تاريخ الفيزياء

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية العلوم

تاريـخ الفيـزياء

الدكتور
فوزي غالب عوض
أستاذ في قسم الفيزياء

جامعة دمشق
1429 – 1430 هـ
2008 – 2009 م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الصفحة	الرقم
الفصل الأول : مدخل (Preface)	**13**
1-1- مقدمة (Introduction) :	15
1-2-المشترك بين تطور العلوم : (Common drives in science development)	18
1-2-1 ظهور المنهج التجريبي والأسلوب العلمي : (Rise 0f experimental & scientific method)	19
1-2-2:المخطوطات و تبادل المعلومات : (Writings & information exchange)	20
1-2-3 -البدء باستعمال الرموز والترميز : (The use of symbols and symbolism)	21
1-2-4-دخول المعلوماتية ونظرية التعقيد: (Information technology and complexity theory)	22
1 3 -تطورالفيزياء بين القارات: (Physics development among continents)	22
1-4-النهج :(**Style**)	**25**
الفصل الثاني : الميكانيك(mechanics)	31
2-1-مدخل :	33
2-2-تفرعات الميكانيك الرئيسية(mechanics main branches)	35
2-3- الموقع وجمل المقارنة(position & frames of references):	35
2-4- القوة و قوانين نيوتن: (force &Newton's laws)	37
2-5- الحقول والكمونات(fields and potentials):	39
2-6-المسافة والحركة والسرعة: (distance ,motion &velocity):	40
2-7-الزمن وتحويلات لورنتس والنسبية الخاصة: :(time, Lorentz transformation and special relativity)	**41**
2-8- الكتلة والنسبية العامة : (mass&general relativity)	43

2–9– العمل و الطاقة والاندفاع (الخطي) : (work , energy&linear momentum)	**44**
2–10–الاندفاع الزاوي : (angular momentum)	46
2–11– الميكانيك التحليلي(analytical mechanics) ومعادلات لاغرانج (Lagrange) و معادلات هاملتون (Hamilton):	47
2–12– ميكانيك الكم (quantum mechanics) :	48
الفصل الثالث : تحريك الموائع (Fluid Dynamics)	53
3–1–مقدمة:	55
3–2– الضغط السكوني والكثافة : (pressure and density)	55
3–3– الجريان الطبقي والجريان الاضطرابي : (laminar flow and turbulent flow)	55
3–4–معادلة نافيير و ستوكس: Claude-Louis Navier& George Gabriel Stokes	56
3–5– الموائع النيوتونية وغير النيوتنية : (Newtonian and non-Newtonian fluids)	58
3–6–حلول معادلة نافيير و ستوكس : (solutions of Navier Stokes equations)	59
3–7– تطورات معاصرة:(recent developments)	60
3–8– الميكانيك الإحصائي : (statistical mechanics)	62
الفصل الرابع : الضوء (optics)	65
4–1– قانونا الانعكاس والانكسار:(refraction &reflection laws)	**67**
4–2– المنظار والأدوات البصرية والبقع الشمسية : (telescope ,optical-devices& sun- spots)	67
4–3– طبيعة الضوء (nature of light):	69
4–4– سرعةالضوء(speed of light) :	70
4–5– وسط الانتشار و الأثير:	70

(light propagation medium & ether)	
4-6-المنابع الضوئية وأطيافها: (light sources & spectra)	72
4 7 -تفاعل الضوء مع المادة: (interaction of lightwith matter)	73
4 8 -تفاعل الفوتونات و الذرات : (interaction of photons with atoms)	75
4 9 -الرؤية و الإبصار (seeing &vision) :	76
4 10 اختثار الضوء: (light scattering)	77
الفصل الخامس : الكهرباء والمغنطيسية (electricity and magnetism)	79
5-1- الكهرباء الساكنة : (electrostatics)	81
5-2- المغنطيسية الساكنة : (magnetostatics)	82
5-3- الكهرباء المتحركة والتيار الكهربائي: (moving charges and electric current)	83
5-4-التقاء الكهرباء و المغنطيسية :	83
5-5- الكهرطيسية: (electromagnetism)	84
5-6- الشحنة العنصرية في الكهرباء(الإلكترون) : (elementary charge in electricity ;electron)	84
5-7-الإلكترونيات(electronics):	85
5-8-المجهرالإلكتروني: (electron-microscope)	86
5-9- توليد الحقول الكهربائية والمغنطيسية : (electric & magnetic field generation)	87
5-10- الإشعاعات الكهرطيسية: (electromagnetic radiation)	91
الفصل السادس: الحرارة والتحريك الحراري Heat and Thermodynamics	93
6 11 - درجة الحرارة (temperature):	95

6 -2 السلالم الحرارية: (temperature scales)	95
6 -3 كمية الحرارة وطبيعتها : (Heat quantity& The nature of heat)	97
6-4-القانون الثاني في التحريك الحراري والأنتروبية ؛القانون الثالث The second & third law of thermodynamics and (entropy)	98
6-5-الوصول إلى درجات حرارة منخفضة (low temperatures):	99
6-6- القياسات المسعرية والسعة الحرارية : (calorimetry and heat capacity)	100
6 -7 الناقلية الحرارية (thermal conductivity):	101
الفصل السابع : الفلك و الفيزياء الفلكية و علم الكون (Astronomy ،Astrophysics and cosmology)	105
7-1- التنجيم (Astrology) وعلم الفلك (Astronomy):	107
7-2- الفلك والفيزياء الفلكية وعلم الكون :	107
7 -3- تطورعلم الفلك(astronomy development):	108
7-4- علم الفلك القديم (ancient astronomy):	109
7-5- علم الفلك الحديث (new astronomy):	113
7-6- علم الكون (cosmology):	117
7-7-الأشعة الكونية (cosmic rays) :	119
الفصل الثامن الظواهر اللاخطية و الشواش (Nonlinear Phenomena and Chaos)	123
8-1- الخطية و اللاخطية: (linearity and non-linearity):	125
8-2- منظومات لاخطية (nonlinear systems) :	127
8-2-1:النواس	127
8-2-2جريان الموائع(fluid flow):	129

8-2-3-انتشار الضوء ومعادلة شرودنغر اللاخطية: (propagation of light and schrodinger non-linear equation)	131
8-2-4المعادلة اللوجستية (logistic equation) :	132
8-3- نظرية الشواش (chaotic theory):	134
8-4-الكسوريات (fractals):	136
8-5- نظرية التعقيد في الحوسبة : (complexity theory)	139
الفصل التاسع: علوم متعددة الاختصاصات (Multidisciplinary Sciences)	143
9 ‡ -نظرة موسعة:	145
9-2-فروع متعددة الاختصاصات في الفيزياء :	146
9-2-1- الكهرميكانيكية (electromechanics):	146
9-2-2-البصريات الكهربائية (electro-optics) :	146
9-2-3- الإلكترونيات (electronics) :	147
9-2-4- الإلكترونيات البصرية (optoelectronics):	147
9-2-5- الإلكترونيات النووية(nuclear electronics)	148
9-2-6- الكهرحرارية (thermoelectricity)	148
9-3- علوم متعددة الاختصاصات	148
9-3-1- الفيزياء الكيميائية (chemical physics):	148
9-3-2- الكيمياء الفيزيائية (physical chemistry):	149
9-3-3- الفيزياء الحيوية (biophysics):	150
9-3-4- الفيزياء الطبية (medical physics):	150
9-3-5- فيزياء الأرض (geophysics):	152
9-3-6- الهندسة النووية: (nuclear engineering):	153
9-3 -7- فيزياء الجو:(atmospheric physics)	156

159	**الفصل العاشر: خاتمة** **الفيزياء والفيزياء الحاسوبية** **(physics and computational physics)**
161	10-1-الفيزياءوالفيزياءالحاسوبية (physics and computational physics)
162	10-2-الفيزياءالحاسوبية: (computational physics)
163	10-3- النمذجةالحاسوبي: (computer modeling)
164	10-4-المحاكاة (simulation) :
165	**أقوال وعبر من تاريخ الفيزياء**
171	**معجم المصطلحات**

استهلال

إن فكرة إدخال هذا المقرر، مقرر "تاريخ الفيزياء"، لطلاب السنة الرابعة فيزياء في الخطة الدراسية الجديدة أتت لتلبي عدة أغراض: أولها: الفائدة المرجوة من دراسة تاريخ أي فرع أو موضوع، فيتعرف المرء على تواريخ حدوث أهم القفزات التي أثرت في مسار هذا الفرع أو الموضوع . إذ إن القياسات المتراكمة بعد تصنيفها تقود إلى قوانين والقوانين تقود إلى نظريات وقد تحوي هذه النظريات أفكاراً جديدة تماماً ، يسميها بعضهم ثورية. وهي تبقى خاضعة للاختبار، وعليها أن تفسر المعطيات القديمة والجديدة و المستجدة وإلا تترك أو يستعاض عنها بنظريات جديدة أو معدلة . ويمكن أن نرى مثلاً كيف تؤدي اختلافات صغيرة في القياسات إذا ما كانت مؤكدة، إلى مفاهيم ونظريات جديدة كلياً قد تكون غير مألوفة أو غير ممكنة عند النظر فيها لأول وهلة: كما في حالة النظرية النسبية مقارنة بنظرية نيوتن عندما تقترب سرعة الجسيمات من سرعة الضوء؛ أو ما وجد عند قياس الأطوال الموجية في السلاسل الطيفية و انزياحات بعضها عن بعض مما قاد إلى تحديد ثابت البنية الدقيقة .كما تتراكم حاليا بيانات وقياسات تتعلق بعلم الكون ونشأته . إذ اقترحت ، حتى الآن ، قرابة عشر نظريات لم يتم اعتماد إحداها بعد لتكون نظرية موحدة لكل شيء كما تسمى.

ثانيا: يمكن أن نتتبع مسببات نشوء فرع معين أو حتى علم معين فنتعرف على الدوافع و العوائق، سواء كانت هي شخصية أم علمية أم أممية أو صناعية سرية.وسنرى مثلا ،كيف نشأ فرع أو علم الإلكترونيات ؛و كيف ظهرت نظرية الشواش وتطبيقاتها أيضاً.

ثالثا : يمكن التعمق في مفهوم معين إذا ما عرف تطوره والمناقشات التي دارت حوله ؛كذلك التعرف على بعض المصطلحات وتطور دلالاتها والتفريق بين الدلالات الشائعة والدلالات العلمية المعرفة بدقة . على سبيل المثال ، تطور مفهوم الحقل واستعمالاته سواء بوجود وسط أو بدونه .

رابعاً: يمكن رؤية كيف أن طرح مسائل من فرع أول لنستكشف تأثيرها في فرع آخر ، أو طرائق حل في فرع أول لتطبق في فرع آخر تؤدي إلى رؤية شاملة وموجهة . وهنا تؤدي الرياضيات دوراً رئيسياً في ذلك .

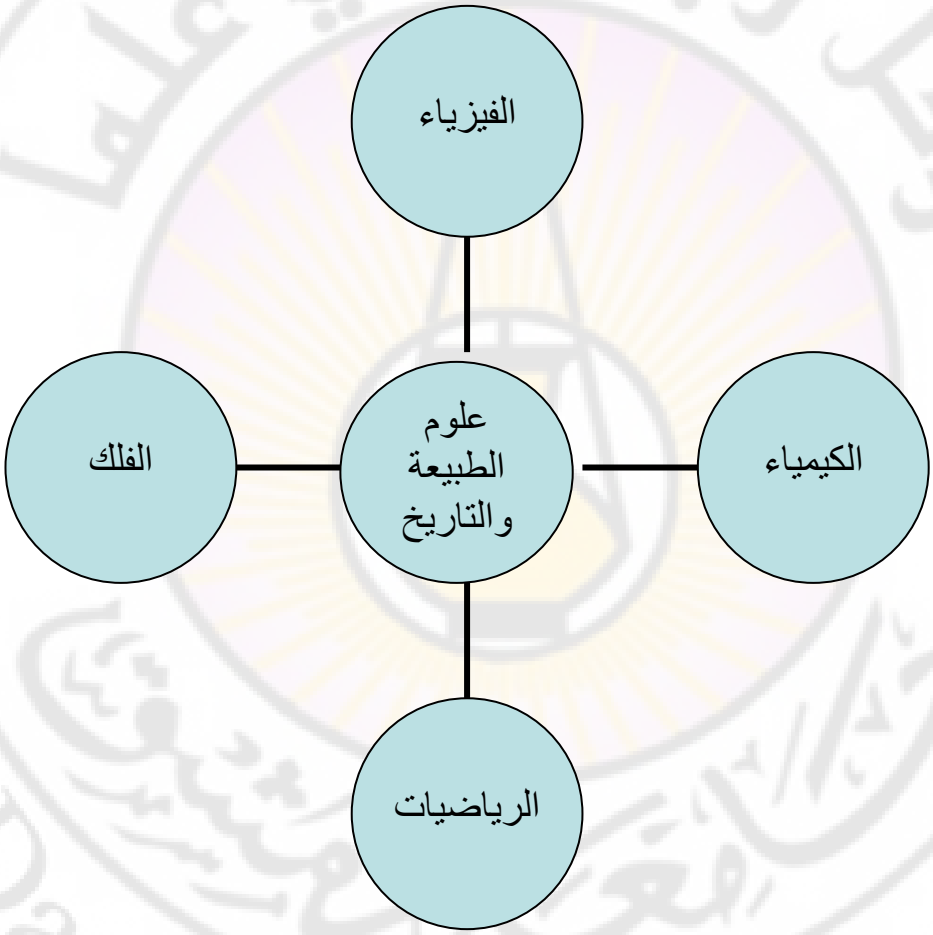
خامساً : الاستفادة من الحوارات العلمية التي جرت مع مسوغات كل طرف من أطراف الحوار لطرح النظريات على المحك ، ففي ذلك فوائد كثيرة تعمق فهمنا لنشوء نظرية معينة . مثلاً نجد الحوار الذي دار بين (أينشتاين) وآخرين من جهة و(بور) و مدرسته من جهة ثانية، عامي 1927و1930في مؤتمري سولفي ببلجيكا، حول مفاهيم ومدلولات ميكانيك الكم مفيدا جدا، و منها التجارب الذهنية التي اقترحها أينشتاين لدحض بعض ركائز ميكانيك الكم ،التي يحاول بعض الباحثين الآن تحقيقها على أرض الواقع ، وردود (بور) عليها وردّها، من الأمور الشيقة الغنية ؛ إذ تشير التجارب حتى الآن إلى تأييد ما ذهب إليه (بور).

نعرض في الفصول الستة الأولى بعد المقدمة تطور بعض المفاهيم في فروع الفيزياء الرئيسية : الميكانيك وميكانيك الموائع والضوء والكهرباء والمغنطيسية والحرارة والفلك ، ثم ننتقل إلى فصل حديث العهد يتناول الظواهر اللاخطية والشواش ، الذي يعدّ فرعا جديدا ناشئا . ونتناول في الفصل الأخير العلوم أو الفروع متعددة الاختصاصات : نشأتها وتاريخها .

أرجو أن أعطي في هذا الكتاب تفصيلات واضحة محققة هذه الأهداف ، والله الموفق.

الفصل الأول :

مدخل (Preface)



Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

1 ـ 1 -مقدمة (Introduction) :

يهدف هذا المقرّر إلى رصد و تتبع تطور العلوم عامة و الفيزياء خاصة بما فيها من اكتشافات و إبداعات ،إذ يصعب من الناحية التاريخية فصل الفيزياء عن بقية العلوم . فقد تفاعلت فيما بينها و ما زالت تتفاعل ،كما استمدت من هذا التفاعل بعض طرائقها . ينطبق هذا القول حتى على التاريخ نفسه الذي يُدرس في كلية الآداب عادة ،و كذلك على الفلسفة . فلا شك أن الانتقال من الحتمية في الميكانيك التقليدي إلى الاحتمالية في ميكانيك الكم مثلا ، قد أثر على الفلسفة ومدى وثوقية ما نراه و نفسره و ندركه .

وكذلك عندما ظهر مبدأ الشك أو الارتياب في ميكانيك الكم ، وضع تحت الاختبار مفهوم الموضوعية العلمية الذي كان سائدا ، فقد بيّن أن الأداة في ظروف معينة يمكن أن تؤثر في النتيجة التي تزودنا فيها و بالتالي على أحكامنا و موضوعيتنا . كما أن التوقف عند المنعطفات العلمية الكبيرة و التعمق فيها و التعرف على الأسباب التي أدت إليها يفيد حتما في التطوير مستقبلا . فتؤخذ العبر و يتضح تأثير الأفكار السائدة في كل زمن و كيف أن السائد أعاق في بعض الأحيان تقدم العلوم فلا نكرّر الأخطاء و نؤكّد الإيجابيات .

كان الاعتقاد السائد ،على سبيل المثال أن الأرض مركز الكون وبالتالي فإن الكواكب تدور حولها ، ولم تقبل مركزية الشمس إلا بعد جهاد طويل وقرون عدة دفع بعض العلماء ثمنا باهظا لتبديل ذلك الاعتقاد . كذلك فإن استمرارية الحركة المنتظمة وما إذا كانت تحتاج إلى قوة مطبقة بصورة دائمة أم لا أخذ وقتاً كبيراً ليصبح مقبولا.

وسنرى أمثلة كثيرة أخرى ليس في الفلك والميكانيك فقط بل في فروع الفيزياء الأخرى مثل الضوء الكهرباء وغيرها . من جهة أخرى ، نجد أنه بمجرد التثبّت من الجديد تتتالى تطورات سريعة على هذه الأفكار منتجة تطبيقات كثيرة هامة . على سبيل المثال ، عندما ساد في الترموديناميك (التحريك الحراري) قانونيه الأول والثاني

وتبيّنت علاقتهما بمردود المحركات تتالت الاكتشافات لتحسين المردود ، ويعدّ بعضهم أن هذين القانونين من ركائز الثورة الصناعية .

لابد أن نذكر هنا وجود بعض العلماء والمؤرخين الذين لا يؤمنون بالمنعطفات الثورية العلمية الكبيرة و يقولون بالاستمرارية والتطورالتدريجي في العلوم عامة والثقافة وبالتالي في الحضارة الإنسانية. إذ يقولون إن الحضارة و العلوم في تطور مستمر و يجري إضافات جديدة تقوم فيها أقوام فتسهم في نصيبها منها .

هذا ما يسمى بالأطروحة الاستمرارية . فيرون على سبيل المثال أن التقسيم بين عصر الانحطاط و عصر النهضة في أوروبة مفتعل صنعه بعضهم ليبرز مساهمة أوروبة ، لكن المنصف يجد من المناسب مقارنة الوضع العلمي في أوروبة مع الوضع العلمي في الهند أو الصين مثلا ليخرج بنتيجة عامة . و إذا أريد التدقيق فلا بد من العودة بالإضافة إلى ذلك إلى التاريخ ليتبين مدى الأصالة في هذا العلم أو ذاك . إذ يوجد أمثلة عديدة تنسب الآن إلى ذلك العصر كانت مكتشفة قبلاً .

ففي تاريخ تطبيق الأسلوب العلمي مثلا الذي ينسب إلى ديكارت(~1500م) نجد أن ابن الهيثم سبقه إليه(~1000م) ، وقانون نيوتن الأول سبقه إليه الصينيون (~300ق.م.) كما يرد في بعض مخطوطاتهم . حتى إن بعض النظريات الواردة في فترة النهضة والمنسوبة إلى بعض أعلامها يكتشف اليوم أنه قد سبقهم إليها علماء من ما يدعونه عصر الانحطاط . مثل الكندي (801–873م) ليقول بأن الإصدار الإشعاعي في جميع الاتجاهات و الإشعاعات تملأ الفضاء قبل غروسيتس و بيكون . قد يرجع السبب في كثير من الأحيان إلى صعوبة التواصل والكتابة وتبادل المعلومات بسبب البعد الجغرافي بالدرجة الأولى .

ويذهب بعضهم الآخر إلى تحديد المقصود بالثورة العلمية نفسها .فيقولون إن الثورة هي تغيير جذري في الرأي العام العلمي أو المعرفة السائدة ، ويوردون على سبيل المثال، إسهام نيوتن عن طريق قوانينه في توحيد النظرة إلى الأجسام المتحركة بين ما هو أرضي وما هو سماوي . ليأتي أينشتاين بعده فيغير مفهومنا عن الزمن

المطلق وفق نيوتن ليقول إنه نسبي . ويذكرون أيضا نظرية مكسويل بتوحيدها النظر في الكهرباء و المغنطيسية ، ويضيفون ما أحدثته تلك النظرية بتطبيقاتها بعد ذلك من تغييرات اجتماعية شملت الإنارة الكهربائية والمحركات الكهربائية والاتصالات عبر التلغراف و الراديو . كما أن ميكانيك الكم مع مخالفته للحس العام أحيانا ، ومع أن بعض الفيزيائيين لم يقبلوه، استمر وأعطى تطبيقات كثيرة يصعب حصرها نتيجة إضافات مستمرة جديدة يقوم بها علماء بصورة مستمرة . غير أن هذه الإضافات بمجملها لا يمكن إهمالها فقد تكون التغييرات التي تسببها من مرتبة النظرية الأصلية نفسها . لذلك يصنف بعضهم العلماء والفيزيائيين معهم في صنفين :

أ)" دعاة توحيد" (unifiers) هم الذين يعدون أصحاب ثورات ، فكلما أنجزواً توحيدا عدّ ثورة – مثل محاولات توحيد جميع القوى المعروفة(الأربعة) في الكون في قوة واحدة أصلية – ينطبق هذا التعريف على جميع المذكورين أعلاه .

ب) "دعاة تنوع " (diversifier) هم الذين يعملون على التفاصيل وعلى مستويات متتالية – يمكن أن نقول من التقريبات – فينجزون حسابات تفصيلية مستمدة من النظريات الثورية ويضعون نماذج ويطورونها ، وفي كل مرحلة يختبرون صحتها مما يقودهم في كثير من الأحيان إلى تطبيقات عملية تحتاج حنكة ودراية عميقة . يبدأ عند هذا المستوى التقارب بين العلم النظري البحت والتجريبي وكذلك بين العلم و التقانة. وقد يكون هؤلاء متعددي الاختصاصات ومن علوم اخرى.

غير أنه يمكننا التعرف من خلال التاريخ كيف أن بعض الاختلافات الصغيرة في قيم بعض الثوابت العالمية في الفيزياء مثلا و الجدل حولها، قد قادت إلى اكتشافات و نظريات جديدة ، و كيف أن التشابهات بين بعض الفروع و طرائقها قاد إلى سبل جديدة ذات تطبيقات مذهلة .

و يمكن أن نرى أيضا،عبر دراسة تاريخ الفيزياء ،كيف يؤثر فرد وحده أو مجموعة صغيرة من الأفراد في تقدم فرع معين و أحيانا في إبطاء تطوره . إذ إن

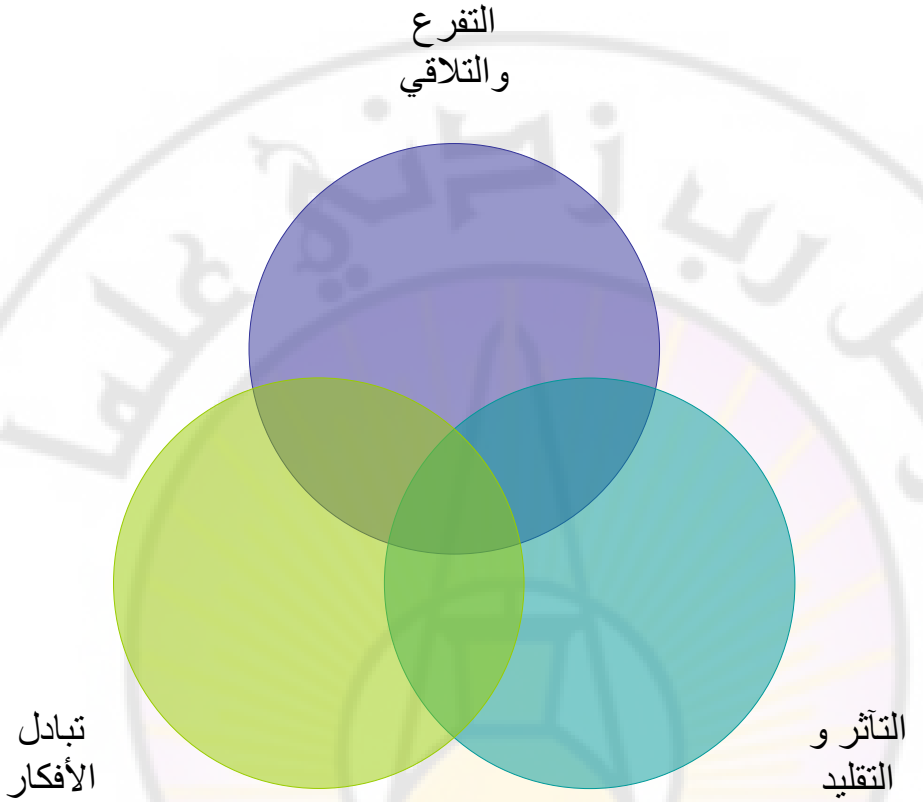
التنافس و السجال يشجع على التحسين لكن التنافس الأعمى و النظرة الفوقية سواء كانت بدوافع قومية أم عنصرية تعيقان التقدم . و ما أدلّ على ذلك ، وجود القانون نفسه يحمل أكثر من اسم تبعا للدولة أو البلد . يضاف إلى هذه المعيقات حاليا السباق إلى التسلح و استثمار الاكتشافات صناعيا .

1-2-المشترك بين تطور العلوم :

(Common drives in science development)

تؤدي المفاهيم الجديدة و المكتشفات الحديثة أحيانا إلى القول بنشوء علم جديد أو فروع لعلم معين ،غير أن التاريخ والتطور يعود فيدمج بين هذه الفروع أو حتى العلوم المختلفة نفسها ليجاري الطبيعة ،إذ إن هذا التفريع وضع للتبسيط أصلا فهو ليس من الطبيعة بل افتعلناه لنفهمها .لذلك من المفيد في كثير من الأحيان تقليد أو التساؤل بين ما يجري في علم معين و آخر أو بين فرع وآخر ففي هذا إغناء للكل .

كما أن لتبادل الأفكار و الآراء بين علماء الفرع نفسه أو بين علماء العلوم الأخرى آثاراً باهرة مثل التفاعل بين الرياضيات والفيزياء أو بين الفرع النظري و الفرع التجريبي .



و تجدر ملاحظة وجود قواسم مشتركة أثّرت في تطور العلوم عامة والفيزياء خاصة ، نذكر منها :

1-2-1 ظهور المنهج التجريبي والأسلوب العلمي :

(Rise of experimental& scientific method)

ظهرالمنهج التجريبي مع بداية ما يعرف بعصر النهضة في أوروبا أوعصرالثورة العلمية ، الذي يعزوه بعضهم إلى كوبرنيك (1543م) مع أن أورسيم

(1323–1383م) قد سبقه إليه، وسبقهما ابن الهيثم (1000م) عندما درس الضوء، إلي ذلك كما ذكرنا، وقبله بقليل أبو الريحان البيروني (973–1048) عندما أدخل الطرائق التجريبية في الميكانيك .

وقد نجد بعض الإشارات إلى الطريقة التجريبية عند العلماء الهنود لدى دراستهم للنجوم والفلك في القرن الخامس الميلادي، على رأسهم أريابات (Aryabhat467–550) أبو الأرقام الهندية– العربية ، غير أن إثبات ذلك يحتاج إلى تدقيق وتوثيق فهو على ما يبدو لم يعمم على جميع العلوم عندهم . ولا يستبعد وجود مثل هذه الإشارات بطريقة أخرى في الصين . مما يدعو إلى الحديث عن المخطوطات وحفظها ، والطباعة وتأثيرها على التأريخ لتطور علم من العلوم.إذ يعدّ ضياع بعض السجلات والمخطوطات من الأمور الشائعة في تاريخ العلوم وبخاصة عند العلماء الهنود والصينيين ثم العرب والمسلمين. وبالتالي يمكن أن يؤدي اكتشاف مخطوطة إلى تغيرات ملموسة في تاريخ علم ما أو فكرة معينة.

1–2–2:المخطوطات و تبادل المعلومات :

(Writings& information exchange)

تأثر تطور العلوم تأثرا كبيرا عند الانتقال من المخطوطات التي كانت غالبا محدودة العدد وقابلة للضياع ، إلى المطبوعات(غوتنبرغ 1452م) ذات النسخ الكثيرة العدد وواسعة الانتشار، فأصبحت المركبة الرئيسية لإيصال المعلومات و الأفكار عبر السنوات الخمسمئة الماضية،إضافة إلى عقد المناظرات ثم المؤتمرات. لقد حل محلّها الآن ، أو بالأحرى في جزء كبير منها ، التواصل الإلكتروني عبر الشبكة .

وقد أثرت الشبكة أيضا حتى على طريقة التعليم . وبالطبع سيقلّ معها ادّعاءات السبق العلمي و الانتحال .إذ لم تعد الأبعاد الجغرافية عائقا كما لم تعد سرعة الانتقال مؤثرة . و يستأهل تطور الطباعة نفسه بعض التفصيل نظراً لأهميته .

لقد بدأت **الطباعة** في الصين قرابة (594م) بقوالب خشبية وورق خشن ووصلت أوروبة قرابة (1450م) و بحلول عام (1500م) أصبح في السوق أكثر من تسعة ملايين كتاب مطبوع ، ثم تبارى الصناعيون و المطورون في تحسين سرعة الطباعة لتخدم الجرائد و الإعلانات فانتقلت من الطباعة الخشبية (القوالب) إلى الطباعة الحجرية (1799م) فالطباعة المطاطية (1814م)، ثم الطباعة الضوئية الحجرية (1859م) فالتنميش(الزنكوغراف) على الصفائح المعدنية (1872م) ثم الملوّن (1880م) .

ظهرت بعد ذلك الطباعة الآلية الكاملة (1885م)حيث يدخل الورق من طرف ويخرج جاهزا من الطرف الآخر، ووصلت سرعة النسخ عام (1840م)إلى 20000 طبعة في الساعة لكل آلة، تلتها الطباعة على الوجهين (1889م) ثم أخيراً الطباعة من الشبكة والنسخ منها (1970م) التي يصعب الحديث فيها عن سرعة النسخ والتداول . ورافق كل ذلك تطوير لتحسين الورق وتناوله وكذلك الحبر.

ويعد تطورالطباعة نفسه مثالا يوضح الحاجة إلى مساهمة عدّة اختصاصات في تطوير معين ، فقد بدأت بالميكانيك والمواد ثم الكيمياء ومؤخراً إلكترونيات واتصالات ومعلوماتية .

1-2-3 -البدء باستعمال الرموز والترميز :
(The use of symbols and symbolism)

ويمكن أن يلاحظ مشتركا بين العلوم بدء استعمال الرموز(1654) في المعادلات الذي انتقل من الرياضيات إلى الفيزياء وإلى علوم أخرى ، فأسهم في تسريع و تلخيص الأفكار والقوانين .

فظهرت الحاجة إلى التعريف الدقيق لما نتحدث عنه من مفاهيم و تسميتها إذ إن المدلول اللغوي نفسه و حتى اللغة تتغير من زمن إلى آخر .

1-2-4- دخول المعلوماتية ونظرية التعقيد:

(Information technology and complexity theory)

ويلاحظ حديثا دخول المعلوماتية والحوسبة في جميع العلوم ، ابتداء من تخزين المعلومات و استردادها وحتى معالجتها وتصنيفها الذي تحتاجه جميع العلوم وحتى الأدبيات واللسانيات . وقد أصبح أي فرع يعالج على أنه مكون من أجزاء ووحدات مرتبطة بعضها ببعض وفق قواعد معينة لتكون منظومة تتفاعل أجزاؤها فيما بينها بدرجة متزايدة التعقيد ، تشبه هذه المنظومة انطلاق الفيزياء الإحصائية من الذرات لتصل إلى العناقيد بأشكالها المتزايدة التعقيد والأطوار لتدرس تحت عنوان فيزياء الحالة الكثيفة من جهة ، ومن جهة أخرى ،تدرس العلاقات بين الوحدات فيما يعرف بنظرية التعقيد في الحوسبة .

1 3 -تطور الفيزياء بين القارات :

(Physics development among continents)

يدعونا التأمل فيما ذكر، طرح السؤال التالي : ما مدى تأثير المؤرخ وهويته فيما يكتب؟ ! فقد ذكرنا بعض ما كتب في الثقافة الأوروبية العلمية وتركيزها على الجوار دون النظر بعمق إلى الثقافات الأخرى ، قد يكون قصورسرعة التبادل الثقافي أحد أسباب التضارب في التأريخ ، وأسباب أخرى اللغة والطباعة والمخطوطات والتواصل واحتكار العلم عندما أصبح له تأثير كبير في الحروب التي تتبعها السيطرة على الغير خاصة . لذلك رأيت أن أقدم ملخصا عما كتبه مدير مركز تاريخ الفيزياء في معهد الفيزياء الأميركية س.ب . وارت (Spencer R.Weart; director of the center for History of Physics,American Institute of Physics) بمناسبة مرور خمسين عاما على الفيزياء في أمريكا (المرجع 3) ما بين عامي (1931-1981). نجد فيه الميل إلى الموضوعية حين يطرح بعض الأسئلة عما يأمل الفيزيائيون التوصل إليه اليوم ،لكنه يتخيل ويخمن ما كان فيزيائيو عام 1931يتوقعون والفيزيائيين الأمريكيين خاصة .

ويمكن الاستفادة من هذا الملخص فائدة إضافية لنتعلم كيف تتداخل الفيزياء مع الصناعة فتغذي بعضها بعضا،إذ يشير إلى أن خُمس الفيزيائيين الأمريكيين يعملون في الصناعة عدا الذين يستقدمون منح من الصناعة إلى الجامعات ومراكز البحوث لحل بعض مشاكلها، ويضيف أن ربع الفيزيائيين يعملون لصالح الجيش بعد أن أيقن الجنرالات مدى اعتمادهم على العلوم والفيزياء خاصة بفروعها المتعددة . ويعدّ إنشاء المعهد الأمريكي للفيزياء (American Institute Of Physics AIP) وتأسيس جمعية معلمي الفيزياء وما يصدر عن كليهما من دوريات عام 1931 بداية الفيزياء في أمريكا .

يسأل وارت عما تغير في شكل الفيزياء خلال هذه الفترة وعن تغير محتواها؟ فيقول إنه كي نفهم ما حدث علينا أن نتخيل كيف كان فيزيائيو عام 1931 يرون موقعهم وما يعلمون من الفيزياء نسبة إلى ما هو معروف وحدث قبل خمسين سنة ما بين العامين 1881–1931،وهنا يؤكد دور التاريخ في المساعدة للإجابة عن هذا السؤال. يبدأ أولا بتحديد معنى الثورة العلمية ،فيقول إن الثورة العلمية هي التي تهز مفاهيم عالم الفيزياء حتى يمكن أن تقلبها ، وهولا يستبعد المفاهيم السائدة على المستوى الشعبي وتؤثرها بالمفاهيم العلمية نفسها . ويسوق عدة أمثلة عن مثل هذه الثورات خلال الفترة الواقعة بين 1881–1931 يبدأها بالنظرية الكهرطيسية و كيف هزت الفيزياء عندما تأيدت بكشف هرتز عام 1888لآثارها . مما دعا ر.ميليكان (Robert Millikan) القول عام 1931، إنها أعظم تغير حدث عبر جيلين مضيا ، ولا يتخيل أن الفيزياء ستتغير لجيلين قادمين بذلك القدر. كذلك يعدّ أن ظهور الميكانيك الإحصائي واعتماد وجهة النظر الذرية على يد بولتزمان وجيبس قد أسسا ومهدا السبيل لثورة أدت لاكتشاف الجسيمات الأولية وعلى رأسها الإلكترون وما تلا ذلك من فهم لسلوك الأشعة السينية والنشاط الإشعاعي وبنية المادة. ويؤكد هنا فهمه للثورة فيقول إن ذلك تطلب التخلي عن الحس الفيزيائي العام الذي كان سائدا لصالح الاعتماد على ميكانيك الكم لوصف سلوك الذرات مكان ميكانيك نيوتن . ويضيف

مثالاً ثالثاً عن الثورات ما فعلته النظرية النسبية ،في هذا الميكانيك، من تغيير في مفهوم الزمن المطلق ومحدودية السرعة التي يمكن أن تصل إليها الأجسام فلا تتجاوز سرعة الضوء ،وكيف أنها تخضع لقوانين جديدة عندما تقترب من هذه السرعة. ويذكرهنا مثالا لثورة جديدة بدأت ولم تنته بعد (حتى يومنا هذا) عن محاولة التوحيد بين الثقالة والقوى الأخرى في الطبيعة عن طريق النسبية العامة . ويذكر مرة ثانية ما قاله ميليكان في هذا الصدد " أن الاكتشافات التي رآها بنفسه وعاصرها منذ تخرجه تفوق كثيرا في أهميتها ما جلبته المئتي السنة السابقة ". يتابع كاتب المقال فيقول بالمقارنة ، لم تحدث ثورات بهذا المعنى ما بين العامين 1931-1981لكن تطور و تطوير تلك الأفكار والمفاهيم والأبحاث فيها مستمر.وقد خلص من ذلك لما ذكرناه من تقسيم الفيزيائيين بين دعاة توحيد ودعاة تنوع . ويضيف الكاتب أن الفيزياء الأمريكية كانت بالكاد موجودة عام 1931 عالميا ، إذ كان عدد الفيزيائيين قرابة 3000 فيزيائياً بالمجموع في الولايات المتحدة كلها ،أما عددهم في الخمسين سنة التي سبقت بضع عشرات فقط وهم اليوم (1981) قرابة 30000 . يعزو الكاتب هذه الزيادة إلى الحربين العالميتين الأولى والثانية ،فمع أن موقع الفيزيائيين قد تعزز بعد الحرب العالمية الأولى بقدر كبير لما أنجز من انتصارات اعتمادا عليها ،غير أن هذا التعزيز في المجال النووي خاصة نقص كثيرا بعد إلقاء القنبلتين النوويتين لما سبب من آثار فاجعة تندم عليها الإنسانية حتى اليوم . ويقول الكاتب إن هذا العدد مستمر في الارتفاع مع تقدم الصناعة وتعقيدها .

يلخص الكاتب ما توقعه فيزيائيو عام 1931فيقول: لقد تحقق بعضه ، مثل انتشار الفيزياء ودخولها في جميع المجالات الإنسانية ،وينقل عن شرودنغر أنه قال :" إذا دخل الفيزيائيون مجال علم الحياة قد يكتشفون في هذه الجزيئات الضخمة المعقدة قوانين فيزيائية جديدة ثورية "(هذا ما يحصل اليوم في الواقع عند الحديث عن المحركات الجزيئية والقوانين التي تخضع لها). وكذلك سينتشرما تنتجه من أدوات كالتلفزيون ورخص الطاقة والكهرباء العامة وتحسين النقل حتى توقع ظهور بعض

الإنسالات. في حين لم تتحقق التوقعات الأخرى مثل تركيب النواة وإنجازالتوحيد . ويجيب الكاتب عما إذا كان التاريخ القريب كما نراه اليوم يشبه ماكان قبل خمسين عاما من الناحية الكيفية أو الكمية ؟فيقول إن هذا يصعب التنبؤ به لما تعتريه من تعقيدات على كل المستويات وكل ما نستطيع فعله تلمس السمات البارزة .ويضيف بأن الكون نفسه بلا شك يتصف بخواص بسيطة لم تكتشف بعد ،متفقا في ذلك مع قول أينشتاين وفلسفته، لكنه في الوقت نفسه فإن هذا الكون يتصف بنسيج فيزيائي معقد ودقيق وعلى الفيزيائيين أن يكتشفوا أيضا خواص هذا النسيج .يلخص كل هذا بقوله "إن الفيزياء اليوم تختلف عن الفيزياء قبل خمسين عاما ، فهي أقل ثورية لكنها أكثر تنوعا وحنكة ، وأقل ترحيبا بأحلام الكشوفات العالية لكنها ليست أقل إثارة وعطاء" .

ويشير الكاتب أخيراً إلى أن" الفيزياء الأمريكية" قد سيطرت على تطورالفيزياء في العالم لتحل محل أوروبا . وقد لا يتفق الكثير من الفيزيائيين حول هذا القول . إذ إن ميليكان تنبأ عام 1931 بسيطرة الولايات المتحدة وألمانية وتصدرهما قيادة الفيزياء في العالم ،لكن قدوم هتلر وهروب الكثير من الفيزيائيين الألمان مع استقطاب أمريكا للكثير منهم قد أفسد هذا التنبؤ وترك الولايات المتحدة لفترة من الزمن في الريادة .

1- 4- ا لنهج :(Style)

يحاول الإنسان بعقله تفسير ما يصله من حواسه : البصر و السمع والشم واللمس والتذوق وقد يكون هذا الترتيب مناسبا من حيث التحضير لسرعة الاستجابة الضرورية لبقائه . فهو يقارن ما يتحصل عليه مع ما هو متوافر من بيانات و معلومات مختزنة في ذاكرته ليتخذ الإجراء المناسب أو تخزين خبرة جديدة . ففي البداية ، يرى لكن ما يراه لا يخضع لمعالجة معلوماتية لأن الاستجابة يجب أن تكون سريعة جدا ، فكانت حركتاه الرئيسيتان الهجوم أوالهرب وقد يرافقهما تحريك شيء أو الرمي بشيء. لذلك كان من الطبيعي أن نبدأ بالميكانيك ونتابع تاريخ تطوره بما فيه من مفاهيم . ثم يليه الضوء والإبصار، إذ إن تطور الضوء و أدواته تأخر فلم يحتج

الإنسان في البدء إلا التعرف على الأشكال و الهيئات ثم احتاج مراقبة الطبيعة و ظواهرها . و كذلك على التوازي معه تطور الصوت و السمع ، أما اللمس والحرارة فتليها من حيث صياغتها صياغة علمية دقيقة . ومع أن الشم يشاركها ذلك إلا أن الفهم العميق للآلية تأخر عنها جميعا . لننتهي بالتفكير فيما وراء الحواس أو الحس العام لنغوص في أعماق الدماغ أو العقل أو التفكير لنرى كيف نشذّب ما يصلنا من الحواس ونرشّحه ثم نقبله لنبني عليه سواء من الناحية الفكرية أم التقنية .

إن مفهومي الحركة والحياة مترابطان سواء في ذهن الإنسان أم في سماء النجوم و الفلك ، وهي في الوقت نفسه تعني عدم الاستقرار.

كان الاهتمام الرئيسي للإنسان (و ما زال ولكن بصورة أقل إلحاحا) تأمين الطعام لبقائه (على مستوى الفرد أو الجنس) و السكن (للاحتماء والأمان). وكان الإنسان الصياد يحتاج رصد حركة الفريسة أولا ثم التحرك بسرعة مناسبة للانقضاض عليها وقوة عضلية للإمساك بها و قتلها.استعان بعد ذلك بالسلاح فتعرّف على ما نعرفه اليوم بفيزياء المواد . كما احتاج الصيد في بعض الأحيان في مجموعات فتكونت القبائل و الطبقات و الأمم و الحضارات التي تقسم أحيانا تبعا لما استثمرته وسادت به على غيرها.فقد وجد العصر الحجري و عصر الحديد و عصر البرونز ثم عصر الثورة الزراعية و الصناعية و عصر TNT و العصر الذري و النووي والآن عصر المعلوماتية و عصر التقانة النانوية...

من المناسب إذن أن نتحدث عن تطور فروع مختلفة على حقبات زمنية متتالية ،مع أن التقسيم إلى حقبات زمنية يمكن أن يختلف بين مؤرخ و آخر لكنه يؤدي الغرض في النهاية .

ففي المرجع الأول(1) ذي العنوان "مدخل إلى الفيزياء المعاصرة"، قسّم الملخص التاريخي مثلا إلى ثلاث حقبات : الأولى تبدأ من زمن مبكر جدا منذ الإغريق ومن قبلهم و حتى عام (1550م) ، والثانية ما بين (1550م) و(1800م) بروز الطريقة التجريبية (وفقه) ،أما الثالثة فهي ما بين (1800م) و(1900م) اكتمال الفيزياء

التقليدية . ويعدّ فيزياء معاصرة حديثة بدءا من ظهور نظرية الكم و حتى عام كتابة الكتاب (1955) .

