



الضوئيات الجزيئية

الأساسيات والجوانب العملية

**Molecular Photonics**

**Fundamentals and Practical Aspects**

**Kazuyuki Horie, Hideharu Ushiki, Françoise M. Winnik**

مقدمة

مفهوم الضوئيات الجزيئية

في نقطة في العدم بدون زمن ولا مكان، انفجار عظيم لمادة كثيفة عرف على أنه أساس الكون. فورا وبعد هذا الحدث، كرة من الإشعاع عند درجة حرارة عالية جدا تكونت في حجم صغير. انتجت الكثير من الفوتونات بالتصادمات بين الكواركات ومضاد الكواركات. هذه هي نظرية الانفجار العظيم لنشأة الكون. انه من غير الاعتيادي في الكتب التي تتحدث عن الضوء ان تبدأ بالاقتناس من الإنجيل على خلق الكون. في الحقيقة العلاقة بين الجنس البشري والضوء تاريخ طويل وقد اتصلت بالعديد من جوانب الحياة، من العصور القديمة وحتى العصور الحديثة. الإنسان كان حذرا في التمييز بين الضوء والحرارة. أعطي للضوء اهتمام اكبر على مر العصور. فالضوء أداة مهمة في العديد من الديانات. الإنسان لا يتحدث بسوء عن الضوء. لاحظ على سبيل المثال الضوء استخدم في اللغة اليابانية Goraiko التي تصف الإعجاب بالشمس، في حين ان الحرارة استخدمت في العبارات التي تصف الجحيم، Shakunetsu-Jigoku، الحرارة الشديدة في جهنم. وعليه فلا عجب ان الإنسان فتن بالضوء وخواصه المزدوجة.



هذا الكتاب موجه لدراسة الضوء، وتفاعلاته مع المادة، وتحولات المادة بواسطة الضوء. لقد اخترنا طريق متكامل ومستلهم بالتوجهات الحديثة لدخول إلى الجوانب الفيزيائية للضوء، مثل البصرييات الموجية ونظرية المجال، والجوانب الكيميائية، مثل الضوئيات ونظرية الكم. لم نقم بفصل وصف photo أي ضوئي opto أي بصري عن بعضهما البعض، ولكننا دمجناهما معا في موضوع الضوئيات الجزيئية (Molecular Photonics) بدلا من محاولة الإجابة عن السؤال ما هو الضوء؟ سوف نقوم هنا بشرح كيف إننا كبشر نفهم الضوء. عادة ما سوف نؤكد على انه لكي نفهم الظاهرة الصعبة أو النظرية، فانه لا يكفي ان نستخدم العقل لوحده بل يجب ان يشملنا بالكامل. بمعنى آخر لا نستطيع فهم أساس أي ظاهرة بطريقة وحيدة أو من خلال مبدأ واحد. إننا نؤكد على القارئ ان يستقبل كل المعلومات بعقل متفتح وان يبصر المواضيع المختلفة التي يحصل عليها من أفكار عديدة وملاحظات واستنتاجات. في العلوم الطبيعية والأبحاث عندما يصبح الباحثون جزء من عملية التطوير يعملون كمجمع فريد من البشر.

