزر الاول. منحت جائزه نوبل عام ١٩٦٤ لكل من "تشارلز ه. تاونس, نيكولاي ج. باسوف, والكسندر بروخوروف تقديراً" لاعمالهم المستقله عن الليزر. بقي السؤال المطروح: ما هو الضوء؟

لقد اقترح أينشتاين ان الفوتون حاله من المجال الكهرومغناطيسي ذو ذبذبه ν , عدد موجه k , طاقه $h\nu$, وكمية حركه ∇k . هذا وصف لجسيم ذو كتلة استراحة تساوي صفرا, له عدد دوران يساوي واحد, ووضعان من التقطب. في سنة ١٩٢٤ كتب أينشتاين: "ان نتائج "كومبتون" تثبت ان الأشعة تتصرف وكأنها مركبه من

جسيمات طاقه منفردة, ليس فقط بما يتعلق في انتقال الطاقة, بل ايضا في انتقال كمية الحركة. وهكذا بعد سنوات طويلة نرجع الى مصطلحات "اشعه. . . تتصرف. . . وكانها مركبه. . ." ان هذه المصطلحات لا تنطبق الى السؤال المطروح: ما هو الضوء, ولكن للسؤال كيف يتصرف الضوء. حتى وان لم نجيب على السؤال الأصلي, الإدراك الواسع لمفهوم الضوء جمل حياتنا وغيّر العالم.

شكرا الى الضوء المنير!

المصادر: <http://e-ico.org/node/284>

نبذة عن مؤلف المقال:



بروفيسور بييري ر. ماسترس, هو خريج البوليتكنيك في بروكلين. حاز على لقبه الثاني من جامعة فلوريدا ستيت, ولقبه الثالث من معهد وايزمن للعلوم. بالإضافة الى هذا كان أيضا باحثا ضيفا في كلية الهندسة البيولوجية في المعهد التكنولوجي في ماساشوستس, وأيضا عالما ضيفا في كلية تاريخ العلوم في جامعة هارفرد, وبروفيسور ضيف في كلية طب العيون في جامعة بيرن, وبروفيسور ضيفا علم التشريح وبيولوجيا الخلية في *Uniformed Services University of Health Sciences*. انه عضواً في منظمة الاتحاد الأمريكي للتطوير العلمي (AAAS) وفي جمعية علم البصريات الأمريكية (OSA). في السنوات 1999-2000 شغل منصب مستشاراً علمياً من قبل AAAS في مجلس الشيوخ الأمريكي. حصل على جائزة Vogt تقديراً لأبحاثه في طب العيون مع د. بونكه في موضوع "المجهر متحد البؤر للقرنية". وله من المنشورات 86 مقالا, و 143 فصلا في الكتب, ومقالات في عدّة

مؤتمرات. لقد حرّر وكتب عشرة كتب بينها: "طرق غير اجتياحية في طب العيون", "المجهرية متحدة البؤره والغير الخطيه". حالياً يؤلف كتاباً في موضوع المجهرية الفوق تحليلية, الذي سينشر باخراج دار النشر لجامعة كيمبريدج. بروفيسور ماسترس يحاضر في العالم في مجال اداره مسؤوله للبحث العلمي, اخلاقيات طبيه, تفكير نقدي وفوتونيكا طبيه.



نبذة عن المترجمين: بروفيسور ابراهيم عبد الحليم يبحث في مجال الاجهزه الكهرو- ضوئية من البلورات السائله, بيو- حساسات ضوئية وطرق تصوير ضوئي جديده وقياسات دقيقة واستعمالاتها في الطب والصناعة. درس الفيزياء وحصل على اللقب الاول, الثاني والثالث من معهد التخنيون في حيفا في السنوات 1977-1988. قبل ان ينضم كبروفيسورا الى قسم الهندسه الكهرو- ضوئية في جامعة بنر السبع سنة 2005 شغل مناصب عدة في الابحاث والصناعة منها في جامعة كولورادو, جامعة ساوثهامبتون, جامعة غرب اسكوتلاندا, شركة ك.ل.ا - تنكور, شركة ج.و.س- فوتونيكس, وشركة نوكا لاجهزة القياسات الدقيقة. نشر حوالي مائتي مقالا, كتابين, له اكثر من عشرون براءة اختراع ولقد حاضر كضيف في عشرات المؤتمرات والجامعات. أسس شركة فوتونيكسيس عام 2014 التي تطور اجهزه كهرو- ضوئية. عضواً "فعالاً" في منظمات دولية لعلم الالكترونيات الضوئية والفيزياء مثل SPIE, OSA, IoP.

فاتن عبد الحليم مدرسه للغة العبرية وأدائها, وللعربية كلغة ام وثانية, ومترجمة بين العربية والعبرية. تخرجت من كلية اللغة العبرية وكلية الادب العبري من جامعة حيفا. تابعت دراسة الفلسفة للقب الثاني في جامعه بن غوريون. تعمل في مجالها اللغوي منذ خمسا وعشرون سنة.