أما الحفاظ على عدد محدد من الفروع و متابعة تطورها غيرمرض ،إذ إن الفروع كما ذكرنا، تندمج أحيانا فتخلق فروعا جديدة وقد يظهر فرع مختلف عن الفروع السابقة حتى يكاد لا يظهر أثرها فيه . المثال البارز الأول الميكانيك السماوي القديم و الميكانيك الأرضي ، والمثال الثاني فرعي الكهرباء والمغنطيسية عندما دمجا ليعطيا الكهرطيسية. و لتلمس هذا التطور أورد عناوين فصول في كتابين اعتمدت عليهما كمرجعين أحدهما المرجع المذكور(1) الصادرعام (1955) والثاني(2) ذي العنوان"لفيزياء الجديدة للقرن الحادي والعشرين" الصادر عام (2006) وكما يظهر من اسميهما وتاريخي صدورهما يسردان واقع الفيزياء لمدتين زمنيتين الفارق بينهما خمسون عاما فقط :

المرجع الأول (1)	**المرجع الثاني (2)**
1- ملخص تاريخي	1- علم الكون cosmology
2- نظرية النسبية	2- الثقالة
3- الإلكترونات و الأثر الكهرضوئي	3- علم الفلك الجديد
4- نشوء النظرية الكمومية العياري	4- الجسيمات و النموذج
5- الذرة ذات النواة و أصل الخطوط الطيفية	5- نظرية الأوتار الفائقة
6- الميكانيك الموجي	6- تناول الذرات بالفوتونات
7- البنية الذرية و الأطياف الضوئية	7- عالم الكموم للذرات الباردة جدا
8- الأشعة السينية	8- الموائع الفائقة
9- الميكانيك الموجي للمادة الجرمية	9- الانتقالات الطورية الكمومية
10- النواة	10- التشابك الكمومي الرئيسي
11- الأشعة الكونية والجسيمات الأولية	11 –الكمات و التشفير و الحواسيب

وقد ورد ضمن الملخص التاريخي "النانوي "

تحت عنوان نشوء الفيزياء التقليدية

أ) فيزياء القرن التاسع عشر

ب) الطاقة و الحرارة

ج) الضوء

د) الكهرباء و المغنطيسية

هـ) ميشيل فاراداي

و) جوزف هنري

ز) جيمس كلارك مكسويل

ح) إتمام النظرية الكهرطيسية

12- البنى صغيرة المقاس

13- فيزياء النظرية الشواشية

14- المنظومات المعقدة

15- الفيزياء التعاونية e science -

16- الفيزياءالحيوية و المواد الحيوية

17- الفيزياء الطبية

18- فيزياء المواد

19- الفيزياء والمجتمع

يظهر من الموازنة بينهما بروزعلم الكون في المرجع الثاني الذي نشأ عن الفلك التقليدي و تطوراته بدءا من الفلك في المجال المرئي والأطياف المرئية إلى المجال تحت الأحمر و مجال الأشعة السينية وحتى المكروية ومعه الأشعة الكونية،كما اعتمد أيضا على ميكانيك الكم و النظرية النسبية ،فهو يبحث في نشوء الكون اعتمادا على كل ما نعرفه الآن تقريبا من الفيزياء . كما يظهر مثلا فرع جديد هو فيزياء النظرية الشواشية .و تعود فيزياء المواد لتحتل مرتبة متقدمة سواء على المستوى العادي أم النانوي . يلاحظ أيضا في المرجع الأول ورود أسماء علماء منفردة وغياب ذلك في المرجع الثاني ،مما يشير إلى الحاجة أكثر إلى عمل الفريق، حتى كثر مؤخراً منح جائزة نوبل لأكثر من شخص .

كما أفرد لتفاعل الفيزياء مع المجتمع في المرجع الثاني فصلا خاصا يناقش فيه التأثير المتبادل الجديد ،فالمجتمع هو الذي يدفع لتمويل الأبحاث فهو من يجب امتلاكها والتحكم في تطبيقاتها ،فازداد تبعا لذلك من ينادي بتعميم العلم لجميع ساكني الأرض ، وقد ازداد هذا النداء شدة مع ظهور الشبكة العالمية أوالشابكة

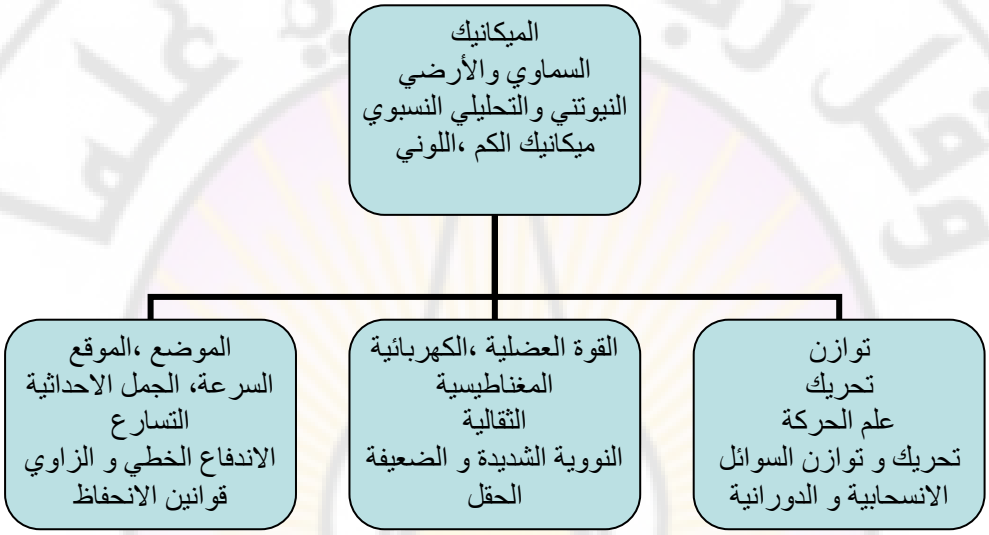
(الانترنت) .هذا بالإضافة إلى التفاعل القديم بين العلوم والفلسفة والثقافة السائدة . فقد أثر انتقال الفيزياء مثلا من الحتمية النيوتنية إلى الاحتمالية الكمومية على الفلسفة ومنطلقاتها وبالأخص الانتقال من المطلق إلى النسبي . كما لامست الفيزياء أطروحة الموضوعية و عدم التحيّز،فقد ظهر في عمق ميكانيك الكم مبدأ الشك لهايزنبرغ و تأثير أدوات القياس في النتائج ،ودلّت مع رهافتها على ضرورة الانتباه و التدقيق فيما نخلص إليه من مقولات تحمل الإطلاق في ثناياها.

سأتبع للضرورة نهجا مشتركا من متابعة تطور الفروع التقليدية حتى وقتنا الحاضر، مع إبراز أهم الأسماء التي ظهرت عند المنعطفات العلمية التي أراها . وسأبدأ بالميكانيك ثم الضوء يليه الحرارة مدركا منذ البداية عدم استقلال بعضها عن بعض ووجود تفرعات و تشابكات تحدث في أزمنة محددة.

وقبل أن أبدأ ، أورد من المرجع الثاني مقدمة مفيدة لأحد الفصول ، قد تخص الفيزياء وحدها وقد تتأثر بها العلوم الأخرى ، تقول : منذ أن أصبحت الفيزياء علما ، اهتمت بتحديد أصغر مجموعة من القوانين الأساسية تربط بين أصغر عدد من المكونات الأساسية المختلفة ، مفترضة ضمنا أن معرفة هذه القوانين أو القواعد شرط كاف لتفسير العالم الذي نعيش فيه . كان لمثل هذا البرنامج ولا ريب،نجاح باهر لدرجة مكنتنا من وصف العمليات التي تجري في مقاسات مختلفة تقع بين مقاس الجسيمات الأولية ومقاس نشوء النجوم . مع ذلك ،فقد تبيّن الآن أن المقاربة العكسية منبع غني بصورة غير متوقعة ، وفي الوقت نفسه يصعب تضمينها في المعادلات المجهرية الأصلية النابعة من المقاربة الأولى ،وهي أقرب إلى سلوك الطبيعة في أحيان كثيرة . إذ إن وجود أطوار مختلفة للمادة (طور غازي و سائل و صلب و بلازما ، وربما الطور الزجاجي و الحبيبي و كثافات بوزه–أينشتاين ...) يزودنا بدليل بارز جدا يشير إلى أن تعديل أحد الوسطاء (درجة الحرارة مثلا) يمكن أن يغير ترتيب المنظومة تغيراً هائلاً ، قد لا يكون مستمراً أو قابل للمعالجة كاضطراب .

وقد قرنت ، في بعض الأحيان بين مدلول الكلمة اللغوي وتطوره اعتمادا على معجم بالإنكليزية يضع تاريخ أول مرة ظهرت فيها الكلمة ومدلولها ، ثم يورد مدلولات لغوية وعلمية أخرى . وهو معجم وبستر" Webster's Ninth New Collegiate Dictionary"لعام 1987[4]. هذا بالإضافة إلى المراجع الموجودة أصلا فيما أشير إليه من المراجع المعتمدة مرقمة ،إذ رأيت أن ذكر المراجع التفصيلية سيأخذ حجما كبيرا. وقد استفدت أيضا من الشابكة (الإنترنت) وما تحتويه من موسوعات وأدوات بحث التي سأكتفي بالإشارة إليها برقم مرجعي واحد [5] يضاف له الكلمة المفتاحية التي استخدمتها .

الفصل الثاني
الميكانيك


الميكانيك
السماوي والأرضي
النيوتني والتحليلي النسبوي
ميكانيك الكم ،اللوني
توازن
تحريك
علم الحركة
تحريك و توازن السوائل
الانسحابية و الدورانية
القوة العضلية ،الكهربائية
المغناطيسية
الثقالية
النووية الشديدة و الضعيفة
الحقل
الموضع ،الموقع
السرعة، الجمل الاحداثية
التسارع
الاندفاع الخطي و الزاوي
قوانين الانحفاظ

2-1-مدخل:

بدأ الميكانيك عند الإغريق والقدامى بتناول مواضيع كان يظن أنها منفصلة خاضعة لقوانين مختلفة فهناك :

الميكانيك السماوي (celestial mechanics) الذي يرصد الأجسام السماوية وحركاتها دون التدخل بمسبباتها فهو غيبي إلى حد ما وعشوائي ،لايجوزالاقتراب منه ، وقد كان جزء كبير منه يعدّ فيما وراء الطبيعة أوالفيزياء . و **الميكانيك الأرضي** (terrestrial mechanics) الذي يتناول حركة الأجسام التي نستطيع التحكم في حركتها و تحريكها . فهو خاضع لنا،و كان يبحث في كيفية التعبيرعن الحركة:فهناك الحركة المنتظمة وغير المنتظمة وهناك القوة والسرعة و التسارع .

ثم ظهر **الميكانيك العام** الذي تحكمه قوانين نيوتن الثلاثة،وهو عام لأنه يفسر حركة الأجسام السماوية والأرضية . وهو يتضمن الأسباب أي التحريك (dynamics)، إضافة إلى علم الحركة (kinamatics) و التوازن (equilibrium). وقد طورت الصياغة الرياضية لقوانين نيوتن على يد لاغرانج و هاملتون فوجد الميكانيك التحليلي(analytical mechanics) الذي يعد مدخلا جيدا إلى ميكانيك الكم (quantum mechanics). والميكانيك النسبوي (relativistic mechanics) الذي يصف حركة الأجسام عندما تقترب سرعتها من سرعة الضوء. ووجد كذلك **التحريك الكهربائي**(electrodynamics)الخاص بدراسة حركة الأجسام المشحونة كهربائيا، و التحريك الكهربائي الكمومي (quantum electrodynamics)الذي يعالج الأجسام المشحونة كهربائيا آخذا بالحسبان وصفها كموميا. و التحريك اللوني الكمومي (quantum chromodynamics) الذي يتناول ما يحرك مكونات النواة.

لقد تطور مع هذه الفروع المتنوعة إدراكنا للمفاهيم المختلفة مثل:

القوة : إذ بدأ إدراكنا للقوة عن طريق القوى العضلية التي تعمل بالتماس المباشر فتحرك وتوقف وترفع وتخفض.تبعها التعرف على القوى الكهربائية و المغنطيسية التي يمكن أن تفعل فعل القوى العضلية لكن عن بعد،ثم نعرفنا على قوى الثقالة الأرضية والعالمية التي تفعل عن بعد أيضا. وأخيرا القوى النووية الشديدة والضعيفة التي تربط وكونات النواة بعضها مع بعض ،التي لا يمتد فعلها لأكثر من أبعاد النواة ، جزء من مليون مليون سنتيمتر؛ مقابل قوى الكهرباء الساكنة والمغنطيسية الساكنة

و الكهرباء المتحركة التي تفعل على مسافات كبيرة فعلا، لكيلومترات ، لكنها من جهة أخرى قد لا تكون هي المهيمنة عند الحديث عمايحكم الكون و مكوناته في أبعاد من مرتبة السنوات الضوئية التي تحكمها قوى الثقالة . إذن بدأ التعرّف على القوة من خلال آثارها الحركية ثم تطور ليعبرعن آثار ترابط على مقاسات صغيرة جدا وكبيرة جدا .و كان من الطبيعي استخلاص القوانين التي تميز أنواع القوى المختلفة بدءا من قوانين الكهرباء الساكنة والمغنطيسية الساكنة والثقالة وانتهاء بالقوانين الكهرطيسية . كذلك ظهر السؤال عند الانتقال من التأثير العضلي المباشر والحاجة إلى وسط ينقل تأثير الأنواع الأخرى.

الزمن : لقد ظهرت الحاجة إلى الزمن عند مراقبة حركات الأجسام السماوية ثم الأرضية وظهر مع محاولة فهمنا له بضعة أسئلة :هل خلق مع خلق الكون ؟ وهل العمر و التقدم باتجاه واحد ؟ وهل هومطلق أم نسبي؟ وهل لكل زمنه الخاص عند قياسه من قبل مراقبين مختلفين وما علاقته بالحركات الدورية ؟ وما معياره؟و يقال مثل ذلك عن :

الطول (المسافة) الخاص: الطول المألوف و الطول المقاس من منظورات مختلفة .و التحويلات للموازنة بين المشاهدات المختلفة . و ما معيارها!

كذلك لابد عند الحديث عن القوانين و ترابطها ، من معرفة التقريبات التي تصح عندها هذه القوانين ،و لابد من استخدام الرياضيات للتعبير الموجز عنها (وقد يكون هذا أحد أسباب تقدمهما معا)، **فالفيزياء و الرياضيات مترابطان** يقوي أحدهما الآخر . عندما بدأت القياسات كانت بسيطة سلّمية عددية فكان الحساب، ثم ذات إشارة فكان الجبر، و شعاعية فكان التحليل الشعاعي ثم تنسورية (ممتدّات) فكان الحساب التنسوري أو تحليل الممتدات.لقد أدخلت الممتدات عام (1846م) لتعني عملية تنظيم ثم طورت بالمعنى الحالي لتمثل تعميماً لحساب الأشعة أو المتجهات عام (1899م).

تختصرالرياضيات والقوانين كثيراً من نتائج التجارب العديدة فتبدأ بقانون فرعي ثم يدمج في قانون أعم و هكذا لتتكوّن نظرية متماسكة في كل فرع أولا، ثم العلم والسعي جار لإيجاد نظرية تفسر سلوك كل شيء في الطبيعة . سأعرض سردا مع التواريخ لهذه الأمور و المفاهيم فأبدأ الحديث عن تفرعات الميكانيك و اندماجاتها ثم المفاهيم المستخدمة فيها و تطورها.

2-2- تفرعات الميكانيك الرئيسية : (mechanic's main branches)

عرف منذ القدم الميكانيك بأقسامه الرئيسية التقليدية الثلاثة :التوازن (لبناء البيوت و القصور) و علم الحركة (لرصد النجوم و السماء للتعرف على المواسم بصورة رئيسية) و التحريك (للبحث في أفضل السبل لنقل الأجسام أو تدويرها) ،كما عرف فرع مستقل ،حينئذ ، يختص بالسوائل (لبناء السدود و حركة المياه) الذي كان توازنيا فقط في البدء .ثم قسّم الميكانيك بعد ذلك لسهولة المعالجة الرياضية إلى ميكانيك النقطة المادية أو الجسيم (الذي نتغاضى فيه عن دوران هذه النقطة أوالجسيم) وميكانيك الجسم الصلب المكون من عدد كبير جدا من الجسيمات (الذي نتناول فيه الحركتين الانسحابية و الدورانية له)،كما تطور لسبب مشابه فرع تحريك السوائل .فتعامل السوائل معاملة الأوساط المستمرة خلافا للأجسام الصلبة التي تفترض ذات بنية متقطعة (مجموعة جسيمات) . وفي جميع هذه الفروع نحتاج البدء بالتعرف على الموقع أو الموضع وإحداثياته وجملة المقارنة التي ينسب إليها.

2-3- الموقع وجمل المقارنة: (position & frames of references)

لابدّ لأية دراسة ميكانيكية من أن تبدأ بتحديد موقع الجسم أو الأجسام سواء بالنسبة للمراقب أم بالنسبة لبعضها بعضاً، وبالتالي لابد من وجود ما يعرف بجملة المقارنة المرتبطة غالبا بالمراقب .

تدخلت الفلسفة عند أرسطو (384-322ق.م.) باختيار هذه الجملة اعتمادا على مفهومه من أن الأرض مركز العالم وهي في حالة من السكون المطلق ، وما تبقى من الأجسام تكون حالتها الطبيعية الحركة باتجاه هذا المركز . غير أن الأرصاد

الفلكية الدقيقة كشفت عن نوعين من النجوم (كل ما يراه الإنسان من أجسام مضيئة ببصره) بعضها يبدو ثابتا لفترة طويلة بالنسبة لبعضها بعضاً(وهي الآن ما تعرف بالنجوم التي تضيئ نفسها ذاتيا) وأخرى متحركة (تلك هي كواكب المنظومة الشمسية) فقال بعضهم اعتمادا على ذلك بجملة مقارنة مطلقة مرتبطة بالنجوم الثابتة. بدأت هذه الأرصاد منذ عهد بعيد كما يظهر الآن من مخطوطات صينية قديمة وهندية أيضا ،إضافة إلى ما قام به المسلمون (900–1100م) من قياسات وتمثيل للقبة السماوية وتتبع مسارات الكواكب . كان ربط الحركة على الأرض مع حركة الكواكب ذا أصل فلسفي .غير أن هذا الربط اكتسب الصفة العلمية من خلال قوانين نيوتن .

فقد لوحظ منذ أيام غاليليه (1564–1642م) ضرورة الفصل في الدراسة بين الحركة الأفقية و الشاقولية لما تبين من اختلاف سلوكهما الحركي ،فركّز على دراسة الحركة الأفقية وحاول استخلاص الفرق بين السكون (المطلق) و الحركة المستقيمة المنتظمة من خلال مقارنة ما يشاهده مراقبان أحدهما على الأرض و الآخر في قارب مثلا ، وكذلك من متابعة ملاحظاته حول طول المسافة التي يقطعها جسم أعطي دفعة باختلاف نوعية السطح .إذ وجد أنه كلما كان السطح أنعم كانت المسافة المقطوعة أطول ليستقرئ أنه في غياب الاحتكاك سيستمرّ الجسم بسرعة ثابتة (منتظمة) التي عدّها الحالة الطبيعية للحركة . وعندما ربط هذا الاستنتاج بما يراه المراقبان قال بوجود غموض في المطلق (أي جملة المقارنة المطلقة). في الواقع وضع ما يعرف بتحويلات غاليليه بين جمل المقارنة التي تسيربسرعة منتظمة ثابتةبالنسبة لبعضها بعضاً فأصبحت تدعى عطالية ،والعلاقات التي تربط بين ما يشاهده مرافبان كل منهما في جملته النسبية الغاليلية.

2–4– القوة و قوانين نيوتن(force &Newton's laws) :

جاء نيوتن بعد غاليليه (1642– 1727م) فأعطى لهذا القانون (الأول) صياغة مختلفة فقال بوجوب تكافؤ الجمل العطالية لتعطى بالنسبة لها القوانين

بالصيغة نفسها . كما قال بعدم وجود تجربة تستطيع التمييز بين حالة السكون و الحركة المنتظمة لمراقبين . أما قانونه الثاني فقال إن أي تغير يحصل لحالة جسم ساكن أو متحرك حركة منتظمة لابد وان يكون بفعل قوة خارجية ، وإن هذا التغير سيظهر في تغير سرعته أي في تسارعه ويكون متناسبا مع القوة .إن ثابت التناسب هو **الكتلة العطالية** التي تحدد مقاومة الجسم لتغيير حالته الحركية .أما القانون الثالث فهو أن لكل فعل ردّ فعل مساو ومعاكس(فالفعل هو ما يطبقه أحد الجسمين على الآخر في نقطة منه و ردّ الفعل هو ما يطبقه الآخر على الأول في نقطة منه تشير هذه الملاحظة إلى ضرورة الانتباه عند الحديث عن تطبيق قوة بالتماس فهناك نقطتان من جسمين مختلفين).

لذلك عندما حاول نيوتن تطبيق قانونه الثاني على الحركة الشاقولية ،افترض وجود قوة جاذبة تجذب الأجسام باتجاه الأرض لأنه وجدها متسارعة ، و يقال إنه عندما نظر إلى حركة القمر فشبّه حركته الدائرية بالسقوط،إذ لولا هذا السقوط لاستمر القمر في حركة مستقيمة متباعدة عن المركز، وبالتالي فهي كسقوط تفاحته المشهورة. فبدأ بحساب هذه القوة انطلاقا من معرفته بالحركة الدائرية للقمر ومن بعده عن الأرض فتوصل إلى قانون له الشكل :

$f = G\frac{M.m}{r^2}$ حيث M كتلة الأرض و m كتلة القمر و r البعد بين مركزي القمر و الأرض أما G فهو ثابت سمي ثابت التجاذب العالمي.ثم انتقل إلى حسابات تتعلق بالكواكب فتوصل إلى تفسير موافق عندما يأخذ M كتلة الشمس، وهي مركز الجذب لجميع الكواكب، و m كتلة أحد الكواكب المدروسة، ليستنتج قانونه العالمي في الثقالة(أو التجاذب)، مفسرا بذلك قوانين كبلر(1571–1630م) الثلاثة التي هي بدورها تراكمات لقياسات كوبرنيك (1473–1543م) وتيخو براهة (1546–1601م) فالأول يقول بكون مدارات الكواكب قطعية ناقصية أواهليلجية بيضوية، والثاني يقول بكون السرعة السطحية ثابتة خلال حركة الكوكب على مداره (أي أن نصف القطر الشعاعي للكوكب بدءا من الشمس يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية) ، أما

الثالث فيقول بتناسب مربعات أدوار الكواكب مع مكعبات المسافات الوسطية لها عن الشمس وهذه كلها يمكن التوصل إليها عن طريق هذا القانون . لقد أمكن التحقق من قانون الثقالة العالمي على الأرض عام (1798م) بتجارب كافنديش الذي عيّن Gالواردة في هذا القانون فقارنها بحسابات نيوتن لحركة الكواكب .

نجد بهذا أنه كلما ظهرت مؤثرات تغير من الحالة الحركية المنتظمة أو السكون لجسم بُحث عن المسبّب **فعمم مفهوم القوة** من القوة العضلية التي تعمل بالتماس إلى القوة الكهربائية(الساكنة) التي كانت معروفة بجذب بعض القصاصات الورقية منذ عهد اليونان (600 ق.م.)،ثم القوة المغنطيسية التي كانت معروفة أيضا منذ القدم لامتلاك بعض الأجسام خاصة جذب الحديد إليها فتوصل كولون (1784م) إلى قانونيه في الكهراكدة و المغنطيسية الراكدة مع ذكره للاختلاف بينهما في عدم إمكان عزل القطب المغنطيسي السالب عن الموجب ، لكنه تغلب على ذلك باستعمال مغنطيس على شكل قضيب طويل البعد بين قطبيه كبير بحيث يمكن إهمال تأثير أحدهما على الآخر. وإن كلتا القوتين يمكن أن تؤثرا عن بعد . ظهرت مع هذين القانونين مقدار جديد هو الشحنة الكهربائية وآخر هو الكتلة المغنطيسية ولهما صيغة مماثلة لقانون التجاذب العالمي مع اختلاف الثابت G . وفي حين استمر مفهوم الشحنة إلا أن مفهوم الكتلة المغنطيسية لم يستمر مع معرفتنا المعمقة لنشوء الآثار المغنطيسية وعلاقتها بالشحنات المتحركة .

عرفت فيما بعد التيارات الكهربائية ، أي الشحنات المتحركة ،بدءا من اكتشاف غلفاني (1786) على تقلص العضلة فقال بوجوب مرور شيء ما من الجسم المشحون إلى العضلة. تبع ذلك اكتشاف فولتا (1800م) باختلاف الأجسام المعدنية الناقلة من الناحية الكهربائية(ما يعرف بالكمونات الكهربائية لها) فاخترع البيل الكهربائي الذي هو أساس المدخرات .ثم اكتشفت القوى الناتجة عن الشحنات المتحركة (التيارات الكهربائية) على يد بيو وسافار(1819م) و معهما أمبير و

أورستد (1820م) و تم الربط بين القوى الكهربائية و المغنطيسية فتم التعرّف على أصل المغنطيسية و على الكهرطيسية .

2-5- الحقول والكمونات(fields and potentials) :

بعد التوصل إلى هذه القوانين ظهرت فكرة الحقل و إمكان إسناد الأثر الذي تسببه إحدى الشحنتين أو الكتلتين في الجوار القريب منها وحدها وأصبح واضحا أفضلية استخدام مفهوم الحقل مكان مفهوم القوة فصاغ مكسويل (1861م) قوانينه اعتمادا على خطوط القوة التي استعملها أمبير، ليأتي بعده أوليفر هيفيسايد و ويلارد جيبس عام (1884م) لإعطائها الشكل الشعاعي (المتجه) الذي نستعمله اليوم بدلالة الحقول الكهربائية و المغنطيسية في ثماني معادلات .

استخدم مفهوم القوة أو الحقل أيضا عند الحديث عن الترابط بين مركبات مختلفة لمنظومة ،فعلى غرار المنظومة الشمسية التي يمكن النظر إليها مترابطة بطريقة ما نقلت صورة مشابهة عند الحديث عن الإلكترونات وارتباطها بالنواة مع اختلاف في طبيعة القوة الرابطة وشدتها وفعلها عن بعد، أنموذج رذرفورد (1911) . قياسا على ذلك جرى الحديث ،عندما اكتشفت مركبات النواة من بروتونات و نترونات ،عن قوى نووية شديدة تربط بينها (1931)،فبيّن يوكاوا نظريا ضرورة وجودها و بوجود ناقل لهذه القوة أو الحقل ،يشبه دور الفوتون في القوة الكهرطيسية ،سمي جسيم يوكاوا. لكن ما اكتشف فعليا هو جسيم آخر مع بقاء الفكرة صحيحة . وكذلك وجد ضرورة لافتراض قوى تختلف عن النووية الشديدة عند تفكك بعض النوى فسميت القوى النووية الضعيفة (1945) . وحدث شيء مشابه عندما اكتشف أن كل من البروتونات و النترونات مكونة من مركبات سميت الكواركات فالبحث جار حول هذه القوى و القوانين التي تحكمها .

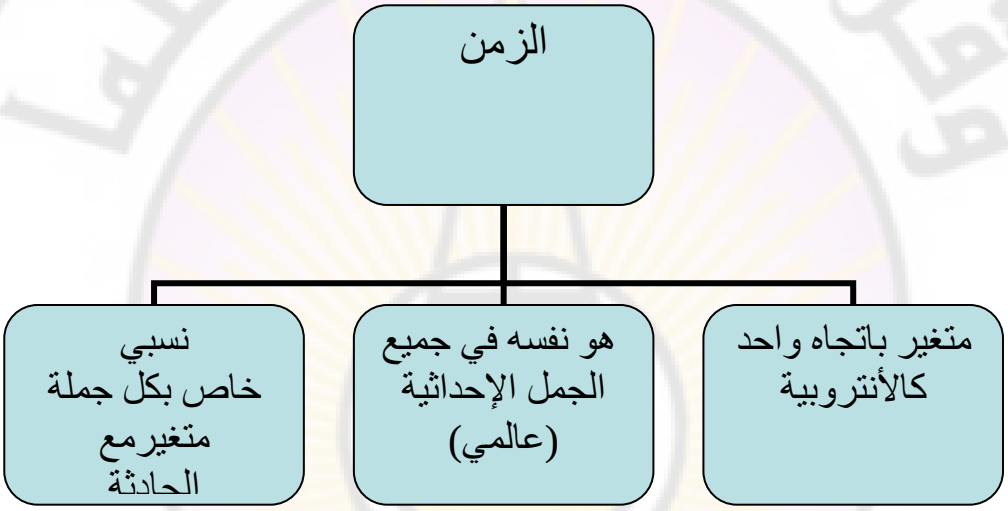
تصنف القوى وفق خاصية أخرى مع دخول مفهوم الحقل ، فعرفت القوى المحافظة التي لا تتبع في تغيراتها الطريق المسلوك وقوى مبددة تعتمد على الطريق

المسلوك ، فيقال عن الأولى إنها تشتق من تابع كمون . ويمكن أن يحل الكمون مكان القوة في حسابات الطاقة.

2-6-المسافة والحركة والسرعة: (distance ,motion &velocity)

عرف منذ القدم أن تحديد الموقع يتطلب قياس المسافة بين مراقب بعينه أو نقطة أوموقع معروف وآخر بالإضافة إلى تحديد الاتجاهات،أي تحديد ما يعرف بجملة المقارنة . فكان من الطبيعي أن نسأل عن الرابطة بين ما يقيسه مراقبان للوصول إلى النتيجة المرجوة ،كأن نسأل عن المسافة بين موقعين ووجوب أن نحصل على الرقم نفسه الذي يحدده المراقبان كل على حدة . يعدّ هذا إحدى اللامتغيرات عند الانتقال من جملة إلى أخرى وفق تحويلات غاليليه. يفترض طبعا فيما سبق كون المراقبين ساكناً كل في جملته . وبالطبع فإن تغير المسافة المقيسة تعني الحركة .سبقت دراسة حركة النجوم و الكواكب و مراقبتها دراسة الحركات على الأرض ،فقد كانت نظرة أرسطو للحركة،كما ذكرنا، تقول بسكون الأرض المطلق فهي المركز وجميع الكواكب والأجسام تتجه نحوها و هذا التوجه هو حالتها الطبيعية للحركة سواء كانت أرضية أم فلكية ،فالأرض هي مركز الكون(والمنظومة الشمسية ضمنها) ، و كان يستخلص هذا القول اعتمادا على وجهة نظر فلسفية محضة . جاء ابن ملكا البغدادي (900 م) فعارض هذا القول وقال بمركزية الشمس ،ثم أتى غاليليه فشرح في كتابه "علمان جديدان (1635)" أن لا وجود لسكون مطلق و إمكان اختلاف ما يراه و يقيسه مراقبان متحركان أحدهما في قارب مثلا ، و الآخر على الأرض و ذلك عند النظر إلى جسم موجود على الأرض(أو على القارب) فيقول أحدهما بسكونه بالنسبة له بينما يقول الآخر بحركته . و قد بدأ غاليليه قياسات كمية يحدد فيها المسافات المقطوعة خلال فترات زمنية متساوية فأدخل مفهوم السرعة ،مع افتراضه أن المدة الزمنية التي يقيسها المراقبان بواسطة ميقاتيات معايرة على الأرض تبقى معايرة عند الحركة (في القارب) ، ثم استنتج قانون جمع السرع .

استكمل نيوتن(1666م) هذه المشاهدات و صاغها في قانونه الأول فتحدث عن الحركات المنتظمة ذات السرعات الثابتة و بعدم وجود أية تجربة قادرة على التمييز بين حالة السكون و الحركة المنتظمة التي هي إحدى صيغ القانون الأول. وفي صيغة أخرى قال بتكافؤ وصف هذه الجمل للحركات التي أطلق عليها اسم الجمل العطالية .ثم عمّم فقال بوجوب عدم تغير صيغ قوانين الميكانيك عند إجراء تحويلات بين هذه الجمل ،أي لا وجود لجملة كونية مفضلة يجب استخدامها في المقارنة .



2-7- الزمن وتحويلات لورنتس والنسبية الخاصة

(time, Lorentz transformation and special relativity):

استمرت النظرة إلى الزمن الذي دخل عند قياس السرعة ، بأنه واحد في جميع هذه الجمل (أي أنه مطلق) حتى ظهور النسبية الخاصة لإينشتاين (1905) ففقد هذه الصفة ليصبح بدوره نسبياً أيضا ، وعليه فثمة زمن خاص بكل جملة عطالية وتبع ذلك تعديل على اللامتغير في الطول ، إذ إن المسافة أو الطول التقليدي أصبح يتغيرمع تغيرالجملة فظهر مفهوم الطول الخاص أيضا (لقد طرحت مسألة تقلص الأطوال في تفسير لورنتس و فيتزغرالد لإخفاق تجربة ميكلسون و مورلي ، انظر التالي) . وبطبيعة الحال وجدت تحويلات مناسبة بين الجمل

العطالية تأخذ هذا في الحسبان، فتبين أن تحويلات لورنتس(1892م) التي لا تتغير قوانين مكسويل (1867م) في الكهرطيسة من أجلها هي الصحيحة في الحالة النسبوية أيضا . فقد تعارضت هذه القوانين مع القانون الأول لنيوتن (في عدم تغيرها عند إجراء تحويلات غاليليه) وكان لابد من الفصل في هذا الأمر.

لقد افترض مكسويل في البدء وجود الأثير تنتقل فيه الأمواج الضوئية مع بعض الإصرار على وجود جملة فلكية مفضلة ،غيرأن تجارب ميكلسون و مورلي (1887م) التي نفت وجود مثل هذا الوسط ، و كذلك تجارب هرتز في الفترة نفسها قادت أينشتاين للقول بعدم تغير جميع القوانين الفيزيائية عند نسبتها إلى أي من الجمل العطالية ،كما ظهر أيضا أن الصياغة الجديدة لقوانين مكسويل لا تتطلب وجود هذا الوسط . أدى ذلك كما ذكرنا إلى القول بتغير المدد الزمنية المقاسة من قبل المراقبين العطاليين المختلفين ($t=t'/((1-b^2)^{1/2})$ الذي لم يتم التحقق منه على الأرض إلا عام(1941) عند قياس عمر الميون ،وعام (1971) باستعمال الساعات الذرية .

و أصبح الزمن يعامل معاملة الإحداثيات المكانية الثلاثة كإحداثي رابع و ظهر مفهوم الحدث الذي يكتمل بتحديد مكان وقوعه وزمانه فكان مفهوم الزمكان الرباعي الأبعاد .كما أدى ذلك إلى قوانين خاصة بتحويل السرع بين الجمل المختلفة .

ونذكر أن أينشتاين قد توصل إلى التحويلات الموافقة بافتراضه ثبات سرعة الضوء بالنسبة للجمل العطالية كلها ،إضافة لافتراضه عدم تغيرصيغ القوانين الفيزيائية ، وكانت هذه السرعة أعلى سرعة يمكن أن يصل إليها أي جسيم .

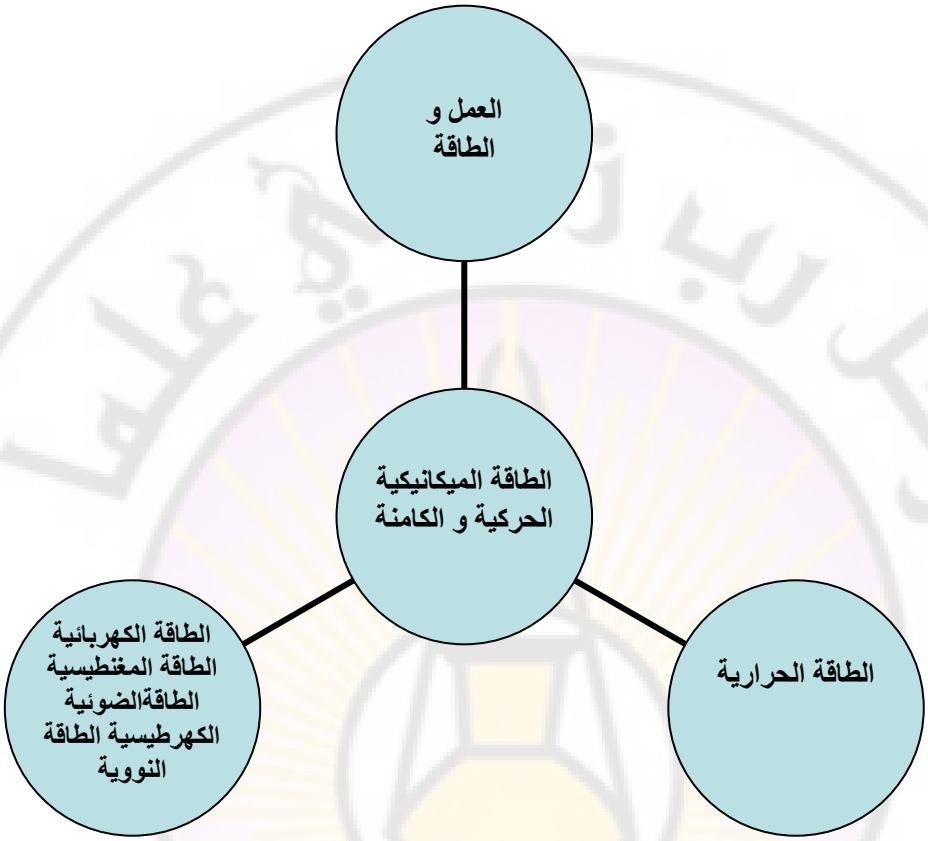
2-8- الكتلة والنسبية العامة: (mass&general relativity)

ذهب أينشتاين بعد ذلك إلى القول عام (1915) بوجوب عدم تغير صياغة القوانين الفيزيائية بالنسبة لجميع الجمل عطالية أو غير عطالية ،و ذلك في نظريته في النسبية العامة .

لقد استلهم **هذه الفكرة ، مرة ثانية ، من التشابه بين السقوط الحر و نسبة الحركة إلى جملة لها تسارع الجاذبية نفسه الناتج عن قوة الثقالة** (وفق قانون الثقالة العالمي ، بتجربة المصعد الذهنية) فقال بتكافؤ الكتلة العطالية والكتلة الثقالية التي تظهر في قانون الثقالة ،أي المعرّفة باستعمال هذه القوة.

و كان قد استنتج تكافؤ الكتلة و الطاقة (انظر الفقرة المتعلقة بمفهوم الطاقة و تطوره) و بالتالي بوجود أثر للتسارع مشابه لأثر الثقالة على الساعات الزمنية فقورنت قراءاتها على ارتفاعات مختلفة عام (1960م) على يد باوند و روبيكا باستعمال ساعات ضوئية مع قراءاتها بالنسبة لمراقبين في حالة تسارع فيما بينهما (مراقبان أحدهما على الأرض و الآخر في دواخة) باستعمال ساعات ذرية عام (1962م) على يد برادت فوجد انزياحاً نحو الأحمر ثقالي المنشأ ، وليس نتيجة أثر دوبلر ، يتفق مع تنبؤات النسبية العامة .

يذكر أنه تحققت قبل ذلك نبوءات النسبية العامة في أكثر من ظاهرة (مثل انحراف الضوء القادم من نجم بعيد عندما يمر قرب الشمس ،تم ذلك عند كسوفها طبعا ، وكذلك تفسير تغير مدار زحل).



2-9- العمل و الطاقة والاندفاع(الخطي):

(work , energy&linear momentum)

ارتبطت القوة منذ القدم بإنجاز مهمة معينة ،مثل رفع الأثقال أو الأحمال للبناء ،و كذلك بتحريك جسم حتى إيصاله لسرعة معينة أو إيقاف جسم متحرك فكان الحديث مرتبطاً أولا بما عرف بالقوة الحية لارتباطها بالقوة العضلية . فأول ما عرّفت القوة الحية لتمثل ما تنجزه قوة ما ، برموز اليوم، بأنها حاصل ضرب كتلة الجسم في مربع سرعته عام (1676م) فقال ليبنتز (Leibnitz) بانحفاظها عند

التصادمات ، نازعها التعريف بما يمكن أن تنجزه ،الاندفاع الذي هوحاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته ، لذلك يسمى أحيانا كمية الحركة ، وأن اندفاع جملة الأجسام المتصادمة هو المحفوظ عند التصادم. لكن تطور إمكان القياسات وتطبيق قانون نيوتن والتحليل الرياضي (الذي اختلف في نسبته إلى نيوتن أم إلى ليبنتز عام 1666م) تبين تكافؤ الوصفين ضمن شروط خاصة ،إذ يعدّ الأول تكاملا للقانون على السرعة في حين أن الثاني يعدّ تكاملا له على الزمن،وظهر ضرورة تعريف الطاقة الحركية(1689م) على أنها نصف حاصل ضرب كتلة الجسم في مربع سرعته (أي نصف الطاقة الحية) .

من جهة أخرى ، تبين أن بعض التصادمات لا تحقق قانون انحفاظ الطاقة الحركية فكان السؤال أين يذهب الفرق.

بقي هذا السؤال معلّقا حتى التوصّل إلى تكافؤ الطاقة الحرارية مع الطاقة الميكانيكية عام (1798م) على يد رمفورد (Count Rumford) وتبعه جول (Joule) و كودلنغ (Kodling) و ماير (Mayer R.G.) بقياسه كميا المكافئ الميكانيكي للحريرة (التي هي واحدة الحرارة المستخدمة في علم الحرارة) علما أن مصطلح الطاقة قد بدأ استعماله مع بداية القرن التاسع عشر (1807م) . فظهر أول قانون انحفاظ بالمعنى المألوف حاليا على يد مور عام (1837م) . أما مصطلح الطاقة الكامنة (بالمعنى الحالي) قد استعمله غاليليه دون أن يعرّفه تعريفا دقيقا عام (1638م) عند شرحه لحركة النواس .وفي عام (1844م) استعملت الطاقات بأشكالها الثلاثة : الحركية والكامنة والحرارية بالإضافة إلى الطاقة الكيميائية ، وصيغ قانون انحفاظ الطاقة بصيغته المعممة . يعدّ هذا القانون اليوم من القوانين الأساسية في الفيزياء ، إذ كلما ظهرت ظاهرة لا تحققه يجري البحث عن الأسباب و تعريف شكل جديد من أشكال الطاقة .و هذا ما حدث عند قياس الطاقات في التفاعلات النووية فظهرت طاقة لم يحدّد مصدرها و كان لا بد من قياسات دقيقة لكتل الجسيمات الداخلة في التفاعل فوجد السبب في تغير هذه الكتل وقيل بتكافؤ الكتلة و الطاقة

الذي استنتج نظريا من قبل كنتيجة للنسبية الخاصة . وبالتالي اندمج قانونا الانحفاظ الأول للطاقة والثاني انحفاظ الكتلة أو المادة الذي تحدث عنه طالس (547- 624ق.م) (Thales of Miletus)، أبو العلوم فلسفياً ليصبحا مبدأ واحدا . حديثا و منذ خمسينيات القرن الماضي ، يجري الحديث عن طاقة الخلاء تعميما لطاقة الحقول و الحقول الافتراضية وكذلك عن وجود مادة خفية أو مظلمة مع الطاقة المظلمة أو الخفية في الكون و الكونيات مما سنفصله في فصل الفيزياء الفلكية .

2-10- الاندفاع الزاوي(angular momentum) :

مع أن استعمال الرافعات و الدواليب يعود إلى ما قبل الميلاد من خلال محاولة رفع الأجسام الثقيلة ونقلها أو تحريكها فعرف عزم القوة،على أنه حاصل ضرب القوة في ذراعها، إلا أنه تأخر تحديد الأثر تحديدا كميا مناسبا . بدأ هذا التحديد مع التعرف على قوانين كبلر في الفلك من خلال ما يعرف بالسرعة السطحية للكواكب والتعبير عنها نسبة إلى مستويات مداراتها ،وكما عزم القوة فقد عرّف الاندفاع الزاوي (لذلك يدعوه بعضهم العزم الحركي، كما يدعوه بعضهم الآخر ،تاريخيا ،كمية الحركة الزاوية) على أنه حاصل ضرب موقع الجسم في اندفاعه (الذي يميز الآن بإضافة صفة الخطية فيقال أحيانا الاندفاع الخطي) . يحتاج كلاهما، كما نعرف، متجهات أو أشعة لتمثيل هذه المقادير و المقادير الأخرى مثل القوة و السرعة و التسارع ،وبالتالي نحتاج تعريف حاصل ضرب المتجهات . قادت مثل الاعتبارات لنشوء ما يعرف بالتحليل المتجه أو تحليل الأشعة كفرع من فروع الرياضيات. عمم هذا التعريف بعدئذ ليشمل أية منظومة من الجسيمات على أنه المجموع المتجه لاندفاعات مكوناتها حتى بالنسبة للسوائل . والغريب فإن الحديث عن انحفاظ الاندفاع الزاوي في السوائل قد سبق انحفاظ الطاقة ،فقال أولر(Euler) عام (1746م) به و شاركه في ذلك أيضا برنولي (D.Bernoulli) والمعروف اليوم أن جميع قوانين الانحفاظ أساس المبادئ الفيزيائية و أول ما يسأل المرء عند دراسة منظومة معينة يسأل عن شروط صحة تطبيق قوانين الانحفاظ هذه .