لكي نفهم مبدأ الضوئيات الجزيئية فانه من المهم للقارئ ان يدرس المبادئ الأساسية. الجزء الأول بعنوان أساسيات الضوئيات الجزيئية تشمل أربعة أقسام تركز على علم البصرييات، نظرية المجال الجزيئي ونظرية المجال الإشعاعي، والتفاعلات بين المجال الجزيئي والمجال الإشعاعي. المبادئ الأساسية غالبا ما يخصص لها الجزء الأول لتدفع القارئ للتفكير وتجعله يفهم كل الأمور المهمة بسهولة. هذا التوجه لزرحة الأساسيات إلى مقدمة مختصرة اصبح أسلوبا شائعا في العلوم الطبيعية. إننا لا نتبعه في هذا الكتاب، لأننا نؤمن انه لكي نتعمق في فهم الجوانب الأساسية للضوئيات الجزيئية، علينا ان نفهم الكثير من المبادئ المجردة والمعقدة. تطورت العلوم الطبيعية على مر السنوات بواسطة الانعطافات واللفات التي لا تحصى، لتعكس شخصية وطبيعة الباحثين في الكثير من الدول. بعض الصعوبات في فهم الجوانب الأساسية لأي عمل يمكن ان تلطف اذا استخدمت البديهية والحدس مع البرهان المتين. الحدس والبديهية مطلوبة لإدراك العلاقة بين الصورة التخيلية والمعادلة ومخطط رسم البيانات العملية. إننا ندرك تماما أهمية هذه العلاقة المعتمدة على الحدس والبديهية. نشرح كل مبدأ من مبادئ الضوئيات الجزيئية من خلال الجداول والرسومات الناتجة عن أنظمة الكمبيوتر. ليس مثل الكثير من كتب العلوم الطبيعية والتي تميل إلى تجنب المعادلات الرياضية، إلا إننا هنا نخصص الوقت اللازم لاشتقاق المعادلات. المعادلات الرياضية قد تكون معقدة لفهم المبادئ المجردة. المعادلة توضح التوقعات لكامل المناقشة بدون أي غموض. استخدام المعادلات مهم جدا لموازنة الجوانب البديهية للعلوم الطبيعية. بأخذ الملاحظات عن المعنى الفيزيائي للمعادلات بدون القلق كثيرا حول الاشتقاقات الرياضية، فهذا مفيدا كخطوة أولية للقارئ الغير معتاد لاستخدامهم.

## 1.0 الضوء كأموج كهرومغناطيسية

البحوث الحديثة عن الضوء معتمدة على ملاحظتين لا يمكن التوفيق بينهما، على جانب الضوء يتصرف على انه موجة كهرومغناطيسية كما شرحها العالم هيرتز في العام 1988، وعلى جانب اخر الضوء يتصرف كجسيمات كما تم وصفه بفرضية نظرية الكم التي وضعها العالم أينشتين في العام 1905. دراسة الضوئيات الجزيئية في هذا الكتاب تبدأ من هذين المبدئين. إننا نعتقد بانه بالحفاظ على هذين التناقضين في الاعتبار، فانه يمكن في النهاية الإجابة على السؤال "كيف نحن نفهم مبدأ الضوء؟" هذه الرأي ليس مثل المدير الذي يحاول حل التناقض بين فكرتين بتبني اقتراح شخص من الخارج. إننا نعتقد ان الفهم النهائي سوف يتحقق عندما نقبل بالفكرتين بشكل بديهي.

بداية باتباع وجهة نظر هيرتز بوصف الضوء على انه موجة كهرومغناطيسية. الجدول 1.0 يوضح قائمة بالأطوال الموجية والطاقة للأمواج الكهرومغناطيسية التي تغطي نطاق واسع من الطيف، من أمواج الراديو إلى أشعة جاما. أيضا موضح في الجدول 1.0 أسماء المخترعين، والظواهر الفيزيائية، والمصادر الإشعاع، والكواشف والمجالات البحثية المرتبطة بكل نوع من أنواع الأمواج الكهرومغناطيسية. الطيف الكهرومغناطيسي يشمل مدى من الضوء من الأشعة تحت الحمراء القريبة وحتى الأشعة فوق البنفسجية القريبة. ولهذا لكي نفهم المبادئ الأساسية لخواص الضوء، فانه من المفترض ان ندرس الأمواج الكهرومغناطيسية بصفة عامة. في حين ان الطبيعة المزدوجة (الموجة والجسيم) للضوء غالبا ما تناقش، ولكن الطبيعة المزدوجة للأمواج الكهرومغناطيسية من النادر ان تذكر. بالطبع الضوء يحتل مكانة خاصة في حياتنا. ونحن نشعر به في كل يوم، مثل هذه البديهية، فإننا نفهم الكثير من خواصه.