2-11- الميكانيك التحليلي (analytical mechanics) و معادلات لاغرانج (Lagrange) و معادلات هاملتون (Hamilton):

طوّر لاغرانج تطبيق قوانين نيوتن المصاغة في البدء لكل جسيم ، ليسهل تطبيقها على مجموعة جسيمات متعددة مكوّنة لمنظومة فحصل على مجموعة معادلات تصف المنظومة ككل ، فعرف الإحداثيات المعممة التي تأخذ القيود المفروضة على المنظومة في الحسبان ليعالجها إحداثيات مستقلة بعضها عن بعض ، كما استعمل مشتقاتها للتعبير عن الطاقة الحركية T لجسيمات المنظومة ، فعرّف تابع أو دالة عرفت باسمه ،تابع لاغرانج L (Lagrangian)، وقد ظهر هذا التعبير وشاع عام 1938على الصورة :

$L\left(q,q`,t\right)=T-V$ حيث V تابع الكمون لجميع القوى المحافظة المؤثرة في المنظومة وبافتراض عدم وجود قوى مبددة . وأصبحت معادلات الحركة :

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial q`}\right)=\frac{\partial L}{\partial q}$$

أتى هاملتون بعده ليكمل المعالجة الرياضية فعرّف الاندفاعات المعممة :

$$p_i=\frac{\partial L}{\partial q`}$$

و هاملتون المجموعة (Hamiltonian) ، الذي ظهر وشاع استعماله عام 1933، بدلالاتها:

$$H\left(q_i,p_i,t\right)=\sum_i p_i q_i`-L$$

فانتقل من مجموعة معادلات تفاضلية من المرتبة الثانية، الواردة في معادلات لاغرانج، إلى مجموعتي معادلات تفاضلية خطية تعرف بمعادلات هاملتون :

$q_i`=\frac{\partial H}{\partial p_i};p_i`=-\frac{\partial H}{\partial q_i}$ ويلاحظ التناظر في أدوار q و p عدا وجود إشارة السالب .

عرفت هذه المعالجة فيما بعد و تعميماتها و تطبيقاتها كفرع في الميكانيك سمي الميكانيك التحليلي . وتبين أن H يمثل طاقة المنظومة الكلية في حالة الجمل المحافظة،كما قاد بما أصبح يعرف هاملتوني المنظومة H، إلى كتابة تغيرات أي تابع للإحداثيات المعممة والاندفاعات المعممة والزمن مثل F على الشكل :

$\frac{dF}{dt}=\frac{\partial F}{\partial t}+\{F,H\}$ حيث $\{F,H\}$ قوس بواسون

(Simon D.Poisson 1840) المعرف على الصورة:

$$\{A,B\}=\sum_{i=1}^{f}\left(\frac{\partial A}{\partial q_i}\frac{\partial B}{\partial p_i}-\frac{\partial B}{\partial q_i}\frac{\partial A}{\partial p_i}\right)$$

ففي حال انعدام قوس بواسون الذي يمثل بصورة ما قابلية التبادل مع الهاملتوني تصبح التغيرات أبسط تناولا وعلى الأخص عندما لا يتبع التابع F للزمن صراحة فيصبح أحد ثوابت الحركة .وقد قادت هاتان المعالجتان إلى تسهيل اقتراح إحدى صياغات ميكانيك الكم وفق مفهوم التبادلية وترافق بعض المقادير الحركية خاصة.

2-12- ميكانيك الكم (quantum mechanics):

بدأ ميكانيك الكم بما يعرف بنظرية الكم القديمة بافتراض التكمية في تبادل الطاقة بين جسم وإشعاع على يد بلانك (1900) وتفسير أينشتاين للمفعول أو الأثر الكهرضوئي بافتراضه الصفة الجسيمية للإشعاع . غير أن الوصف الكمي لتبادل الذرات الطاقة مع الإشعاع بدا مع بور(بوهر) عام 1913 في فرضيته الأولى فقال إن للمنظومة الذرية حالات مستقرة أو مكماة يقابل كل منها طاقة محددة للمنظومة وخلال الانتقالات بينها فقط ، تكسب المنظومة أو تخسر طاقة مساوية لحاصل الفرق بين طاقتي الحالتين متبادلة إياها عند التفاعل مع منظومة أخرى قد تكون على شكل كمات إشعاع كهرطيسية . أما فرضيته الثانية فتنص على أن تواتر كم الإشعاع مساوٍ لحاصل قسمة طاقته بثابتة بلانك، متفق في هذا مع كل من بلانك وأينشتاين . كما اقترح بور قاعدة بسيطة لاختيار المدارات الدائرية المقابلة للحالات المستقرة ، فقال بوجوب كون الاندفاع الزاوي مضاعفات صحيحة لثابتة بلانك مقسومة ب $\pi 2$.

طور هذه القاعدة وعممها فيما بعد كل وحده : ويلسن (W.Wilson 1915) و سومرفيلد (Sommerfield 1916) اعتمادا على الاندفاعات القانونية والمتحولات الدورية .

واجهت هذه النظرية صعوبات عملية إذ إنها لا تنطبق على النظومات اللادورية كما أنها لا تعطي شدات الخطوط الطيفية و لا أجوبة مقنعة حول تبدد الضوء .عاد بور واقترح عام 1923 مبدأ التقابل بغية استخدام النظرية التقليدية كحالة حدية بغية معالجة شدات الخطوط الطيفية . وفي عام 1928 أدخل مبدأ التمامية القائل بعدم استقلال ما نلاحظه عن وسيط ملاحظته الذي قاد إلى عدم إمكان التحديد الآني لمتحولين قانونيين. كما واجهت النظرية صعوبات في المفاهيم منها عدم إصدار الإلكترون المتسارع للإشعاع في الحالات المستقرة وقواعد التكمية الاختيارية نوعا ما، والمظهر الجسيمي في الإصدار والموجي في الامتصاص.

خلال هذه المدة بدأ فرعان يظهران ويتطوران هما الميكانيك الموجي (wave mechanics) وميكانيك المصفوفات الكمومي (quantum matrix mechanics) اللذان أصبحا يسميان ميكانيك الكم (quantum mechanics) بعد أن تبين تكافؤهما .اعتمد الأول على معادلة الانعراج في انتشار الضوء المقابلة لمعادلة انتشار الأمواج الصوتية ، وذلك على يد شرودنغر (E.Schrodinger 1926) ، فقال بوجود تابع موجة ثم بحث في تشكيل معادلة انتشار هذا التابع فوجد أن المعادلة يجب أن تكون تفاضلية لتأخذ في الحسبان التغيرات المكانية ،وخطية لتمكننا من تركيب الأمواج التوافقية وصولا إلى رزمة الامواج التي تقابل تموضع الجسيم ،وأخيرا تضمنها ثوابت لا تتعلق بشكل الحركة ، فوجد أنه يمكن تلبية هذه المتطلبات في حالة جسيم حر إذ بدأ بهاملتون الجسيم وقام بالتبديل التالي:
ثم عمّم الطاقة E لتضم الطاقة الكامنة إضافة للطاقة الحركية، شريطة أن لا تتغير تغيرا ملموسا على مدى عرض الرزمة . أصبحت المعادلة المكونة بهذا الشكل

معروفة باسم معادلة شرودنغر، فظهرت التوابع الخاصة له والقيم الخاصة التي تقابل الحالات المستقرة تلقائيا.

أما ميكانيك كم المصفوفات فقد بدأه هايزنبرغ (E.Heisenberg 1925) اعتمادا على معادلات هاملتون في الحركة و أقواس بواسون . فقال بإمكان تمثيل المقادير التحريكية مثل الموضع والاندفاع والطاقة بمصفوفات دون الحاجة لإعمالها على تابع موجي ، لأن المصفوفات تحمل الخاصية اللاتبادلية اللازمة لبعض المتحولات التحريكية ، فهي من هذه الناحية أقرب إلى المعادلات التقليدية ويكفي إجراء التبديل التالي للانتقال من التقليدي إلى الكمومي .

لنحصل على معادلات الحركة للمؤثرات وفق وجهة نظر هايزنبرغ . وقد برهن هايزنبرغ على تكافؤ وجهتي النظر المذكورتين عام 1927لنصل إلى ميكانيك الكم الذي يصف سلوك الجسيمات الذرية (المجهرية) و أبرز خواصه المثنوية الجسيمية– الموجية (wave- particle duality) .

وازى هذا المسار كما ذكرنا بروز فرع الميكانيك و التحريك النسبويين . و ظهر أيضا في الفترة نفسها تقريبا فرع يدرس تحريك الشحنات الكهربائية و خاصة الإلكترون، سمي التحريك الكهربائي (electrodynamics) و فرع آخر يدرسها عندما تكون سرعاتها قريبة من سرعة الضوء هو التحريك الكهربائي النسبوي (relativistic electrodynamics) وكذلك ميكانيك الكم النسبوي (relativistic quantum mechanhcs) . كما ظهر مع بداية ستينيات القرن الماضي فرع الميكانيك الكمي اللوني(quantum chromo –dynamics) ليدرس مكوّنات النواة و تفاعلاتها .

لم نتحدث بالتفصيل عن تطبيقات الميكانيك أو تقاناته وأدواته المساعدة لإنجاز أعمال كثيرة و ضخمة التي تدرس اليوم في كليات الهندسة الميكانيكية ، فاكتفينا بالبنية الفيزيائية له مع أنها هامة جدا و تعدّ أحيانا جزءا من حضارة الأمة . لا شك

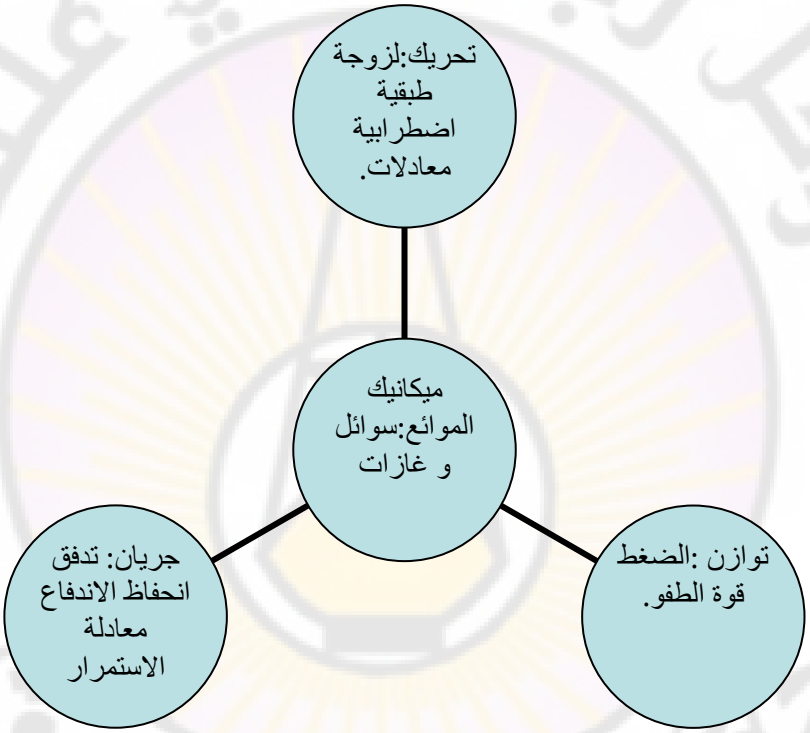
–على سبيل المثال – أن اكتشاف العجلة و البكرة و المضخة ذات المكبس والكرنك الذي يحول الحركة الدورانية إلى حركة خطية وأداة تغيير السرعة الدورانية(الكيرأو علبة المسننات) (المعروفة منذ عهد الصين) و الساعة وحتى الإنسان الآلي أو الآلة التي تعمل ذاتيا(التي طورها المسلمون و أهدوها إلى أوروبة)، مؤشرات بارزة تتفاعل مع تقدم فهمنا للميكانيك .

و في هذا الصدد كان علينا أن نذكر مساهمة العرب و المسلمين في ذلك مما كانوا يسمونه علم الحيل و على رأسهم ابن إسماعيل ابن الرزاز الجزيري (1163–1206م) في كتابه ذي العنوان " الجامع بين العلم و العمل النافع في صناعة الحيل " .

الفصل الثالث

تحريك الموائع

Fluid Dynamics



Damascus University

3-1- مقدمة:

بدأ هذا الفرع مع بدء الإنسان التعامل مع الأنهار والفيضانات فتوصل إلى خبرة متوارثة غير مكتوبة لبناء السدود ، وبالتالي التحكم بجريان المياه . وكما في:

علم الميكانيك ، يقسم ميكانيك الموائع وكذلك ميكانيك السوائل إلى قسمين سكوني (توازني hydrostatics) وتحريكي (hydrodynamics) ويلاحظ استعمال الماء في اللغة اليونانية (hydra) كسابقة للكلمتين ، إذ إنه السائل الأول الذي درس ؛ وتستعمل اليوم كلمة المائع (fluid) كسابقة أحيانا لتشمل السوائل والغازات فكليهما ،ضمن شروط مناسبة، تخضع للقوانين نفسها.

3-2-الضغط السكوني و الكثافة : (static pressure and density)

قد يكون أرخميدس(Archimedes278-212bc) أول من اكتشف الظاهرة المعروفة باسمه دافعة أرخميدس قبل الميلاد ، في ميكانيك السوائل التوازني التي تسمى اليوم قوة التعويم .ثم تحدث عن الثقل الظاهري للجسم المغمور . وظهرت في القرن الرابع عشر كلمة الضغط pressure [4] بمفهوم قريب من المفهوم الحالي ، وفي القرن السابع عشر(1604) ظهر مفهوم الكثافة [4] density.

3-3- الجريان الطبقي والجريان الاضطرابي :
(laminar flow and turbulent flow)

أما كلمة الجريان flow، مؤشر ميكانيك السوائل التحريكي ، فقد عرفت قبل القرن الثاني عشر مكافئة للحركة في السوائل، لكنها أعطيت المعنى المستعمل في هذا العلم كجريان في مسرب أو في خط بعد القرن الخامس عشر، وفي عام 1873 تغير المدلول إلى خط التيار stream line ليشير إلى مسار جزء عنصري من السائل بجوار حدود جسم صلب يتحرك السائل مهتديا به وسرعته محمولة على المماس للصلب . و لعل توريشلي (1608-1647م) (Torricelli) أول من صاغ قانوناً في جريان الموائع عبر فتحات و علاقته بمساحة الفتحة ، فميز بين الجريان الخطي الطبقي (laminar) والاضطرابي (turbulent) تمييزا كيفيا إذ كانت تعني الأخيرة عنفاً أو عدم سكون ، أما التمييز الكمي على أساس المعادلات فقد عرف النوع الأول الخطي الطبقي عام 1811والنوع الثاني الاضطرابي عام 1922 . وقد عرف توريشللي أيضا مبدأ مقياس الضغط المعتمد على سرعة الجريان ، وكذلك

لاحظ اختلاف الضغط الجوي باختلاف الارتفاع عن سطح الأرض . و في المدة الزمنية نفسها صنع غيورك (1602–1686م) (Guericke) مضخة الهواء التي تغير الضغط صنعيا . تابع باسكال (1623–1662م) فقاس تغير الضغط الجوي بتغير الارتفاع ثم توصل إلى مبدأ باسكال حول انتقال تغير الضغط في السوائل دون نقصان،ثم جاء برنولي (1700–1728م) (Bernoulli) فتوصل إلى معادلته الحركية في السوائل التي تربط بين السرعة و تغير الضغط Pفي سائل جار. يؤخذ عادة لدراسة حركة المائع حجما لا متناهيا في الصغر ثم يتابع تغير موقعه وسرعته ثم تطبق قانون نيوتن عليه بعد التعرف على القوى المختلفة المؤثرة فيه سواء كانت سطحية أم حجمية ، كما كان الافتراض ضمنيا ما يعرف اليوم بالحركة الطبقية :

$$p+1/2\rho v^2+\rho g\, h=constant$$

وسائل غير قابل للانضغاط وغير لزج . حيث ρ الكثافة و v السرعة و g تسارع الجاذبية الأرضية و h ارتفاع النقطة في المائع عن مستوى مرجعي . يطلق بعضهم الضغط الكلي على مجموع الحدين الأول والثاني في معادلة برنولي باعتبار الحد الثاني هو الضغط الحركي ،أما الأول فهو الضغط التوازني .

3–4–معادلة نافيير و ستوكس : Claude-Louis Navier George Gabriel Stokes

لكنه مع تقدم الرياضيات والرمزية فيها وعلى الخصوص الحساب التفاضلي بدأ أولر (Leonhard Euler)عام 1755دراسة ميكانيك الموائع ، بغرض هندسة نافورة مائية في بوتسدام كما تقول القصة التي لم يفلح في إنجازها اعتمادا على حساباته بسبب إهماله الحد الذي يحتوي اللزوجة. وهو الحد الذي توصل نافييرلإضافته عام 1822لكن التوافق مع التجربة ظل سيئا مع تحسنه، وقد كانت إضافته معتمدة على تقريب المائع المثالي غير القابل للانضغاط الخاضع إلى تجاذب الجزيئات المكونة له وتنافرها. وتكتب معادلة نافيير وفق الرموز المستعملة اليوم بالصورة :

$$\rho\left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}+\mathbf{v}\cdot\nabla\mathbf{v}\right)=-\nabla p+\mu\nabla^2\mathbf{v}+\mathbf{f}$$

وتجدر الإشارة هنا وبسبب ضعف تبادل المعلومات بأن كوشي أعاد اشتقاقها عام (1828) وكذلك بواسون عام (1829).

أتى ستوكس Claude-Louis Navier and George Gabriel (Stokes)[5] عام (1845م) ليعيد صياغة المعادلة في تحريك الموائع في شكلها العام ،سواء كانت لزجة أم غير لزجة وسواء كانت الحركة طبقية أم دوامية (تحتوي دوامات) و سواء كانت قابلة للضغط أم لا ،على الشكل :

$$\rho\left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v}\cdot\nabla\mathbf{v}\right) = -\nabla p + \mu\nabla^2\mathbf{v} + \mathbf{f} + (4\mu/3 + \mu^v)\nabla(\nabla\cdot\mathbf{v})$$

حيث μ معامل اللزوجة و f القوة الخارجية المؤثرة في واحدة الحجم . حيث أضيفت اللزوجة الحجمية μ^v لتأخذ بالحسبان حالة السوائل القابلة للانضغاط؛ وبقيت المعادلة تحمل الاسم نفسه Navier &Stokes . يمكن إيجاد الحلول عامة بعد التعرّف على الشروط الحدّية وشروط البدء واستعمال معادلة الاستمرار التالية:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\mathbf{v}) = 0$$

ويلاحظ ظهور الحد التربيعي في السرعة في معادلة نافيير و ستوكس وهو الحد الذي مكّن من الحصول على أفضل التوافقات مع التجربة باختيار مناسب لما يحمله من طاقة عطالية لاخطية ونسبته إلى الطاقة المبددة باللزوجة لتعرف النسبة بعدد رينولد (O.Reynolds) .فوفق كبر أو صغر هذا العدد تكون الحركة اضطرابية أو طبقية، أي في حالة غياب هذا الحد أو كان مهملا تكون الحركة طبقية، وتنتقل إلى الحركة الدوامية الاضطرابية عندما يصبح العدد كبيرا ، ويصبح تأثيرالحد اللاخطي واضحا مع زيادة السرعة .لذلك تتركز الدراسات على الشروط التي يتم فيها الانتقال بين هذين النمطين ، إذ يقود هذا الانتقال إلى الشواش أخيرا. ومما يجدر ذكره ، أن حركة الموائع الاضرابية هي القاعدة الأكثر شيوعا في الطبيعة والحركة الطبقية هي الاستثناء .

يشاهد مثل هذا الانتقال عند مراقبة جريان الماء الخارج من صنبور،فإذا زدت بالتدريج كمية الماء الخارجة ستلاحظ أن الماء سيغير من حالة جريانه الرقراقة (الطبقية) إلى حالة جريان اضطرابية دوارية رشراشة ،انظر الشكل(1). أما في المختبر ، فيدرس هذا الانتقال في جهاز يشبه مقياس اللزوجة الذي فيه أسطوانة داخلية تدور و أخرى خارجية ثابتة يوضع بينهما سائل . فإذا كانت سرعة دوران الاسطوانة الداخلية صغيرة تلاحظ إمكان وصف الجريان بأنه مكون من طبقات أسطوانية متتالية تتناقص سرعتها كلما اقتربت من الإسطوانة الخارجية(يمكن أن يظهر ذلك بالتلوين أو عند وجود تدرج بالألوان في الحالة الساكنة قبل البدء بالتحريك) . لكنه عند سرعة معينة تبدأ الطبقات بالتداخل بعضها مع بعض و تفقد وصفها الطبقي (يمكن أن يلاحظ مثل هذا عند مزج ألوان من الدهان مختلفة) .

3-5- الموائع النيوتونية وغير النيوتنية:

(Newtonian and non- Newtonian fluids)

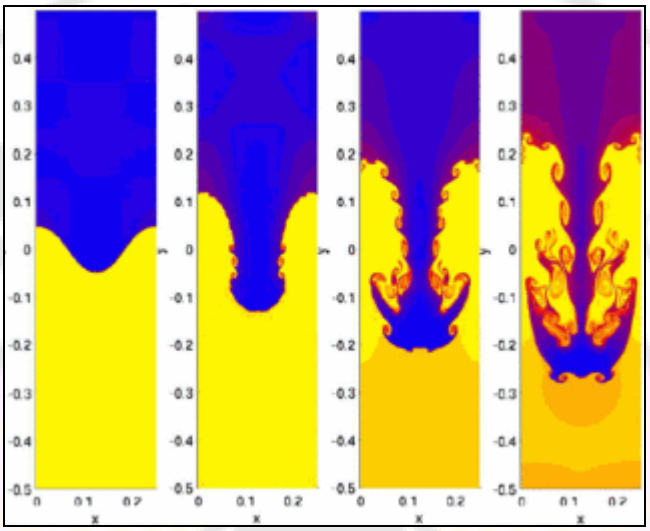
تطلب إدخال اللزوجة تقسيم الموائع،إضافة إلى التقسيمات الأخرى (قابلية الانضغاط أو عدمه ؛لزجة أو غير لزجة)، إلى نوعين :الأول ما يعرف بالمائع النيوتني حيث يكون فيه الإجهاد متناسبا خطيا مع معدّل الانفعال (تدرج السرعة) ،وثابت التناسب هو معامل اللزوجة . أما النوع الثاني فهو الذي تكون فيه العلاقة بين الإجهاد ومعدل الانفعال لا خطية ، وقد تكون تابعة للزمن،في هذه الحالة تدرس هذه الموائع بصورة أفضل بمعادلات تركيبية محدودة بقيم تنسورات الإجهاد و معدلات الانفعال .

3-6-حلول معادلة نافيير و ستوكس :

(solutions of Navier Stokes equations)

إن وصف الانتقال من الحركة الطبقية إلى الحركة الاضطرابية والتعرف على خواص الأخيرة أو التنبؤ بذلك ليس سهلا أبدا، و كانت الفيزياء قاصرة عن ذلك حتى ظهور الحواسيب فائقة السرعة.إذ لا يمكن حل هذه المعادلة تحليليا في الحالة العامة

،وقد أمكن إيجاد بعض الحلول في حالات خاصة جدا .ومع ذلك اتضح منذ البدء وجود حلول غير مستقرة .



الشكل (1)

و كمثال آخر حول الحلول الممكنة، فقد لاحظ رسل (1808–1882م) (J.S.Russell) عام (1834م) ظاهرة غريبة ،عندما كان يراقب سطح ماء قناة تستعمل لنقل المراكب من مستويات ارتفاع منخفضة في بلدته إلى مستويات عالية فوجد أنه ضمن شروط محددة تنتشر الاضطرابات على سطح الماء بسعة ثابتة دون أن تتخامد على طول القناة و دون أن تتبدد(أي دون أن يتعرّض اتساعها عند المتصف)، وكان هذا مخالفا لما هو معروف في انتشار الاضطرابات و الأمواج وقد سميت الظاهرة سوليتون (soliton) . بقي الأمردون تفسير حتى وجد العالمان دي فريز و كورتفيك (de Vries&Korteweg) حلا لمعادلتهما التي تصف سلوك الأمواج السطحية ،عام (1895م)، له الصفات التي لاحظها رسل كلها ،كانت المعادلة :

$$\partial_t\Phi+\partial^3{}_X\Phi+6\Phi\partial_X\Phi=0$$

حيث Φ تابع ما للموقع x والزمن t ،يلاحظ أن الحد الثالث هو حد لاخطي في هذه المعادلة وهو الذي يعاكس حد التبديد فيعدمه ضمن شروط معينة، مع أن هذه

المعادلة ليست مطابقة لمعادلة نافيير و ستوكس لكن دراسة تأثير الحد اللاخطي هوالمشترك بينهما ، وأحيانا يمكن القيام بتحويلات رياضية للانتقال بين أشكال معادلات مختلفة ظاهريا .

و كان هذا الحل :

$$\Phi(X,t)=C/2[1/COSH^2(\sqrt{C}/2(X-Ct-a)]$$

هو الحل الذي يحمل الخواص التي لاحظها رسل ، وهو أحد الحلول .

3-7- تطورات معاصرة: (recent developments)

عادت الحركة الاضطرابية لتأخذ مكانا مرموقا في جوانب هامة كثيرة إضافة لتحريك السوائل مثل تحريك الهواء (aerodynamics) لحساب القوى المطبقة على أجنحة الطائرات والاندفاعات الزاوية ، والمناخ والتحريك المغنطيسي في البلازما وحتى الفلك وحركة السدم، وآثار ذلك في عملية نقل الطاقة مابين الحركية والحرارية،كما ظهر الاهتمام بالإنسان وما يجري داخله من جريان للدم في الأوعية وجريان الهواء في الرئتين ومحاكاة كل ذلك، وقاد الاهتمام العالمي بالبيئة بدءا من انتشار الملوثات وحتى تحسين مردود محركات الاحتراق كلها للسيارات والطائرات وغيرها [6] . على سبيل المثال ، سيؤدي إنقاص قوة الجرّ على إجنحة الطائرات بقدر 6% إلى توفير قرابة 20% من الوقود ، وكذلك فإن تحسين مزج الوقود مع المؤكسد نتيجة وجود الحركة الاضطرابية في محرك السيارة الذي يحسّن بدوره الاحتراق وبالتالي تحسين المردود والتخلص من نسبة كبيرة من غاز ثنائي أكسيد الكربون .

اقترح ريتشاردسون L.Richardson عام 1922 ضرورة وجود (سلالم) مقاسات (scales) لتحقق الدوامات التي تسبب الحركة الاضطرابية فقال: تمتلك الدوامات الكبيرة دوامات أصغر منها تتغذى من سرعتها ، والدوامات الأصغر تمتلك دوامات أصغر منها ..وهكذا حتى الوصول إلى المستوى الجزيئي الحركي اللزوجي الذي يبدد الطاقة فيقلبها حرارية . لقد أوحت هذه الفكرة اقتراح العديد من النماذج الرياضية التي تعرف بالنماذج الشلالية (cascade models). كما أدّت إلى دخول

الطرائق الإحصائية والفيزياء الإحصائية في دراسة الحركة الاضطرابية . تابع ريتشاردسون اقتراحه بحساب الفروق في حقل السرع ما بين السرعة في نقطتين متجاورتين يمكن التحكم بالبعد بينهما ،R، ليتخلص من الحركات ذات المقاس الكبير ويبقي على حركات سهلة التناول رياضيا.

ثم أتت مساهمة كولموكوروف (Kolmogorov) عام 1941 فكرة العالمية (universality) لدراسة الحركة الاضطرابية مبتدئاً من المقاس الصغير فميز بين "مقاس مدخول الطاقة" و"مقاس التبديد باللزوجة " ، وفي الحالة المستتبة عندما تصبح الحركة الاضطرابية غير تابعة للزمن يكون معدل دخل الطاقة على المقاس الكبير,L, معادلا لمعدل تبدّد الطاقة على المقاس اللزج الصغير، فأوحى بطريقة تربط بين المقاسات. أتبع ذلك بتحليل في الأبعاد فتوصل إلى نتائج أقرب إلى النتائج التجريبية من أي أنموذج آخر.فقد تنبأ بتابع ترابط يعتمد على R فقط مرفوعا إلى قوة أو أس وهذا ما تحققه التجربة ،عند دراسة تخامد هذا التابع مع المسافة . ويعدّ هذا الأس عالميا تتبعه السوائل إذا حققت شروطا محدّدة . تبع ذلك محاولات أخرى لتقصي وسطاء المقاس Lو η وفق طرائق التحليل البعدي فظهرت أعداد أخرى مثل عدد ماخ (نسبة سرعة انتشار الاضطراب إلى سرعة الصوت في الوسط نفسه)(Mach) وعدد براندتل (Prandtl).

إن التخلص من الافتراضات التي تبسط معادلة نافيير و ستوكس بغية الحصول على حلول تحليلية مغلقة ،وبالتالي إيجاد حلول أقرب إلى الواقع، كان عليه أن ينتظرحتى ظهور الحواسيب العملاقة لتتناول حلها على درجات متتالية من التعقيد مما أدى إلى ظهور فرع علمي قائم بذاته يدعى " تحريك الموائع المحوسب " (CFD computational fluid dynamics) وظهور برامج حاسوبية ضخمة (كودات) في السوق . ويقول ريتشارد فاينمان الفيزيائي المشهور حامل جائزة نوبل عن الحركة الاضطرابية ومعالجتها :" إنها أهم مسألة غير محلولة في الفيزياء التقليدية " . وقد بدأ فهم هذه الحركة عن طريق الحوسبة وتحديد سرعة جريان المائع

بجوار جسم صلب والضغط كذلك ،عندما أعطت هذه الحسابات نتائج مقبولة مع نهاية ستينيات القرن العشرين ، وذلك لدى مقارنتها بما تعطيه نتائج أنفاق الرياح الهوائية الاختبارية . وأمكن عام 1980 محاكاة جريان ماء اضطرابي بين صفيحتين متوازيتين جرى تصويرها فعليا ،فكانت نتائج المقارنة جيدة . وكلما زادت سرعة معالجة الحواسيب أمكن تحسين المحاكاة وأمكن محاكاة أجسام أكبر، مثل السفن الفضائية والمحركات النفاثة بجميع تفاصيلها ، التي قد يتغير مقاس الحسابات الحاسوبية والدوامات متضاعفا أكثر من ألف مرة وهنا تكمن الصعوبة وتأثير الحدود اللاخطية. وسنرى في فصل الظواهر اللاخطية و الشواش أحدث ما توصلت له الحواسب الآن من محاكاة لمسائل مختلفة .

3-8- الميكانيك الإحصائي (statistical mechanics) :

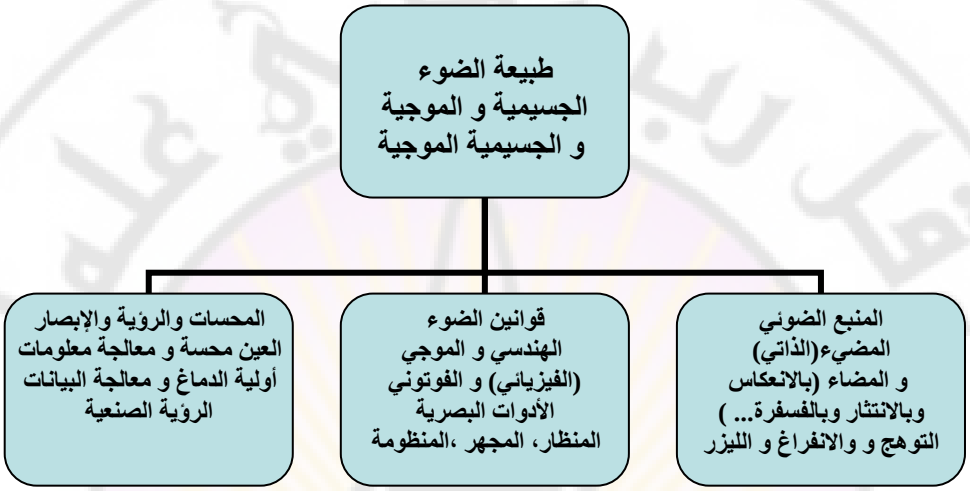
اعتمد نافيير في تقديمه للزوجة على تفاعل القوى الفاعلة بين الذرات والجزيئات ، مع أن المعادلة التي استعملها هي لمتحولات وتوابع مستمرة ، سواء كان حقل السرع أم حقل الضغط . واحتاج حل هذه المعادلات باستعمال الحاسوب إلى تجزئة المسألة فيما يعرف بشبكة الحساب المتقطعة التي تعطي حلولا أفضل كلما صغر التقطيع، وكأن المسألة عادت متقطعة كما في تفاعل الذرات بعضها مع بعض . لكنه على التوازي مع تطوير المعادلة التي تحكم تحريك الموائع عموما نشأ فرع جديد يعتمد وجهة النظر الذرية منطلقا ،وتطبق قوانين نيوتن لأخذ تأثير القوى الفاعلة بين الذرات بالحسبان للتعرف على خواص الحركة لمجموعة الذرات على المقاس الكبير ، ذلك الفرع هو الميكانيك الإحصائي . بدأ هذا الفرع بالنظرية الحركية للغازات التي ساهم في إنشائها مكسويل ،في استنتاجه لقانون توزع السرع للجسيمات عام 1859، وبولتزمان ، في كتابة معادلة تفاضلية –تكاملية لتابع يعطي احتمال وجود مجموعات جزئية من الذرات تقع ضمن مجال مكاني عنصري ومجال عنصري من سرعها ،عام 1872؛ وقد صاغ النظرية الحركية بشكلها الحالي العالمان تشابمان (Chapman) و إنسكوك(Enskog) عام 1916–1917. لقد نجحت النظرية الحركية في الوصول

إلى الخواص التوازنية للغازات ،مثل معادلة الغازات العامة وحساب معامل اللزوجة لها ، كما بدأ التوسع في هذا الفرع ليشمل الجسيمات المتفاعلة بعضها مع بعضها . ثم صياغة القوانين التي تحكم كيفية الانتقال في الحسابات من خواص مجهرية معروفة لمجموعة مكونة من عديد كبير من الجسيمات إلى خواص جهرية قابلة للقياس. وبما أن ذلك يطبق على جمل ترموديناميكية في مجالات عدة سمي الفرع أولا الميكانيك الإحصائي ثم أصبح الفيزياء الإحصائية(statistical physics) [7].

وتجدر الإشارة إلى أن بولتزمان نفسه قد وسع مجال تطبيقه ليشمل جملا غير متوازنة ترموديناميكيا فتحدث عن اللاعكوسية ليأتي جيبس (J.W.Gibbs) عام 1902 ليكمل هذا الطريق بمعادلات تعطي فكرة عن سرعة الانتقال إلى التوازن ،مما أكسب هذا الفرع أهمية إضافية . ووفق المعجم المعتمد هنا ظهر تعبير الميكانيك الإحصائي عام 1909.ثم تفرّع مع ظهور ميكانيك الكم الذي يصف سلوك الذرات بصورة أفضل من الميكانيك النيوتني فأصبح هناك ميكانيك إحصائي تقليدي وميكانيك إحصائي كمومي. وقد تجد ميكانيكاً إحصائياً إلكترودينميكياً.

الفصل الرابع

الضوء (optics)



Damascus University

4-1- قانونا الانعكاس والانكسار: (refraction &reflection laws)

مع أنه لم تفهم طبيعة الضوء إلا متأخرة، فقد بدأت محاولات دراسة انتشاره منذ الإغريق .عرف بطليموس الإسكندراني (Ptolemy of Alexandria) مثلا (174-70ق.م.) ، الانعكاس عن المرايا المستوية والمحدبة و المقعرة ، دون أن يذكر القوانين صراحة . كما عرف الانكسار و قال بتناسب زوايا الورود مع زوايا الانكسار ،بعد أن قاسها بالدرجات .كانت السطوح التي درسها بين الهواء والماء ؛ الهواء والزجاج ؛ الماء و الزجاج. كما تناول الانكسار الجوي والمواقع الظاهرية للنجوم .و جاء ابن صالح (940-1000م) ليتحدث عن المرايا المنحنية و العدسات

المنحنية فاكتشف قانون في الانكسار يشبه قانون سنل الحالي ، ثم جاء الحسن بن الهيثم (Alhacen Ibn al-Haytham) (965–1040م) وتوصل إلى قوانين الانعكاس ،أما بالنسبة للإنكسار فقد وجد أن التناسب يصح فقط من أجل الزوايا الصغيرة ، و تحدث عن تشكل الأخيلة في آلة التصوير البسيطة وذلك في كتابه للضوء النشور عام (1021) . اكتشف كبلر (J.Kepler)(1571–1630) ظاهرة الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة ، وكذلك استخرج صيغة تقريبية لحساب الانزياحات الفلكية الظاهرية نتيجة تأثير الجو. ثم توصّل سنيل (W.Snell) (1591–1626) إلى القانون الصحيح للانكسار وفق الصيغة المعروفة اليوم .

كان كافاليري (Cavalieri) (1598–1647) قد حصل على القانون الصحيح لحساب البعد المحرقي للعدسات بدلالة نصفي قطر انحناء وجهيها فكان ذلك كله نواة لتشكل فرعاً جديداً هو علم الضوء ، وكانت الغاية تعلم تحسين العدسات والمناظير بعد أن ظهر ما نعرفه اليوم تحت اسم الزيوغ الكروية .

4–2– المنظار والأدوات البصرية والبقع الشمسية :

(telescope ,optical-devices& sun- spots)

وعلى صعيد الأدوات فقد عرفت المرايا العاكسة منذ القدم و يروى أن أرخميدس أوصى باستعمالها في أحد الحروب لحرق مراكب العدو . كما عرفت العدسات . واكتشف المنظار بالصدفة على يد الهولندي ليبرهي (Lipperhey) عام (1608) عندما استعمل عدستين ليلاحظ أنهما يقربان البعيد فيشاهد واضحا غيرأنه مقلوب . التقط غاليليه هذه الملاحظة و كوّن أول منظار فلكي عام (1609) وعرضه في فينيسيا لمدة شهر فقط ،ثم صنّع منظاراً آخر عام (1610) باستطاعة أكبر مكّنته من رؤية طريق اللبن مفصلا و أقمار المشتري و البقع الشمسية و رصد أطوار الزهرة وتجدر الملاحظة هنا إلى أن هانشو Hanshu يذكر أن الصينيين قد أشاروا إلى البقع الشمسية في القرن الثامن والعشرين قبل الميلاد، كما يذكر الإشارة إليها في عصر تشارلمان (Charlemagne) عام 1129 ؛إضافة إلى أن الفلكي الإنكليزي

ت.هاريوت (Thomas Hariot) والفلكيين الفريزيين ج.فابريكوس و د.فابريكوس (Johannes&David Fabricius) شاهدوا ذلك عام 1610..

عرف ديكارت (Descartes) العدسات المكافئية و الناقصية عام (1629) . ثم لاحظ نيوتن (1642–1727) عام (1666) تبدّد الألوان في الموشور مثل طيف الضوء الأبيض و باستعمال موشورين لاكتشاف تغير قرينة الانكسار مع تغير اللون لكن محاولاته لتفسير ذلك لم تكن ناجحة . وقد توصّل إلى نتيجة خاطئة تقول بعدم إمكان معالجة ما أصبح يعرف بالزيوغ اللونية ، وقد أعاقت هذه الفكرة و شهرة نيوتن تقدم المناظير الفلكية إذ كانت الزيوغ من المعيقات الرئيسية للوصول إلى مقدرة تكبير أعظم، فقد صنع غريمالدي (Grimaldi) منظارا فلكيا محسنا بالمقارنة مع منظار غاليليه عام (1665) ولم يتابع تطويره . و استطاع هول (1730) (Hall) صناعة عدسات مركبة لا لونية و أعيد اكتشاف صناعة مثل هذه العدسات على يد دولاند (Dolland) عام (1757).

بدأت ظواهر جديدة تظهر على يد هويغنز (Hugens) (1629–1695) و هوك (R.Hook)(1635–1703) مثل التداخل و ظهور الألوان في الأغشية الرقيقة والانعراج عند الحروف الحادة فلم يكن تفسيرها ممكنا إلا بفرض أن للضوء طبيعة موجية .

4 3 –طبيعة الضوء (nature of light):

كان لا بدّ عند هذه المرحلة من التوقف و السؤال عن طبيعة الضوء القادرة على شرح القوانين و الظواهر المتوافرة حتى حينه. كان نيوتن أول من تصدى لهذا الأمر فنقل معرفته بحركة الجسيمات و قال إن الضوء مكون من جسيمات رهيفة جدا تسير بسرع عالية تختلف سرعها باختلاف الوسط الذي تنتشر فيه ، وتمكن بفرضيات صعبة شرح قانوني الانعكاس و الانكسار مع أنه واجه صعوبة في شرح الانكسار لدى مقارنة ما يحدث للصوت مع ما يحدث للضوء .ففي حين تزداد سرعة الصوت في الأوساط الكثيفة فقد احتاج إلى افتراض العكس بالنسبة للضوء .لقد عرفت هذه بالنظرية الجسيمية للضوء . وعلى الرغم من ظهور ظواهر جديدة لا تفسرها هذه

النظرية ،بينما تفسرها النظرية الموجية التي اقترحاها هويغنز و هوك ،بقيت نظرية نيوتن هي السائدة حتى حسمت تجربة شقا يانغ (1801) (Young-1773-1829) المسألة لصالح الطبيعة الموجية .

تعدّ هذه المسألة مثالا آ خر ، بعد مثال مركزية الأرض لأرسطو و مركزية الشمس في المنظومة الشمسية التي قال بها أرستاركوس (310-30 ق.م.))Aristarchus)
المغمور ، لتبين الأثر السيء أحيانا للسلطة العلمية السائدة .
ومن الملاحظات الأخرى ، في هذه المرحلة ، مسألة عدم التواصل الذي يؤدي غالبا إلى انقضاء مدة زمنية حتى تكتشف الظاهرة مرة ثانية ،مثل اكتشاف العدسات اللالونية و ما قام به فرينل (Fresnel)(1788-1827)عندما أعاد اكتشاف التداخل عام (1818) وفسرها رياضيا ثم اختبرها عن طريق مرآتين تعرفان باسمه (1819).

أضيف ، بعد ذلك ،إلى هذه الظواهر الجديدة ظاهرة الاستقطاب التي لوحظت أول ما لوحظت دون تفسير عام (1669) ، و أعيد اكتشافها على يد أراغو (Arago)عام (1811)في مادة الكوارتز وفي الاستقطاب بالانتثار، و في السوائل على يد بيو (Bio) عام (1815) . هنا تواصل أراغو مع يانغ وأيده فقالا بالانتشار العرضي للضوء أي أن الضوء موجة عرضانية .

بقي الأمر مريحا لمدة ، فكانت النظرية الموجية للضوء قادرة على شرح جميع الظواهر المعروفة حتى اكتشف الأثر الكهرضوئي (1887) الذي لم تستطع تفسيره ،مما جعل الباحثون(1924) يقولون بالمثنوية الجسيمية – الموجية ليس فقط للضوء كما سنرى ، وإنما لجميع المنظومات و المواد . و سنأتي على ذكر ذلك بعد أن نتحدث عن تاريخ محاولة قياس سرعة الضوء الذي يناقش أيضا الحاجة إلى وجود وسط من عدمه .

4-4- سرعة الضوء (speed of light) :

كان يعتقد الإغريق في غالبيتهم أن سرعةالضوء لا نهائية ،أي أنه ينتشر بصورة آنية و هذه هي وجهة نظر أرسطو، غير أن أمبيدوكيليس (484–424ق.م.) و المشاهدات الفلكية عند العرب (ابن الهيثم) لحظت السرعة المحدودة له لكنهم لم يستطيعوا تحديدها بدقة. كانت تقديرات رومر (1644–1710) عام 1680 أولى المحاولات لقياس سرعة الضوء عن طريق قياس ظهور و اختفاء أقمار المشتري . تبعه فيزو (1819–1896) إذ قاس سرعة الضوء تجريبيا على الأرض باستعمال مرآة دوارة . كما تمكّن فوكو (Foucault) عام (1850) من استعمال هذه الطريقة لقياس سرعة الضوء في الماء فكان ذلك آخر مسمار يدق في نعش النظرية الجسيمية ،إذ بين أن سرعة الضوء في الماء أقل من سرعته في الهواء.لقد كانت القيم المقيسة قريبة جدا من القيم الحالية و لا تبتعد عنها بأكثر من 1–2 % .

4–5– وسط الانتشار والأثير: (light propagation medium & ether)

مع أن الاتفاق على الطبيعة الموجية للضوء قد تم ،إلا أن الوسيط المتموج لم يعرف حتى أتى مكسويل عبر محاولته توحيد قوانين الكهرباء والمغنطيسية المعروفة عندئذ .فقد تبين أن للمغناطيس المتحرك أثراً كهربائياً يولد قوة محركة كهربائية وأنه يوجد أثر مغنطيسي للتيار الكهربائي ، فتوصل إلى حل لمعادلاته على شكل موجي ينتشر فيه الحقل الكهربائي والحقل المغنطيسي بسرعة تقارب سرعة انتشار الضوء اعتمادا على نفوذية الهواء المغنطيسية وثابتة عازليته، فقال إن الضوء ليس إلا موجة كهربائية مغنطيسية أي كهرطيسية . لم يلبث هرتز(1887Hertz-) أن تحقق من ذلك عبر إصدار ضوء على شكل شرارة قريبة من الضوء البنفسجي من ملف و استقباله بملف آخر يعطي أيضا شرارة تتعلق زمنيا بالأولى .ولما تحقق لهم ذلك طرحت مسألة الحاجة إلى وسط كي ينتشر الضوء فيه قياسا بأمواج المرونة و الصوت ، إذ قال مكسويل في البداية بوجوده ثم تخلى عن ضرورة وجوده . سمي هذا الوسط بالأثير ،غير أن الخواص التي يجب أن يمتلكها كانت متناقضة ،إذ يجب أن يملأ الفضاء و الأرض دون أن نشعر بوجوده على صعيد الاحتكاك و

المرونة ، فانطلق البحث عنه من خلال تجربة ميكلسون و مورلي (Michelson and Morley–1887) في التداخل التي تعتمد حركة الأرض في مدارها حول الشمس(تعدّ سرعة الأرض في مدارها من السرع العالية عندئذ) وسرعتها النسبية بالنسبة للوسط المفترض(الأثير) و ضرورة انزياح أهداب التداخل عند الانتقال من الصيف إلى الشتاء مثلا ،اعتمادا على مبدأ تركيب السرع ،لكنه لم يحدث أي انزياح مع مقدرة الجهاز على كشف انزياحات تقابل واحد من مئة مما نتوقعه . بذلك تأكد عدم وجود مثل هذا الوسط وأن لا حاجة لافتراضه أصلا .وقد أدّى مفهوم الحقول (الكهربائية و المغنطيسية) دورا مهما في هذا مما أعطاه ميزة على مفهوم القوة .
علما أنه تمت محاولة تفسير إخفاق تجربة ميكلسون ومورلي في الكشف عن الأثير بأساليب مختلفة مثل تقلص الأطوال باتجاه الحركة و انجرار الأثير مع الأرض و غيرها إلا أن كل المحاولات لم تكن مقنعة لسبب أو لآخر . كان التوجه، بعد أن عرفت طبيعة الضوء الكهرطيسية ، إلى دراسة تأثير هذه الحقول على مصدرات الضوء(المنابع الضوئية) وعلى أوساط انتشاره مع وجود هذه الحقول.

4–6– المنابع الضوئية وأطيافها : (light sources & spectra)

إن أقدم المنابع التي عرفها الإنسان هي النار أي المنابع الحرارية نتيجة التسخين حتى التوهج أو الاحتراق . كما عرف الإنسان قديما البرق لكنه لم يعرف توليده حتى تم اكتشاف حادثة الانفراغ الكهربائي عبرالشرارة أوالوميض .
و بعدها عرف أصل الفلورة والفسفرة سواء الحرارية أم الكهربائية أم الضوئية (أي استعمال ضوء بطول موجة معينة لتوليد ضوء بطول موجة آخر) .
في الواقع بدأ الوصف الدقيق للمنابع الضوئية مع اكتشاف نيوتن، عام(1666) ، فقال إن ضوء الشمس ضوء مركب، قام بتحليله إلى ما عرف بمركباته أو طيفه . تلا ذلك ظهور الزيوغ اللونية في العدسات و محاولة التخلص منها ،كما ذكرنا . وكان ذلك بداية لما يسمى اليوم علم الأطياف أو التحليل الطيفي على يد كيرشوف و بنزن (Kirschof&Bensen) عام (1859) إذ عرفا أن طيف عنصر كيميائي معين هو

بمثابة بصمة له تمكننا من الكشف عن وجوده، إضافة إلى تحديد كميته بمعايرة هذه الأطياف. كانت أطياف الانفراغ للغازات بدءا من الهدروجين من أوائل الأطياف التي درست فوجدت أنها رفيعة خلافا لضوء الشمس الذي كان شبه مستمر تتخلله خطوط سوداء رفيعة (عزيت فيما بعد لامتصاص الهدروجين والغازات الأخرى الموجودة في جو الشمس) ، وبالتالي يمكن مقارنة خطوط الغازات المختلفة التي وجدت أنها مميزة لكل منها ، فبدأت دراسة العلاقات بين أطوال موجات هذه الخطوط الطيفية .اكتشف ليفسنج و ديوار عام (1880) أولا وجود خطوط ثنائية وثلاثية الفرق بين أطوالها الموجية يتكرر نفسه في الطيف نفسه ، ثم وجد هارتلي عام(1883) ،أن من الأفضل اعتماد التواترأوالعدد الموجي لوصفها ، أدى ذلك إلى إنقاص عدد الخطوط التي نبحث عن علاقة بينها. فاكتشفت علاقة بالمر أو سلسلة بالمر عام (1885) $\lambda=B\{n^2/(n^2-4)\}$ ثم علاقة رايدبرغ (Rydberg 1890) $\nu=\nu_m-\nu_{-8}$ $R/[m+\mu]^2$ ،تبعه قانون شوستر –رايدبرغ (1896) مبينا العلاقة بين السلاسل الطيفية التي زاد عددها مع الاكتشافات الجديدة و الغازات المختلفة والتي لها الشكل العام التالي: $\nu_p=\{R/[P+m]^2\}-\{R/[S^2+1]\}$. كما تراكمت البيانات حول الفرق بين أطياف الشرارة و القوس وعرف أن الأولى تصدرعن الأيونات والثانية تصدرعن الذرات المحايدة كهربائيا ، وبدأت البنية الذرية للمادة تأخذ مكانها في التفسيرات و كذلك النظرية الكمومية فتقدم بوهر (Bohr) بنظريته عن بنية الذرة نفسها،عام (1913)، لتفسير السلاسل الطيفية معتمدا نموذج رذرفورد للذرة ،ووجد تفسيرا لها مبتدئا بطيف الهدروجين فتحددت R بدلالة ثابت بلانك وشحنة الإلكترون و نصف قطر بوهر ،تبعته النجاحات والتعديلات الأخرى لبقية الغازات . و ظهرت،خلال هذه المدة الزمنية ، العلاقة واضحة بين أطياف الامتصاص و أطياف الإصدار سواء للغازات أم للمواد السائلة . وتم التوصل أيضا إلى قانون إصدار (إشعاع) الجسم الأسود(1900) .

4 7 –تفاعل الضوء مع المادة: (interaction of light with matter)

كانت الأبحاث في مجالات أخرى تتلاقى لتؤكّد أو تنفي بعض التفسيرات لظواهر عديدة ، وتفاعل الضوء مع المادة هو مجال أثّر في فهمنا لكثير منها . بدأت أولا ظاهرة تغير لون بروم الفضة عند تعرضه للضوء عام (1826) على يد بالارد (Palard) ، ثم ظاهرة تغير الناقلية الكهربائية للسيلينيوم عليد كنوكس (Knox) عند تعرضه للضوء عام (1837)وأظهرت بعض المواد الأخرى هذه الخاصة أيضا ،غير أن ظاهرة الأثر الكهرضوئي (1887) التي اكتشفها هرتز مصادفة ،هي أكثر الظواهر لفتا للانتباه و الدراسة ،إذ لاحظ ظهور شحنة كهربائية مرافقة لسقوط الضوء عند الاستقبال في تجربته الشهيرة .أتى هولوفيتش ليحدد بعده أن سبب ذلك هو صدور إلكترونات عند تعريض بعض المواد للضوء (1888) .وفي عام (1890) تمكّن استولتا من الحصول على تيار كهرضوئي مستمر ،فدرس تأثير الطول الموجي على إصدار الإلكترونات وعلاقة شدة التيار بشدة الضوء اللذين احتاجا إلى تفسير أينشتاين،عام 1905، مقترحا أن تبادل الطاقة بين الضوء والمادة يتم على شكل كمّات سمي الواحدة منها فوتونا ، وبين ترابط الشدة بعدد الفوتونات بينما الفوتون مرتبط بتواتر الضوء فقط وفي الوقت نفسه فسّرت هذه الفكرة طيف إشعاع الجسم الأسود الذي كان اقترحه بلانك.. أتت النظرية الكمومية ، فكانت بداية دراسة معمقة لهذا التفاعل أدت– من بين أشياء عديدة – إلى ظهور النظرية الكمومية للضوء و تحديد الكمونات الكهربائية للمعادن و كمونات التأيين(تابع العمل وطاقة التأيين) . ثم فسرت ظاهرة تغير الناقلية الكهربائية في بروم الفضة و مواد أخرى غير معدنية ، فكان الكلام عن أثر كهرضوئي داخلياً أو ذاتياً في أنصاف النواقل .كما فسّرت ظاهرتا الفسفرة والفلورة من خلال فهم ، على مستوى الذرة ، لحوادث الامتصاص والإصدار وإعادة الإصدار الذي قدمه اللورد رايلي (Lord Rayleigh) عام (1916م) ، إضافة إلى تفسيره ظاهرة الانتثار.التي نال عليها جائزة نوبل لعام (1904م) .

من جهة أخرى ، برز مع معرفة أن الضوء موجة كهرطيسية ومعرفة طرائق صدوره ،السؤال عن تأثير كل من الحقول الكهربائية و المغنطيسية في الضوء وعلى الأوساط المصدرة له،فكانت النتيجة جملة آثار وأدوات كثيرة تستفيد من هذه الآثار . كان دوران مستوي الاستقطاب ،مع أنه لم يكن يعرف ما الشيء الذي يستقطب ،عند مرور الضوء في السوائل أولى الآثار (بيو 1819م)ثم في المواد الصلبة (فاراداي 1845م) فاكتشف دوران هذا المستوي أثر تطبيق حقل مغنطيسي ،واكتشف كيرّ (Kerr) (1875 م) تأثير الحقل الكهربائي المقابل . في حين اكتشف أثر زيمان (Zeeman) في الخطوط الطيفية عند إخضاع الوسط إلى حقل مغنطيسي عام (1895م) ، أتى التفسير نتيجة أبحاث شترن و غيرلاخ (Stern –Gerlach) عام (1923م) والقول بامتلاك الإلكترون لسبين (spin).أما تأثير الحقل الكهربائي المقابل فقد تأخر اكتشافه حتى عام (1913م) على يد شتارك (Stark) وأتى تفسيره مع تطوير نظرية الاضطراب في ميكانيك الكم .وقد قادت هذه الظاهرة والظواهر الأخرى إلى نشوء فرع جديد يدرس و يستفيد من هذه الظواهر لصناعة أدوات كهربائية – بصرية له هذا الاسم أيضا (electo-optic) عام (1891م) و آخر مغنطيسي– بصري (magneto-optic) عام (1881م).

4 8 –تفاعل الفوتونات و الذرات : (interaction of photons with atoms)

إن ظهور الفوتون (1922م) والقبول بالمثنوية الجسيمية – الموجية (دي بروي de Broglie) أدى إلى الحديث عن البصريات(أو الضوئيات) الكمومية (quantum optics) الذي يهتم بدراسة التفاعل بين الذرات و الفوتونات(الضوء في مظهره الجسيمي) . ومع أن الإصدار المحثوث قد تحدث عنه آينشتاين مع بداية القرن العشرين إلا أن التأكيد عليه و الاستفادة منه قد تأخر حتى عام (1953م) مع ظهور أثره التضخيمي عند إعداد الجزيئات مسبقا إعدادا مناسبا، فكان الميزر في مجال الأمواج المكروية ،ثم ما يقابله في حالة الذرات فكان الليزر في المجال المرئي عام (1960م). وقد استعمل كلاهما لعزل الذرات أو ما يعرف بمصائد

الذرات الضوئية بدءا بمصائد الذرات المؤينة (مصيدة باول ؛ Paul1975م) المعتمدة على التفاعل مع الحقل الكهربائي و حتى المصيدة الليزرية المعتمدة على تأثير دوبلر (1985 م) أو تفاعل الموجة مع ثنائي القطب .

لقد بدأ، مع بداية ستينيات القرن الماضي ،فرع جديد باسم الفوتونيات (photonics) ثم تطور كثيرا بعد الحديث عن المصائد و الملاقط الليزرية للذرات ثم التبريد بالليزر في ثمانينيات القرن الماضي مؤديا إلى الحديث عن اختبار ميكانيك الكم على صعيد تفاعل ذرة واحدة مع فوتون واحد (بدءا من كمبل 1977م وحتى الآن) . وكما رافق مثنوية الفوتون هذا التطور تم الحديث عن تعاضد البصريات والإلكترونات (الاستفادة من الخاصة الموجية للإكترونات) و يجري الحديث الآن عن البصريات الذرية (الاستفادة من الخاصة الموجية للذرات ، مع أن هذا يتطلب درجات حرارة منخفضة جدا) .

من المفيد الحديث عما قاد دي بروي إلى فكرة المثنوية ،فقد قالها معتمدا على وجهة نظر فلسفية يونانية ،وبدأ القول إن الطبيعة تحب التناظر ،لذلك لا بد أن يقوم التناظر بين الكيان المادي و كيان الطاقة .و حيث إن الطاقة التي يشعها الجسم موجية و/أو جسيمية فلا بد أن يكون للمادة الخاصة الموجية و/أوالجسيمية . ويمكن قول ذلك بصورة مشابهة فيما يتعلق بمبدأ هايزنبرغ ،فهو مستمد من الشبه بين محاولة تركيز طاقة صادرة بأطوال موجية مختلفة ، من وجهة نظر موجية على مدى طول موجي واحد الذي لايمكن تحقيقه إلا ضمن عرض أصغري لا يمكن تجاوزه .

---

4 9 -الرؤية و الإبصار (seeing &vision) :

سأستعمل هذين المصطلحين ليشيرا ،على التوالي ، إلى تحسس العين بوجود جسم أمامها ، متحرك أوساكن دون معرفته وتفاصيله فنراه seeing ، ثم من خلال

معالجة الإشارة المرسلة إلى الدماغ نبصره vision ، ونتعرّف عليه بتفاصيله أي ندركه عبر مقارنته مع ما هو مختزن في ذاكرتنا .

لقد استغرق فهم كيفية رؤية الأجسام بالعين وآليتها مدة زمنية كبيرة .إذ بدأ الإغريق بقولهم إن العين ترسل مستشعرات (ما يشبه قرون الاستشعار لحاسة اللمس) نحو الجسم فتراه ، أو أن العين ترسل جسيمات فترى الجسم ،وهذه وجهة نظر أرسطو التي سادت، مع أن بعضهم قال بإرسال العين جسيمات باتجاه الجسم ترتد عنه فتراه (نظرية التيارين) ،وهذه وجهة نظر أمبيدوكيليس (484–424ق.م.) . بقيت فكرة إرسال العين للجسيمات سائدة حتى عصر ابن الهيثم (1000م) الذي برهن أن الرؤية تتم بتحسس العين لجسيمات يرسلها الجسم المضيء ،وهي الصحيحة .وقال أيضا إن العين هي منظومة بصرية متكاملة مؤلفة من سطوح منحنية كاسرة متتالية فكتب عن تشريح العين المعروفة اليوم . لكنه لم يتحدث عن رؤية الألوان . و مع أن الرؤية ثلاثية الألوان قد عرفت منذ (1807) نتيجة ملاحظة بعض المصابين بعمى الألوان ،إلا أن تفسيرها كنتيجة لوجود خلايا متنوعة(مخاريط و عصيات) وأصبغة فيها ، منها ما يكون أكثر حساسية لشدة الضوء من بعضهم الآخر ومنها ما تختلف قمة حساسيته باختلاف اللون، تأخرت حتى عام(1958م). إذ تذهب الإشارات الصادرة عن منظومة هذه الخلايا ،بعد معالجة أولية عند الشبكية و المشابك العصبية ،و تعد الشبكية حسب تطور نموها جزءا من الدماغ البصري ، إلى المخ الذي يقوم بترجمتها . أدت مثل هذه الدراسات على الأعصاب والرؤية، وعمل الأعضاء الأخرى من جسم الإنسان إلى نشوء فرع الفيزياء الحيوية تبعها فرع آخر يقوم بتقليد أعمالها ووظائفها فظهر مثلا الإنسان الآلي الذي "يرى" وظهرت المحسّات الضوئية الخلوية (cellular optical detectors) مثل آلة تصوير ترافق الشحنة الكهربائية (-charge coupled device -CCD) والبصريات التكيفية (adaptive optics) التي تستطيع إزاحة عناصرها البصرية المتعددة لتغير من البعد المحرقي لعدسة مثلا أو من نوع سطوحها المنحنية ، مع ما

تحتاجه من برمجيات و حواسب لمعالجة المعلومات. إن الكثير من التطورات المذكورة كانت لتلبية فروع أخرى من العلوم مثل الطب و الفلك .

4 10- انتثار الضوء(light scattering):

يعدّ الانتثار الجوي أولى ظواهر الانتثار المعروفة تاريخيا بسبب تأثيره في رصد النجوم ووضوحها، وكذلك لتفسير زرقة السماء والشفق عند الشروق وعند الغروب كان اللورد رايلي (John William Strutt- Lord Rayleigh) من أعطى تفسيرا صحيحا لزرقة السماء ، فدرس انتثارالضوء عن كرة متجانسة متناحية ينسب نصف قطرها إلى طول موجة الضوء فحصل على تناسب عكسي بين المقطع العرضي للانتثار وطول موجة الضوء المنتثر مرفوعا إلى الدرجة الرابعة ، وبالتالي فسيختلف شدة انتثار الضوء المركب وسيهيمن على الضوء المنتثر مجالا على مجالات أخرى ،وكذلك تحدّث عن استقطابية الضوء المنتثر انطلاقا من استقطابية الجزيئة جاء لورنز(Ludvig Valentin Lorenz) فعممها دون التقريب الذي استعمله رايلي،(صغر نصف القطر بالمقارنة مع الطول الموجي)عام 1890لكنه نشرها بالدانمركية .أعاد ج.ماي (Gustav Mie) التعميم بصورة مستقلة عام 1908 لذلك تعرف أحيانا بنظرية لورنز–ماي . وأصبحت تستعمل في تفسير معظم الظواهر الجوية ،بما فيها التلوث بمخلفات المصانع وانتثار الضوء في المحاليل الكيميائية المختلفة .

ومع ظهور ميكانيك الكم درس ل.بريلوين (Leon Brillouin 1889-1969) الانتثار على أنه تفاعل فوتون مع فونون (أو بصورة عامة فوتون مع أشباه جسيمات) وتوصل إلى علاقة تغير الشدة المنتثرة مع خواص الفوتونات . وهنا أيضا ، قام ل.ماندلستام (Leonid Mandelstam) بعد أربع سنوات بالعمل نفسه وبصورة مستقلة ،فأصبح يعرف بانتثار بريلوين–ماندلستام . (BMS). وفي عام 1964 اكتشف تشاو (Chiao) أثرالانتثار المحرض ، عندما يتوافق طول الموجة المنتثرة مع أحد الانتقالات الطاقية وذلك باستخدام الليزر .

ويعد انتثار رامان مشابها لانتثار بريلوين نظريا ، فكان الأول مرتبطا تاريخيا بالكشف عن الاهتزازات الجزيئية والفونونات الضوئية بينما كان الثاني يتعامل مع الفونونات الصوتية . أما في الوقت الحاضر فإن الاختلاف في اختلاف التقنيات المستعملة بما فيها الكشف عن الانتثار ومجال التواترات المفيد لكل منهما.

ومع تطور التقانات والكواشف السريعة أصبح بالإمكان التحري عن اختلافات الشدة المنتثرة وما تحمله من معلومات عن الجزيئات المتحركة فاستعمل الانتثار الضوئي التحريكي، وسمي السابق الانتثار السكوني.

الفصل الخامس

الكهرباء و المغنطيسية

(electricity and magnetism)

Damascus University

الكهرباء
الساكنة
والمتحركة
والتيار الكهربائي
الإشعاعات
الغماوية والسينية
والضوئية المرئية
وغير المرئية تحت
الأحمر فوق البنفسجي
الكهرطيسية
التحريك لكهربائي
النسبوي و الكمومي
المغنطيسية
الطبيعية والصنعية
ثم علاقتها بالتيار
الكهربائي وببنية
الذرة

الكهرباء والمغنطيسية

5-1- الكهرباء الساكنة (electrostatics) :

عرفت الكهرباء التي ندعوها اليوم الساكنة انطلاقا من جذب الكهرمان المدلوك لأشياء خفيفة مثل قطع الورق أو الشعر . فقد ظهر وصف الظاهرة عند طالس المالتوسي (547-604 ق.م.) فتحدث عن تجاذب بينها ، وكذلك تحدث عن

تجاذبات مماثلة بين قطع فلزية محددة (مغانط) . و ظهرت الكلمة بمعناها اليوم (1664) على يد جراي (Gray) (1670–1736م) الذي ميّز المواد الناقلة للكهرباء عن المواد العازلة لدى ملاحظة الظاهرة عند تقريب جسمين من بعضهما حتى التلامس أو وصلها بالأرض . ثُم تحدث دوفاي (Du Fay)(1698– 1739م) عن نظرية السائلين في الكهرباء،تبعه هوكسبي (Hawksbee) باستعمال وتصنيع المكشاف الكهربائي (1705م) ذي الورقتين المعدنيتين ؛ و إناء ليدن(ayden) (1745م) الذي هو عبارة عن إناء زجاجي مبطّن من الداخل بناقل للحماية من التأثيرات الكهربائية الخارجية . أتى فرانكلين (B.Franklin) (1706– 1790م) ليتحدث عن النار الكهربائية و الشحنات الكهربائية الموجبة و السالبة و نظرية السائل الواحد في الكهرباء ممهدا لانحفاظ كمية الكهرباء ، كما اكتشف حدوث الشرارة و الشبه بينها وبين البرق في الطبيعة ،وكذلك خاصة التأيين للرؤوس المؤنفة فاقترح ما يعرف اليوم بقضيب الصواعق أو مانع الصواعق .

ثم جاء كافانديش بعده(Cavendish) (1731–1810م) و قام بدراسات كمية لأول مرة مستفيدا من جميع من سبقه بخصوص وجود نوعين من الشحنات و من الميكانيك بنواس الفتل فصاغ قانون التربيع العكسي و قاس السعة الكهربائية لبعض أنواع المكثفات الكهربائية و توقع قانون أوم للتيار الكهربائي ، لكن معظم هذه الأعمال لم تر النور في زمانه و انتظرت حتى جاء مكسويل و أشرف على نشرها قرابة عام 1870 .لذلك يعرف قانون التربيع العكسي بقانون كولومب (C.A.Coulomb(1736–1808م) الذي نشر سبع نشرات علمية بهذا الخصوص على عكس كافنديش الذي لا يؤمن بالنشر .

من المرجح أن عزوف كافاندش عن النشر سببه خلاف مع القائمين على النشر عندئذ و سلطتهم العلمية ،مما يؤكد بطلان مبدأ اتباع "السلطة العلمية " اتباعا أعمى و وجوب اتباع التجربة والمشاهدة وعرضها مهما كانت شهرة الطرف الآخر .

كما قال كولومب باستقلالية السعة الكهربائية عن مادة المكثفة ، تلى ذلك أعمال رياضية للوصول إلى نظرية تمثل سلوك ظواهر الكهرباء الساكنة أو الراكدة قام بها لابلاس(P.S.Laplace) و بواسون (Poisson)و غرين(Green) فأوجدوا خواص قانون التربيع العكسي بصورة عامة و التحويلات بين التكاملات السطحية و الحجمية و غيرها .

5-2- المغنطيسية الساكنة (magnetostatics):

في غضون هذه المدة تطور فهم المغنطيسية أيضا ، إذ ألّف جيلبرت (Gilbert) الطبيب الإنكليزي قرابة عام (1600م) كتابا في المغنطيسية وتحدث عن مغنطيسية الأرض وعن إمكان مغنطة بعض المواد . تبعه كيرشر (Kircher) ((1601-1680م) فاستنتج تساوي قوتي القطبين بعد أن استخلص خواص المغانط المختلفة ، ثم قاس كابو (Cabu) (1650-1785م) تأثر إبرة مغنطيسية بالحقل الأرضي من حيث الجهة ، بوضعه إبرة تطفو على سطح ماء ، ثم لاحظ هيلبرت ميل الحقل المغنطيسي الأرضي عن الأفق . نشر كولومب بعد ذلك قياساته المجراة على المغانط فاستنتج قانون تربيع عكسي مشابه لما وجده في الكهرباء الساكنة واشترط أن يبعد تأثير أحد القطبين عن الآخر،فاستعمل لذلك مغنطيساً مستقيماً رفيعاً و طويلاً .

5-3- الكهرباء المتحركة والتيار الكهربائي:

(moving charges and electric current)

أتى القول بوجود تيار كهربائي على يد عالم حيوان هو غلفاني(Galvani) عام (1786 م) في تجربته على الضفدع والتقلص العضلي الناتج عن مرور التيار فبدأ الحديث عما عرف بكهرباء الحيوانات .

في عام(1800 م) مهدت أعمال فولتا (Volta) واكتشافاته بخصوص كمونات الأجسام الناقلة و كمونات التماس وتصنيفها إلى ظهور البيل والمدخرة إضافة إلى ظاهرة التحليل الكهربائي و تحليل الماء و الأثر الحراري للتيار .

5-4-التقاء الكهرباء و المغنطيسية:

تبعه أورستد (1820) (Orsted) ليكتشف الأثر المتبادل بين التيار والمغنطيسية ، إذ لاحظ انحراف إبرة مغنطيسية عند مرور تيار في سلك ، وأكمل بيو(Bio) وسافار(Savart) ذلك باستخلاص علاقة الحقل المغنطيسي ، الناتج عن مرور تيار في سلك مستقيم ، مع البعد عن السلك والجهة بالنسبة له و شدة التيار وتنسب هذه العلاقة خطأ لأمبير . قام أمبير (Ampere)(1775-1830م) بدوره بتحديد الحقل المغنطيسي الناتج عن مرور تيار في دائرة كهربائية مغلقة وشبّهها بالمغنطيس ثم اقترح أصل المغنطيسية واحتمال أن تكون ناتجة عن مثل هذه التيارات . تساءل بعد ذلك عن الأثر العكسي :ما تأثير الحقل على التيار . فتابع التقاء المغنطيسية مع الكهرباء من خلال الأثرالمتبادل، فوضع فاراداي(Faraday) مبدأ المحرك الكهربائي عام (1821م) اعتمادا على عكس تجربة أورستد ومقلدا لتجربة غير ناجحة قام بها و ولاستون (Wollaston) و متابعا لها فتوصل عام (1831 م) إلى صناعة الدينامو(المحرك المولد للكهرباء) مكتشفا التحريض الكهربائي المغنطيسي على أسس فيزيائية دون استعمال الرياضيات (خلافا لمكسويل ونيومن كما سنرى) . ثم ابتدع فكرة خطوط القوة ليشير إلى جهة القوة وشدتها ، رافقه في هذا الابتداع نيومن (Neumann) بدعم رياضي (1848م) كما وجد دعما تجريبيا آخر بخصوص المحركات الكهربائية من جوزيف هنري (Henry) (1799-1878م) . واكتشف أيضا قانون التحليل الكهربائي الكيميائي الذي يحمل اسمه ،إضافة ما ذكر في عمله على الفعالية الضوئية .

5-5- الكهرطيسية(electromagnetism) :

توّج مكسويل (1831–1879م) (Maxwell) هذه التجارب كلها فقام بجمعها في صيغة واحدة أولا بدلالة خطوط القوة التي اقترحها فاراداي (1862م) فرأى ضرورة وجود حقل إضافي هو حقل الانزياح D ، مع الحاجة لوجود وسط ينقل الآثار قياسا على انتقال آثار المجال المرن ،ثم أتبعها بصيغة يستعمل فيها الحقول الكهربائية و المغنطيسية دون الحاجة لا فتراض وسط يقوم بنقل الآثار وأخيرا جاء أوليفر هيفيسايد (O.Heavyside) وويلارد جيبس (W.Gibbs) (1884م) فصاغاها شعاعيا في معادلات التي نعرفها اليوم معادلات مكسويل . وكما ذكرنا ، استخلص منها إمكان انتشار الحقلين على شكل موجات ومن تساوي سرعة انتشارها، المحدد بنسبة وحدة الشحنة المغنطيسية إلى وحدة الشحنة الكهربائية ، مع سرعة انتشار الضوء اقترح أن يكون الضوء موجة كهرطيسية ، فتحددت طبيعة الضوء .ثم عمل هرتز(Hertz) و هلمهولتز(Helmoheltz) (1887م) على التحقق من تنبؤات مكسويل تجريبيا من حيث الإرسال والاستقبال مستعملا وشائع و ملفات مناسبة ، أما الكشف فعن طريق حدوث شرارة أو ضوء وكذلك تحققا من وجود تيار الانزياح .أما لورنتس (Lorentz) فساهم في تطوير النظرية من خلال تحويلاته المعروفة بين الجمل العطالية .

5–6– الشحنة العنصرية في الكهرباء(الإلكترون):

(elementary charge in electricity ;electron)

بدأ الحديث عن ضرورة وجود جسيمات تتبادل الطاقة مع الضوء بصورة تجاوبية لتفسير انتشاره و امتصاصه ثم إصداره على يد لورنتس عام (1880م)، ثم عن طريق نتائج التحليل الكيميائي بالترسيب ، إذ أصبحت عندئذ فكرة الجزيئة الغرامية للمواد المختلفة مقبولة فعرّف الإلكترون منذئذ بأنه حاصل قسمة ثابت فاراداي بعدد أفوكادرو عام (1891م)،أي$N_0/F=e$ ، و أخذ اسمه . كما درست بالتفصيل ظاهرة الانفراغ في الغازات فتبين وجود أشعة مهبطية و أخري مصعدية يمكن حرفها تحت تأثير حقل كهربائي أو حقل مغنطيسي و محرقتها ،فاستطاع

بيرّان(F.Perrin) (1895م) تجميعها في حجرة منفصلة موصولة بكاشف كهربائي فحدّد إشارة شحنتها . ثم قام تومسون (J.J.Thomson) عام (1897م) بتجاربه المشهورة عليها ، في حجرة مفرغة و شاشة فسفورية، فتمكن من قياس نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته e/m . توطدت بذلك فكرة الشحنة العنصرية التي لا تتجزأ بخاصة بعد أن قام ميليكان (1909م) بقياسها منفردة وبمضاعفاتها . سبق ذلك اكتشاف الأثر الكهرضوئي الذي لاحظه أول مرة ،دون أن يفسره غوتري (F.Gutrie)عام (1873م) و أديسون (Edison) (1883م) ،ثم فسّره أينشتاين بعد اقتراح التكميم من قبل بلانك (Planck)(1905م) .وقد أتى دعم آخر لذلك نتيجة اكتشاف الإصدار الحراري الأيوني (1880م) فدرس توزع سرع الشحنات الصادرة و علاقتها بدرجة الحرارة ، واستخدم فلمنغ (Flemming)(1904م) خواصها مباشرة في تصنيع صمام الديود الحراري ثم أضاف له فورست (Forest)إلكترودا ليصبح صماما ثلاثي المساري (1907–1908م) وبدأت الإلكترونيات بالظهور فرعا منفصلا قرابة عام (1910م) .

5–7– الإلكترونيات (electronics):

حقق لانغمور(Irving Langmuir) عام (1915 م) بعض الدارات الإلكترونية المضخمة والكاشفة فتوصل إلى تصنيع الصمام الرباعي و الخماسي فاكتشف ما لها من تحسينات فكان المذياع أو(الراديو) من التطبيقات التجارية التي ساعدت على التطوير إضافة إلى التطبيقات العسكرية (1920م).و كان التنافس بين هذه الصمامات و الديودات البلورية في الكشف عن الإشارات الكهرطيسية على أشده عام (1906م) فعلى يد بيكارد صنع أول كاشف بلوري رخيص و صغير الحجم لم يلبث أن نافس الديود الإلكتروني ، لكن ما يقابل الصمام الثلاثي قد تأخر حتى اختراع الترانزيستور (1947م) على يد براتين (Brattein) للترانزيستور النقطي ، ثم الوصلي على يد شوكلي (1949م).ثم لم تلبث أن ظهرت الدارة المتكاملة أو المدمجة عام (1959–1960م) التي بات يزداد عدد العناصرفي واحدة المساحة

تزايدا مطردا وفق قانون مور لتتضاعف كل سنتين .ساند هذا التطور التجريبي تطورا نظريا في عام (1928م) ، تقدم سومرفيلد بنظرية الإلكترون في المعادن فشرح سهولة نقلها للكهرباء مقارنة بالمواد العازلة نتيجة حرية حركتها داخل المعدن .

5-8- المجهر الإلكتروني (electron-microscope):

مع قبول المثنوية الموجية – الجسيمية ظهر أول مجهر إلكتروني مؤيدا هذه المثنوية كمبدإ على يد روسكا و كنول (E.Ruska&M.Knoll) مع تكبير لا يتجاوز 400 مرة . طور بعد ذلك العاملون في شركة سيمنز نوعين من المجاهر المسحية(1932م) (SEM) و النافذة (1937م) (T EM) و أصبحت تجارية عام (1939م) . وقد تحسّن التكبير اليوم ليصل إلى مليونين مرة بالصيغة التجارية وقد يصل حاليا إلى خمسين مليون مرة بناء على طلب خاص . والجدير ذكره أن بيرتون (Burton) من جامعة تورنتو طور مجهرا إلكترونيا أيضا عام (1938م) تبعته تطويرات في جامعات أخرى، فكان التنافس قائما بين الشركات و الجامعات حتى توصلا إلى تعاون أغنى الطرفين من الناحية المادية و التقنية .

يمثل اكتشاف الإلكترون واستعماله إحدى الحالات الكثيرة على مسار تطور العلوم إذ تتقارب في كثير من الأحيان بضعة خطوط بحثية ، كانت تبدو لأول وهلة غير مترابطة ، لتزودنا بنظرية(أو تفسير) تفسر مجموعة من الظواهر لم تكن مفهومة سابقا فهما كاملا . نجد بعد ذلك ، أن لهذه النظرية أو التفسير آثارا في فروع أخرى من الفيزياء أو في العلوم الأخرى ،كما تتنبأ أحيانا بظواهر جديدة مفيدة تساعد في تطوير تقانة أو حتى بدء فرع أو تقانة جديدة . يؤكد هذا القول إن كثيراً من التقسيمات هي من صنعنا وليست من صنع الطبيعة ، مما يدعو الفيزيائيين لفهم الفيزياء ككل مع كل التوسعات الحديثة مهما بلغت ، ثم العلوم كلها بعد ذلك . الأمر الثاني هو إدراك تفاعل الصناعات مع التطويرات العلمية ،إذ يحتاج التطوير إلى أموال و الأموال تأتي عن طريق التصنيع والبيع . فقد أدّت الاكتشافات المتعلقة

بالإلكترون إلى صناعة الصمامات التي استعملت في المذياع والرادار سواء في الإرسال أم الاستقبال وفي الإذاعة مما وفّر دخلا لأبحاث في المختبر . الأمر الثالث ،ضرورة تعاون العلماء من جميع الأجناس في هذه التطويرات ، وكلما كان هذا التعاون و تبادل المعلومات أفضل كان التطوير أسرع و استفاد الجميع، كل حسب اهتمامه و همته .

5-9- توليد الحقول الكهربائية والمغنطيسية : (electric & magnetic field generation)

لا بدّ عند الحديث عن الكهرباء و المغنطيسية من ذكر تاريخ التسابق للحصول على حقول متزايدة الشدة في كليهما فقد كان هذا التسابق في البدء فضولا علميا ثم تحول إلى مطلب له تطبيقات كثيرة على رأسها التطبيقات العسكرية . لقد جرى العمل على التوازي في المجالين الكهربائي والمغنطيسي ثم التقيا عند المغنطيس الكهربائي والمغنطيس ذي النقل الفائق.سأبدأ بالمغنطيسية وتوليدالحقل المغنطيسي.

عرفت المغنطيسية ،كما ذكرنا سابقا ، منذ القدم بامتلاك بعض المواد خاصة التجاذب فيما بينها و للحديد بصورة خاصة ، فسميت تلك المواد نسبة إلى المكان الذي تستورد منه (ماغنيزية) ، ثم أطلق على المواد التي تسلك مثل سلوك الحديد المغنطيسي باسم الحديد باللاتينية (-ferro). إذن عرف تصنيف المواد مابين مواد مغنطيسية و غير مغنطيسية منذ القديم .لكن مصطلح المغنطيسية بمعناه العلمي ظهر عام (1616م) ، تبعه اكتشاف وجود قطبين مختلفي السلوك و متساويي التأثير عام (1701م) وإمكان الحصول على صفة المغنطيسية لبعض المواد،أي المغنطة الصناعية ، عام (1801م) ؛ وقد استخدم حتى هذا التاريخ مواد طبيعية تمتلك هذه الخاصة لصناعة المغانط والإبر المغنطيسية المستعملة في الإبحار والتوجيه خاصة . و ظهر مصطلح حديدي المغنطة عام (1850م)، وبعدها تميزت بعض المواد من النوع غير المغنطيسي في صنفين (وكلاهما تزول صفة المغنطيسية بزوال الحقل المغنطيسي): المسايرة (-para) و المعاكسة (-dia) عام (1899).أضيف إلى

الأنواع الثلاثة المذكورة بعد اكتشاف البنية الذرية وخواصها المغنطيسية وترتيب الذرات في البلورات صنف المغنطيسية الحديدية المضادة (antiferromagnetic)عام (1927م)، واستعمل المصطلح (1936م) وصنفت المغنطيسية الفريتية (ferrimagnetic) عام (1951م) ، وتدخلت الصناعة في تحضير الجزيئات ذات المغنطيسية العالية على المستوى المجهري بتصنيع مواد جديدة على شكل خلائط .

أما المحاولة الأولى المسجلة لتصنيع مغنطيس كهربائي بواسطة لف أسلاك على قلب من الحديد فتعود إلى ستيرجيون (W.Stergeon) (1825م) استعملها لرفع الحديد . ثم تبعتها محاولات لزيادة شدة الحقل بزيادة التيار فاعترض ذلك صعوبتان : الأولى الوصول إلى حدّ الإشباع للحديد (الذي يبلغ قرابة 1,5تسلا) والثانية ارتفاع درجة حرارة الأسلاك و القلب مما يفقد ه الخاصة المغنطيسية بما عرفت بدرجة حرارة كوري(التي تساوي 1040س). تم تحسين الأولى باستعمال خلائط النيكل (1932م) وخلائط أخرى فتضاعفت شدة الحقل الحاصلة مرتين ثم اقترح بيتر (Bitter) استعمال الصفائح التي يسهل تبريدها مكان الأسلاك (1933م) فحصل على حقول من مرتبة (5تسلا)،وهي التي تستعمل اليوم في الكثير من المختبرات بعد تحسينها لتصل شدة الحقل إلى (33تسلا) . أما كابيتزا (Kapitza) فقد اختار التشغيل لمدة قصيرة هروبا من مسالة ارتفاع درجة الحرارة ، فحصل على حقول تصل إلى هذه القيمة عام (1936م) . ومع اكتشاف الناقلية الفائقة التي ينعدم فيها الأثر الحراري (الأومي) ، طالما أنها في هذا الطور من النقل الفائق،(إذ أنها هي الأخرى محدودة بإمرار تيار أعظمي تنقلب بعده إلى طور عادي أومي ناشر للحرارة) ، أمكن الوصول في بداياتها إلى حقول من رتبة (15تسلا) و يمكن أن تصل الشدة اليوم إلى (30 تسلا). و توجد اليوم في بضعة مختبرات فقط مغانط هجينة من الصفائحية و النواقل الفائقة فتصل شدة الحقل إلى (60 تسلا عام 2006 م). تعدّ قياس شدة هذه الحقول العالية بواسطة ملف (قلبه مشغول بالهواء فلا وجود

لإشباع) ومقياس جهد من الأمور الروتينية ، غير أن قياس الحقول ذات الشدات الضعيفة والضعيفة جدا أمر يحتاج إلى عناية خاصة ،وتحديدا عندما تكون هذه الشدة من مرتبة شدة الحقل المغنطيسي الأرضي. فهناك ضرورة لعزل مغنطيسي إضافة إلى العزل الكهربائي المألوف . و تعد اليوم أداة السكويد(SQUID: Superconducting QUntum Interferance Device(detector) أفضل أداة لقياس الحقول المغنطيسية الضعيفة جدا من مرتبة الميكروأوالبيكو تسلا وهي تعتمد ظاهرة جوزيفسون الكمومية النفقية المكتشفة عام (1965م).

توليد الحقل الكهربائي والمسرعات : بدأ التطور الفعلي في الحصول على حقول كهربائية عالية مع اكتشاف الوسعية الكهربائية للنواقل(1909م) فتوضح الارتباط بين الشحنة و الكمون ، ثم الحصول على مكثفات كهربائية(1925م) وفهم العوامل المؤثرة في الحفاظ على الشحنة و تكبير الوسعية ما أمكن ،فربط بين المسافة بين اللبوسين وفرق الكمون مع معرفة تأثير وجود مواد عازلة (لقد عرفت ظاهرة الكهربائية الحديدية ،المشابهة للقلب الحديدي في المواد حديدية المغنطة ، منذ عام (1935م) . فمع اكتشاف الإلكترون بنى كوكروفت و والتن عام 1939أول مسرع يعتمد الحصول على كمونات (جهود كهربائية)عن طريق محوّلات كهربائية ومقومات (ديودات) موصولة عل التسلسل فوصلا حتى قيمة 300كيلوفولت للكمون (دون حدوث انفراغ أو شرارات أو انهيار كهربائي) .وفي الوقت نفسه تقريبا (1931م) صنع فاندي غراف (Van de Graff) أول مسرع يعمل على تراكم الشحنات المولدة بالاحتكاك باستعمال خاصة الرؤوس المؤنفة فهو مسرع كهراكدي ، وصل الكمون المتولد 1 ميغا فولت ، ثم طوراه هيرب و باركنسون (Herb &Parkinson) بالتحكم بنوع الغاز و ضغطه فوصلا حتى 8 ميغافولت . وعام (1932 م) اقترح لورنس و ليفنغستون(Lawrence& Livingston) نوعا جديدا من المسرعات (السيكلوترون) يعتمد حقلا مغنطيسيا و آخر كهربائياً متناوباً ذي تواتر مناسب للتجاوب مع الحركة المنحنية التي تتبعها الشحنات (الديترونات) فأوصلاها حتى

طاقات تقارب (MeV 26) . أصبحت التأثيرات النسبوية ذات شأن عند هذه السرعات أو الطاقات فكان لابد من التحكم في التواقت بين الحقول والحزم فوجد السينكروسيكلوترون على يد ماكميلان و فيكسلر(McMillen & Veksler) عام (1945م) فأوصلا البروتونات إلى طاقة قدرها 340MeV،كما عرف السينكروترون الذي يغير الحقل المغنطيسي و تزود الطاقة عن حقل كهربائي من موجة راديوية مع حقن الجسيمات المشحونة المسرعة تسريعا أوليا فأمكن الوصول بالإلكترونات في مختبرات بيركلي عام (1953م) حتى 6.1BeV وبالبروتونات عام (1948 م) في مختبرات بروكهافن حتى 2BeV . على التوازي وجد مسرع تحريضي، يعتمد تغير التحريض المغنطيسي ليعطي الطاقة للإلكترونات وكأنها دارة مغلقة ، عام (1940م) فأوصل كرست(Kerst) الإلكترونات حتى طاقة 100MeV . كما وجدت المسرعات الخطية(1946م) باستعمال حقول كهربائية متغيرة مع الزمن مناسبة عند فواصل متسلسلة على خط واحد يعد خرج أحدها دخلا للفاصل التالي فوصلت حتى طاقات تقارب GeV . (يجب ملاحظة الانتقال من الكمونات إلى الطاقات) .