الطبيعة المزدوجة للضوء لها الكثير من النتائج الغير متوقعة ولها اثار مهمة في دراسة تفاعلات المادة مع الضوء. يمكننا ان نناقش بتوسع سلوك الضوء كموجة كهرومغناطيسية، المهم هنا هو كيف يتفاعل الضوء مع الجزيئات والذرات، العنصر الأساسي لبناء المادة. الضوء يستحث انتقالات إلكترونية في الجزيئات سوف نتطرق لها في سياق الحديث.



## الجدول 1.0 خريطة طيف الأمواج الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Wave															
Fr	300kHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz	3THz	30THz	300THz	3PHz	30PHz	300PHz	3EHz	30EHz
W.L.	1km	100m	10m	1m	10cm	1cm	1mm	100 μm	10 μm	1 μm	100nm	10nm	1nm	1 Å	0.1 Å
cm <sup>-1</sup>					0.1	1	10	100	1000	10000					
Energy	1.24neV	124neV	124 μeV	1.24meV	124meV	12.4eV	1.24keV	124keV							
	120 μJ	12mJ	1.2J	120J	12kJ	1.2MJ	120MJ	12GJ							
Temperature	14.4 μK	1.44mK	144mK	14.4K	1.44kK	144kK	14.4MK	1.44GK							
	144 μK	14.4mK	1.44K	144K	14.4kK	1.44MK	144MK								
Wave Name	Radio Wave			Microwave			Infrared Radiation		Ultraviolet V.L. Radiation			X-Rays		γ - Rays	
Discoverer	H.R.Hertz (1888)						F.W.Herschel (1800)		J.W.Ritter (1801)		W.C.Röntgen (1895)		A.H.Becquerel (1896)		
Phenomena	motion of electron or atomic nucleus in electromagnetic field			molecular rotation		vibration		electronic transition		electronic transition of inner orbital		nuclear reaction			
Emission Source	LC circuit		magnetron		maser		heat-source		mercury lamp		discharge tube		synchrotron orbital radiation		nuclear decay
Detector	antenna and detector		radio telescope		klystron		laser		photocell		fluorometer		photomultiplier tube		Geiger-Müller tube
Use	communication radio		television radar		microwave communication		HF-heating		IR-photography		photoreaction		material structure analysis		high-energy physics
Field	electrical and electronic engineering			astrophysics			molecular chemistry and physics			photo-reaction			structure analysis		

في العلوم المعاصرة، هذه الفكرة أدت إلى قاعدة وجهت لدراسة تفاعل مجال الإشعاع مع المجال الجزيئي. مركز هذه الدراسة المعادلة (1.0) المعتمدة على نظرية الاضطراب:



$$H = H_R + H_M + H_I \quad (0.1)$$

حيث  $H$ ،  $H_R$ ،  $H_M$ ،  $H_I$  هي مؤثرات هاملتونين (Hamiltonian operators) للإشعاع الكلي، مجال الإشعاع والمجال الجزيئي وتفاعل مجال الإشعاع مع المجال الجزيئي على التوالي. الحد  $H_I$  هو مركز دراسة التفاعل بين مجال الإشعاع والمجال الجزيئي، لكن يتطلب منا ان نفهم أيضا الحدين  $H_M$  و  $H_R$  لكي نستخلص الحد  $H_I$ . الجزء الأول من الكتاب يتعامل مع المبادئ الأساسية للبصريات والضوئيات بدلالة هذه المؤثرات  $H_I$ ،  $H_M$ ،  $H_R$ .

## 2.0 دراسة التأثيرات البصرية والضوئية الكيميائية: نظرة تاريخية

النظرة التاريخية مهمة جدا في مجال العلوم الطبيعية. فيصبح الشخص مدركا للحقائق النادرة الموضحة في كورس التاريخ العام. كيف تم الاكتشاف؟ ماذا كانت تهدف التجربة؟ ما الذي كان يحاول الباحث اكتشافه في زمنه؟ المحاولات الغير مكتشفة، والتي أدت إلى اكتشاف تلو الاكتشاف. سوف نرى بعد ذلك العلم ليس تجميع معلومات سطحية بل هو دراسة في أربعة أبعاد.