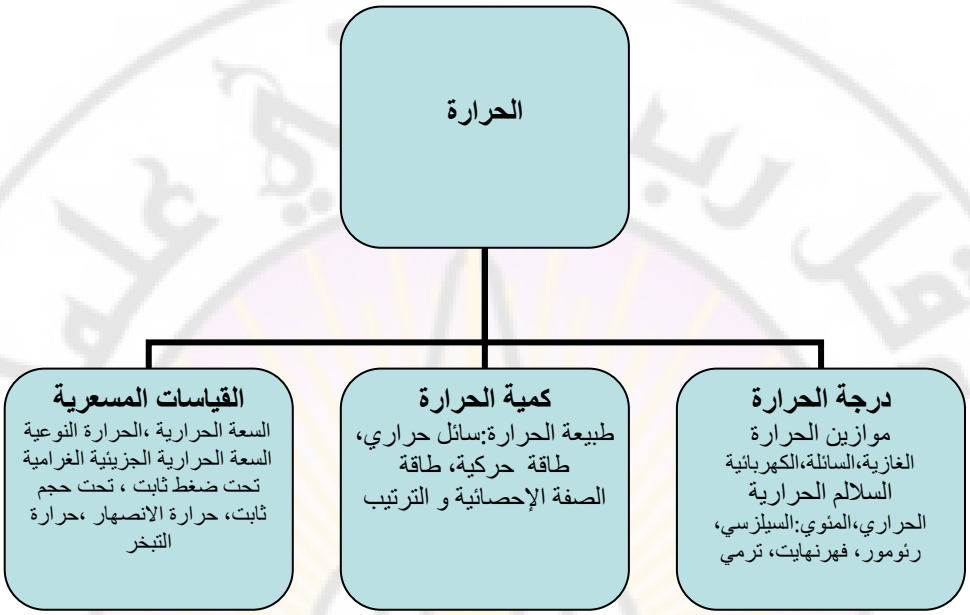
في الواقع أدى متابعة تطوير المسرعات وتقانتها إلى وجود المجاهر الإلكترونية كما ذكرنا ، إضافة إلى الدراسات النووية و الجسيمية . لا بد هنا من التذكير مجددا بعلاقة الحقل مع الكمون والمسافة لنشير إلى إمكان توليد حقول كهربائية عالية باستعمال كمونات بين طبقتين البعد بينهما صغير جدا ،كأن نطبق فولتا واحدا بين طبقتين المسافة بينهما مكرومتر واحد فنحصل على حقل قدره ميغا فولت لكل متر. نصادف مثل هذه القيم اليوم في الترانزيستورات (الحقلية) و في الدارات المتكاملة و في الآبار الكمومية ، إذ يمكن الحديث عندئذ عن الإلكترونات الحارة . لقد أصبح الحصول على مثل هذه الحقول ممكننا، بعد أن أمكن الحصول على طبقات مستوية و صقيلة على المستوى الذري لتجنب أية انهيارات مماثلة لما يحدث في حالة الرؤوس المؤنفة .

5-10- الإشعاعات الكهرطيسية: (electromagnetic radiation)

عرف الضوء منذ أعمال مكسويل (1864) بأنه موجة كهرطيسية ، يقع مجال الأطوال الموجية للجزء المرئي منه ما بين (0.7–0.4ميكرومتر)، لكنه يمكن أن يتوسع في الاتجاهين : باتجاه الأطوال الموجية الطويلة بدءا مما تحت الأحمر القريب وحتى الأمواج الراديوية، وباتجاه الأطوال الموجية القصيرة بدءا مما فوق البنفسجي ،ثم الأشعة السينية المكتشفة على يد رونتجن عام (1895) وصولا إلى أشعة غاما التي اكتشفت عام 1900على يد فيلارد (Villard). ومع تفاوت تواريخ اكتشاف هذه الإشعاعات المتنوعة وسبل الكشف عنها وتوليدها ،إلا أن البحث عن الصفة الموجية المشتركة بينها قد قاد إلى طرائق جديدة لتوليده والتحكم بها .قد تكون الإشعاعات الصادرة عن الجسيمات المشحونة المسرعة وعلى رأسها الإلكترونات آخر الأنواع التي ظهرت واستعملت لجس تفاعلات الإشعاعات مع المادة بما يعرف بالإشعاع السنكروتروني.

الفصل السادس

الحرارة والتحريك الحراري
Heat and Thermodynamics


الحرارة
درجة الحرارة
موازين الحرارة
الغازية،السائلة،الكهربائية
السلالم الحرارية
الحراري،المئوي:السيلزسي،
رئومور، فهرنهايت، ترمي
كمية الحرارة
طبيعة الحرارة:سائل حراري،
طاقة حركية، طاقة
الصفة الإحصائية و الترتيب
القياسات المسعرية
السعة الحرارية ،الحرارة النوعية
السعة الحرارية الجزيئية الغرامية
تحت ضغط ثابت ، تحت حجم
ثابت، حرارة الانصهار ،حرارة
التبخر

الحرارة والتحريك الحراري(الترموديناميك)

6 ـ 1 -درجة الحرارة(temperature):

لعل درجة الحرارة من أولى المصطلحات الحرارية التي عرفها الإنسان كيفيا ،فعبر عن إحساسه بالأجسام الحارة و الباردة وكان يقارنها دون أن يعي بدرجة حرارة جسمه . غير أن إعطاءها الصفة الكمية تأخر حتى سيادة المنهج العلمي ، وقد يكون غاليليه (1597م) أول من استعمل ميزان حرارة ليعطي قيما عددية مقابلة لتلك

الأحاسيس،فاستعمل الهواء و يكون بذلك أول من استعمل ميزان حرارة غازي . ويعود استعمال أول ميزان حرارة سائل لكيرشر (Kercher) (1643م) حين استعمل ميزان حرارة زئبقياً . و تأخر استعمال الخواص الكهربائية لقياس درجة الحرارة ،فقد استعمل البيل الحراري عام (1849م) و المزدوجة الكهرحرارية (1890م) و المقاومة الكهربائية عام (1904م) و نصف الناقل الثرموستر (1940م) ثم تنوعت كثيرا حتى إن بعضها يستخدم حساسية الدارات المتكاملة لتغير درجة الحرارة لقياسها.
إضافة إلى تنوع موازين الحرارة الإشعاعية المطورة عن البيل الحراري . رافق ذلك طبعا اقتراحات استعمال مواد معينة للمقارنة و المعايرة وبالتالي اعتماد سلالم حرارية للتمييز بين الحارّ والبارد كميا .

6 2 -السلالم الحرارية (temperature scales):

لقد استعمل الماء أولا ، نظرا لتوفره للجميع ، مادة لمقارنة حالات المواد الأخرى بحالاته الثلاثة : الصلبة (الجليد) والسائلة (الماء الجاري) و الغازية (البخار).
واختلفت السلالم عن بعضها بعضاً بإعطاء أرقام مختلفة لحالات التوازن بين أطواره (حالاته) فقد أسند فهرنهايت (Fahrenheit) عام (1724م) الدرجة 32 F عندما يكون الماء في حالة توازن بين طوريه الصلب و السائل ، والدرجة 212 F عندما يكون في حالة توازن بين طوريه السائل و الغاز، لنحصل على سلم فهرنهايت . في حين أسند رئومور(Re'amur)(1742م) الدرجة(0 R) للحالة الأولى و الدرجة (R 80) للحالة الثانية، أما في السلم المئوي فقد أعطيت الحالة الأولى الدرجة (0C) وأعطيت الحالة الثانية الدرجة (100 C) ومنها اشتق اسمه عند بعضهم " السلم المئوي"(centigrade) و عند بعضهم الآخر يسمى" سلم سيلزيوس"
(Celsius)(1858م) ،نسبة إلى مقترحه، وهذه كلها معّرفة عندما يكون الضغط الجوي نظاميا(واحد ضغط جوي عند سطح البحر) .

و مع تقدم فهمنا لطبيعة الحرارة و القوانين التي تخضع لها (التحريك الحراري أو الترموديناميك) اقترح كارنو (Carnot)(1848م) عن طريق محركه

النظري المثالي مع اللورد كلفن (Kelvin) من بعده (1854م) استعمال سلما يستعمل أحد قوانين الترموديناميك هو القانون الثاني ، فوجد سلم كلفن الترموديناميكي الذي يعتمد نقطة معايرة واحدة للماء هي الحالة التي يكون فيها الماء متوازنا في أطواره الثلاث (النقطة الثلاثية) ، فتم التخلي عن تدخل الضغط الجوي النظامي في المعيار ،كما اختيرت سعة الدرجة على هذا السلم لتساوي سعتها في سلم سيلزيوس المئوي فأعطيت النقطة الثلاثيةس الرقم (273.16م) ويتميز هذا السلم بشموليته ونسبة حالة كل مادة إلى نقاط توازن أطوارها نفسها لتعبر درجة الحرارة عن مدى ابتعادها عن تلك النقاط . ولكن أبقي على سعة الدرجة فيه مساوية لسعتها في السلم المئوي للتبسيط .

وكان قد اقترح استعمال النقطة الثلاثية أيضا في السلم المطلق (1888م) المعتمد على قوانين الغازات فقط . وقد اعتمد عالميا منذ عام (1954م) سلم كلفن الترموديناميكي بعد ظهور القانون الثالث في الترموديناميك الذي يعّرف الصفر المطلق الشامل لكل المواد في حالة الترتيب الكامل ، لتعد درجة الحرارة معيارا للابتعاد عن هذا الترتيب الكامل بدءا من نقطة مشتركة بينها جميعا .

6 3 -كمية الحرارة وطبيعتها : (Heat quantity& The nature of heat)

خلافا لدرجة الحرارة (المعرفة توازنيا) ، فقد عرفت كمية الحرارة عبر انتقالها من جسم لآخر، مع أن ماهية الشيء الذي ينتقل لم تكن معروفة . كان يظن في البدء وجود سائل حراري ينتقل عند تماس جسم حار بآخر أبرد منه ، وهذا ما يعرف بنظرية السائل الحراري (caloric theory) التي بقي منها اسمها فقط : الحريرة (calori) ، قال بهذه النظرية بلاك (J.Black) (1728–1799م) بعد أن قام بقياسات مسعرية رائدة ، فقاس حرارة الانصهار للعديد من المواد و كذلك حرارة التبخر لها ،لكنه لم يكن موفقا بطرح هذه النظرية . إذ إن تلمّس صفات هذا السائل

سواء عند الانتقال أو بعده لم يوصل إلى شيء محدد ، كما بين ديفي (Davy) في تجاربه (1760) . وكانت بداية الربط بين كمية الحرارة مع أحد أشكال الطاقة المعروفة عندئذ ، الطاقة الحركية ، على يد اللورد رمفورد (Rumford) (1798م) الذي لاحظ ارتفاع درجة حرارة الاسطوانة التي تستعمل في المدافع لدى حفرها فقال إن أصلها ميكانيكي . تبعه ماير (Mayer)(1824–1878م) عام (1842م) فقال صراحة اعتمادا على نتائجه بتكافؤ الحرارة مع الطاقة ، وأتى التأكيد على ذلك عندما أعطى جول (Joule) (1818–1889م) (1847م) نتيجة تجارب مختلفة ميكانيكية و كهربائية ما يعرف اليوم : المعادل الميكانيكي للحريرة (4.18). و في العام نفسه أعطى هلمهولتز (Helmholtz) (1821–1880م) و بصورة مستقلة الرقم نفسه (تحدث كثيرا مثل هذه الصدف نتيجة بطء تبادل المعلومات في ذلك الوقت)، كما أنه أول من قال بانحفاظ الطاقة. ومن غرائب الأمور أن نشرته تلك رفضت ،وأن كارنو الذي ساهم في إرساء القانون الثاني، استعمل نظرية السائل الحراري للوصول إلى محركه المثالي و دورته الحرارية المقابلة .

سادت النظرية الميكانيكية للحرارة منذ عام (1850م) وقبل المبدأ الأول أوالقانون الأول في التحريك الحراري الذي يعبر عن قانون انحفاظ الطاقة بأشكالها المختلفة . فانتعشت النظرية الحركية للغازات التي كان قد قال بها برنولي (Bernolli) (1738م) اعتمادا على دراساته للسوائل ، لكنها لم تؤخذ بعمقها عندئذ . وبقي الأمر كذلك حتى أتى مكسويل و بولتزمان (Boltzman) بدراساتهما الإحصائية (1859م) لتوزع السرع ونتائجها التي تؤكده التجارب بصورة غير مباشرة (اللزوجة و التسرب و الحركة البراونية)، أما التأكيد المباشر للتوزع المذكور فكان عام (1911م) باستعمال الحزم الجزيئية .

6–4–القانون الثاني في التحريك الحراري والأنتروبية ؛القانون الثالث :

(The second & third law of thermodynamics and entropy)

على صعيد آخر ، أعلن كلاوزيوس (Clausius)عام (1851م) القانون الثاني في أكثر من صيغة(1857م) ، فتوصل إلى تعريف الأنتروبية ، ترموديناميكيا، عام (1854م) بأنها نسبة كمية الحرارة المتبادلة في جملة إلى درجة حرلرة المنبع التي تم التبادل معه . في حين استخلص مكسويل (1859م) المقابل الإحصائي لدرجة الحرارة ثم للأنتروبية فربطت الأنتروبيةS للجملة المدروسة باحتمال أن تكون الجملة في إحدى الحالات i المتاحة لها p_i:

$$S= -k_i \Sigma p_i \ln p_i$$

حيث k ثابتة بولتزمان .

أما القانون الثالث فقد تأخر حتى إمكان الوصول إلى درجات حرارة منخفضة فصاغه نرنست (Nernest) ، في إحدى صيغه ، عام (1907م) فقال بعدم إمكان الوصول بأية جملة ترموديناميكية إلى الصفر المطلق (الصفر على سلم كلفن) بعدد محدود من التحولات (الصيغة اللاوصولية) ، ساعده و أيده سيمون (Simon) (1827–1937م) في صياغة أخرى تقول بتناقص الأنتروبية نحو الصفر مع الاقتراب من الصفر المطلق . و بعد الربط بين الأنتروبية و الاحتمال قيل بالترتيب ،إذ اعتبرت الأنتروبية مقياسا للترتيب أو الابتعاد عنه (1920م) .

6–5– الوصول إلى درجات حرارة منخفضة: (low temperatures)

تدرّج الحصول على درجات حرارة منخفضة مع تقدم التقنيات المستعملة ومردودها ،كما تدرّج معه مدلول كلمة منخفضة ،إذ ترافق ذلك مع إمكان تمييع غازات مختلفة نتيجة ضغطها و تبريدها بوسائط مناسبة محيطة بها سواء الهواء أو من مواد أخرى محيطة بها ، وقد تحتاج إلى تسلسل متتالي من هذه العملية . فقد تمكّن فاراداي (1823م) من تمييع غاز الكلور(المرجع [8]) و النشادر وثنائي أكسيد الكبريت ، وحصل كيليتت و بيتيت (Pietet& Cailletet) على رذاذ من الأكسجين المائع عام (1877م) ، واستطاع أولسوازسكي و روبلواكسي (Olszewski &

Wroblewski) عام (1883م) على كميات ملموسة من الهواء المائع (80K~) بالضغط والتبريد ثم الإفلات، وأصبح الحصول تجاريا على ذلك ممكننا نتيجة مفعول جول –تومسونٍ (Joule –Thomson effect) (1895م) ، وفي العام نفسه تمكن ديوار (Dewar)من تمييع الهدروجين(20.37K) ونجح اونس(Onnes) عام (1908م) من تمييع الهيليوم (4.2K) ،الذي أصبح تجاريا بكميات وافرة عن طريق مميعات مختلفة التصميم بحلول عام (1926م) ثم (1932م) . إن الضخ على السوائل يخفض من درجة حرارتها و عند محاولة الضخ على الهيليوم (– 4 ذي الوفرة الغالبة) ظهرت ظاهرة جديدة ، إذ سلك هذا الهيليوم تحت الدرجة (2.12K) سلوك مائع ذي لزوجة معدومة (فائق الميوعة)،عند ما يعرف بالنقطة لامبدا .

غير أن نظيره الهيليوم 3 الذي يتميع عند الدرجة (3.19K) لم يبد هذه الظاهرة و أمكن الوصول عن طريق الضخ إلى أجزاء الدرجة قرابة عام (1933م) على يد غيغ وماك دوغال (Giaugue&Mac Daugal). ومع تقدم فهمنا للخواص المغنطيسية المسايرة وبالتشابه بين أثر الضغط من ناحية الترتيب المكاني وأثر الحقل المغنطيسي على ترتيب ثنائيات القطب المغنطيسية الاتجاهي،أي عزوم الجزيئات المغنطيسية ، و ما يقابل ذلك من تبريد استعملت المواد البارامغنطيسية للتبريد في سلسلة من تطبيق الحقل والتخلص من الحرارة المتولدة ثم رفع الحقل فتبرد المادة و هكذا دواليك ، أمكن الوصول إلى درجات حرارة من مرتبة أجزاء من مئة قرب الصفر المطلق ، كما أمكن بمزج نظيري الهيليوم الوصول إلى مثل هذه الدرجات. وقد استمر التحسين في طرائق هجينة منهما حتى أمكن الآن الوصول إلى ميكرو كلفن أو أقل قرب الصفر المطلق .

عن طريق آخر ، وبعد التعمق وإمكان التحكم بالذرات و بالتالي بسرعها ، إما باستعمال الليزر أو بحقول كهربائية و مغنطيسية متدرجة ، أمكن الاقتراب بالذرات بما يقابل النانو درجة (النترونات في مصيدة (1975م) و ذرات غاز في مصيدة (1985م)) .

6-6- القياسات المسعرية والسعة الحرارية : (calorimetry and heat capacity)

لعل بلاك أول من استطاع أن يقيس حرارة الانصهار و حرارة التبخر عندما عزل حراريا المادة المدروسة وراقب ما يدخل إلى منطقة العزل وما يخرج منها كميا ، فاستعمل ما يعرف اليوم بالمسعر الذي يخفض كثيرا من انتقال الحرارة غير المحسوب ، بالطرائق الثلاث (حمل و إيصال و إشعاع) ، لذلك تسمى القياسات المتحكم بها بالقياسات المسعرية . فقيست بعدها الحرارات النوعية (كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحدة الكتلة من المادة) لسوائل مختلفة ثم للأجسام الصلبة (1819م) والغازية . لقد وجد ديلونغ و بيتي (Dulong and Petit)علاقة بين الحرارات النوعية للمواد الصلبة وكثافاتها أولا، ثم مع تقدم فهمنا لأصلها مع الجزيئة الغرامية (المول) من كل مادة، فقال بتساوي ما يسمى السعة الحرارية المولية (~6.4cal/gmole) للأجسام الصلبة ، في ذلك الوقت (1850م) بدأ الحديث عن النظرية الحركية للغازات ، فميزت الغازات أحادية الذرة عن الغازات ثنائية الذرة في سعتها الحرارية ،إضافة إلى التمييز بين القياس تحت حجم ثابت أو ضغط ثابت . فقال كوب (Kopp) بالصفة الجمعية للسعات الحرارية (1864م) ثم أتى بعد ذلك الحديث عن درجات الحرية لجملة معينة و قانون تساوي توزع الطاقة عليها (درجات الحرية الانسحابية و الاهتزازية) (1900م) . غير أن هذا القانون لم يعد قانونا عندما تبين عدم صحته في درجات الحرارة المنخفضة (التي أصبح الحصول عليها في المختبر سهلا) سواء بسبب عدم الاختلاف الكبير بين المعادن و العوازل أو بسبب اقتراب الحرارات النوعية من الصفر بجوار الصفر المطلق. ولم يتم تفسيرهذا السلوك إلا بعد ظهور ميكانيك الكم ، أولا بتفسير أينشتاين (1907م) عندما بين ،بصورة تقريبية ، إمكان تغير السعة الحرارية مع درجة الحرارة، ثم تبعه ديباي(Debye) (1912م) بتفسير أفضل يأخذ في الحسبان أنماط الاهتزاز الممكنة و القابلة للتحريض و علاقة ذلك بخاصة المادة وقوى الترابط التي تحكم اهتزاز الذرات . وعلى التوازي مع ذلك ، تمكن لويس (Lewis) (1907م) من شرح الفرق

بين السعة الحرارية تحت حجم ثابت والسعة الحرارية تحت ضغط ثابت إحصائيا . فولد ما يعرف بالميكانيك الإحصائي (1909م) أوالفيزياء الإحصائية أو الفيزياء الحرارية ، الذي يمكن القول إنه بدأ مع النظرية الحركية التقليدية لبولتزمان (1871م) ، ثم توزع بولتزمان وجيبس (1912م) الذي قال إن عدم الإمكان (impossibility) يكافئ عدم الاحتمال (improbality) ، ثم دخل عن طريق ميكانيك الكم توزع بوزه واينشتاين (Bose-Einstein) (1924م)(البوزونات 1947م) و توزع فرمي و ديراك (Fermi-Dirac) (1926م) (الفرميونات 1947) ففسرا جميع ما ظهر من سلوك .

6 7 الناقلية الحرارية (thermal conductivity):

تأتي الناقلية الحرارية بعد القياسات المسعرية ومكملة لها ، إذ يجب تقصي طرائق انتقال الحرارة حتى نتمكن من عزل الجملة المدروسة (المسعر) . فبعد أن عرفت طبيعة الحرارة صنفت طرائق الانتقال بحسب وسيط النقل الذي يحمل الطاقة المنقولة ،فإذا كانت الحالة غازية كان الوسيط الرئيس الطاقة الحركية للذرات أو الجزيئات ، وكذلك الأمر في الحالة السائلة مع اختلاف الكثافة بين الحالتين . أما في الحالة الصلبة فلا بدّ من التمييز بين المعادن والعوازل (اعتمادا على التصنيف الكهربائي) لأن الإلكترونات شبه الحرة في المعادن هي وسيط إضافي لنقل الطاقة التي تحملها الذرات أو الجزيئات المترابطة المكونة للجسم الصلب التي تنقل الطاقةعلى شكل اهتزازات. في حين تكون الاهتزازات فقط هي المؤثر الرئيسي في حالة العوازل .لذلك يقال هناك نقل بالحمل عندما تحمل الطاقة الذرات حرة الحركة ونقل بالإيصال في حالة المعادن بشكل رئيسي وبالاهتزازاتفي حالة المعادن العوازل . ويضاف إلى كل ذلك نقل بالإشعاع الذي يوجد دائما في جميع الحالات لكنه قد لا يكون هو المساهم الرئيس . ويميز أيضا في حالة النقل بالحمل بين النقل بالانتثار ، عندما لا تساهم جميع الذرات بالنقل ويقتصرعلى الذرات الموجودة في طبقات متجاورة

، والنقل في الحالة المضطربة ،حين يرافق الانتقال الحراري اختلاط كبير بين الذرات .

لقد تطلب مفهوم الناقلية الحرارية قرابة ثلاث قرون حتى وصل إلى الصيغة والتصنيف المذكور . فقد بدأ مع غاليليه تبعه هوك ونيوتن وفرانكلين وبلاك ورمفورد ، إضافة إلى فوريه وتحليله الرياضي للنقل عند حاجز بين صلبين . ثم أينشتاين و ديباي 1915 ومعالجة النقل على أساس تفاعل بين أشباه جسيمات نتيجة تكميم الاهتزازات، وهي ما عرفت بالفونونات ، مع بعضها بعضاً أو مع الإلكترونات .

وذلك بالتشابه مع النقل بالحمل نتيجة تصادم الذرات بعضها مع بعض وفق النظرية الحركية للذرات في القرن التاسع عشر . فوفق هذه النظرية تتصادم الذرات المجاورة لصلب ذي درجة حرارة مرتفعة فتكتسب منه طاقة إضافية بالمقارن مع الذرات البعيدة عنه ، تتحرك هذه الذرات الحارة فتتصادم مع الذرات الأخرى وتتبادل الطاقة معها وهكذا .

عولجت الإلكترونات داخل المعدن بصورة مشابهة لما في النظرية الحركية بعد افتراض وجودها على شكل جسيمات شبه حرة قرابة عام 1920 ، فتبين أن مساهمتها في هذه الحالة فعالة، وجرى الربط بين الناقلية الكهربائية σوالناقلية الحرارية K والقول بوجود تناسب بينهما 0 من الشكل :

$$K/\sigma = cons.\ T$$

وهو ما يعرف بقانون فيدمان – فرانز (Wiedemann-Franz law) قرابة عام 1930،وذلك من أجل مجال محدود من درجات الحرارة . إذ إنه لا يتحقق عند درجات حرارة منخفضة جدا .

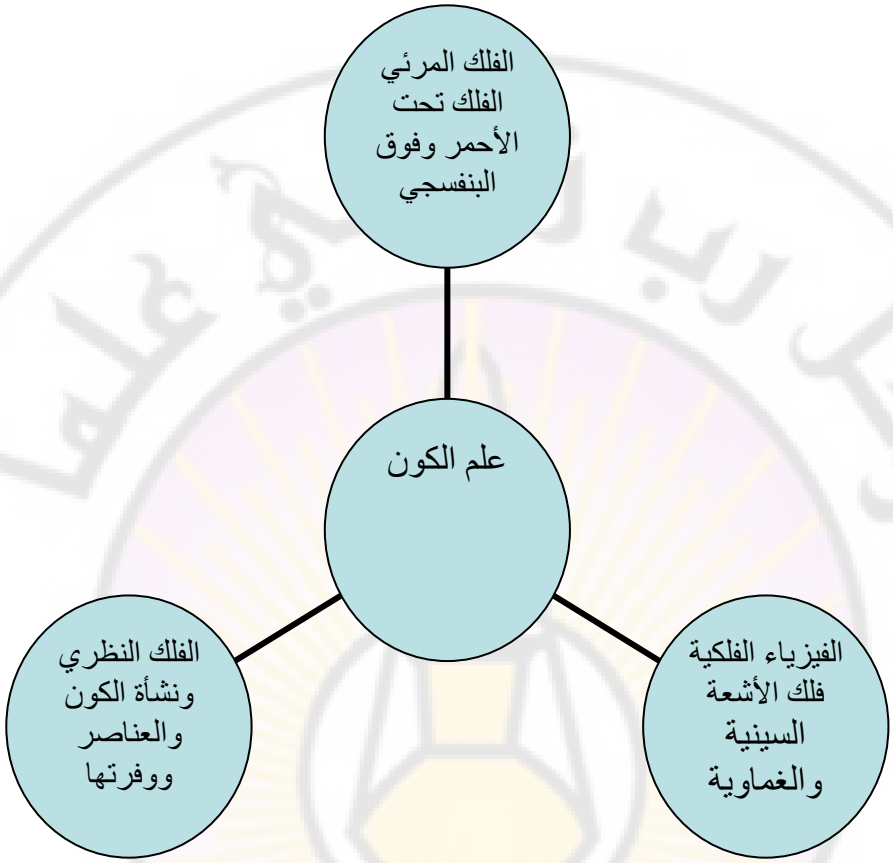
تحدد الناقلية الحرارية عادة بجعل الجسم المراد قياس ناقليته على تماس مع منبعين حراريين مختلفي درجة الحرارة ،وقياس كمية الحرارة المنتقلة من الطرف الأول المماس للمنبع الحار إلى الطرف الثاني المماس للمنبع البارد في واحدة الزمن ثم تقسّم على الفرق بين درجتي الحرارة وتنسب بصورة مناسبة لأبعاد العينة من الجسم

المراد قياس ناقليته الحرارية ،وذلك بعد الوصول إلى الحالة المستتبة . وثمة طرائق أخرى للقياس تعتمد تغير درجة الحرارة مع الزمن في الجسم . ويتفاوت معامل الناقلية هذا من مادة إلى أخرى ومن حالة معينة للمادة نفسها إلى حالة أخرى ، فتقع قيمته مثلا ما بين (W/m.K) 0.026 للهواء و 0.6 للماء و 1 للزجاج و 429 للفضة .

الفصل السابع

الفلك و الفيزياء الفلكية و علم الكون

Astrophysics Astronomy and cosmology


الفلك المرئي
الفلك تحت الأحمر وفوق البنفسجي
علم الكون
الفلك النظري ونشأة الكون والعناصر ووفرتها
الفيزياء الفلكية فلك الأشعة السينية والغماوية

الفلك و الفيزياء الفلكية و علم الكون

7-1- التنجيم (Astrology) وعلم الفلك (Astronomy):

يعطي المعجم [4] تعريفا للتنجيم (ظهرت الكلمة في القرن الرابع عشر) بأنه فن التنبؤ بالمستقبل أو الوصول إلى معرفة مخبأة اعتمادا على معرفة وتأثير مواقع النجوم والكواكب، وعلاقة ذلك غالبا بزمن الولادة أو الحادثة . فهو يتنبأ ببعض

الشؤون الإنسانية الأرضية اعتمادا على حوادث سماوية . وحيث إنه فن ، فهو يعتمد الانطباع الفردي، وقد دخله الكثير من الشعوذة بحجة معرفة الغيب، وظهرت الكلمة بهذا المعنى في القرن الرابع عشر .أما الفلك فهو علم بدأ بتحديد الفرق بين النجوم والكواكب اعتمادا على ثبات مواقع الأولى وتغير مواقع الثانية من يوم إلى يوم أو من شهر إلى شهر... وهو يتناول بالإضافة إلى ذلك دراسة حركاتها وسطوعها وتركيبها ، وتشير اللاحقة " nomy " إلى اعتماده القياس . ويلاحظ تقدم ظهور علم الفلك على التنجيم ،وهذا متوقع لأن الفلك عرف منذ عصر حضارة ما بين النهرين وحضارة الفراعنة واستعمل للتنبؤ بمواسم الخير والفيضانات وللتحكم بالزراعة .

7-2- الفلك والفيزياء الفلكية وعلم الكون:

ظهرت بعد ذلك عام (1890) كلمة الفيزياء الفلكية Astrophysics كفرع من علم الفلك يتناول التركيب الكيميائي والفيزيائي لمادة الأجرام السماوية . ويورد المعجم أيضا فرعا آخر هوعلم الكون cosmology فيقدم الكلمة أولا (كما ظهرت أول مرة عام 1656) على أنها فرع مما وراء الفيزياء metaphysics يتناول طبيعة العالم universe ، ثم يورد معنى آخر للكلمة بأنه فرع من علم الفلك يتناول أصل وتركيب العالم وعلاقات الزمكان فيه والنظريات المتعلقة بذلك فالكلمة مثال جيد عن تطور مدلول الكلمة والمصطلح مع تطور فهمنا للعالم والكون . فقد ظهرت أيضا كلمة الكون cosmos المشتقة من اليونانية في القرن الثالث عشر لتعني العالم universe المنظم . أما اختصاصيو علم الكون [2] cosmologists فيقدمون علم الكون cosmology على أنه دراسة أصل وتطور وتركيب وبنية العالم ، ويعدون أن بدايات هذا العلم النظرية والتجريبية كانت مع بداية القرن العشرين فقط . إذ بدأت التطورات النظرية مع النظرية النسبية العامة لأينشتاين عام 1915 إلى أن وصلت إلى نظرية الانفجار الأعظم والتصنيع النووي في الكون في خمسينيات القرن العشرين التي ساهم فيها كل من رالف ألفر Ralph Alpher وجورج غامو George Gamow و روبرت هيرمان Robert Herman؛ مرورا بنظرية الكون النسبوي

المتمدد الذي اقترحها ألكسندر فريدمان Alexander Friedmann عام 1922 وجورج لاميتر George Lamatre عام 1927. أما التطورات التجريبية المرافقة فكان إبرزها اكتشاف إدوين هابل Edwin Hubble للعالم المتمدد عام 1929. وقد استمرّ منذ ذلك الحين اختبار النظرية وتطويرها وكذلك ظهور نظريات أخرى منافسة على ضوء النتائج التجريبية لتقانات متقدمة تتناول الغوص أعمق فأعمق في هذا الكون الفسيح وتفسيرات ما نرصده .

7-3- تطور علم الفلك(astronomy development):

يقسم بعض علماء الفلك هذا العلم ما بين قديم وحديث [2] ،أو مابين فلك مرئي مشاهد ، يعتمد الأشعة المرئية الواصلة إلى الأرض في الرصد؛ وفلك غير مرئي يعتمد الأشعة غير المرئية بدءا بالأشعة فوق البنفسجية وما تحت الأحمر مرورا بالإشعاعات الراديوية و المكروية ومنتهيا بالأشعة السينية وأشعة غاما . ويحلو لبعضهم الآخر أن يسمي كلٍ مما ذكر فرعا في الفلك ،وقد يذهب آخرون فيميزون بين فلك أرضي وآخر فضائي .

كان علم الفلك يستعمل العين المجردة في الرصد حتى بداية القرن السابع عشر عندما اخترع المنظار الضوئي الفلكي (ويا للعجب كانت الحاجة إلى تطوير المنظار الأغراض العسكرية) . كما كان العالم القابل للمشاهدة من كوكب الأرض قبل ذلك الوقت ، يتضمن الكواكب الخمسة الأخرى فقط – عطارد والزهرة والمريخ والمشتري و زحل – وبضعة آلاف أخرى من النجوم البعيدة . فزاد العالم القابل للمشاهدة مع اختراع المنظار زيادة ضخمة وتوسع الأفق ، إذ أصبح عدد النجوم المشاهدة عديدة جدا ،وتحسنت مع الوقت مقدرة فصل المشاهدات واستعمل التصوير بالصفائح photographic plates عام 1890، وعلى التوازي مع ذلك تحسنت قياسات الشدة لكل نجم photometry وطيفه spectrum ، فاكتشف ثلاث كواكب أخرى –أورانوس ونبتون وبلاتو ،كما تبين أن الشمس ليست إلا أحد نجوم درب التبانة(الطريق اللبني).ثم استعمل المجال غير المرئي من الطيف الكهرطيسي ،

لعل أبكرها اكتشاف و.هرشل William Herschel عام 1800لطيف ما تحت الأحمر في الشمس وعام 1856لإشعاع ما تحت الأحمر في القمر . أما استعمال الأشعة الراديوية فقد بدأ في ثلاثينيات القرن العشرين على يد ك. يانسكي Karl Guthe Jansky ،في حين تأخر استعمال الأشعة عالية الطاقة حتى سبعينيات القرن العشرين . لا بد من ذكر استعمال مناظير فلكية محمولة بالبالونات خارج جو الأرض قبل أن يستعمل الفضاء والسواتل الفضائية في الرصد، وذلك للتخلص من امتصاص الجو وتشويشه على الرؤية التي تعيق مقدرة الفصل في المناظير الفلكية . لقد طورت مناظير فلكية مناسبة مع كواشفها فدخلت التقانة والفيزياء مقدمة اكتشافات مذهلة عن تطور النجوم وحياتها وعن تطور الكون ككل ونشأته . سنعرض ذلك بالترتيب التاريخي وفق ما رأيناه.

7-4- علم الفلك القديم (ancient astronomy):

ذكرنا أن علم الفلك اختلط قديما مع التنجيم والديانات والأساطير ، وما زالت مخلفات هذا الاختلاط قائمة حتى اليوم ،من خلال ما يظهر من تنبؤات معتمدة على الأبراج في وسائل الإعلام كلها . وقد تجد هذا الاختلاط على المستوى الشعبي والحكومي ،مع أن فك التشابك بينهما قد حدث منذ عدة قرون في العالم الغربي .

تضمن علم الفلك القديم مراقبة الشمس وتغيرات مواقعها مع الأفق على مرّ السنة ، وكذلك تغير مظاهر النجوم لإشادة تقويم زراعي أو طقوس دينية .إذ كانت الثقافات القديمة تطابق بين الآلهة و الأجسام السماوية والأرواح ، فربطوا بين حركات هذه الأجسام وسقوط المطر أو هبوب الرياح أو المدّ و الجزر وكذلك مع الفصول . وقد أعطيت بعضها أسماء تستعمل حتى اليوم .

لذلك كان الاعتقاد بأن أول الفلكيين المحترفين هم رجال دين، اعتمادا على فهمهم للسماوات وأن ذلك أبدي ،وكان ذلك أحد أسباب ارتباط الفلك بالتنجيم نظرا لاعتماد بعض الحكام على رجال الدين المقربين لاتخاذ القرارات .

تعود جذور الفلك الغربي إلى ثقافة مابين النهرين في الممالك القديمة مثل مملكة السومريين والآشوريين والبابليين وممالك سورية . فقد ظهرت كتابات سومرية تعود إلى تاريخ يقع بين 3500و3000 قبل الميلاد أعطت لآلهة الكواكب دورا مهما في أساطيرهم وديانتهم وتحكمها في الكوارث والنعم مثل العواصف والفيضانات أو المطر والربيع . وقد استعملوا النظام الستيني في العدّ الباقية آثاره حتى اليوم في الدائرة (360 درجة) والدرجة (60 دقيقة) .... ويستعمل بعضهم كلمة الكلدانيين لتشير إلى فلكيي ما بين النهرين الذين كانوا في الواقع كهنة .

في الواقع لقد أتى أول دليل على دورية بعض الظواهر الفلكية عن طريق البابليين ، فسجلوا تغيرات طول النهار (مابين شروق وغروب) على مدار السنة وكذلك سجل ظهور واختفاء كوكب الزهرة على مدة 21 سنة . ووجدت مصنفات لمجمعات من النجوم والأبراج . وقد ازدهر الفلك والمشاهدات وبلغت ذروتها خلال عهد نبوخذ نصر (733–744 ق.م.) ، فأدت، مثلا، إلى اكتشاف دورة خسوف القمر كل ثماني عشرة سنة . وقد اعتمد الفلكي اليوناني عهد نبوخذ نصر بداية حقبة بارزة في الفلك .

بدأ الفلكيون قديما استعمال الشمس والقمر لإنشاء التقويم بغية استخدامه في الزراعة والحصاد والربيع والأزهار،فعرف اليوم والشهر والسنة . فاستعمل سيليكوس السلوقي (Seleucus) السنة التي تتنبأ بدورية حركة الكواكب ليقول بمركزية الشمس في المنظومة الشمسية وليس الأرض ، وفي اليونان كان أول من اقترح مركزية الشمس في القرن الثالث قبل الميلاد أرختيراكسوس الساموي في كتاب بطليموس المجسطي الذي نقل إلى العربية فيما بعد . والمملكة السلوقية (312–64 قبل الميلاد) هي المملكة السورية الأولى كانت عاصمتها في البدء في سلوقية على ضفة دجلة ، ثم انتقلت العاصمة إلى أنطاكية على البحر المتوسط . ويعدّ الفلك البابلي أساس أعمال الفلكيين الإغريق والهيلينيين والهنود والساسانيين والبيزنطيين والإسلاميين وفي وسط آسيا وغرب أوروبا . أما في شرق آسيا فقد بدأ الفلك على يد

الصينيين منذ خمسة آلاف سنة قبل الميلاد ، و ظهرت سجلات فلكية تمتد من القرن السادس قبل الميلاد حتى دخول المناظير في القرن السابع عشر ميلادي في علم الفلك الغربي .

تمكن الصينيون من التنبؤ بالكسوفات والمذنبات بدقة ،وذلك لحفظ الوقت بدقة ولرصد الاختلاف بين التقويم الشمسي والتقويم القمري فتوصلوا إلى رصده . مع ذلك فكان التنبؤ بالتنجيم جزءا من علم الفلك . كما دونوا ملاحظات رصينة حول الظهور المفاجئ لنجوم ضيوف على النجوم الثابتة ،فهم أول من رصدوا ظهور نجم جديد عملاق (supernova)ساطع يرى حتى في النهار، عام 185 قبل الميلاد ،وكذلك سديم العقرب (crab nebula) عام 1054 ميلادية مع أن معاصريهم في أوروبا لم يسجلوا ذلك . ويعود أول مصنف للنجوم مصنف غان دي (Gan De) الذي وضعه في القرن الرابع قبل الميلاد . وهم أبكر من استعمل الأبراج فوردت في سجلاتهم في الألف الرابع قبل الميلاد ، فاستعملوها لتوجيه البيوت والمدافن ،وظهر كسوف للشمس مسجل عام 2173قبل الميلاد ، ودورة للمشتري مسجلة مدتها 12 سنة . كما قسموا السماء أو القبة السماوية إلى ثمان وعشرين قسما في القرن الثاني عشر قبل الميلاد بما يعرف اليوم بالأبراج الصينية .

بالعودة إلى التقويم السنوي فقد أخذ من البابليين وعدل عدة مرات أبرزها التعديل الذي تم في عهد يوليوس قيصر عام 46 قبل الميلاد الذي يعتمد السنة 365وربع اليوم معتدا في ذلك على اقتراح فلكي يوناني قديم في القرن الرابع قبل الميلاد. وقد اعتمد ذلك على حسابات رياضية بدأت في الهند ترصد الشمس ومواقعها بين النجوم بما يسمى الفلك النجمي ، وقد ظهرت قبل الميلاد في كتب الهند القديمة قواعد ملاحقة حركات الشمس والقمر . فرصدت أدوار النجوم عندما تتم دورة كاملة حول الشمس والعلاقات بينها ،كما عدّ الفلك عند الإغريق جزءا من الرياضيات إلى جانب الفلسفة ،إذ لم يهتم الفيلسوفان أفلاطون وأرسطو بتطوير الرياضيات للتنبؤ بالحركات و الأدوار بل اهتما بتفسير ما يجري في الكون . لم يمنع هذا ظهور

الفلك الهندسي المعتمد على رسم وتتبع الأجسام السماوية الذي ظهر في القرن الرابع قبل الميلاد على يد إديكسوس (Eudoxus) و كاليبوس (Callippus) . و في القرن الثاني قبل الميلاد ، اقترح هيباركوس وأبولونيوس نموذج الكرات المتمركزة لحركات الكواكب ومداراتها الدائرية اللامتمركزة . وقد وضع هيباركوس أول تصنيف للنجوم اعتمادا على كبرها . بالمقابل تبين الآن أن زانغ هينغ (Zhang Heng) قد وضع في القرن الأول الميلادي تصنيفا لأكثر من 2500 نجما ولأكثر من ألف برجا .

بقي التنافس بين نظرية مركزية الأرض التي تعتمد بعض التفسيرات الدينية والفلسفية ،ومركزية الشمس التي تظهرها الحسابات سواء القديمة البابلية أم الجديدة التي اقترحها قلة من علماء الإغريق غير المتنفذين ، ثم أيدتها الحسابات الهندية وأبرزها ما قدمه في القرن الخامس الميلادي أرياباتي (Aryabhaty) عندما اقترح منظومة رياضياتية تأخذ دوران الأرض حول نفسها وحركات الكواكب بالنسبة للشمس لتتطابق مع الأرصاد الفلكية . لكنه لم يتم تبادل هذه المعلومات على المستوى العالمي . لذلك نرى بعض علماء الفلك في القرن العاشر الميلادي يأخذ بهذه النظرية أو تلك وفقا لقناعاته الذاتية . ومنهم بعض علماء مسلمين مثل البيروني(Abu rayhan al-Biruni 973-1084) وابن ملكا البغدادي وأحمد بن محمد ابن كثير الفرغاني (Ahmed ibn Muhammed ibn Kather al- Farghani)في نهاية القرن التاسع الميلادي وجعفر بن محمد أبومعشر البلخي (Ja'far ibn Muhammed Abu Ma'ashar al-Balkhi)الذي قال أيضا بمركزية الشمس . بقي الأمر كذلك حتى القرن السادس عشر فأظهر ت الأرصاد والحسابات تفسيرا لجميع الظواهر المعروفة حتى ذلك الحين على يد تيخو براها (Tycho Braha) وكبلر ،وكانت قد كثرت المراصد وبدأ يعم العلم وتبادل الأرصاد وتكاملها .

7-5-علم الفلك الحديث (new astronomy):

تعدّ حوارية مركزية الشمس ومركزية الأرض أولى المسائل النظرية التي تحاول وضع نموذج لبيانات تجمع بصورة تجريبية ، وهي بداية ما يعرف بالفلك النظري . فقد ازدادت البيانات عن النجوم وأفلاكها في السماء ازديادا ضخما مع استعمال المناظير الفلكية وتحسنها أولا في مقدرة فصلها الذي وضّح أن ما كان يظهر على شكل سحابة من غبار يمكن أن يكون تجمع من نجوم تكّون مجرة أو مجرات، لذلك يدل السديم nebula وهو المصطلح الفلكي المستعمل لذلك، أحيانا على الغبار بين المجرات وأحيانا أخرى على المجرة نفسها . تتبع مقدرة الفصل فتحة المنظار الفلكي الذي بدأ بنصف قطر فتحة من مرتبة السنتيمترات منظار غاليليله عام 1608 ، وكبرت في الوقت الحاضر حتى بضعة أمتار منظارهيل Hale telescope 5.1 m الذي بدأ استعماله في مرصد بالومار عام 1975 ؛ ليتضح وجود قرابة ألف مليون نجما في المجرة ووجود مئة ألف مليون مجرة تكوّن عالمنا[11]. إن كبر حجم المنظار وثقله والحاجة إلى تتبع بعض الحوادث الفلكية فرض بناء مراصد معدة لهذا الغرض مجهزة بتجهيزات ميكانيكية ضخمة وفي أمكنة عالية بعيدة عن تلوث المدن وما يعيق الرؤية . على سبيل المثال ، كان من المراصد الأولى المرصد الإمبراطوري في وسط أوروبا قديما، ومرصد ماونا كي Mauna Kea في هاواي حاليا . وإلى جانب تحسن مقدرة الفصل وأجهزة التتبع، تحسنت الكواشف بدءا من أفلام التصوير ولوحاته الذي بدأ استعمالها قرابة عام 1890وحتى استعمال الكواشف الإلكترونية المعتمدة على نبائط الشحنة المترافقة charge coupled devices CCD التي بدأ استعمالها قرابة عام 1970. فاستعملت لتسجيل الأطياف ولمقارنة شدات منابع الإصدار ،فقد بدأ استعمال قياس الشدات الضوئية للنجوم stellar photometry عام 1861 وفق بعض الأطوال الموجية لتحدد ضيائيتها (سطوعها) و لونها ومن ثم درجة حرارتها، فاعتمد عام 1951 معايير عالمية وفق الألوان فوق البنفسجي والأزرق والمرئي .

وقد استعملت المناطيد والصواريخ وتبعتها الطائرات منذ ما بعد الحرب العالمية الثانية للتخلص من امتصاص الجو للأشعة فوق البنفسجية ،فبدأ ما يعرف باسم الفلك فوق البنفسجي (ultraviolet astronomy) ، ثم تم استعمال السواتل (الأقمار الصنعية) لهذا الغرض فأطلق أول ساتل عام 1972، (ساتل كوبرنيكوس) ثم ساتل بتعاون علمي سمي مكتشف الأشعة فوق البنفسجية العالمي (International Ultraviolet Explorer IUE) عام 1978. إذ يساهم هذا المجال من الطيف الكهرطيسي في استكمال المعلومات عن النجوم في طورالتكوين ومتابعتها حتى تصبح نجوم عملاقة حمراء ،كما يساهم في التعرف بدقة على وفرة العناصر في الغازات المكونة للأكاليل الغازية بصورة خاصة .

وأطلقت سواتل أخرى لتغطي مجالات أوسع فأطلقت ناسا عام 1972 ساتل متخصص في اكتشاف أشعة غاما كان بداية الفلك الغماوي(Gamma ray astronomy)، ثم أطلقت عام 2008المنظارالفلكي الفضائي واسع الزاوية (Gamma-ray Large Area Space Telescope) إضافة إلى سواتل أخرى أطلقت خلال المدة الزمنية المذكورة . وكذلك أطلق عام 1974 ساتل لمتابعة الأشعة السينية ومصادرها يعد بداية فعلية للفلك في مجال الأشعة السينية (X-ray astronomy) ، إذ إن أول منبع أشعة سينية كوني كان عام 1962 وكان اكتشافه مفاجأة وهو في مجرتنا (الطريق اللبني) عند برج العقرب؛ وكانت شدته أقوى بعشرة آلاف مرة من إصداره الضوئي العادي. وفي عام 2007 أطلق ساتل آخر (AGILE) للغرض نفسه . ومع أن مثل هذه الإشارات كان يلاحظها الباحثون في الأشعة الكونية لكنها لم تأخذ دورها في علم الفلك إلا حديثا ، إذ كان اهتمامهم منصباً على الجسيمات الأولية وما تعانيه لدى دخولها جو الأرض.

وفي المجال الراديوي فقد تابع ج.روبير (Grote Reber) أعمال يانسكي فبنى طبقا مكافئيا قطره تسعة أمتار عام 1937ويعد رائد علم الفلك الراديوي (radio astronomy) ، ثم قام بمسح للسماء باحثا عن مصادر الأشعة الراديوية . ثم

استعمل أ. هيويش (Antony Hewish) و م.رايل (Martin Ryle)، في خمسينيات القرن العشرين، المنظار الراديوي التداخلي في كامبريدج لمسح السماء فوضعا خارطة للمنابع الراديوية ، فقد كان رايل و ج. ل. باوسي (Joseph Lade Pawsey) قد طورا هذه التقنية عام 1946 لتحسين مقدرة فصل هذه المناظير الجديدة. وقد استعملت منذ مدة هذه الفكرة في المناظير الفلكية الضوئية بعد أن استخدمت الكواشف الإلكترونية CCD .

أما في مجال تواترات الأشعة المكروية فقد كان أ. بينزياس (Arno Penzia) و ر.و. ويلسن (Robert Woodrow Wilson) أول من شاهدا أشعة الخلفية الكونية في هذا المجال ومن خلال التحليل الطيفي لهذه الأشعة وجدا أنها تتفق مع طيف إشعاع جسم أسود درجة حرارته 2.7كلفن ، وتجدها في أي اتجاه نظرت أي متناحية . ويعد هذا الاكتشاف أحد الأدلة لنظرية الانفجار العظيم (Big Bang) .

يمكن تلخيص أهم ما توصّل إليه علم الفلك المشاهد (observational astronomy) حتى بداية عشرينيات القرن العشرين، حين ظهر علم الكون النسبوي الذي يعد فرعا من الفيزياء الفلكية يهتم بأصل الكون ،التي بدأت بدورها عام 1890 ، عندما بدأ استعمال المبادئ الفيزيائية المستنتجة على الأرض لتفسير ما يجري للأجرام السماوية استعمالا واسعا، فكان مثلا:

1)اكتشاف النجوم المتغيرة (variable stars) في ضيائيتها أو سطوعها سواء الدورية منها أم المتفجرة مثل النجوم الجديدة العملاقة. قد يكون أول المتغيرات الدورية اومكرون سيتي (Omicron Ceti) الذي شاهده د. فابريكوس (David Fabricius) عام 1596، ثم ازداد عددها في العام 1786 فأصبح اثني عشر نجما ويشير تصنيف عام 2003 إلى وجود أربعين ألف نجما متغيرا في مجرتنا ،وعشرة آلاف في مجرات أخرى ،وعشرة آلاف أخرى قيد التدقيق . يرتبط تغير سطوعها الدوري بالسطوع نفسه وبالتالي فهي تستعمل كشمعات عيارية بين النجوم والمجرات ومنها ما يسمى بالقيفاويات(Cepheids) والنباضات (Pulsars) . وقد يكون التغير

في حجمها أو قطرها . ففي مرصد غرينيتش الملكي مثلا، سجلَ لقطر الشمس منذ عام 1750 ،وعند تحليل هذه السجلات وجد ج.أدي (John A.Eddy) و أ.أ. بورنازيان (Aron A. Boornazian) وجدا دليلا على تقلص قطر الشمس 0.1% كل قرن ،لكن بعضهم الآخر يقترح تغيرا دوريا . وأخيرا قد يكون التغير في طيف النجوم و نسب شدات الخطوط الطيفية .

2) اكتشاف تشكل النجوم و تطورها خلال فترة حياتها اعتمادا على كتلتها الأولية فمنها ما يتبع نمطا عالميا ومنها ما يشذ عنه . فالبدء تكاثف غيمة من غبارأو غاز مكون من هيدروجين بصورة رئيسية ينضغط وتهيمن عليه قوى الثقالة فيسخن إلى درجة تحرض البدء بتفاعل اندماج نووي ،فتتولد حرارة ويتمدد الغاز معاكسا قوى الثقالة ، ويمكن لبعض النجوم أن يتوازن . وإذا ما نفد الهيدروجين يترك النجم تسلسل النمط العالمي لتعود هيمنة الثقالة فينضغط الهليوم ويتوسع غلاف النجم الخارجي نتيجة احتراق الهيدروجين فيصبح عبارة عن نجم عملاق آخر،و يمكن أن تتم تفاعلات اندماج أيضا لتتكون عناصر جديدة، وتدخل تفاعلات التصنيع النووي المستخلصة تجريبيا على الأرض في الحسبان . كان اقتراح وجود كتلة حرجة للنجم تحدد مصير النجم نقطة خلاف [9] بين عالم هندي شاب اسمه شاندراسيخار (Subrahmanjan Chandrasechar) وعالم فلك مرموق هو أدينغتون (Arther Stanely Eddington) فوفق حسابات الأول تبلغ هذه الكتلة 1.44مرة كتلة الشمس ، بينما لم يقتنع الثاني بوجود مثل هذه الكتلة الحرجة ،ولم يحل الخلاف في الحسابات بين الفلكيين إلا بتدخل فيزيائيين مثل بوهر وديراك عام 1935. فإذا ما تجاوز النجم هذه الكتلة يمكن أن يصبح نجما نترونيا أو ثقبا أسودَ. أتت حسابات فاولر (Ralph Howard Fowler) المعتمدة على ميكانيك الكم الإحصائي وفق إحصاء فرمي– ديراك واكتشاف نجم القزم الأبيض عام 1926 لتؤكد نموذج شاندراسيخار.

3) تحديد العناصر الكيميائية المكونة للنجوم والموجودة فيما بينها ووفرتها في كل منها ، ابتداء من الشمس مرورا بالغبار والسدم والشهب والمذنبات.

7-6-علم الكون (cosmology):

مرّ علم الفلك في عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين بتحول كبير ، إذ ولد علم الكون النسبوي الحديث [10] ودخلت ثلاثة فروع فيزيائية مهمة لهذا الفرع هي : ميكانيك الكم والفيزياء النووية والنسبية . قدمت هذه الفروع دعما للطرائق والنتائج التجريبية (أطياف جمعت على مدى أربعة عقود ، حركات ، انزياحات طيفية تركيبها الكيميائي ووفرتها في الكون ، ومصادر طاقتها وأعمارها) اعتمادا على حسابات ونماذج كمية وبدأ التساؤل عن أصل الكون ومصيره . وتعد هذه المدة فترة انتقالية تعتمد بالتساوي على الفلك النظري والفلك التجريبي ، أو مابين الفلك المشاهد والفيزياء الفلكية،وقد أدرك فلكيو تلك المدة ضرورة فهم النظريات الفيزيائية لأن المستقبل لن يعتمد على الفلك الطيفي لوحده . كان راسل (Henry Norric Russell) أول من قال بالدور المركزي للفيزياء في الفلك عام 1927وأن الفلك أصبح فرعا من الفيزياء عبر محاضراته . ويعدّ بعضهم أن بداية الفيزياء الفلكية الجديدة كان مع أول مدرسة صيفية أقيمت في هارفارد عام 1935في الولايات المتحدة ، دعا لها تلميذ راسل شابلي (Harlow Shaply).

دخلت أيضا فيزياء الأشعة الكونية لتساهم في تفسير ما يجري في الفضاء الكوني ، فقد قال ميليكان (Robert Mhllican)[12] عام 1928 إن الأشعة الكونية هي صرخة الوليد بالنسبة للذرات ،إذ إنها تولد من أشعة غاما الناتجة عن الاندماج حين تكوين عناصر ثقيلة . واتضحت الصورة تماما عندما عرفت أنواع الأشعة الكونية الواصلة إلى الأرض وتفاعلاتها مع الجو عام 1933. تبع ذلك بيانات الجسيمات الأولية فأدت مساهمتها ، مبتدئة بالإلكترودينامیك الكمومي ونظرية U(1)، ثم نظرية الكواركات للتفاعلات الشديدة ، تلتها نظرية التوحيد بين التفاعلات الضعيفة والكهرطيسية ، فنظرية التوحيد الكبيرة ، وأخيرا نظرية التناظرات الفائقة

لتوحد جميع التفاعلات والنظريات المماثلة لها . فهذه كلها أصبحت ذات أهمية خاصة لأنها تجمع بين الفروع المختلفة في الفيزياء لتصب في تفسير لنشأة الكون . كما تقدم وطور كامو (George Gam0w) و ر.أشر (Ralph Asher Alpher) و هرمان (Robert Herman) عام 1948 نظرية خاصة بالتصنيع النووي قرابة زمن الانفجار الأعظم ، تختلف عن نظرية التصنيع النووي في النجوم التي يمكن مقاربتها بتفاعلات نووية نقوم بها على الأرض.وتعد وفرات العناصر الكيميائية مجسا حساسا لما حدث للكون مبكرا ووجود مادة خفية أو تحديد كتلة للنترينو . وقد أضيفت خلفية الإشعاع المكروي عام 1965 المقابلة لدرجة حرارة قريبة من 2.7K إلى الآثار والشواهد الأخرى(مثل تمدد العالم(الكون) ووفرة العناصر الكيميائية) التي تدعم نظرية الانفجار الأعظم التي تنبأت بذلك فهي مخلفات الانتقال من مكونات أيونية إلى ذرات معتدلة وبقية عملية فك الارتباط المبكر بين الفوتونات و الباريونات . كان تناحي هذه الخلفية الداعم الأول للنظرية ، لكن الحاجة إلى سبب لتشكل المجرات يفرض وجود ترجحات وتكاثفات وهذا ما اكتشف عندما تحسنت تقنيات القياس[13].

لاشك أن الرياضيات قد ساهمت مساهمة كبيرة في علم الكون ، وقد لايميز أحيانا بين الفيزيائي النظري والرياضياتي ، لذلك كان بوانكاريه Jule Henri Poincare(1854–1912) يرفض تسميته فيزيائي ويصر على أنه عالم طبيعة رياضياتي، فهو أول من تحدث عن أصل المجموعة الشمسية والكون . وأشار إلى مساهمة الهندسة والمدارات غير المغلقة في حالة وجود ثلاثة أجسام التفاعل فيما بينها ثقالي ،والانحرافات عن قوانين كبلر ، وميز بين معنيين للاستقرار :

(أ) عدم مغادرة الجملة لنقطة الاستقرار الممثلة للتوازن أبعد من مسافة معينة و (ب) عودة الجملة إلى موضع قريبا من نقطة التوازن قربا اختياريا بعد انقضاء زمن طويل كفاية . وقد تقدم عام 1911 بفرضيات عن الكون جديدة منها أن العالم محرك حراري ضخم يعمل وفق الحرارة المتدفقة بين النجوم المختلفة درجة الحرارة وتؤدي السدم أدوار عفاريت مكسويل [14]. لذلك فإن معظم علماء الكونيات تميزوا بقدر وافر

من الرياضيات الجبرية والهندسية ،فقد استعمل أينشتاين فكرة غاوص حول نظرية السطوح وهندسة ريمان (Bernhard Riemann) بعد حضوره لمحاضرة ألقاها غايسر (Carl Friedrich Geiser) وأخرى للرياضياتي غروسمان (Marcel Grossmann)الذي تعاون معه في نشرة بخصوص اللامتغيرات و العناصر الخطية عام 1913 لكنها لم تؤد الغرض المنشود [15]. وكذلك يقال الشيء ذاته عن غامو وزملائه والمعاصرين مثل هاوكنج .

7-7-الأشعة الكونية (cosmic rays) :

بدأ الحديث عن وجود الأشعة الكونية مع إلستر (J.Elester) وغيتل (H.Geitel) و ويلسن (C.T.Wilson) خلال العامين 1899و1900 نتيجة دراسة تأيين الهواء وهروب الشحنة الكهربائية من مكشاف الكهربائية المعدل (باستعمال سلكين ناقلين مكان ورقتي الذهب) مع مرور الزمن . كان الحديث عن النشاط الإشعاعي الطبيعي قد اكتشف ، وعزي سبب الهروب إلى وجود منابع مشعة طبيعية قريبة أو من مواد الكاشف نفسه. لكن دراساتهم المتأنية بعد استعمال التدريع قادتهم إلى افتراض وجود مسبب آخر . تابع غوكل (A.Gockel) و هس (V.F.Hess) و كوهلستر (W.Kohlorster) خلال الأعوام من 1910 و حتى 1914 دراسة تغيرات تأين الهواء وغازات أخرى على ارتفاعات مختلفة وصلت حتى 9000 مترا فوجدوا تناقصا طفيفا في البدء ثم تزايدا مستمرا واضحا مع زيادة الارتفاع ليتوصلوا إلى أنها قادمة من خارج الأرض . ولدى دراسة تغيراتها مع خطوط الطول والعرض بينوا أنها ليست قادمة من الشمس ،كما وجدوا أن جزءا منها عالي النفاذ فصنفوها ضمن أشعة غاما γ القاسية (2.6 MeV) وكانت تعرف باسم أشعة الجو العالية إلى أن أطلق عليها ميليكان (R.Millikan) اسم الأشعة الكونية عام 1925. فقد قام ميليكان مع كاميرون (G.H.Cameron) ما بين عامي 1926و 1928 بقياسات تحت الماء فأظهرت تخامدا شديدا تحت الماء بعد عمق بضعة أمتار فقط مما تأكد قدومها من خارج الأرض ، كما أجريا قياسات تحت الأرض على أعماق مختلفة

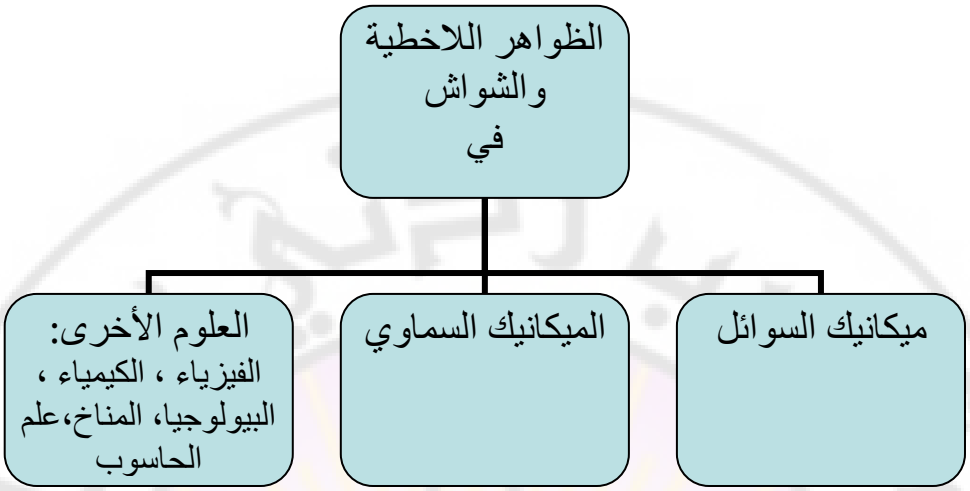
وعلى ارتفاعات مختلفة وفي فصول مختلفة من السنة مستعملين عدادات غايغر التي شاع استعمالها عام 1933، إضافة إلى المكاشيف الكهربائية فاكتشف ما يسمى بالأثر الجيومغنطيسي الذي ارتبط تفسيره بدراسة نظرية قام بها مثلا دي لاميتير (G.deLemaitre) و فالارته (M.S.Vallarta) حول مسارات جسيمات مشحونة تدخل جو الأرض فتتأثر بالحقل المغنطيسي الأرضي ، فكانت بعض المسارات متفقة مع كون الجسيمات إلكترونات عالية الطاقة وبعضها الآخر يتفق مع كون الجسيمات بروتونات ذات طاقة عالية . استمرت التفسيرات والمناقشات حول بعضها الآخر حتى عام 1952 وباستعمال كواشف جسيمات جديدة مثل حجرة الضباب وألواح التصوير التي تتبّع الجسيمات المفردة ظهرت تسميات مثل أشعة أولية وأشعة ثانوية لاحقة (بما يعرف تفاعلات شلالية) وحددت طاقاتها ما بين 1 MeV و500MeV في معظمها لكنه ظهرت مسارات لا يمكن تفسيرها إلا بكون كتلتها تقع بين كتلة الإلكترون وكتلة البروتون فسميت ميزونات (التي تعني باليونانية جسيمات وسطية) طاقاتها من مرتبة 10BeV . كان الاقتراح الأولي بتسميتها الميزونات ميو(μ) التي كان قد اقترحها عام 1935 يوكاوا (Yukawa) لتفسير القوة النووية الشديدة الرابطة للنكليونات (بروتونات و نترونات) ، لكن خواصها الأخرى لم تتفق معها وظهرت عائلة كاملة من الميزونات.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثامن

الظواهر اللاخطية و الشواش

Nonlinear Phenomena and Chaos


الظواهر اللاخطية والشواش في
ميكانيك السوائل
الميكانيك السماوي
العلوم الأخرى: الفيزياء ، الكيمياء ، البيولوجيا، المناخ،علم الحاسوب

الظواهر اللاخطية و الشواش

8-1- الخطية و اللاخطية: (linearity and non-linearity)

إن معظم الظواهر التي درست في الفيزياء حتى ستينيات القرن الماضي كانت تفسر بصورة تقريبات من الدرجة الأولى على أنموذج رياضي مبسط لحل أو مجموعة حلول لمعادلة ،قد تحتوي في الأصل حدودا من الدرجة الثانية . وفي حالات قليلة أمكن الوصول إلى حل ممثل بصورة تحليلية كاملة. غير أن دخول الحواسيب وإمكان حل المعادلة الأصلية التي تحتوي حدودا لا خطية مباشرة أظهر مدى غنى فيزياء الظواهر اللاخطية وتعقيدها في الوقت نفسه ، وأن كل ما تعلمناه في الفيزياء الخطية يحتاج إلى مراجعة دقيقة مع كل النجاحات التي حققتها. فظهر

مثلا السلوك الشواشي لبعض المنظومات ، ذلك السلوك الذي يتصف بالحساسية المرهفة لشروط البدء و الذي يضخم كثيرا أي اضطراب في الجملة بحيث يصعب التنبؤ بنتيجة وحيدة في النهاية فتدخل الصفة الاحتمالية ، مع أن المنظومة تخضع لقوانين حتمية وأن أصل هذه الاحتمالية مختلف عن احتمالية ميكانيك الكم ، فهي ناجمة عن وجود الحدود اللاخطية و كثرة المتحولات التي تصف المنظومة . كما يمكن التعرف على شواش في ميكانيك الكم أيضا الذي يدعى الشواش الكمومي الناتج عن اللاخطية في معادلة شرودنغر أو ما يقابلها ، أما ما ينتج عن معادلات حتمية فهو الشواش الحتمي . تؤثر هذه النظرة في كل العلوم و حتى على الفلسفة مما دعا نويمان (John Von Newnman) القول بالتالي : " لا تحاول العلوم تفسير الظواهر؛ بل تحاول ترجمتها بصعوبة ، فهي تصنع نماذج بصورة رئيسية. ونقصد بالنموذج كائناً رياضياً يصف الظواهر المشاهدة مع بعض الترجحات الإضافية ، وما يسوّغ السعي وراء مثل هذا الكائن الرياضي هو توقع عمله بدقة" والتنبؤ بواسطته . بذلك أعاد المناقشة عام (1927م) حول إمكان الرياضيات و العددية منها بشكل خاص تشكيل منظومة تامة من المسلمات منسجمة ذاتيا تمكننا من اتخاذ القرار الصائب . أتى الجواب على يد غودل (K.Godel)(1931م) بالنفي ، فتحدث عن اللاتمامية (incompleteness) المترافقة مع الانسجام الذاتي (consistency) وعن عدم قابلية الحوسبة(uncomputablity) بصورتها المطلقة. وبالتالي علينا أن لا نعتقد بأن الحاسوب قادر على حل جميع مشاكلنا ، إضافة لما تؤديه عدم قابلية الحوسبة من عدم قابلية التقرير بصحة مقولة أو عدمها (undecidebility) . تبع ذلك بالطبع مناقشات و تعديلات على هذه التعاريف و غيرها ، مما خلق ضجة علمية عالمية ما زالت قائمة حتى الآن و خصوصا عندما يضاف لهذه المبادئ مبدأ الشك (أو الارتياب) في الفيزياء لصاحبه هايزنبرغ . إذ ما زال بعضهم يعتقد بعدم صحة بعضها . تشكل مثل هذه الطروحات حدودا لما يمكن أن نتوصل إليه و نضعه في إطاره الصحيح دون المبالغات .

بصورة عامة ، نعبر عن سلوك جملة أومنظومة فيزيائية بمعادلات رياضية معتمدة على قوانين أساسية مثل قوانين نيوتن في الميكانيك التقليدي أو ما يكافئها ومعادلة نافيير وستوكس في ميكانيك السوائل، ومعادلة شرودنغر في ميكانيك الكم. و نجد في الرياضيات ، تعريفا محددا للاخطية هو:تعدّ منظومة المعادلات لاخطية إذا لم تحقق أحد المبدأين التاليين أو كليهما : مبدأ التركيب superposition ومبدأ التجانس .و يكتبا بالرموز على الصورة :

$$f\left(x+y\right)=f\left(x\right)+f\left(y\right)$$
$$f\left(\alpha x\right)=\alpha f\left(x\right)$$

يمكن أن يكون ذلك في مجموعة معادلات جبرية أو تفاضلية عادية أو تفاضلية جزئية أو ، حتى علاقات معاودة recurrence relations في المتتاليات. يظهر السلوك اللاخطي أو الشواشي إما في أ) عدم التحديد أي عدم إمكانية التنبؤ بسلوك النظام . ب) تعدّد الاستقرارية ،أي تتناوب المنظومة متنقلة بين حالات محددة اثنتين أو أكثر .ج) اهتزازات لادورية ،أي دوال لا تعود إلى قيمها الأولى تماما بعد انقضاء زمن محدّد (الدور) ، بل قريبة من هذه القيم قربا يمكن اختياره . وسنعرض فيما يلي أمثلة على ذلك .

8-2- منظومات لاخطية(nonlinear systems) :

8-2-1:النواس

قد يكون النواس أحد أبسط الأمثلة التي درست دراسة موسعة ، إذ إنه يبيّن النقاط الأساسية . فعندما يدرس أولاً كأنه كرة مرتبطة بإحدى نهايتي قضيب صلب لا ثقل له والنهاية الأخرى للقضيب معلقة في نقطة ثابتة والكرة خاضعة لثقلها فقط ثم يعدّل هذا النواس بإخضاعه إلى قوى أخرى تظهر بعض المصطلحات ببساطة .

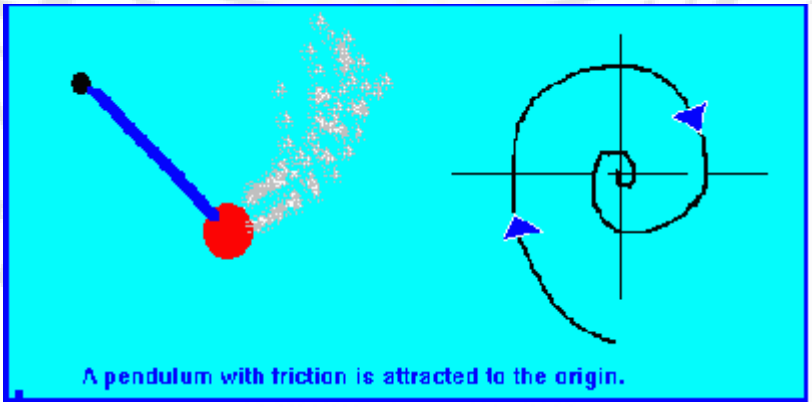
نحتاج لمتحول واحد فقط في حالة خضوعه لثقله هو الزاوية التي يصنعها مع الشاقول θ في حالة دراسة حركته المستوية(النواس البسيط) وإلى متحولين عند دراسة حركته العامة (النواس المخروطي). كما أننا سنبدأ بنواس لا يخضع لاحتكاك ،ثم

نستقرئ الحالة مع وجود احتكاك . يتبع النواس في الحالة الأولى للمعادلة المستنتجة من قانون نيوتن التالية ،وذلك بعد أخذ مقاسات وحدات مناسبة للمتحول والزمن :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \sin\theta = 0$$

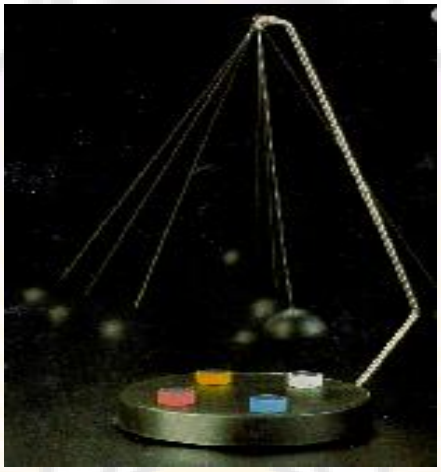
في الواقع لا توجد حلول تحليلية مغلقة لهذه المعادلة، وبالتالي لا تظهر سمات الحركة مباشرة بصورة واضحة ، مما يستدعي إرجاع هذه المعادلة إلى معادلة خطية بالقرب من نقاط رئيسية (أي الاكتفاء عند النشر بجوار هذه النقاط بالحدود الأولى) . مثلا ، نكتب θ مكان $\sin\theta$ في المعادلة بجوار $\theta \sim 0$ ، فتصبح المعادلة خطية وحلولها توافقية بسيطة . ويوجد حالة ثانية بجوار $\theta = \pi$ تصبح المعادلة $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \pi - \theta = 0$: يكون الحل بجوارها جيباً قطعياً ،بمعنى أن θ ستزداد دون توقف ، وبالتالي فإن أية إزاحة عن هذه النقطة ستبعدها عنها والحل غير مستقر خلافا للحالة الأولى . يمكن للمرء أن يدرس الحالة بجوار $\theta = \frac{\pi}{2}$ لتصبح المعادلة :

$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 1 = 0$ التي تقابل السقوط الحر ، فتتبع الزاوية الزمن بصورة تربيعية . وإذا ما وجد احتكاك مع وجود بعض الضجيج فستعود الجملة في حالاتها الثلاث إلى الحالة المقابلة للحل المستقر عند المبدأ $\theta = 0$ ونقول عن هذه النقطة نقطة جاذبة ، بمعنى أنها تجتذب الحالات كلها إلى هذه الحالة (الشكل 8–1).

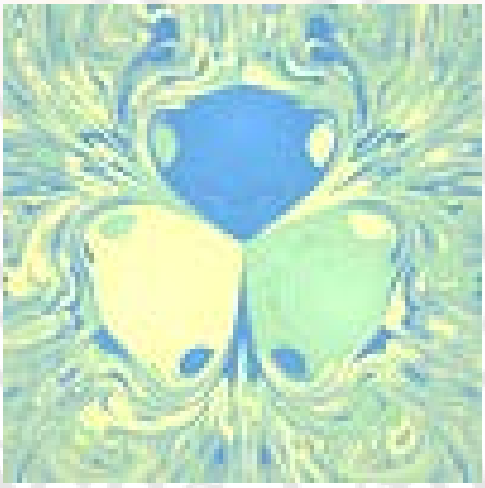


الشكل (8–1) سلوك نواس متخامد في فضاء الطور والنقطة الجاذبة

أخيراً لو كانت كرة النواس ممغنطة ووضعنا تحتها على المستوي الأفقي ثلاث مغانط موجودة على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع مركزه عند المبدأ أي نطبق ثلاث قوى مغنطيسية إضافة إلى ثقل الكرة الشكل (8–2)، ثم تابعنا النواس حتى الوصول إلى حالته النهائية من أجل شروط ابتدائية مختلفة عديدة لأمكن أن نحصل على توزع للحالات يشبه التوزع المبين في الشكل (8–3) التالي :



الشكل(8–2) نواس مغنطيسي مع ثلاث مغانط



الشكل (8–3) حوض الجاذب في حالة النواس المغنطيسي

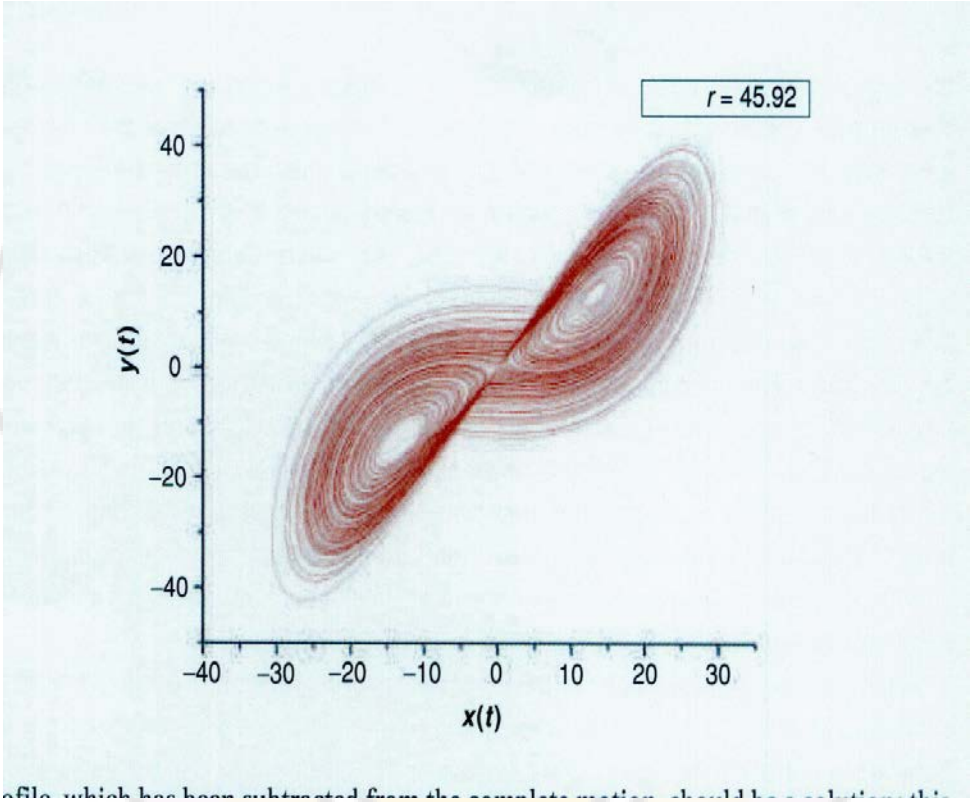
حيث أعطيت ألوان مختلفة لكل مغنطيس و للحالات المقابلة التي يستقر عندها النواس عند أحد المغانط الثلاث . تدعى المقاطع الثلاثة التي لها شكل القلب حوض الجاذب(attractor basin) ، فهو تعميم لفكرة النقطة الجاذبة .

8-2-2 جريان الموائع (fluid flow):

تناولنا في الفصل الثالث أنواع الحركات أو الجريانات التي يبديها سائل معين اعتمادا على خصائصه من لزوجة وشروط ابتدائية وسرع مفروضة ، وقلنا إن معادلة نافيير و ستوكس لاخطية وإن الحد اللاخطي هو الذي يسبب ظهور الحركة الاضطرابية الدوامية في المائع بصورة خاصة . وذكرنا أن إيجاد حلول تحليلية مغلقة وعامة لهذه المعادلة غير ممكن . إلا أن تقدم الحوسبة مكّن من إيجاد حلول عددية واستخلاص سمات مشتركة عند الانتقال من حالة الحركة الطبقية إلى الحركة الاضطرابية ،وكذلك تأثير الشروط الابتدائية وتغيراتها في كل ذلك . إن من بين المسائل التي أعادت دراسة حركة الموائع إلى الواجهة ما وجده لورنز عند دراسته للمناخ وتغيراته فقد تقدم لورنز (Lorenz) عام (1963م) بمجموعة معادلات تصف تحريك الهواء الجوي على مستوى الكرة الأرضية بغية التنبؤ بالمناخ وحاول حلّها فاكتشف ظهور عدم استقرار في الحل(أي ظهور حالة شواشية) من أجل قيم محددة للوسطاء الداخلة في هذه المعادلات لكنه وجد في الوقت نفسه أن الحلول تتقارب نحو منطقة معينة ،وليس في نقطة ، سميت باسمه جاذب لورنز الغريب (انظر الشكل 8-4) . تكتب هذه المعادلات بدلالة ثلاث توابع معممة للزمن $X(t)\&Y(t)\&Z(t)$ تعطى تغيراتها الزمنية ب :

$$\eth_t X(t)=\sigma[Y(t)-X(t)]$$
$$\eth_t Y(t)=-Y(t)+rX(t)-X(t)Z(t)$$
$$\eth_t Z(t)=-bZ(t)+Y(t)X(t)$$

و يظهر الحدان اللاخطيان في المعادلتين الثانية و الثالثة ، أما الوسطاء فهي :σ و b وr .



الشكل (8–4) جاذب لورنز الغريب

ويظهر من شكله سبب تسميته بالجاذب الغريب ، إذ تعد الفكرة الرئيسية وراء تسمية الجاذب لمنظومة تحريكية ، هي في ميل هذه المنظومة إلى الاستقرار وفق حالات محددة مع مرور الزمن ، وفي هذا الجاذب نجد مناطق الاستقرار لها مظهر القناع .

أما جاذب لورنز فتشغل الحالات النهائية منطقة في الفضاء ليست نقطة (بعدها صفر) و ليست منحنيا مغلقا (بعد واحد) و ليست المستوي كله (بعدين) أوالفضاء كله (ثلاثة) إذن للجاذب الغريب أبعاد كسرية تقع بين تلك الأعداد الصحيحة ومن هنا أتت التسمية بالغريب(كإحدى مميزاته) . وفي الوقت نفسه وجد حساسية كبيرة لشروط البدء على الحالة النهائية ، فإن تغيرا طفيفا في شروط البدء

سيتضخم كثيرا ناقلا الجملة من منطقة إلى منطقة بعيدة عنها ، وهو ما أصبح يعرف بأثر الفراشة الذي يدل على أن حركة جناح الفراشة (الرهيفة) في مكان معين قد يسبب رياحا عاتية وفيضانات في منطقة أخرى من الكرة الأرضية .

8 2 3 -انتشار الضوء ومعادلة شرودنغر اللاخطية :

(propagation of light and schrodinger non-linear equation)

يخضع انتشار ضوء الليزر في الألياف الضوئية إلى معادلة لا خطية أيضا فبسبب شدته العالية تصبح مرتبة الحدود اللاخطية لخواص مادة ما من مرتبة الحدود الخطية التي تصف عادة هذه المادة ،مثل استقطابية المادة وقرينة انكسارها وبالتالي فإن نقل المعلومات و البيانات في الاتصالات والإلكترونيات ستتأثر بذلك. يمكن أن نكتب معادلة الانتشار التي تأخذ في الاعتبار تأثير الحدود اللاخطية في الاستقطابية ممثلة بالمعامل d ، ثابتة الاقتران اللاخطية التي تمزج أمواج ذات تواترات مختلفة ، نأخذ عددها ثلاثة هنا : ω_1 و ω_2 و ω_3 ونأخذ الحقول الكهربائية لها E_1 و E_2 و E_3 ونعدّها أمواج مستوية تنتشر وفق المحور z فنجد اعتمادا على معادلات مكسويل ، المعادلات الثلاث التالية :

$$\frac{dE_1}{dz} = -\left(\frac{\sigma_1}{2n_1\varepsilon_0 c}\right)E_1 - j\left(\frac{\omega_1}{n_1 c}\right)d.E_3.E^*_2 \exp\left[-j\left(k_3 - k_2 - k_1\right)z\right]$$

$$\frac{dE_2}{dz} = -\left(\frac{\sigma_2}{2n_2\varepsilon_0 c}\right)E_2 - j\left(\frac{\omega_2}{n_2 c}\right)d.E_3.E^*_1 \exp\left[-j\left(k_3 - k_1 - k_2\right)z\right]$$

$$\frac{dE_3}{dz} = -\left(\frac{\sigma_3}{2n_3\varepsilon_0 c}\right)E_3 - j\left(\frac{\omega_3}{n_3 c}\right)d.E_1.E_2 \exp\left[-j\left(k_3 - k_2 - k_1\right)z\right]$$

يلاحظ ظهور حدود تربط حقول الأمواج الثلاثة على شكل حاصل ضرب إضافة إلى الحد الأول الخطي،كما يلاحظ ظهور ثلاث مركبات لقرينة الانكسار n_i وثلاث مركبات للناقلية الكهربائية المزيفة σ_i وفيها ε_0 نفوذية الخلاء .

لدى إيجاد الحلول المشتركة لهذه المعادلات يمكن أن تظهر حلول شواشية تشبه ما حصلنا عليه من حلول غير متخامدة عند دراسة انتشار الأمواج السطحية

في الفصل الثالث السوليتونات. ولدى معرفة قبول هذه المعادلات مثل هذه الحلول، اقّترح استعمال خاصة عدم التبديد وانتشارالسوليتون، لنقل البيانات . و قد أصبحت التقنية قيد التطبيق الآن.

كان غينزبورغ و لانداو (Geensborg & Landau) قد اقترحا معادلة لاخطية لتفسير خواص النقل الفائق لبعض المواد ، أي أن حالة النقل الفائق هي ضمن شروط معينة ، واقترحا حلا لتلك المعادلة . كما اقترحت ، بصورة مماثلة معادلة شرودنغر اللاخطية في حينها .

$$i\partial_t\Psi=-\frac{1}{2}\partial_X{}^2\Psi+k||\Psi^2||\Psi$$

4-2-8 المعادلة اللوجستية (logistic equation):

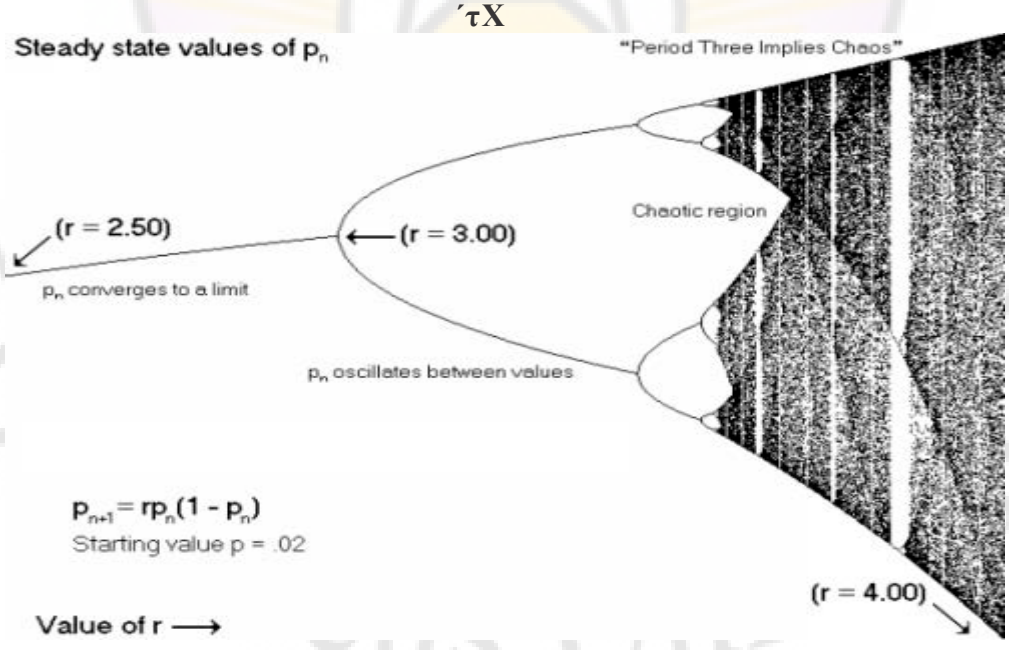
وكمثال آخر في البيولوجية و البيئة يتعلق بتوافر الطعام لكل من يعيش على الأرض ممثلا بتطور أعداد المفترسين و الضحايا من جيل إلى آخرفيرمز لعدد أفراد الجيل رقم n بالتابع P(n) أما الجيل التالي (وهذا أيسر للتعامل معه بالحاسوب) فيرمز له بالتابع P(n+1) ، يعد هذا المثال نوعا من المنظومات المتقطعة التي يظهر فيها الشواش وجاذبات غريبة ، خلافا لما صادفناه في حالة المنظومة المستمرة لجاذب لورنز. يعطى تطورالأعداد من جيل إلى آخر بالمعادلة :

$$P(n+1)= r\ P(n)[1-P(n)]$$

يمثل r الموجب نسبة التزايد من جيل إلى آخر ،أما ما داخل القوس فيمثل التغذية الراجعة من هذا التزايد بسبب نقص الضحايا (الغذاء) ، وهي معادلة فروق لا خطية يمكن أن تعطي معدل التزايد السكاني الذي يتناسب في البدء مع عدد السكان عندما يكون هذا العدد صغيرا،أما عندما تبدأ المجاعة سيعتمد على الكثافة والوضع سيختلف . تملك هذه المعادلة ،على بساطتها ، عدم استقرار من أجل قيم للوسيط الوحيد r. فعندما تكون قيم r واقعة بين (0 و1) سيتلاشى العدد وصولا إلى الموت . أما عندما تكون قيمه في المجال بين (1و2) فإن العدد السكاني سيستقر عند قيمة محددة تساوي [(r-1)/r] . وفي المجال الواقع بين (2 و3) سيستقر العدد أيضا عند

القيمة السابقة و لكن بعد أن يهتز عدة اهتزازات . في المجال الواقع بين (3و √6) تتأرجح قيمته بين قيمتين إلى الأبد . و عندما تزيد قليلا عن هذه القيمة ستتأرجح بين أربع قيم ثم بين ثماني قيم تليها ستة عشر و هكذا .يمثل هذا السلوك ما يعرف باسم الشلال التضاعفي الثنائي (period doubling cascade) أو التفرعي (bifurcation) ، و بالتالي يظهر الشواش بعد القيمة r =3.57 مع وجود بعض جزر استقرارية من أجل بعض الشروط الابتدائية لكنه بعد القيمة (4) ستتباعد القيم مهما كانت قيم الشروط الابتدائية .

يمثل الشكل (5 –8) هذه الحالات الذي يسمى المخطط التفرعي للخارطة اللوجستية (logistic map)، و تظهر سمة الكسوريات (fractals) فيه ، بمعنى أنه إذا كبرنا الشكل عند القيمة (3.82)مثلا سنجد محيطا يشبه الشكل الأصلي لكنه موارب قليلا وتمثل هذه الصفة نقطة تقاطع عامة و شاملة بين الكسوريات و الشواش ، إذ إن هذا يمثل الحساسية البالغة للشروط الابتدائية.