الجدول 2.0 يوضح خلاصة تاريخ البحث الحديث في الضوء. في هذا الجدول سنرى التطورات الحديثة في مجال أبحاث الضوء من أساسيات علم البصريات (القرن السابع عشر) وحتى المجال الكهرومغناطيسي، والمجال الجزيئي وتفاعل مجال الإشعاع مع المجال الجزيئي الذي أدى في النهاية إلى الضوئيات الجزيئية (Molecular Photonics)، كما نعرفها اليوم. فهم الظواهر الناتجة عن الضوء تطورت من التناقض بين النظريات الجسيمية والموجية، مثل النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل وقياس سرعة الضوء وتطور طريقة القياس الطيفي وتطور نظرية الكم واكتشاف الليزر وإلخ.

بدء البحث العلمي الحديث في الضوء منذ بدايات القرن السابع عشر، باكتشاف التليسكوب. وبعد ذلك تطورت البصريات بسرعة. اندماج البحوث في مجال البصريات والكهربية الساكنة أدى إلى تطور النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية. وبلغت مداها في اكتشاف النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل. في العام 1888 اكتشف العالم هرتر الأمواج الكهرومغناطيسية و أعلن الانتصار للنظرية الموجية للضوء. هذه الأحداث العظيمة حددت الدورة الأولى لبحوث الضوء الحديثة. وفي نفس الوقت استخدمت تقنية جديدة هي طريقة قياس الطيف بالاعتماد على تفاعل اللهب، جذلت اهتمام الباحثين، وادت إلى تأسيس الجدول الدوري. هذه الطريقة الجديدة وجهت ضربة قاتلة للنظرية الموجية للضوء. لقد تصادف اكتشافها مع ولادة نظرية الكم والتي تولت زمام الأمور في القرن العشرين. ولهذا خلال الفترة الأولى فان التطور



التاريخي اخذ العديد من المسارات والاتفاتات في اتجاهات مختلفة بواسطة نظرية الكم والنظرية الموجية. النظرية الموجية أصبحت الكتروديناميكا الكم من خلال اكتشافات أشعة الميكروويف، وVHF و UHF التي أدت إلى تصنيع الليزر والميزر. هذا الخط من التطور انتج مبدأ المجال بالاعتماد على البصريات الموجية. خط ثاني مرتبط ارتباطا وثيقا مع نظرية الكم نتج عنه علم الطيف الجزيئي وكيمياء الحالة المثارة، وابتكار العديد من تقنيات التحليل من خلال شرح التراكيب الذرية والجزيئية.



## الجدول 2.0 مخطط تاريخي لبحوث الضوء الحديثة.

Classification of Age		Optics	Radiation Field	Molecular Field
17th Century	Age of Optics	Invention of the telescope		
		The law of refraction		
18th Century	Age of Static Electricity	The law of diffraction		
		Discovery of the spectral principle and birefringence	Research in static electricity	
19th Century	Age of Electromagnetics	Controversy between wave and particle theories for light		
18th Century	Age of Static Electricity	Achromatic condition	Research of conductor	
			Discovery of the electric charge	
19th Century	Age of Electromagnetics			Law of light absorption
19th Century	Age of Spectroscopic Methods		Coulomb's law	
19th Century	Age of Spectroscopic Methods	Interference of light	Discovery of IR and UV	
		Discovery of polarization		
19th Century	Age of Spectroscopic Methods	Measurement of light wavelength	Ampere's law	Measurement of spectra
			Biot-Savart law	
19th Century	Age of Spectroscopic Methods		Faraday's law of induction	Stokes' law
19th Century	Age of Spectroscopic Methods	Measurement of light velocity	Derivation of Maxwell's equations	Spectroscopic method
		Discovery of optical rotatory dispersion	Discovery of electromagnetic wave	Equation of spectral lines
20th Century	Age of the Old Quantum Theory			Zeeman effect
20th Century	Age of the Old Quantum Theory	Discovery of magnetic birefringence	Invention of the wireless	Photoelectric effect
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		X-ray diffraction	Quantum and light quantum theory
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		Discovery of the ultrashort wave	Bohr's theory of atom
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		Discovery of meter wave	Establishment of wave mechanics
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		Radiotelescope	Discovery of Raman effect
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		Invention of the maser	Energy transfer
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		Invention of the laser	Excimer Emission
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		Development of nonlinear optics by laser	Establishment of organic photochemistry
20th Century	Age of Molecular Spectroscopy		Discovery of the quantum Hole effect	
20th Century	Age of the Laser			