الشكل (8–5): المخطط التفرعي للخارطة اللوجستية

8-3- نظرية الشواش (chaotic theory):

قادت المشاهدات المذكورة في الأمثلة السابقة وأمثلة مشابهة إلى الحديث عن المشترك بينها وكيفية تمييزسلوك إحداها عن الأخرى ، فنشأت نظرية الشواش والتحريك الشواشي (بمعناه العام أي التغير الذي يستخلص من معادلات لا خطية تخضع لها المنظومة ليست بالضرورة حركاتها). تصنف منظومة ما شواشية إذا امتلكت الخواص التالية : أ) حساسيتها الكبيرة للشروط الابتدائية ، بمعنى أن كل نقطة من نقاط مسارها الطوري قريبة قربا اختياريا من النقاط الأخرى ، يمكن أن تتبع مستقبلا مسارات مختلفة تماما عن تلك الجارات . هذا ما يعرف بأثر الفراشة الذي كان عنوان الورقة التي قدمها لورنز عام (1972) إلى التجمع الأمريكي لتقدم العلوم . ب) قابلة للمزج الطوبولوجي ، بمعنى أن المنظومة ستتطور مع الزمن بحيث تتطابق منطقة معينة من فضاء طورها جزئيا مع أية منطقة أخرى من فضاء الطور .استعملت كلمة مزج لشبهها بما يحدث عند مزج ألوان الأصبغة التي تعدّ هذه العملية شواشية. ج) مداراتها الدورية كثيفة جدا ، تقابل هذه الخاصة ما وجده بوانكاريه عند محاولته حل مسألة الأجسام الثلاثة لإيجاد مداراتها ، إذ وجد أن مداراتها غير مغلقة ، بمعنى أنه إذا بدأ أحدها من نقطة معينة في فضاء الطور فإنه لا يعود بعد انقضاء الدور المفترض إلى النقطة نفسها بل يعود إلى نقطة قريبة منها . ويظهر ذلك بوضوح عند وجود جاذب وبالتالي وجود عدد لانهائي من هذه المدارات .

من الأمثلة على التشابه في السلوك بين منظومات تخضع لمعادلات مختلفة نجد جاذب روسلر (Rossler) الموصوف بالمعادلات التفاضلية التالية :

$$X` = -(Y + Z)$$
$$Y` = X + aY$$
$$Z` = b + XZ - cZ$$

حيث a,b,c ثوابت قابلة للتعديل (وسطاء) . فمن أجل قيم معينة لهذه الثوابت تبدي المنظومة سلوكا دوريا ، لكنه من أجل قيم أخرى تبدي سلوكا شواشيا ، فيظهر تضاعفا بالدور شبيها بما وجدناه في المعادلة اللوجستية ، الشكل (8-5). تمثل هذه

المنظومة أنموذجا رياضيا يعد أبسط من أنموذج لورنز ، فهو أنموذج رياضي يبين الرابط بين التفرع وما يسمى بالكسوريات (fractals)الذي يعد تضاعف الدور مثلا لها .

نرى أن الحاسوب قد عمّق فهمنا للحوادث عن طريق مناقشة الحلول المختلفة للمعادلات اللاخطية ، فأصبح يعطى لكل حل جاذب ذي اسم ، ولهذا الجاذب قيمة بعدية ليست عددا صحيحا وحوض جذب مميزأيضا يحدد تعدد استقرارية الحلول وكيفية التحكّم بها للإنتقال من حالة إلى أخرى .

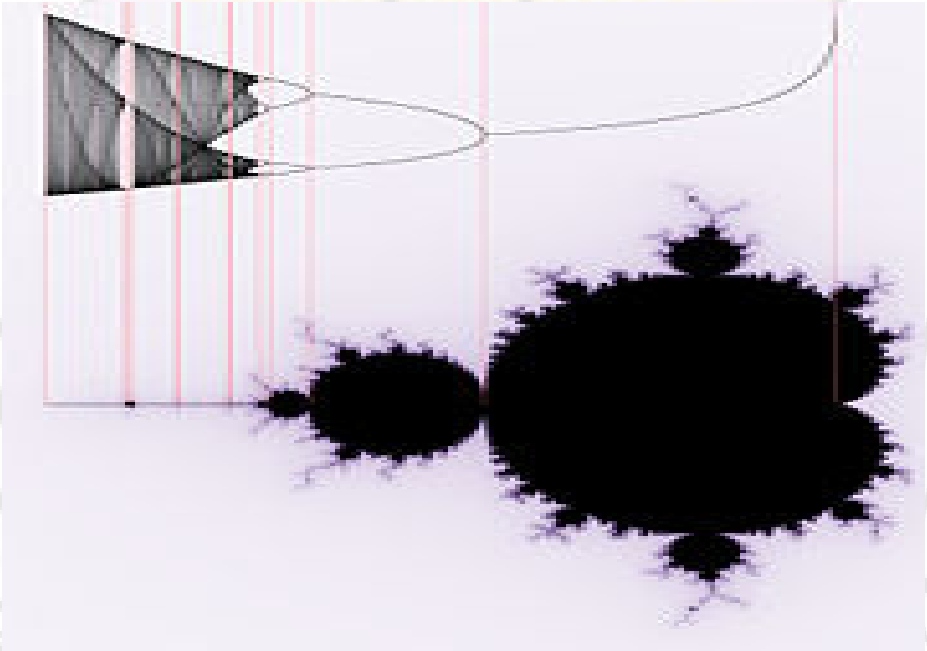
قد نجد أحيانا صعوبة في التمييز بين الشواش الذي يمكن استخلاص قواعد وقوانين يتبعها ، والعشوائية الناتجة عن ضجيج غير محدد أو ارتيابات. هنا أيضا برز دور الحاسوب ، إذ يمكن أخذ سلسلة طويلة من القياسات في أزمنة متتالية البعد بينها نفسه ، ثم محاولة استخلاص تكرارية قيمة معينة أي إيجاد تعالق (correlations) بين هذه القيم . وإذا عبّرنا عن كل قيمة بعدد من الأصفار والآحاد (لغة الآلة) وفق لغة مختارة يصبح لدينا لكل قيمة سلسلة منها (strings) سنحتاج بعدها إلى برنامج للبحث عن هذه التعالقات والخوارزمية المناسبة . فإذا وجد تعالق أي قانون متكرر كانت الحالة شواشية أما إذا كان توزع القيم والفروق بينها عشوائيا لا رابط بينها فالحالة عشوائية .

8-4-الكسوريات (fractals):

تعيدنا دراسة سلوك منظومة معينة عن طريق دراسة حلول المعادلة الخاضعة لها إلى مسائل في الحساب العددي ونظرية الأعداد التي قد نحتاج الهندسة لتساعدنا في الإيضاح . يمكن للحاسوب أن يساعدنا مثلا في حساب أعداد متتالية وفق قاعدة (معادلة) معينة ثم دراسة متتاليات هذه الأعداد وخصوصا تباعدها . تعدّ مجموعة ماندلبروت (Mandelbrot عام 1978) التي تستعمل أعدادا عقدية لتمسح المستوي كله مثالا شائعا لتبيان السمات الأساسية لهذا الترابط. تكون نقطة منه ممثلة بعدد عقدي ، ويمكن الانتقال من نقطة إلى أخرى وفق القاعدة التالية :

$$X_n=X^2_{n-1}+c$$

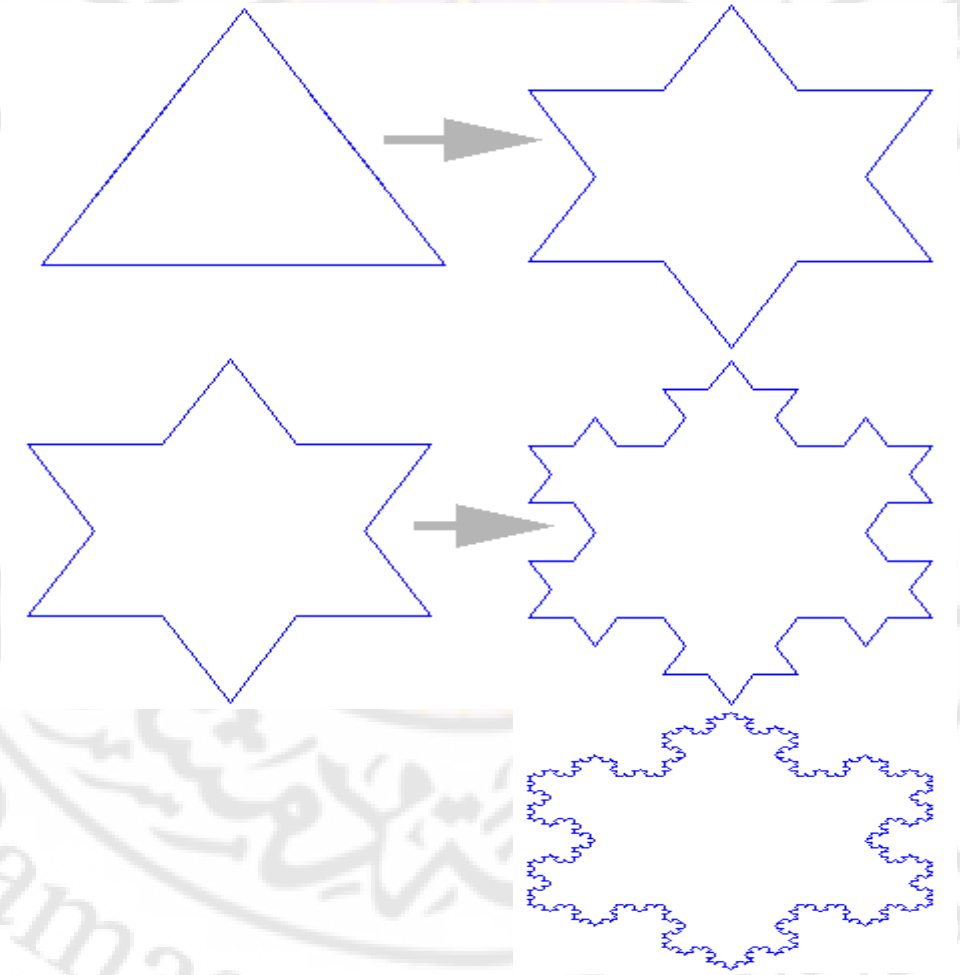
حيث تمثل X العدد العقدي ذي الدليل n الذي يلي العدد ذي الدليل n-1 ، وc ثابت. فإذا وقعت النقطة ضمن حدود معينة مسبقا ، أي المتتالية متقاربة ترسم باللون الأسود ، أما إذا ابتعدت مع زيادةn إلى اللانهاية فتعطى لونا آخر يحدد بكبر قيمة n الذي حدث عندها تجاوز الحدود المعينة . يظهر في الشكل (8-6) ما يعرف باسم كسورية ماندلبروت . يمكن لهذا الشكل أن يتكرر عند تكبير منطقة جزئية منه تكبيرا مناسبا . ويظهر أعلى يسار الشكل التقابل مع الخارطة اللوجستية عند بعض النقاط .



الشكل(8-6) كسورية ماندلبروت

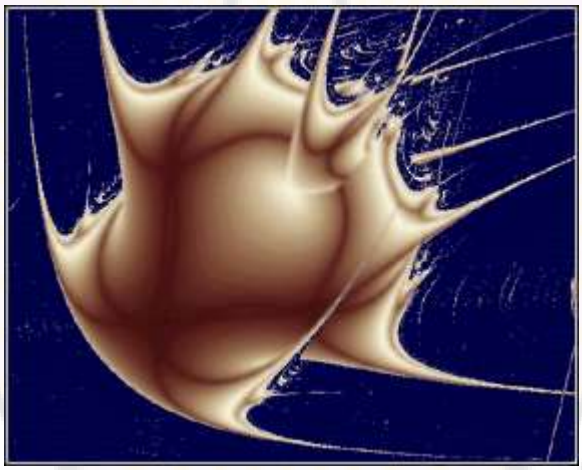
لقد وجد في بعض الحالات عدم التماثل التام عند التكبير المناسب .

وقد جرّبت قواعد أخرى ذات أصل هندسي كأن نقوم بحذف الثلث الأوسط من كل ضلع من أضلاع مثلث متساوي الأضلاع وبناء مثلث جديد على كل جزء متبقٍ وهكذا ،لنحصل على كسورية مبينة في الشكل (8–7) ، كان كوخ (Kochعام 1904) أول من جرب هذه القاعدة مثالا عن منحني مستمر دون مماسات لكنه يمكن رسمه هندسيا.



الشكل (8–7) كسورية كوخ

وقد تكون القاعدة تطويراً وظيفياً كأن نجعل r في المعادلة اللوجستية يتناوب على قيمتين a,b بصورة دورية (أي ما يقابل قيمتين لنسبة تزايد السكان مثلا) فنحصل على ما يعرف بكسورية ليابونوف (Lyapuov) الظاهرة إحداها من أجل قيم معطاة في الشكل (8-8) .هنا أيضا يجب التمييز ما بين مناطق الاستقرار والمناطق الشواشية (الكسورية).



الشكل (8-8) كسورية ليابونوف

ومما يجدر ذكره أن لمثل هذه الكسوريات مقابلات في الطبيعة ، مثل نمو ندفات الثلج المشابهة لكسورية كوخ التي تحمل الاسم ذاته ، والنمو الشجري الذي يشبه كسورية أخرى معدلة لكوخ ؛ ومخلوقات بحرية تشبه كسورية معدلة لماندلبروت. وهنا أيضا ،كما في الجاذبات، لكل كسورية أبعادها الكسرية المميزة لها .

8-5- نظرية التعقيد في الحوسبة (complexity theory):

كان يظن أن الحاسوب سيستطيع حل مسألة بوانكاريه حلا يوصلنا إلى معرفة دقيقة بمسارات الأجسام الثلاثة المتفاعلة فيما بينها تفاعلا تجاذبيا كما في حالة الكواكب في المنظومة الشمسية ، إذ لاحظ بوانكاريه مع مطلع القرن العشرين ، اعتمادا على حلول هندسية ورياضية ، وجود مسارات لا دورية للمسألة ، من أجل شروط ابتدائية معينة ، فهي لا تتزايد بصورة مستمرة مبتعدة عن بعضها بعضاً كما في حالة المسارات الزائدية أو المكافئية ، كما أنها لا تتقارب عائدة إلى النقطة التي بدأت منها ، كان يظن أن هذه النتيجة بسبب تقريب معين . كذلك وجد سلوك لمنظومات كثيرة تشبه بعضها بعضاً ، مما دعا الرياضيون وعلماء الحاسوب المنغمسين في حل الكثير من المسائل الفيزيائية و الهندسية و الحياتية و غيرها إلى البدء بفرع جديد يربط بينها وبين البرمجة و البرمجيات والخوارزميات، إذ يتوافق السعي نحو خوارزميات مختصرة قدرالمستطاع لحل مسألة معينة مع سعي الفيزياء لاختصار قوانينها في أقل عدد ممكن من القوانين الأساسية .

بالمقابل فإن الاتجاه المعاكس في الفيزياء لم يحظ بالاهتمام الكافي حتى عهد قريب ، ذلك الاتجاه الذي يفسر وجود أطوار مختلفة للمادة : غازية و سائلة و صلبة وبلازمية و زجاجية أو حبيبية بدءا من جسيمات عديدة بتغيير وسيط واحد (مثل درجة الحرارة) في الحصول على هذه الأطوار، عندئذ يمكن المقابلة والاستفادة من السلوك الشواشي الذي يعتمد تغيير أحد الوسطاء وتتبع سلوك الجملة نتيجة ذلك .
يمكن القول إنّ الانتقال من الجهري إلى المجهري كان الشغل الشاغل للفيزياء ، أما الانتقال من المجهري إلى الجهري فهو موضوع الساعة،مثل تنمية البلورات والأغشية والتركيبات الإلكترونية والليزرية المتنوعة والمتعددة الوظائف. وهنا تظهر الحاجة الماسة إلى الحوسبة ،إذ تحتاج المعالجة إلى حل عدد كبير من المعادلات في آن معا وكلما زاد عدد الأجسام (أوالمعادلات) زادت الحاجة إلى حواسب أسرع و ذات ذاكرة أكبر ، وعلى التوازي مع هذا ظهرت الحاجة إلى دراسة الخوارزميات المختلفة بغية اختصار المدة الزمنية اللازمة لإنجاز حل مسألة ما ، فنشأ فرع علم

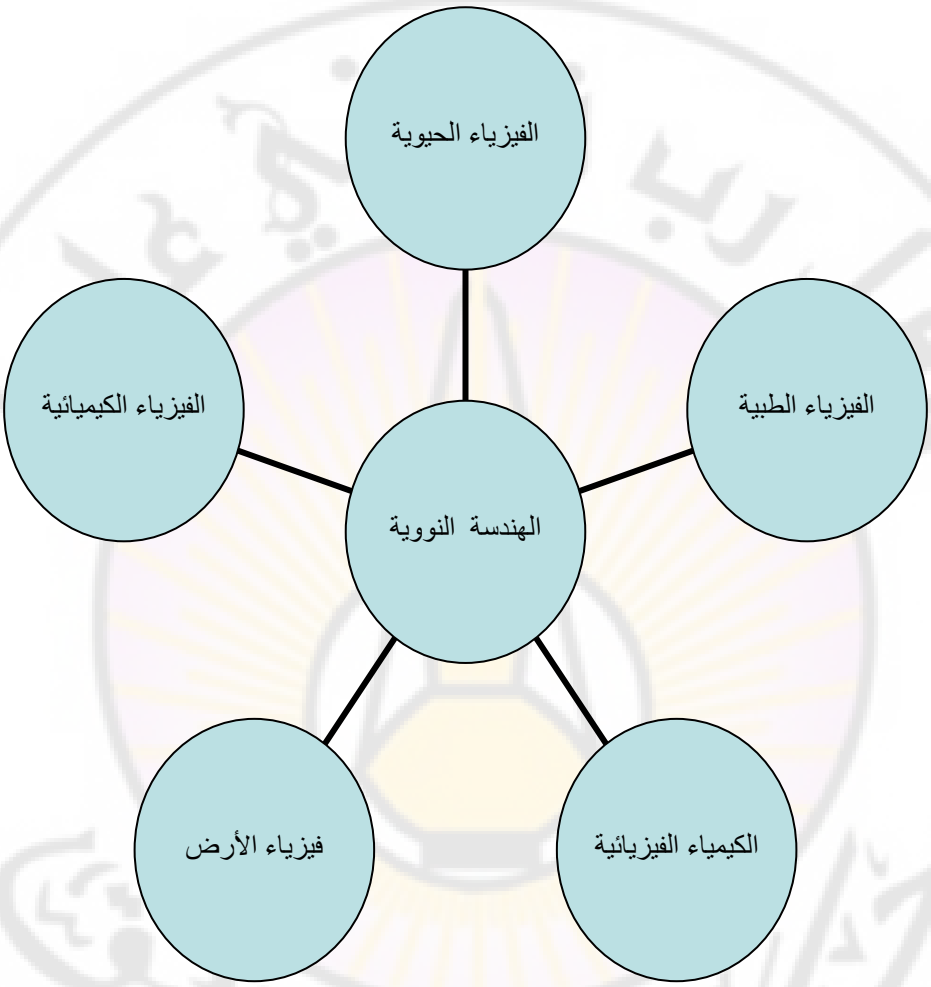
المعلوماتية (Informatics) والنظرية المعلوماتية (Information Theory)وعلم الحاسوب (computer science) . و المادة القريبة لما نسعى متابعته هنا، دراسة تعقيد مسألة ما فيما يعرف بتعقيد كولموكوروف (في ستينيات القرن العشرين) Kolmogorov complexity أو تعقيد حجم البرنامج، لكائن حاسوبي ما ، فهو يقيس الموارد الحاسوبية اللازمة لتحديد و وصف هذا الكائن ،سواء كان شريط من الرموز أم كان صورة أم قطعة نثرية . و يتطلب تحديد الموارد اختيار لغة للبرمجة ثم القيام بكتابة البرنامج الذي يولد شريط الرموز مثلا،ولنتذكر أن جميع هذه هي تجميعات محددة من أصفار وآحاد 1, 0 . ظهرت عندها مسلمات ونظريات وتعريفات جديدة خاصة بهذا العلم بغية قياس درجة التعقيد وما إذا كانت المسألة قابلة للحل حاسوبيا وشروط كل ذلك ،مما ينعكس على الفيزياء وكل العلوم.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

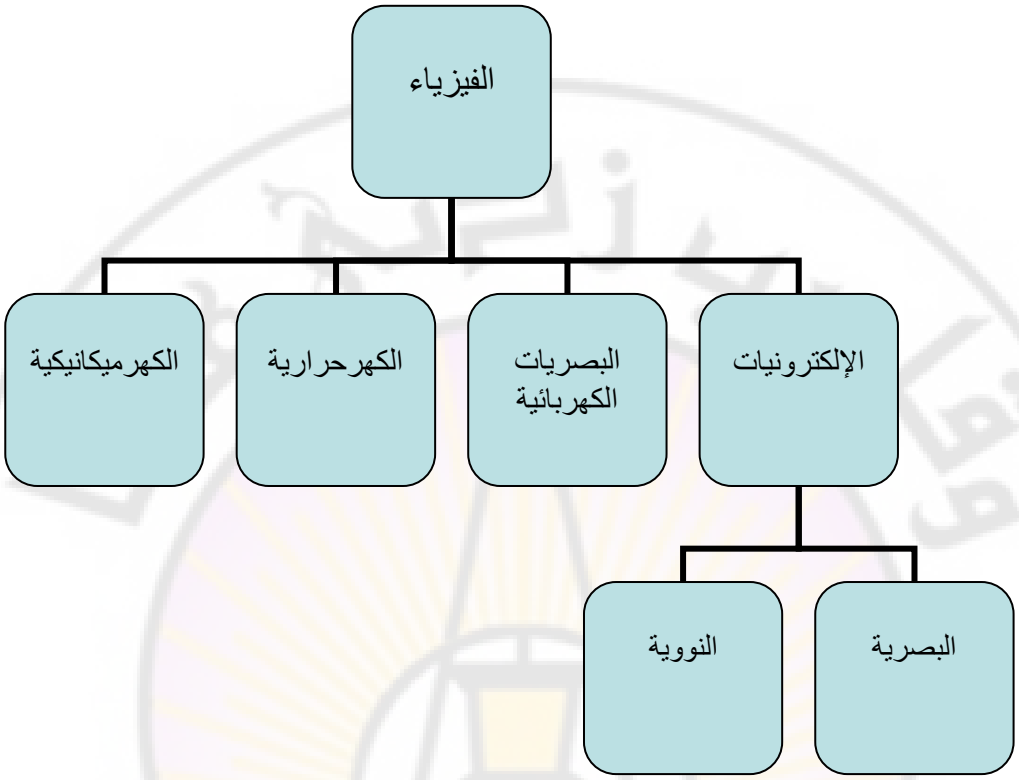
الفصل التاسع

علوم متعددة الاختصاصات

Multidisciplinary Sciences



Damascus University



علوم متعددة الاختصاصات

Multidisciplinary Sciences

9-1- نظرة موسعة :

بدأت العلوم وازدهرت مع اتباع المنهج العلمي في دراسة الظواهر الطبيعية . وكان من الضروري في مرحلة تالية تصنيف الظواهر المتماثلة وفق ما هو متوافر من وسائل التجريب والمشاهدة والتحليل . فوجدت مثلا ، منذ القدم ظواهر الكهرباء بصورة منفصلة عن الظواهر المغنطيسية ، وكلتاهما مفصولتان عن الفلك ، والعلوم الثلاثة مفصولة عن الكيمياء أوالسيمياء ، وكان يفترض بالعالم معرفة جميع ما يحيط به من ظواهر و تفسيرها ؛ فكان العالم الشامل أو الحكيم أو الفيلسوف . إلا أن تراكم الظواهر من النوع الواحد وكثرتها جعل من الصعب الإحاطة بجميع أنواعها ، فنشأت العلوم المختلفة من فيزياء وكيمياء وفلك ورياضيات وغيرها وظهر معها العالم الاختصاصي مثل : الفيزيائي والكيميائي والفلكي والرياضياتي وغيرهم، وحملت مع الاختصاص الابتعاد عن الاختصاصات الأخرى حتى وصل في بعض الأحيان إلى الجهل بها .

غير أن هذا التوجّه بدأ ينحو نحوا معاكسا هذه الأيام ، وفرض ذلك إمكان حفظ المعلومات وسهولة استرجاعها أينما كانت ولأي فرع بالإضافة إلى توافر الموسوعات البسيطة منها والمتقدمة . وتبيّن أن هذا التقسيم الذي كان ضرورة لم يعد كذلك ، بل وجد أنه من المفيد تلاقح العلوم بعضها مع بعض والاستفادة من نتائج فرع أو علم معين في الفروع أو العلوم الأخرى ، فظهرت فروع وعلوم جديدة متعددة الاختصاصات . وكما قال بوانكاريه الطبيعة واحدة ونحن جزّأناها لنفهمها ، وعلينا العودة إلى التكامل بين العلوم .

بالفعل ، ظهر غنى هذا التكامل بين بعض الفروع الفيزيائية وبعض العلوم الحديثة على شكل أدوات وتجهيزات كان يصعب حتى تخيلها أو تخيل وظائفها . سنستعرض أولا نشأة بعض الفروع متعددة الاختصاص في الفيزياء ، ثم نذكر بعض العلوم متعددة الاختصاصات.

9-2 – فروع متعددة الاختصاصات في الفيزياء :

سنعتمد في هذا السرد المعجم [4] في التأريخ لظهور الكلمة ومدلولها حفاظا على الجهد المبذول في هذا المعجم مع التنبيه إلى وجود بعض الاختلافات بين الدول حول صاحب الفكرة ومنشئها .

9-2-1 – الكهرميكانيكية (electromechanics)

هو فرع بدأ من الفيزياء عام (1888) ثم أصبح فرعا هندسيا قائما بذاته في كليات الهندسة الكهربائية و الميكانيكية ، وهو يهتم بالأدوات والتجهيزات أو العمليات التي تشغّل كهربائيا أو يتحكّم بها كهربائيا . قد يكون أقدمها المحركات الكهربائية المذكورة سابقا ، ثم المرحّلات (relays) التي استعملت بأعداد كبيرة في المقاسم الهاتفية في ثلاثينيات القرن العشرين والقواطع الكهربائية المكروية . ويندرج تحت هذا العنوان أيضا مكبرات الصوت والمحوالات (transducers) عموما ومنها الأدوات التي تستعمل الخاصة الكهرضغطية من أجل انزياحات مكانية صغيرة وأحيانا مكروية أو حتى نانوية ،مثل المجهر الماسح النفقي

(scanning tunneling microscope STM) ومجهر القوة الذرية (atomic force microscope AFM) اللذان وجدا وطورا في ثمانينيات القرن العشرين .

9-2-2 – البصريات الكهربائية (electro-optics) :

هو فرع من الفيزياء يتناول آثار الحقل الكهربائي على انتشار الضوء وإصداره ، بدأ عام (1891) باكتشاف ظاهرة الانكسار المضاعف المتناسبة مع الحقل تناسبا خطيا ، كما في خلية بوكلس(Pockels cell)، والمتناسبة مع مربع الحقل ، كما في خلية كرّ(Kerr cell) ، فهي تؤثر في تغيير استقطابية الضوء .

ثم اكتشاف تغيّر الفعالية الضوئية في الضوء المستقطب في المحاليل ، أثر فاراداي . وقد يغير الحقل الكهربائي من امتصاصية الوسط الضوئية لأهم الأوساط المواد

نصف الناقلة، حيث اكتشف ذلك الفيزيائي الألماني ، و. فرانز (Walter Franz) الفيزيائي الروسي ل.كيلدش (Leonid Keldysh) 1957- 1958 وقد سمي باسميهما أثر فرانز – كيلدش . هذا بالإضافة إلى ما ذكر سابقا حول أثر شتارك الذي يمكن تعميمه ليشمل الحصر الكمومي في الآبار الكمومية المستعملة في أدوات مختلفة مع نهاية القرن العشرين ، مما يغير أيضا من امتصاص الوسط.

9 2 3 -الإلكترونيات electronics :

تعريفه في المعجم هو فرع من الفيزياء يتناول إصدار الإلكترونات وسلوكها والتحكم بها وآثارها إضافة إلى الأدوات التي تقوم بذلك(1910) . لكن هذا الفرع تطوّر ليكون علما قائما بذاته له فروعه المختلفة ، وهو أيضا انتقل إلى كليات الهندسة فأصبحت تسمى في بعض الجامعات كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية . وقد عمّت تطبيقاته مختلف جوانب الحياة العلمية و الاجتماعية .

9 2 4 -الإلكترونيات البصرية (optoelectronics) :

فرع من الإلكترونيات يتناول الأدوات الإلكترونية التي تصدر الضوء أو تعدّله أو تكشف عنه أو ترسله أو تقوم ببعض من هذه الوظائف معا،ظهر كاسم عام (1959). يمكن أن نذكر بعض أهم الأدوات المنطوية تحت هذا الاسم وأولها الديود الضوئي أو المصدر للضوء اما أحدثها فالديود الليزري . تليه من حيث الأهمية آلات التصوير التي تستخدم الأدوات المعتمدة على اقتران الشحنة (charge coupled device CCD)1969. كذلك هناك الترانزيستور الضوئي والدرات المتكاملة الضوئية .

9 2 5 -الإلكترونيات النووية nuclear electronics :

فرع من الإلكترونيات يختص بتصنيع أدوات وتجهيزات للكشف عن الإشعاعات النووية ومتابعة التفاعلات النووية لتحديد الجسيمات المتفاعلة .

9 2 6 – الكهرحرارية thermoelectricity (1823) :

هو فرع يجمع بين الكهرباء والحرارة نشأ لدراسة أفضل السبل لتوليد الكهرباء مباشرة من فعل الحرارة . وقد استعملت المزدوجة الحرارية thermocouple بدءا من عام (1890) لقياس درجة الحرارة ، فعملها يعتمد على وصل سلكين معدنيين من مادتين مختلفتين ووضع الوصلة الأولى في درجة حرارة ثابتة ووضع الوصلة الثانية عند الجسم المراد قياس درجة حرارته فيتولد فرق كمون متناسباً مع اختلاف درجتي حرارة الوصلتين ، وهو ما يعرف بأثر سيبك Seebeck effect. وتجري حاليا بحوث مكثفة لاستعمال الأثر المعاكس المسمى أثر بيلتييه Peltier effect ، ووفقه يمرر تيار كهربائي في المزدوجة فينشأ عنه اختلاف في درجة الحرارة . ولم تعد تقتصر المواد على المعادن بل يمكن استعمال أنصاف نواقل وخلائط مختلفة ومواد عضوية على مستوى الجزيئات للقيام بعملية توليد الكهرباء من الحرارة.

9 3 – علوم متعددة الاختصاصات

9 3 1 – الفيزياء الكيميائية (chemical physics):

هو فرع يهتم بدراسة الظواهر الكيميائية والعمليات الكيميائية باستعمال الفيزياء الذرية والجزيئية وفيزياء المادة الكثيفة ، أي من وجهة نظر فيزيائية انطلاقا من ميكانيك الكم .فهو ، مثلا ، يدرس انتقال الطاقة بين أجزاء الجزيئة أو بين الجزيئات ؛ كما يدرس نقل الإلكترون وتشكل الروابط أو انفكاكها . ويقول سليتر(J.C.Slator) في مقدمة كتابه [16] ذي العنوان " مدخل إلى الفيزياء الكيميائية " (1939) والكتاب من أقدم الكتب التي ألفت في هذا الفرع : "ربما يكون من سوء الطالع أن انفصلت الفيزياء عن الكيمياء" . يعتمد هذا الفرع اعتمادا كبيرا على الفيزياء النظرية . كما يتداخل هذا الفرع مع الكيمياء الفيزيائية ، ويصعب أحيانا التمييز بين العاملين فيهما. لقد نشط البحث فيه حديثا مع تقدم استعمال الجسيمات النانوية ، تلك الجسيمات التي تتراوح أبعادها بين 1 nmو100nm ، وعناقيد منها

إذ أصبح بالإمكان الآن القيام بحسابات نظرية تتنبأ ببعض خواصها ، انطلاقا من الذرات . ويتناول أيضا بدء الانحلال والمحاليل وما يحكمها من تنشيط وغيره .

9 3 2 - الكيمياء الفيزيائية (physical chemistry):

هي دراسة الكيمياء من وجهة نظر فيزيائية ، بدأ بدراسة المنظومات الكيميائية الجهرية ثم تطور لدراسة المنظومات المجهرية . كان تطبيق قوانين التحريك الحراري (الترموديناميك) على التفاعلات الكيميائية وما ينتج عنها أول الطريق ، ثم تبعه الترموديناميك اللاتوازني للتعرف على جهة التفاعلات المفضلة وحركيتها، وتبعه تطبيق الميكانيك الإحصائي وميكانيك الكم ، فوجد فرع باسم الترموديناميك الكيميائي وآخر باسم الكيمياء الكمومية من بين الفروع الأخرى .

ربما يكون أول من أدخل هذا المصطلح لومونوسوف (Mikhail Lomonosov) عام (1752) ، بينما يعدّ أول من وضع أسس هذا الفرع جيبس Josiah Willard (Gibbs) عام 1876 ، وصدرت أول مجلة تحمل هذا الاسم بالألمانية عام 1887. ولهذا الفرع تفرعات جزئية قد يكون أقدمها الكيمياء الكهربائية electrochemistry[17] التي تتناول حركة وحركية الأيونات في المحاليل مع وجود حقل كهربائي بين المصعد والمهبط أو اعتمادا على اختلاف نوعي معدني المصعد والمهبط ،كما في بيل فولطا (1793) ، وكذلك يتناول انحلال المواد وتأينها (1807). ومن التفرعات الأخرى الكيمياء الضوئية وكيمياء السطوح وكيمياء تنمية البلورات ..

9 3 3 - الفيزياء الحيوية (biophysics):

(1892) فرع بدأ بتقصي تطبيق المبادئ الفيزيائية و طرائقها على مسائل بيولوجية حيوية . وهو الآن يعمل في اتجاهين ، فإضافة للاتجاه المذكور ، من الفيزياء إلى علوم الحياة ، أصبح بالإمكان تقليد ما في العلوم الحيوية للحصول على

أدوات كفؤة ومرنة تقوم بما تقوم به الأعضاء الحية،فهناك الآن فرع هندسي قائم بذاته . فقد بدأت دراسة ميكانيك الأعضاء الحية وبخاصة الجهاز الحركي المكون من عظام وعضلات في فرع سمّي الميكانيك الحيوي biomechanics عام (1933) ثم تطور حتى وصل الآن إلى كيفية استبدالها . ويشمل فرع الفيزياء الحيوية الآن تخصصات أخرى مثل محاكاة الأذن والعين ومحسات اللمس والذوق. قد تكون أوسعها استعمالا أجهزة التصوير المتعددة .

9 3 4 – الفيزياء الطبية (medical physics):

(1955) يستفيد هذا الفرع من ثلاثة علوم هي العلوم الطبية والحيوية (وضمنها الكيمياء) والفيزياء . تختلط فيه وتتفاعل تطورات هائلة في التجهيزات والمعدّات . فكان يظن قديما ، كما في حالة الميكانيك السماوي و الميكانيك الأرضي أن القوانين التي تخضع لها الجوامد تختلف عن القوانين التي تخضع لها الأجسام الحية فصنفت الكائنات على هذا الأساس ، غير أنه تبيّن أن القوانين الفيزيائية تنطبق نفسها على الأجسام الحية ، وما يجعلها تظهر مختلفة درجة تعقيدها البنيوي والهندسي وكثرة الوسطاء التي تصفها. لذلك جرى التقدم في خطين ، الأول : التعرف على مكونات الجسم الحي الأساسية ؛ بدءا من الأجهزة الوظيفية (مثل جهاز التنفس) ثم الأعضاء المكونة للجهاز ،تليها بنية الأعضاء والأنسجة حتى الخلايا الحية المختلفة ومكوناتها (نواة وهيولى ...) ومحاولة عزل كل منها ليتسنى دراسة مساهمتها . أما الخط الثاني : فهو محاولة استخلاص خواص الجسيمات العديدة الجهرية بدءا من معرفتنا خواص الجسيمات الأولية باستعمال الميكانيك الإحصائي التقليدي والكمومي . وقد كان الالتقاء مفيدا وغنيا للعلمين وفي الاتجاهين، كما سنرى .

يمكن أن تصنف إسهامات الفيزياء في الطب بالتالي[2]:

- الميكانيك كان استعمال مفاهيم القوة وعزمها والعمل والاستطاعة والحركة الدورانية في دراسة حركة الذراعين وحركة القدمين والمشي وجميع الأجزاء المتمفصلة في جسم الإنسان . وكذلك درس تركيب العظام على المستوى المجهري للتعرف على العوامل المؤدية لمرونة العظام وصلادتها .
- ميكانيك السوائل دراسة دوران الدم وجريانه في الأوعية الدموية والجسم .
- الترموديناميك عمليات انتقال المواد عبرالأغشية والتفاعلات بينها.
- التحريك الكهربائي عند دراسة انتقال الإشارة في الخلايا العصبية .
- الصوت وانتشاره في المواد المختلفة عند دراسة السمع.
- الضوء الهندسي عند دراسة تشكل الخيال والكهرضوئي والمعلوماتية عند دراسة إدراك الأجسام والتعرف على هويتها .

رافق كل ذلك وعلى جميع المستويات تطوير تجهيزات مناسبة في الاتجاهين التشخيصي والعلاجي . قد يكون التصوير بالأشعة السينية الذي بدأ مع بداية القرن العشرين بعد اكتشاف رونتجن لهذه الأشعة عام (1895) ، أولى التقنيات المعروفة في التشخيص الداخلي . وقد تطورت بزيادة شدات المنابع المستعملة من جهة وتحسين الكواشف (أفلام وغيرها) وحساسيتها من جهة ثانية . فانخفضت المدة اللازمة للتعّرض مابين خمسين ومئة مرة مع استعمال الأشعة السينكروتينية (في ثمانينيات القرن العشرين) . يلي ذلك التصوير باستعمال التجاوب المغنطيسي النووي الذي جرب استعماله عام (1946) ، برسيل وبلوخ (Bloch &Purcell) لكن التقنية لم تصبح على المستوى التجاري إلا عام (1973) . وعلى التوازي مع ذلك كان تطور التصوير بالأمواج فوق الصوتية وبالجسيمات وأشعة غاما الصادرة عن فناء البوزيترون والإلكترون وغيرها . ثم استعمل الليزر في الكشف والمعالجة وكذلك استعملت جميع ما استعمل في التشخيص للمعالجة ولاكتشاف وظائف خلايا أو مناطق معينة .

نشطت حديثا الكهربائية الحيوية بشقيها الكهربائي (الذي بدأ عام 1929على يد بيرغر P.Berger معيدا اكتشافات غلفاني وفولطا) والمغنطيسي التي ترصد وتكشف الآثار الكهربائية والمغنطيسية للتيارات الأيونية المتحركة في الجسم وفي الخلايا (كهربائية القلب وكهربائية الدماغ والجسم ، ومغناطيسية الدماغ ، مع ضعف هذه الحقول الشديد أمكن باستعمال أداة تداخل كموميةٍ (SQUIDَ(كشفها والتمييز بين فترات النشاط وفترات الركود .

أما في الاتجاه المعاكس فقد بدأت في ثمانينيات القرن العشرين استعمال مواد حيوية في الإلكترونيات الجزيئية واستعمال بكتيرية لتصنيع مواد نانوية.

9 3 5 -فيزياء الأرض (geophysics):

يعد هذا الفرع أحد فروع علوم الأرض geology . فقد ظهرت الكلمة لأول مرة عام 1834،لكنه يمكن القول إنه بدأ قديما برصد مشاهدات فقط، تتناول تفسير الزلازل و البراكين وأنواع التربة والمياه . ثم بدأت استعمال الأدوات والتجهيزات الهندسية تلتها الفيزيائية بأنواعها المختلفة . كما ساهمت الرياضيات في إنشاء نماذج تشرح الشكل الهندسي للأرض (بيير بوغير 1698– 1758 وهنري كافانديش) وارتباطه بصورة خاصة بمغنطيسيتها (ألكسندر هامبولت 1769–1859 وكارل فريدريش غاوص) والبوصلة التي استخدمت للسفر والإبحار . نشأ بعد ذلك تفرعات جزئية عن هذا الفرع مثل دراسة الزلازل seismology (جون ميلن 1850–1913 وروبرت ماليت 1810–1881) ؛ ودراسة عمر الأرض ومنشأ الحرارة الداخلية والمواد المشعة فيها ؛ علم المياه hydrology وعلم المحيطات oceanography للتعرف على حركة المياه الجوفية ودورة المياه على الأرض باستعمال ميكانيك السوائل وقوانين الترموديناميك . في القرن العشرين بدأت دراسة فيزياء أعماق الأرض ومنشأ الزلازل والحقل المغنطيسي الأرضي (الدينامو الأرضي) وفي النصف الثاني من القرن العشرين ظهرت نظرية حركة الصفائح الطبقية(التكتونية) لمكونات الأرض، كما درست طبوغرافية أعماق المحيطات باستعمال تقنية الصوت وصداه

على مدى القرن كله ليكتمل اكتشاف الوهاد الكبيرة والجبال الضخمة المغمورة ،بغية وضع نماذج ونظريات حول نشوء اليابسة وغرقها وتطوراته مع مرور الزمن .

9 3 6 – الهندسة النووية[1،18]: (nuclear engineering)

احتاجت الاستفادة تجاريا من الطاقة الضخمة التي تتحرر من التفاعلات النووية ، سواء منها الانشطارية أوالاندماجية (التي مازالت قيد التطوير) ، تضافر أربع علوم هي: الفيزياء النووية و الكيمياء النووية وفيزياء المواد والهندسة بفروعها (المدنية والميكانيكية والإلكترونية) وذلك للتحكم في هذه التفاعلات . فكانت المفاعلات النووية والمسرعات .

بدأت الفيزياء النووية منذ اكتشاف النشاط الإشعاعي الطبيعي عام (1896) على يد بيكرل (H.Becquerel) مع اكتشاف تأثير فلزات اليورانيوم على ألواح تصوير ثم على شاشات تألقية الذي كان يشبه تأثير الأشعة السينية المكتشفة في العام نفسه على يد رونتجن. تابعت مدام كوري (Mmd.Curie) بحثها في فلزات اليورانيوم وباستعمال التنقية الكيميائية الرهيفة ، فيما أصبح يعرف بالكيمياء النووية فتعرفت على مادتين أخريين أشد إشعاعية من اليورانيوم سمتهما البولونيوم و الراديوم عام (1898) وأيدها شميدت في هذا الاكتشاف بصورة مستقلة . استعمل مدى اختراق ما يصدر عن هذه المواد لقياس شدتها والتعرف على أنواع ما يصدر ، فعرف في البدء نوعان سميا أشعة ألفا α و أشعة بيتا β (وفق الترتيب الأبجدي في اللغة اليونانية)، واكتشف فيما بعد أشعة أكثر اختراقا من سابقتيها على يد فيلارد (Willard) عام (1900) سميت أشعة غاما γ (الحرف الثالث) . ويعد عام (1899) بداية ما يعرف اليوم بالفيزياء النووية التي أطلقها رذرفورد . أما دراسة مكونات الأشعة فرادى إلى جانب مدى اختراقها ،فكانت باستعمال حقول مغنطيسية وكهربائية وملاحظة انحرافها .فبيّن غيزل (Giesel) عام (1899) أن الأشعة β مكونة من إلكترونات ، وبينّ رذرفورد عام (1903) أن أشعة α هي نوى ذرات الهليوم شارحا بعض الصعوبات التي واجهها في الحصول على حقول عالية الشدة لتبيان ذلك .أما أشعة

γ فتم التعرّف عليها عبر تأيينها للهواء ولبعض الغازات ثم عن طريق انعراجها عام (1914) لتعرف على أنها نوعا من أنواع الأشعة الكهرطيسية .

استعملت الإشعاعات الطبيعية لتقصي إمكان تحريض التفاعلات النووية صنعيا بعد أن أمكن التعرف على نتاج بعض التفاعلات كنوى لعناصر جديدة ، فأطلق على العملية اسم تحويل طفري (transmutation) ، إضافة إلى الإشعاعات البسيطة المعروفة (α، β، γ) . حققت هذه العملية حلم القدماء في تحويل مادة إلى مادة أخرى ، لكن الأمر كان مكلفا وليس بالبساطة الكيميائية التي تخيلوها . كانت أولى المحاولات على يد رذرفورد عام (1919) فقام بقذف بعض الغازات الخفيفة بجسيمات ألفا ليحصل على نوع جديد من الجسيمات ،أمكنه بالتعاون مع شادويك (Chadwick) و بلاكيت (Blackett) عام (1925) تبيان أنها نويات نظير الأكسجين وفق التفاعل :

$$_7N^{14} +_2 He^4 =_8 O^{17} +_1 H^1$$

تبع ذلك تنبؤ غيرني (Gurney) نظريا بوجود تجاوب نووي عام (1929) وعندما أمكن التحكم بطاقة جسيمات ألفا تأكد وجود التجاوب على يد بوز (Pose) عام (1930) . ثم اكتشف شادويك النترون عام (1932) الذي اقترح وجوده منذ عدة سنوات رذرفورد ، بعد سلسلة من التجارب ومحاولة تفسير مدى بعض الإشعاعات ، ومعه كوري وجولييت. وفي العام نفسه، نجح كوكروفت (J.D.Cockroft) و والتون (T.S.Walton) باستعمال البروتونات المسرعة لتحقيق تفاعل انشطار الليثيوم وفق التفاعل :

$$_3Li^7 +_1 H^1 \rightarrow_2 He^4 +_2 He^4$$

وفي عام(1934) أمكن الوصول بجسيمات ألفا إلى طاقات جديدة وكذلك تم استعمال الديترونات.