هذا التدفق التاريخي من بداية ظهور نظرية الكم وحتى الليزر يمكن ان تصنف كعصر ثاني لأبحاث الضوء الحديثة. حديثا اندماج هاذين الخطين المنفصلين أدى إلى اكتشاف الليزر وفتح المجال لفترة ثالثة في البحوث الحديثة وقد اعتبرها الكثيرون بالعصر الذهبي للضوء.

### 3.0 التعرف على المجالات ذات الصلة في الضوئيات والبصريات

في هذا الجزء سوف نحاول ان نكشف الأحدث في التاريخ الحديث، التي أدت إلى تكون مبدأ الضوئيات الجزيئية. ما هي المجالات البحثية التي اعتمدت على البصريات الضوئية؟ ما هي العلاقة بين المجالات الأساسية التي وصفت سابقا والضوئيات الجزيئية؟ هذه الأسئلة بحاجة إلى إجابة.

سوف نقوم برسم صورة للضوئيات الجزيئية بدأ من المجالات المترابطة العديدة (انظر الجدول 3.0).

التفاعل بين المجال الإشعاعي والمجال الجزيئي له جانبين: "التغير في الوسط بواسطة الضوء والتغير في الضوء بواسطة الوسط" تقليديا، الأول متضمن في المنهاج الكيميائي في حين ان الثاني جزء من المنهاج الفيزيائي. السبب المنطقي وراء هذا الفصل لا يزال غير واضح. الضوء المتسبب في تحولات في الوسط هو نوعين، تفاعلات كيميائية ضوئية تتبع قواعد الكيمياء العضوية، وعمليات فيزيائية ضوئية تعتمد على كيمياء الكم، والكيمياء الحركية، والطيف الجزيئي. التفاعلات التي تصف التغير في الضوء بواسطة الوسط مقسمة إلى الأثار المتعلقة بالديناميكا الكهربائية وميكانيكا الكم والميكانيكا الإحصائية. إننا نقدم فكرة الضوئيات الجزيئية على إنها المبدأ الأساسي والذي يشمل كل البحوث ذات العلاقة بالضوء، وعليه فإننا تبيننا في هذا الكتاب المنهاج التالي. أولا قمنا بوصف المبادئ الأساسية للبصريات (الجزء 1.1)، ونظرية المجال الجزيئي (الجزء 2.1)، ونظرية مجال الإشعاع (الجزء 3.1)، مبدأ الضوئيات الجزيئية ظهر بشكل طبيعي كنقطة التقاء لهذه المبادئ الأساسية في البحوث الحديثة للضوء.

في الغالب تفاعلات مجال الإشعاع مع المجال الجزيئي تقارن مع ظاهرة الاستحثاث الحراري. تزود الطاقة الحرارية النظام بالتدرج، في المقابل يعطي الضوء الطاقة في صورة حزم بكميات تعرف باسم الفوتون للنظام الجزيئي خلال فترة زمنية قصيرة. وطبقا للجدول 1.0، يمكن للجزيء ان يكتسب طاقة كبيرة تصل إلى ما يقارب 100,000 k على مقياس درجة الحرارة في نبضة ليزر لا تزيد عن ثانية. ظاهرة الاستحثاث الحراري والضوئي تختلفان عن بعضهما مثل اختلاف حياة عامل متوسط الدخل ومقامر كسب جائزة كبرى! إننا نقدر مقدار الاختلاف بين سلوك الغني كثيرا والمتوسط الدخل. الجزيء يفقد الطاقة المكتسبة بالحرارة بالتدرج. اما الجزيئات التي تمتص الضوء فإنها تتغير في لحظة. علاوة



على ذلك فان سلوك هذه الجزيئات يعتمد على الوسط المحيط. ظاهرة الاستحثاث الضوئي تنتج أحداث يومية في المجتمع البشري على المقياس الميكروسكوبي.

الفلاسفة العلماء غالبا ما يجادلوا حول المزايا النسبية للفرق بين الطرق التحليلية والتكوينية في البحث العلمي. من وجهة نظر التكوين فإنها لا يمكن ان تنشأ بدون تحليل، وبالعكس، النظام والتطوير للنظرية يتطلب التحليل.

التحليل أداة علمية أو طريقة والتي أصبحت لها معنى فقط اذا اشتقت من وجهة نظر تكوينية لظاهرة تحققت بالتجربة. المفهوم الجديد المقترح حول الضوئيات الجزيئية لا يمكن ان تخرج عن هذه الفلسفة. قد تبدو مبدأ في البداية. ولكن من خلال الكثير من الالتفاتات والمحاولات بين التحليل والتكوين، يصبح البحث للفهم ممتعا ومليء بالكثير من الاكتشافات الغير متوقعة. إنها ليست رحلة مملة ورتيبة. إنها قد تغير الطريق فجأة عندما نصل لنتيجة تطبق على حقيقة تؤدي إلى القوة المحركة خلف التطورات في مجال العلوم الطبيعية.



الجدول 3.0 تصنيف بحوث الضوء الحديثة والتفاعل بين المجال الإشعاعي والمجال الجزيئي.

	Fundamentals and Background of Molecular Photonics	First Classification	Second Classification	Various Phenomena	
Change of Light Medium	Molecular Field Theory	Photochemical Reactions (Chapter 2)	$(n, f^*)$ Transition	Photocycloaddition Reactions,	Chemistry
	Old Quantum Theory Atom and Molecule Hybridized Orbital Molecule with $f$ -electron Molecular Orbital Method		$(f, f^*)$ Transition	Photoisomerization, Electrocyclic and Photofragmentation Reactions, etc.	
	Organic Chemistry	Photophysical Processes (Chapter 3)	Intramolecular Processes	Absorption, Emission, Internal Conversion, Intersystem Crossing, Deactivation, etc.	
	Chemical Kinetics		Intermolecular Processes	Excimer, Exciplex, Energy Transfer, Electron Transfer, etc.	
	Molecular Spectroscopy		Light Scattering	Rayleigh Scattering, Raman Scattering, Brillouin Scattering, etc.	
Change of Light by the Medium	Radiation Field Theory	Optical Effects by Outer Perturbation (Chapter 4)	Electrooptical Effects	Pockels Effect, Kerr Effect, Electrooptical Effect in Liquid Crystals,	Optics
	Maxwell's Equation Canonical Equation of Radiation Field Quantization of Harmonic Oscillator Quantization of Radiation Field		Magneto-optical Effects	Zeeman Effect, Faraday Effect, Voigt Effect, etc.	
	Fundamentals of Optics	Sono-optical Effects	Bragg Reflection, Raman-Nath Diffraction, etc.		
	Refraction, Reflection Interference Diffraction Polarization	Optical Effects by Inner Perturbation (Light) (Chapter 5)	Saturated Absorption and Multi-photon Absorption	Optical Bistability, Lamb Dips, Hole Burning, Frequency Transformation, etc.	Physics
	Quantum Mechanics		Coherent Spectroscopy	CARS, RIKES, FWN, etc.	
	Quantum Statistical Mechanics	Time-resolved Coherent Spectroscopy	Photon Echoes, Stimulated Photon Echo, etc.		

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

8-11-2011

[www.trgma.com](http://www.trgma.com)

[www.trgma.com](http://www.trgma.com)