توسّعت هذه الدراسات على مستويات الكشف والتحكم والتدريع ، فاكتشفت التفاعلات النووية المتسلسلة (chain reactions) التي تغذي نفسها بنفسها وعلاقة

ذلك بالنترونات الناتجة من حيث البدء بالتفاعلات والكتلة الحرجة ثم استمرارها أو إيقافها ، فعرفت النترونات السريعة والبطيئة والمبطّأة واللحظية والمتأخرة(أي ميزان النترونات) ؛ كما عرف تأثير ترتيبها الهندسي . في الوقت نفسه ، كانت المساعي موجهة للاستفادة من كبر الطاقة المتحررة من كل تفاعل التي تصل حتى (200MeV) ، فظهرت تقديرات مبشرة عام (1939) غير أن نشوب الحرب العالمية الثانية أجل التطبيق عدة سنوات . كان أول مفاعل نووي ناجح للأغراض السلمية مغذى ذاتيا عمل عام(1942) ما يعرف ببيل اليورانيوم والغرافيت، إشارة إلى أن المهدئ الذي يتحكم في المفاعل هو الكربون . كما استعمل أول مفاعل نووي لتسيير غواصة عام (1948) . هذا لم يمنع بعض العلماء والدول الاستفادة من القوة التدميرية لصنع القنابل النووية أولاها القنبلة النووية التي تستخدم انشطارااليورانيوم قرابة عام (1945) وثانيتها التي تستخدم البولونيوم . على التوازي ثم القنبلة الهدروجينية التي تستعمل تفاعلات الاندماج عام (1950) .

احتاج بناء المفاعلات والمسرعات بأنواعها المختلفة دراسة تأثيرات الأشعة على خواص المواد سواء المعدنية منها أو الإنشائية ،وخصوصاً وجود الشوائب وأنواع محددة منها . إذ قد تختلف امتصاصيتها لبعض الأنواع اختلافاً كبيراً ومنها ما يمكن أن يفعل بعض التفاعلات النووية فتصبح هي مصدر إشعاعات . كما يمكن أن تتدرّك هذه المواد وتخرب مضعفة البنية ومحدثة تشققات قد تكون كارثية . تظهر هنا الحاجة إلى مختلف فروع الهندسة وأنواعها سواء المدنية أم الميكانيكية أم الكهربائية والإلكترونية .

9-3-7- فيزياء الجو (atmospheric physics):

يعرف المعجم الجو على أنه الكتلة الغازية التي تحيط بأي جسم سماوي أو هو الكتلة الهوائية التي تحيط بالأرض وهذا المقصود هنا . وظهرت كلمة النسبة له (atmospheric) عام 1783 لتشير على ما يحدث في الجو من اضطرابات فيزيائية حركية أو تركيبية كيميائية . ونشأ فرع فيزياء الجو الذي يعتني بدراسة

الغلاف الجوي من حيث حركته اعتمادا على ميكانيك الموائع وعلى التحريك الحراري وتفاعل الإشعاع (الشمس والأنواع الأخرى) مع المادة ، ولاستكمال ذلك كان لا بد من الاعتماد على الكيمياء لدراسة التفاعلات الكيميائية الممكنة الحاصلة في الجو وعلى الجيولوجية للتعرف على تأثير المحيطات والبحار والجبال في عمليات مثل التخزين والتسخين الحراريين والبخر وما يتبع ذلك من تأثيرات الرطوبة وتشكل الغيوم وسقوط المطر أو الثلج أو البرَد ،حتى إنه وجد فرع خاص باسم فيزياء الغيوم فتبدأ بتصنيفها في أنواع ثم تناقش تشكلها وحركتها وترسيبها لهطول المطر أو الثلج أو البرد وتأثرها وتأثيرها على الرياح والأعاصير. كما يشترك معها علم المحيطات لدراسة انتقال الحرارة بوساطة التيارات المائية وذوبان الثلوج . وأخيرا دخل الإحصاء و النمذجة بغية التنبؤ بالطقس الذي تشكل له علما خاصا به هو علم الأرصاد الجوية يتفرع عنه مثلا الأرصاد الجوية الفيزيائية والأرصاد الجوية التحريكية للتنبؤ الزراعي أوالملاحي وغير ذلك؛ (dynamical and physical meteorology).

إذ بدأت المحاولات الأولى للتنبؤ بالطقس والمناخ منذ عصر أرسطوطاليس ن أي تعود إلى أكثر من 2000 سنة . لكن الدراسة العلمية المتانية بدات في القرن السابع عشر ، فظهر اتباع المناخ أنماطا محددة مثل ترافق أنواع محددة من الغيوم مع عواصف قادمة أو ترافق انخفاض الضغط الجوي مع مع سماء غائمة وسقوط مطر ،بينما يترافق ارتفاع الضغط غالبا مع طقس حسن .

- بدأت دراسة الغلاف الجوي فيزيائيا مثلا بدراسة تغير درجة حرارة الهواء وضغطه مع الارتفاع بتقريب سكوني، فقسم الغلاف الجوي إلى طبقات الأولى التروبوسفير تمتد حتى قرابة 10 كم تنخفض معها درجة الحرارة باطراد والثانية الستراسوسفير (الهادئة نسبيا) وتصل حتى ارتفاع يقارب 50 كم يتخللها طبقات جزئية تكون فيها درجة الحرارة ثابتة ثم متزايدة مع ازدياد الارتفاع . والطبقة الثالثة المتوسطة (الميزوسفير) التي تصل حتى قرابة 85كم تعود درجة الحرارة فيها إلى الانخفاض ؛ واخيرا الطبقة الحرارية

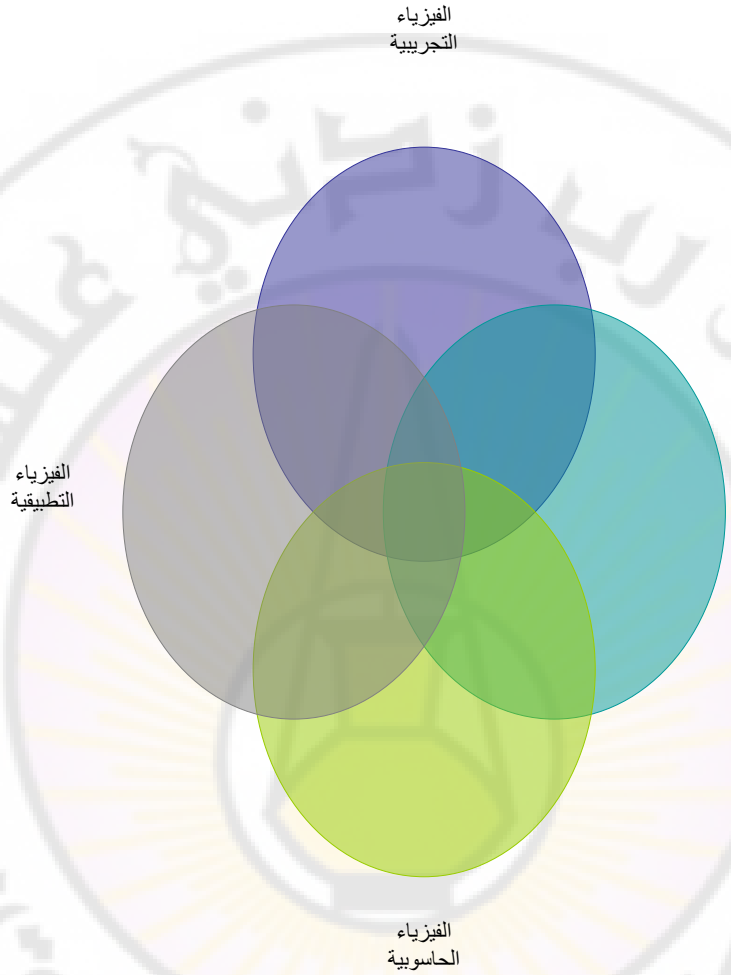
(ترموسفير) حتى ارتفاع 100 كم. يلي ذلك طبقة تغلب فيها الأيونات الطبقة المتأينة (الأيونوسفير) المسؤولة عن عكس موجات الراديو لتصل جميع أنحاء الكرة الأرضية . على التوازي مع ذلك فقد صيغت المعادلات التي تحكم حركة هذه الطبقات فقسمت إلى حركات طبقية قرب سطح الأرض واضطرابية دوامية في الطبقات التالية وأدخل فيها تأثير دوران الأرض إضافة إلى التأثيرات الأخرى . ويوجد الآن كما ذكرنا برامج طويلة تراكم خبرات أعداد ضخمة من الباحثين بغرض التنبؤ بالطقس والمناخ للمدى الزمني القريب وللمدى الزمني البعيد ؛ الذي يضاف له تحسينات باستمرار.

الفصل العاشر

خاتمة

الفيزياء والفيزياء الحاسوبية

(physics and computational physics)


الفيزياء
التجريبية
الفيزياء
النظرية
الفيزياء
التطبيقية
الفيزياء
الحاسوبية

10-1- الفيزياء والفيزياء الحاسوبية :

(physics and computational physics)

في الواقع ، يصعب استثناء تصنيف فروع الفيزياء المختلفة من فيزياء نظرية وتطبيقية وتجريبية عن تصنيف كثير من العلوم أو حتى الفروع الفنية . فعندما نتحدث عن نظرية ما < ظهرت هذه الكلمة (1597) theory> فإن ذلك يعني تحليل مجموعة من الحقائق لاستخلاص العلاقات بينها معبر عنه بقانون وهذا بدوره معبر عنه لفظيا أو رمزيا ، وهنا تدخل الرياضيات على الفيزياء . وقد تكون النظرية

أفكارا مجردة تخمينية مستندة إلى مبادئ محددة . كما قد تكون النظرية مجموعة مبرهنات theorems التي تستند بدورها إلى مسلمات بني عليها علم محدد أو فرع ما ؛ ويستعمل هذا في الرياضيات بصورة رئيسية ، وفي النظريات العالمية في الفيزياء. وعندما تلحق صفة النظرية theoretical بالفيزياء ،فغالبا ما يقصد بها الفيزياء البحتة المجردة ، ذلك أول ما استعملت عام (1652)؛ تمييزا لها عن الفيزياء التطبيقية applied التي هي تطبيق مبادئ عامة لحلّ مسائل معينة. وكلاهما يختلف عن الفيزياء التجريبية (1787) experimental physics التي تجري في المختبرات ضمن شروط محددة . وقد كانت المدة الزمنية التي تفصل بين اختبار فكرة نظرية تقترح تطبيقا معينا أو تصنيع أداة تعتمد عليها أوالانتقال من تجربة في المختبر إلى تصنيع أدوات على المستوى التجاري الواسع كانت تستغرق بضع سنوات وأحيانا عشرات السنوات . لكنه مع تقدم التقنيات وتنوعها انخفضت في النصف الثاني من القرن العشرين إلى سنة ونصف وسطيا (كما في حالة الحواسب)،وهي الآن تقترب من بضعة أشهر فقط مع دخول الحوسبة(1957) في التصنيع والتحكم والإنتاج (هواتف نقالة أو محمولة مثلا) .

كما ظهر في ستينيات القرن العشرين فرع جديد في الفيزياء هو الفيزياء الحاسوبية ، يعتني بدراسة وتوظيف الخوارزميات العددية لحلّ مسائل في الفيزياء يوجد لها نظريات كمية جاهزة ، قد تكون على شكل معادلات ، وكانت تعدّ فرعا من الفيزياء النظرية ؛ لكن بعضهم يعدّه الآن فرعا يتوسط ما بين الفيزياء النظرية والفيزياء التجريبية ، فأصبح له مجلة دورية تحمل الاسم نفسه عام (1966) . إذ يمكن إجراء التجارب على الحاسب فقط، ضمن برمجيات مناسبة. وقد تطور هذا ليشمل محاولة إجراء تعديل على البرنامج الأصلي لتتبع نتائج هذا التعديل . وقد تأتي المعالجة تحت اسم نمذجة (modeling) أو محاكاة (simulation). وهذا مما ساهم تقصير المدة الزمنية بين اقتراح الفكرة واختبارها وأزال الحواجز بين الفروع المختلفة وحتى بين العلوم المختلفة.فظهر فرع آخر تحت اسم العلوم الحاسوبية

(computational science)الحوسبة العلمية ،وهو يهتم ببناء نماذج رياضياتية ويستعمل تقانات الحلول العددية والأشكال الأخرى من الحوسبة، مثل المحاكاة ، والحواسب في حل مسائل باختصاصات علمية ؛فيقوم بتحليل مسائل علمية واجتماعية وهندسية . وأصبح منفصلا عن علم الحاسوب الذي يهتم بدراسة الحوسبة رياضيا ، وكذلك منفصلا عن معاجة المعلومات وتقانتها . فأصبح من الصعب للتجريبيين أن يتقدموا دون معرفة نظرية قوية ، ومن السهل على النظريين اقتراح أفكار كثيرة جديدة ووضعها تحت الاختبار وتعديلها إن لزم الأمر. وفي الوقت نفسه أصبح من الضروري جدا لتنفيذ كل ذلك بسرعة الاعتماد على عمل الفريق المتكامل متعدد الاختصاصات.

10-2-الفيزياء الحاسوبية (computational physics) :

يملك الفيزيائيون على الأغلب نظرية رياضياتية دقيقة تصف سلوك منظومة ما . لكن لسوء الحظ غالبا ما نصادف صعوبة في حل معادلات النظرية انطلاقا من البدء (ab initio) كي نحصل على تنبؤات عملية مفيدة . يصدق هذا خصوصا على ميكانيك الكم ، حيث توجد حالات بسيطة ذات حلول تحليلية كاملة (مثل دراسة ذرة الهيدروجين) ، أما الحالات الأكثر تعقيدا فلابد من استعمال الطرائق الحاسوبية (مثل أطياف الذرات متعددة الإلكترونات) .

لقد تضافرت جهود باحثين كثر لإنشاء برامج عالمية ،يطلق عليها اسم كودات عادة ، وفي مجالات مختلفة . فبالإضافة إلى ما ذكر هنا وفي فصل ميكانيك الموائع وفصل الظواهر اللاخطية يوجد مثلا ، كودات تتناول أمان المفاعلات وتشغيلها ، وأخرى لدراسة الليزرات بأنواعها المختلفة ، وكودات في الميكانيك لتتبع السواتل بدءا من إطلاقها وحتى استقرارها في مداراتها مع ملاحقتها وكودات لتمثيل المنظومة الشمسية في حركتها مع أقمارها .

10-3- النمذجة الحاسوبية (computer modeling) :

النموذج في الأصل هو تمثيل مصغر وفق مقاس معين لبنية ضخمة أو مخططات تنفيذية ، لكنه يمكن أن يكون أيضا تمثيل رياضي أو منطقي أو عملياتي لمكونات منظومة مركبة معينة أو ظاهرة أو عملية إنتاجية ، تربط بين هذه المكونات علاقات محددة على شكل بيانات دخل وبيانات خرج تكون دخلا لمكون تالي وهكذا . غالبا ما يكون النموذج في البدء ، وجهة نظر مجردة فيها تبسيطات للحقيقة المركبة وذلك من خلال التركيز على بعض الجوانب الرئيسة الفاعلة ،وفق مبدأ " جزّء واقهر "، يليها مرحلة يضاف لها تحسينات لتأخذ جميع الجوانب في الحسبان فتظهر المسألة كاملة . تسمح هذه النماذج بكتابة برامج حاسوبية قابلة للتطوير المستمر تحاكي بقرب متزايد المنظومات المركبة مع إمكانية إظهارها على شاشة الحاسب ، وإظهار تأثير كل وحدة أو عنصر من المنظمة على عملها كاملة . تكتسب وفق هذا النهج خبرة معمقة حول الظاهرة أو المنظومة أو العملية لتوضح نقاط الضعف ونقاط القوة في كل ذلك .

تقرن النمذجة بين أفكار من فروع مختلفة ،لذلك يجب أن يتمتع القائم بالنمذجة بمهارات خاصة في المجال المدروس وفي تقانات الحاسوب والإحصاء والنظم والتحليل كي يفهم حركية النظام المعقد .

تستعمل النمذجة أيضا في حالة عدم إمكانية تحقيق الشروط التجريبية ، مثل أنموذج نشأة المجرات مثلا ، أو أن الشروط لا يمكن أو يصعب الحصول عليها بالقياس المبشر كما في حالة المفاعلات مثلا . تعتمد جودة النموذج إذن ، على حسن اختيار وتمييز الجوانب الرئيسة عن الجوانب الأخرى التي تعدّ مفترضة وهنا قد تختلف النمذجة عن القياسات التجريبية ؛ لكنه يبقى الربح في الزمن وفي المواد والكلفة مميزا لها .

10-4- المحاكاة (simulation) :

المحاكاة هي تقليد لبعض الأشياء الحقيقية أو تمثيل لعملية ما تأخذ في الحسبان العلاقات بين المكونات؛ فتظهر للعيان أنماط سلوك منظومة معينة فيزيائية

فعلية أومجردة . يتطلب تقليد شيء ما معرفة خصائصه ومركباته ووظيفة كل منها فكان يختبر ذلك بتحريك النموذج . غير أن دخول الحاسوب والنمذجة ، أصبحت تعني اختبار أداء النموذج على الحاسب مع مرور الزمن ؛ فهي تعطي الحياة للنموذج سواء كان يمثل ظاهرة أم عملية أم أداة .

استعملت المحاكاة في مجالات مختلفة وطورت في هذه المجالات بصورة مستقلة بعضها عن بعض ، غير أن ظهور تشابهات أدت إلى قيام نظرية النظم والسيبرنية التي توحد بين جميع هذه المجالات تحت وجهة نظر منهجية مشتركة فظهرت مع استعمال الحاسوب المحاكاة الحاسوبية. وتطورت هذه المحاكاة لتصبح تفاعلية تؤدي صورة حياة حقيقية أو افتراضية . فأصبحت المحاكاة الحاسوبية أداة مفيدة لإظهار سلوك العديد من المنظومات الطبيعية في الفيزياء أو الكيمياء أو علوم الحياة ، وامتدت لتشمل المنظومات الإنسانية والعلوم الاجتماعية ، فلم تعد تقتصر على العلوم الهندسية . والمحاكاة مترافقة مع النمذجة ومراحلها فقد وصلتا معا لتمثيل وقيام أدوات ميكانيكية بعمل الإنسان على شكل إنسالات (robots) .

أقوال وعبر من تاريخ الفيزياء

– **يقول فاينمان** (R.P.Feynman) [19] : إن أعظم اللحظات الدرامية في تطور الفيزياء هي تلك التي تصنع خلالها المعرفة ... وإن أساس نجاح العلوم الفيزيائية يعود إلى قدرتنا اصطناع ذلك .كما يذكر في محادثة تلفونية جرت بينه وبين الفيزيائي النظري ويلر (J.A.Wheeler) ،عندما كان الأخير طالبا، إذ قال له " لقد عرفت لماذا تمتلك الإلكترونات الشحنة نفسها والكتلة نفسها " فسأله فاينمان "لماذا" فأجاب لأن جميعها هو الإلكترون نفسه في **خط عالم الزمكان** .

يذكر في المرجع (19) نفسه ، قول **أينشتاين** التالي : شيء واحد تعلمته في حياتي الطويلة هو أن جميع علومنا مقابل الحقيقة هي بدائية وطفولية ، مع ذلك فهي أغلى شيء نمتلكه . وكتب أينشتاين مرة :" يوجد رغبة جامحة لفهم الأشياء ، تماما كما توجد رغبة جامحة لحب الموسيقى ، ودون ذلك لن توجد علوم طبيعية و لا رياضيات".

- يقول **دعاة الفصل** بين العلوم والفنون والإنسانيات ،كما أشاعها لأول مرة سنو (C.P.Snow) مسببا تباعدا وأحيانا ازدراء متبادلا بين أصحاب العلم وأصحاب الفنون والأدباء فكتب قائلا [20] : إن العلماء يتهمون الفنانين بكونهم حالمين عاطلين وبعيدين عن تلمس الواقع . بينما يتهم الفنانون العلماء بالقسوة وبعدهم عن الإنسانية . غيرأنه يوجد دلائل الآن تقول بوجود تشابهات أكثر من وجود اختلافات . يؤكد ذلك برونسكي (J.Bronosky) في كتابه الصادر عام (1965) إذ يقول :" إن العلوم هي جزء متكامل مع ثقافة هذا العصر كما أن الفنون جزء منها تماما " .ويضيف قائلا : لم تعد مهمة العلماء جمع الحقائق وتحليلها فحسب ؛ بل تعدّت ذلك للنظر في ما نشاهده من العالم حولنا وتفسيره وتقليده ، تماما كما يقوم الشعراء والرسامون بمحاولة تمثيل الواقع في أعمالهم . ففي حين يسعى العلماء لإيجاد علاقات بين الأشياء المختلفة والحوادث ليصلوا إلى رؤيتهم مصاغة على شكل نظرية ، نجد الفنانين يحاولون ذلك لكن النتيجة مصاغة شعراً أو موضوعة على القماش . يستشهد المرجع (20) بما ذكر في كتاب آخر صدر عام (1970) عنوانه " دراسة العلاقات بين الرسوم واللوحات من جهة والعلوم الطبيعية من جهة ثانية في هذا القرن (العشرين)"، لمؤلفه ودنغتون (C.H.Waddington) فيذكرا الأخير أنه ليس من قبيل المصادفة ظهور التكعيبية عند بيكاسو عام (1905) مع ظهور النسبية في العام نفسه . إذ تحاول أن التكعيبية طريقة لرسم بنية الأشياء والعلاقات بينها كما تحاول العلوم دراسة بنيتها .ومنذ زمن بعيد وجد التداخل بين الفنون والعلوم

وخاصة عند الحديث عن الأقواس المعمارية والقباب على مستوى اختيار المواد ثم تزيينها إما بالألوان أو بالفسيفساء.

– يجب أن نميز بين وصفنا للطبيعة والطبيعة ذاتها . يلتقي في هذا العالم والشاعر فوصف العالم للإلكترون وفق ميكانيك الكم بدالة موجية لا يقل غرابة عن وصف شاعر لحبه وردة ،فكلاهما يكوّن خيالا مجردا لجسم الإلكترون أو الوردة .

– ويضيف المرجع نفسه ، ليس التمييز بين الموسيقى والضجيج حادا واضحا كما يدّعيه بعضهم . ففي حين توصف الأصوات الموسيقية بأنها مزيج من أصوات ذات تواترات مرتبطة بعضها ببعض ارتباطا توافقيا هرمونيا ، ويوصف الضجيج بأنه مزيج معقد من أصوات ذات تواترات ارتباطها بعضها ببعض ارتباطا عشوائيا ، نجد الآن أن بعض المؤلفين الموسيقيين يعمدون إلى إدخال ما يعدّه بعضهم ضجيجا . إلا أن ما يعدّه بعضهم ضجيجا بالنسبة لهم قد يكون ذا طابع موسيقي لبعضهم الآخر . وقد تعدّ موسيقى بعض الثقافات ضجيجا بالنسبة للثقافة الأخرى . وحتى بيتهوفن وبراهامز كانا يوصفان من قبل بعض معاصريهم بأنهم يكتبون ضجيجا موسيقيا .

– استعمل رسامو القرن التاسع عشر **الانطباعيون** خلط الألوان خلطا جمعيا للحصول على ألوان زاهية وذلك بخلط الأصبغة وهي مائعة ، وخلطا آخر بإعطاء ضربات بالفرشاة بألوان مختلفة متتالية، بعد أن يجف صباغ الضربة السابقة ليحصلوا على لوحة تبدو مختلفة باختلاف موقع الناظر إليها .

– بدأ **ميكلسون** (Albert Michelson 1857-1931) قيا س [20] سرعة الضوء عام 1880 واستمر في تحسين دقة قياسه لها حتى عام 1920 ؛ وكان هذا من مسوّغات منحه جائزة نوبل عام 1907 وتقديرا لعمله هذا .

– اكتشف الانعراج عبر فتحة (ثقب صغير) الراهب **غريمالدي** (Francisco Grimaldi 1618-1663) ، وكان تفسير نيوتن أنه نتيجة تصادم "الجسيمات" مع حواف الفتحة ، ولم يقبل الصفة الموجية للضوء مع علمه بتجارب

غريمالدي ، وحتى هو يجنز صاحب النظرية الموجية لم يستفد من هذه التجارب لدعم نظريته.

– يقول الفيزيائي الفلكي **إدنغتون** :" لا يمكن لأي منا إنكار أن عقلنا هو أول وأكثر الأشياء مباشرة في تكوين خبرتنا في الحياة ، وكل شيء عدا ذلك هو استنتاج بعيد" فقد لا يكون المنهج العلمي الذي نعتمده هو السبيل الوحيد لاكتساب المعرفة والتعلّم . وعلى العالم أن يكون منفتح العقل ليتقبل سبلا أخرى .

– اقترح **فرمي** (Enrico Fermi 1901-1954) اسم النترينو الذي يعني" الشيء الصغير الحيادي " ووجوده عام (1934) ليبقي على قانوني انحفاظ الطاقة والاندفاع في التفكك المصدر لأشعة بيتا ؛ ولم يأت الدعم التجريبي لوجود هذا الجسيم المراوغ إلا عام (1956).

– كان **نيوتن**[20] خجولا يتجنب النقد والمجادلة والانتقاد ، فجعله ذلك ينتظر قرابة عشرين عاما قبل تقديم نظريته في الثقالة العالمية ، ولم يقم بذلك إلا بناء على إلحاح زملائه .

– يضع فيزيائي الجسم الصلب النظري زيمان (J.M.Ziman) في كتابه [21] بعد عنوان كل فصل قولا لبعض المشاهير فيزيائيين وأدباء منها ،عند فصل اهتزازات الشبكة والفونونات " بدأت جميع الأشياء مرتبة وستنتهي كذلك ، ثم تعود لتبدأ من جديد وفق مرتّب الترتيب وغموض الرياضيات مدينة الجنة".وفي مكان آخر قولا لدوق روشستر : "طالما أن القانون الطبيعي هو التغير فالثبات وحده هو الغريب".

- يظهر سجل مختبر لوس ألاموس الذي طور أول قنبلة ذرية أو نووية وأنتجها ،أنه بين العامين1941,1945 زار وعمل[20] معظم علماء الولايات المتحدة وأوروبة . مع أن بعضهم ندم على هذه المشاركة بعد ما اضطلع على المار والقتل الذي سببته عند إلقائها على اليابان ، ويقال إن الفيلسوف راسل ترك الفيزياء على إثر ذلك واتجه نحو الدعوة للسلام .

- حصل مكسويل على شهادتين متميزتين فقط ،الأولى في القانون من جامعة أدنبرة عام (1872) والثانية من جامعة أكسفورد عام (1876) في القانون أيضا لكنه انتخب عضوا في الجمعية الملكية في أدنبرة وعمره 24 سنة وعضوا في الجمعية الملكية في لندن عام (1861) وعمره 29 سنة . بينما حصل على ميدالية رمفورد لقيامه بصنع أنموذج سطح ترموديناميكي اقترحه جيبس عام (1860) وجائزة آدامز تقديرا لإنجازه دراسة حول حلقات زحل . وهو أول أستاذ في الفيزياء التجريبية في جامعة كمبريدج ، وقد أشرف على بناء مختبرات كافينديش ؛ فهو إذن لم يكن فيزيائيا نظريا فحسب[22] .

- قال فورد [22] (Henry Ford) "التاريخ سرير في قطار" كما قال سارتون (George Sarton) :"تاريخ العلوم هو التاريخ الوحيد الذي يبين تقدم الانسانية ". إذ إن الملوك والملكات والجنرالات ليس لهم تأثير مميز في حياة الناس مثل تأثير العلماء العظام . فقد يصعب على تذكر من حكم في الفترة المعينة ومتى كان ذلك ، لكنه لا يمكن نسيان مكتشفات علماء مثل فاراداي و مكسويل وكلفن وما أدت هذه المكتشفات من تطوير في حياة الناس ، مع أنه ربما تكون بعض المكتشفات ذات أهمية كبيرة في وقت ما وأصبحت عادية مألوفة غير ذات أهمية في وقت آخر .

- وعن مشكلة تقويم النشرات والأعمال وما يصاحبها من أحكام مسبقة ، قد تكون شخصية أحيانا، يحكى[22] أن أحد أصحاب باولي (W.Pauli) أرسل له عمل باحث شاب لاستمزاج رأيه في العمل ، إذ كان الزميل مشككا به ، ويبدو أن باولي نفسه من هذا الرأي أيضا ، فقد كان باولي لا يتحمل الحماقات العلمية بسهولة . و بعد بضعة أيام سأله الزميل عن البحث ، فردّ باولي متعجبا :" إن العمل لم يكن حتى خطأ ، فلم أجد فيه غلطة واضحة ".

- برز فاراداي من طبقة عريضة من الشغيلة القاسية التي تسخر وقتا قليلا للغذاء العقلي ، فعمل مبكرا في حمل الورق وساعد في تجليد الكتب وكان يقرأ بعضها فتعرّف على من شغله لصالحه في المختبرات.

- أصبح الكونت رمفورد (Benjamin Thompson) عضوا في الجمعية الملكية بلندن عام (1779) ، ونشر نشرته الأولى عام (1798) حول طبيعة الحرارة الميكانيكية ،لكن اللورد كلفن(Wiliam Thompson) وهو ليس قريبا له بالمناسبة ، لم يقتنع بهذه النشرة وبقي ملتزما بنظرية السائل الحراري حتى منتصف القرن التاسع عشر مع أن النشرة كانت مميزة واضحة لا لبس فيها .

- قال هلموهلتز عن فاراداي : " لقد كانت بضعة أسلاك وقطع خشبية قديمة مع قطع حديدية هي فقط ما استخدمه للوصول إلى أعظم مكتشفاته".

- انتخب فاراداي لينضم إلى الجمعية الملكية في لندن (عام 1823) قبل ثماني سنوات من اكتشافه التحريض المغنطيسي .

- أنشات الجمعية الملكية بلندن عام 1660 كتب شعارها " Nullius in Verba" ما يعني " لا تأخذ أي شخص بكلامه " بل بما يستطيع البرهان عليه .

- دفن اللورد كلفن بجوار إسحاق نيوتن في كاتدرائية وستمنستر ، تكريما له.

- يقول ديراك (P.A.M.Dirac)[23]:" على المرء أن يحترس دائما من مغبة التعلّق الشديد بخط تفكير واحد معين فقط " . كما يقول :" لدي أفضل الأسباب لأكون من المعجبين ب هايزنبرغ (Werner Heisenberg) ، فقد بدأنا طالبي أبحاث في الوقت نفسه ، وكنا تقريبا في العمر نفسه وعملنا على المسألة ذاتها فنجح هايزنبرغ حيث فشلت " .

- ويقول هايزنبرغ[23] : " أعطاني سومرفيلد (Sommerfeld) مخططا لخطوط طيفية ، حصل عليها من تجريبيين يعملون على مفعول "أثر" زيمان الشاذ ، وطلب مني تحديد سويات الطاقة المقابلة لكل خط ، فوجدت ضرورة لإدخال أعداد كمومية نصف صحيحة . ولما قدمتها له كانت مفاجأة مروعة له، لكنه لم يظهر هذا لي ،ورفضها في البدء ؛ كما أخبرني زميلي باولي الذي كان يعمل في مجموعته. غير

أن أعمال باولي نفسه و زميلنا هونل (Honl) وغيرهما أكدوا ضرورة هذا الإدخال ، مما قاد إلى صيغة سومرفيلد – هونل الرياضية ليمثل هذه الخطوط .

- ويقول هايزنبرغ :" يوجد مقاربات متعددة يسلكها الفيزيائي النظري : إذ يمكن أن يحاول تقنين نظريات ظواهرية (phenomenological) ،كما يمكن أن ينعم النظر في مخططات رياضياتية دقيقة منطلقة من مبادئ راسخة ، أو يحاول استعمال الفلسفة ، أما أنا فقد استعملتها كلها " . ويروي كيف دار حوار فلسفي بينه وبين أينشتاين بخصوص اقتراحه المتعلق بالمقادير القابلة للمشاهدة أو الملاحظة ، وأنه استشهد بما فعله أينشتاين نفسه عندما وضع نظريته في النسبية ؛ فيجيب أينشتاين "نعم قد أكون قد استعملتها ، لكنها تبقى مع ذلك هراء"!nonsense) ".

معجم المصطلحات

عربي–إنكليزي

أ

إبصار	vision
الأثير	ether

أدوات	devices
أسلوب ، طريقة	method
إشعاعات	radiation
الأشعة الكونية	cosmic rays
الأرصاد الجوية الفيزيائية	physical meteorology
اضطرابي	turbulent
إلكترون	electron
الإلكترونيات	electronics
الإلكترونيات البصرية	opto-electronics
الإلكترونيات النووية	nuclear – electronics
انتثار	scattering
انتشار	propagation
الأنتروبية	entropy
اندفاع (خطي)	momentum (linear)
الاندفاع الزاوي	angular momentum
الانعكاس	reflection
الانفجار العظيم	Big Bang
الانكسار	refraction

ب

بصري	optical
البصريات التكيفية	adaptive optics
البصريات الكهربائية	electro-optics
بقع شمسية	sun spots

ت

تجريبي	experimental
التحريك الحراري	thermodynamics
التحريك اللوني الكمومي	quantum chromodynamics
تحريك الموائع المحوسب	computational fluid dynamics
تحريك الموائع	fluid dynamics
تحريك الهواء	aerodynamics
تحويل طفري	transmutation
ترافق الشحنة الكهربائية	charge coupled device
تركيب	superposition
ترميز	symbolism
تطور، تطوير	development
تعالق	correlations
تفاعل	interaction
التفاعلات النووية المتسلسلة	chain reactions
تفرعي	bifurcation
تقانة المعلومات	information technology
التنجيم	astrology
توليد	generation
تيار	current
ث	
ثقالة	gravity
ج	
جاذب	attractor
جريان	flow

جمل المقارنة	frames of reference
	ح
حرارة	heat
حراري	thermal
الحركة	motion
حقل	field
حوض	basin
	خ
الخطية	linearity
الخارطة اللوجستية	logistic map
	د
درجةالحرارة	temperature
دعاة تنوع	diversifier
	ذ
ذرة	atom
	ر
رؤية	seeing
رموز	symbols
	ز
زمن	time
	س
سديم	nebula
سديم العقرب	crab nebula
السرعة	velocity

capacity	سعة
temperature scales	السلالم الحرارية
soliton	سوليتون
ش	
charge	شحنة
ص	
ض	
pressure (static)	ضغط (سكوني)
light	ضوء
ط	
laminar	طبقي
spectrum	طيف
ظ	
nonlinear phenomena	الظواهر اللاخطية
ع	
universality	العالمية
universe	العالم
improbality	عدم الاحتمال
impossibility	عدم الإمكان
undecidebility	عدم قابلية التقرير
uncomputablity	عدم قابلية الحوسبة
ancient astronomy	علم الفلك القديم
moment(magnetic)	عزم (مغنطيسي)
recurrence relations	علاقات معاودة

Astronomy	علم الفلك
radio astronomy	علم الفلك الراديوي
observational astronomy	علم الفلك المشاهد
cosmology	علم الكون
oceanography	علم المحيطات
hydrology	علم المياه
ultidisciplinary sciences	علوم متعددة الاختصاصات
work	عمل
elementary	عنصري

ف

X-ray astronomy	فلك الأشعة السينية
gamma ray astronomy	الفلك الغماوي
ultraviolet astronomy	الفلك فوق البنفسجي
photon	فوتون
photonics	الفوتونيات
atmospheric physics	فيزياء الجو
geophysics	فيزياء الأرض
computational physics	الفيزياء الحاسوبية
biophysics	الفيزياء الحيوية
medical physics	الفيزياء الطبية
astrophysics	الفيزياء الفلكية

ق

photometry	قياسات الشدة الضوئية
calorimetry	قياسات مسعرية

ك

كتلة	mass
كثافة	density
الكسوريات	fractals
الكمون	potential
الكهرباء	electricity
الكهرباء الساكنة	electrostatics
كهربائي	electric
الكهرطيسية	electromagnetism
الكهرميكانيكية	electro-mechanics
الكيمياء الفيزيائية	chemical physics

ل

اللاتمامية	incompleteness
لاغرانج	Lagrange

م

مادة	matter
ماسح	scanning
مبرهنات	theorems
محاكاة	simulation
محوالات	transducers
مخطوطات	writings
مدخل	preface
ما وراء الفيزياء	metaphysics
مجهر	microscope

atomic force microscope AFM	مجهر القوة الذرية
distance	المسافة
logistic equation	المعادلة اللوجستية
Hamilton equations	معادلات هاملتون
magnetism	مغنطيسية
magneto-statics	المغنطيسية الساكنة
ferrimagnetic	المغنطيسية الفريتية
antiferromagnetic	المغنطيسية الحديدية المضادة
introduction	مقدمة
source	منبع
telescope	المنظار الفلكي
system	منظومة
position	موقع
mechanics	الميكانيك
statistical mechanics	الميكانيك الإحصائي
analytical mechanics	الميكانيك التحليلي
quantum mechanics	ميكانيك الكم
biomechanics	ميكانيك حيوي

ن

conductivity	ناقلية
pulsars	نباضات
supernova	نجم جديد عملاق
variable stars	نجوم متغيرة
relativity (special)	النسبية (الخاصة)

general relativity	النسبية العامة
complexity theory	نظرية التعقيد
caloric theory	نظرية السائل الحراري
chaotic theory	نظرية الشواش
tunneling	نفقي
cascade models	نماذج شلالية
modeling	نمذجة

هـ

nuclear engineering	الهندسة النووية

و

medium	وسط

انكليزي – عربي

A

adaptive optics	البصريات التكيفية
aerodynamics	تحريك الهواء
angular momentum	الاندفاع الزاوي
analytical mechanics	الميكانيك التحليلي
ancient astronomy	علم الفلك القديم

antiferromagnetic	المغنطيسية الحديدية المضادة
astrology	التنجيم
astronomy	علم الفلك
astrophysics	الفيزياء الفلكية
atmospheric physics	فيزياء الجو
atom	ذرة
atomic force microscope AFM	مجهر القوة الذرية
attractor	جاذب

B

basin	حوض
bifurcation	تفرعي
Big Bang	الانفجار العظيم
biomechanics	ميكانيك حيوي
biophysics	الفيزياء الحيوية

C

calorimetry	قياسات مسعرية
caloric theory	نظرية السائل الحراري
capacity	سعة
cascade models	نماذج شلالية
chain reactions	التفاعلات النووية المتسلسلة
chaotic theory	نظرية الشواش
charge	شحنة
charge coupled device	ترافق الشحنة الكهربائية
chemical physics	الكيمياء الفيزيائية
conductivity	ناقلية

complexity theory	نظرية التعقيد
computational physics	الفيزياء الحاسوبية
computational fluid dynamics	تحريك الموائع المحوسب
correlations	تعالق
cosmic rays	الأشعة الكونية
cosmology	علم الكون
crab nebula	سديم العقرب
current	تيار

D

density	كثافة
development	تطور،تطوير
devices	أدوات
distance	المسافة
diversifier	دعاة تنوع

E

electric	كهربائي
electricity	الكهرباء
electromagnetism	الكهرطيسية
electro-mechanics	الكهرميكانيكية
electron	إلكترون
electronics	الإلكترونيات
electro-optics	البصريات الكهربائية
electrostatics	الكهرباء الساكنة

elementary	عنصري
entropy	الأنتروبية
ether	الأثير
experimental	تجريبي

F

ferrimagnetic	المغنطيسية الفريتية
field	الحقل
flow	جريان
fluid dynamics	تحريك الموائع
fractals	الكسوريات
frames of reference	جمل المقارنة

G

gamma ray astronomy	الفلك الغماوي
geophysics	فيزياء الأرض
general relativity	النسبية العامة
gravity	ثقالة
generation	توليد

H

Hamilton equations	معادلات هاملتون
heat	حرارة
hydrology	علم المياه

I

improbality	عدم الاحتمال
impossibility	عدم الإمكان
information technology	تقانة المعلومات

incompleteness	اللاتمامية
interaction	تفاعل
introduction	مقدمة

J
K
L

Lagrange	لاغرانج
laminar	طبقي
light	ضوء
linearity	الخطية
logistic equation	المعادلة اللوجستية
logistic map	الخارطة اللوجستية

M

magnetism	مغنطيسية
magneto-statics	المغنطيسية الساكنة
mass	كتلة
matter	مادة
mechanics	الميكانيك
medical physics	الفيزياء الطبية
medium	وسط
metaphysics	ما وراء الفيزياء
method	أسلوب ، طريقة
microscope	مجهر
modeling	نمذجة
moment(magnetic)	عزم(مغنطيسي)

momentum (angular)	اندفاع (زاوي)
momentum (linear)	اندفاع (خطي)
motion	الحركة
multidisciplinary sciences	علوم متعددة الاختصاصات

N

nebula	سديم
nonlinear phenomena	الظواهر اللاخطية
nuclear – electronics	الإلكترونيات النووية
nuclear engineering	الهندسة النووية

O

observational astronomy	علم الفلك المشاهد
oceanography	علم المحيطات
optical	بصري
opto-electronics	الإلكترونيات البصرية

P

photometry	قيسات الشدة الضوئية
photon	فوتون
photonics	الفوتونيات
physical meteorology	الأرصاد الجوية الفيزيائية
position	موقع
potential	الكمون
preface	مدخل
pressure (static)	ضغط (سكوني)
propagation	انتشار

pulsars	نباضات

Q

quantum mechanics	ميكانيك الكم
quantum chromodynamics	التحريك اللوني الكمومي

R

radiation	إشعاعات
radio astronomy	علم الفلك الراديوي
recurrence relations	علاقات معاودة
reflection	الانعكاس
refraction	الانكسار
relativity (special)	النسبية (الخاصة)
(general)	(العامة)

S

scanning	ماسح
scattering	انتثار
seeing	رؤية
simulation	محاكاة
soliton	سوليتون
source	منبع
spectrum	طيف
sun spots	بقع شمسية
supernova	نجم جديد عملاق
superposition	تركيب
statistical mechanics	الميكانيك الإحصائي

symbols	رموز
symbolism	ترميز
system	منظومة

T

telescope	المنظارالفلكي
temperature	درجة الحرارة
temperature scales	السلالم الحرارية
theorems	مبرهنات
time	زمن
thermal	حراري
thermodynamics	التحريك الحراري
transducers	محوالات
transmutation	تحويل طفري
turbulent	اضطرابي
tunneling	نفقي

U

ultraviolet astronomy	الفلك فوق البنفسجي
uncomputablity	عدم قابلية الحوسبة
unifiers	دعاة توحيد
Undecidebility	عدم قابلية التقرير
universality	العالمية
universe	العالم

V

variable stars	نجوم متغيرة

velocity	السرعة
vision	إبصار
W	
work	عمل
writings	مخطوطات
X	
X-ray astronomy	فلك الأشعة السينية
Y	

قائمة المراجع

(1) Introduction to Modern Physics 5th edit 1955 By F.K.Richtmyer; E.H.Kennard and T.Lauritsen Mc Graw-Hill

(2) The New Physics for The 21st Century 2006 Edited by Gordon Fraser; Cambridge University press

(3) Physics today ; Nov. 1981 ; 50 years of Physics in America pp37

(4) "Webster's Ninth New Collegiate Dictionary" العام 1987[4]. الناشر Merriam-Webster Inc.U.S.A

(5) www.goagle...

(6) Scientific American Jan. 1997 p.p.46 by Parviz Moin &John Kim

(7) Fundamentals of Statistical and Thermal Physics by F.Reif (1965) McGraw-Hill Inc.

(8) Physical Chemistry by N.K.Adam (1962)3rd edition Oxford University Press, London E.C.4

(9) Physics today Vol. 35 No.10 (1982)

(10) Physics today Vol.37 No.7 (1984)

(11) The Expanding Universe, Sir Arther Eddington , Pelican Books (1940)

(12) Physics today Vol.34 No. 10 (1981)

(13) Physics today Vol.3 2 No. 9 (1979)

(14) Physics today Vol.33 N0. 33 (1980)

(15) Physics today Vol. 35 No.8 (1982)

(16) Introduction to Chemical Physics ,J.C.Slater (1939) McGraw-Hill Book company Inc.

(17) Physical Chemistry ,N.K.Adam 3rdedition (1962) Oxford University Press ,London

(18) Introduction to Atomic and Nuclear Physics ; H.Semat ,(1962) 4th edit.,Chapman&Hall ,London.

(19) Physics :The Fabrics of Reality ;S.K.Kim (1975) Macmillan Publishing Com.

(20) The Ideas of Physics ;D.C.Giamcoli (1978) ,Harcourt Brace Jovanovich Inc.

(21) Principles of The Theory of solids ; J.M. Ziman (1964) ,Cambridge University Press.

(22) Faraday ,Maxwell,and Kelvin;D.K.C.Mac Donald (1965) Heinman Educational Books Ltd.

(23) From a life of Physics ; (1989) World scientific Pub.press

المدقق اللغوي :

الأستاذة الدكتورة سكينة موعد

Damascus University

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية