٢- مفاهيم أساسية

١/٢ مقدمة

واضح أن العلم ، مهما تقدم وأنجز ، فهو مبنى على افتراضات وليس على حقائق مطلقة . فالحقيقة المطلقة لا يعلمها إلا الله . وهناك على مدى التاريخ الكثير من الافتراضات العلمية التى فشلت ، فتلاشت واندثرت ، ولم تصمد سوى الافتراضات التى حققتها التجارب . وإذا استجدت مشاهدات أو نتائج معملية مؤكدة تتعارض مع افتراض معين ، فإما أن يعدل هذا الافتراض ليتواءم مع تلك المشاهدات والنتائج ، أو يلغى كلية لصالح افتراض آخر جديد ، وهكذا .

كانت العلوم القديمة تعتمد على توصيف المقادير الطبيعية والمقارنة بينها لغوياً ، ولم تكن تتعرض للتحديد الرقمى لتلك المقادير . ومع ظهور القوانين الفرضية الأساسية ، مثل قوانين نيوتن فى الميكانيكا الكلاسيكية وقانون كولوم فى الكهربية الإستاتيكية ، والقوانين المشتقة منها ، لزم التحديد الرقمى للمقادير الطبيعية المرتبطة بتلك القوانين . يحتاج التحديد الرقمى للمقادير إلى وحدات قياسية معترف بها على الأقل من غالبية من يهمهم الأمر ، منعاً لتعقيد الأمور . أدى هذا إلى توارد أفكار الوحدات والمعايير ، التى تطورت إلى النظام الدولى للوحدات الجارى العمل به حالياً .

كذلك ، للطاقة والإشعاع أهمية كبيرة فى ديناميكية الجسيمات داخل الذرات والمواد . وهذا يستلزم التعرف على الأقل على الحد الأدنى عن ماهية الطاقة والإشعاع، كى تسهل المتابعة عند استخدام هذه المفاهيم فيما هو قادم .

٢/٢ النظام الدولى للوحدات - International System of Units (SI)

كان واضحاً أن هناك وحدات أساسية تخضع للاختيار الحر ، ومنها تستنتج باقى الوحدات غير الأساسية باستعمال القوانين التى تحدد العلاقات بينها . الوحدات الأساسية هى الطول – L والكتلة – M والزمن – T فى دراسات الميكانيكا الكلاسيكية، تضاف إليها الشحنة الكهربية – Q فى الدراسات الكهربية . كما هو الحال دائما ، اتخذ تعريف الوحدات مسارا تاريخيا متباينا لا مجال للخوض فى تفاصيله هنا . فمثلا ، نحن جميعا لا نزال نسمع حتى يومنا هذا عن الياردة والذراع كوحدات طول ، كذلك الرطل والحجر – stone كوحدات كتلة . المهم ، أن الاتفاق على نظام للوحدات وصل إلى ما يسمى بنظام «متر . كيلو جرام . ثانية . كولوم – MKSC » الوحدة فيه هى المتر للطول والكيلو جرام للكتلة والثانية للزمن والكولوم للشحنة

الكهربية. فى عام ١٩٦٠م تم تعديل بسيط على هذا النظام يتعرض أساساً لتعريف وحدة القوة ، وهى وحدة غير أساسية ، أى مستنتجة . ففى نظام "MKSC" كانت تعرف وحدة القوة بأنها «وزن كيلو جرام» ، أى القوة التى تعطى جسم كتلته واحد كيلو جرام عجلة مساوية للجاذبية الأرضية . بعد التعديل ، تم الاتفاق على تعريف وحدة القوة بأنها القوة التى تعطى جسم كتلته واحد كيلو جرام عجلة مقدارها متر / ثانية . ثانية ، وسميت هذه الوحدة «نيوتن» . أطلق على النظام المعدل «النظام الدولى للوحدات International System of Units (SI) » أخذت به كل من «الهيئة القياسية الدولية – International Standards Organization (ISO) «والمفوضية الدولية الكهروتكنولوجية International Electrotechnical Commission (IEC) » . يوضح الجدول رقم (٢–١) المقادير الطبيعية ورموزها ، والوحدات الأساسية ورموزها ، المستعملة فى هندسة الكهرباء والإلكترونيات .

جدول (٢–١) رموز ووحدات المقادير الطبيعية

المقدار الطبيعي		رمز المقدار الطبيعى	الوحدة		رمز الوحدة
الطول	Length	L	متر	Meter	M
الكتلة	Mass	M	كيلو جرام	Kilogram	K
الزمن	Time	T	ثانية	Second	S
الشحنة	Charge	Q	كولوم	Coulomb	C

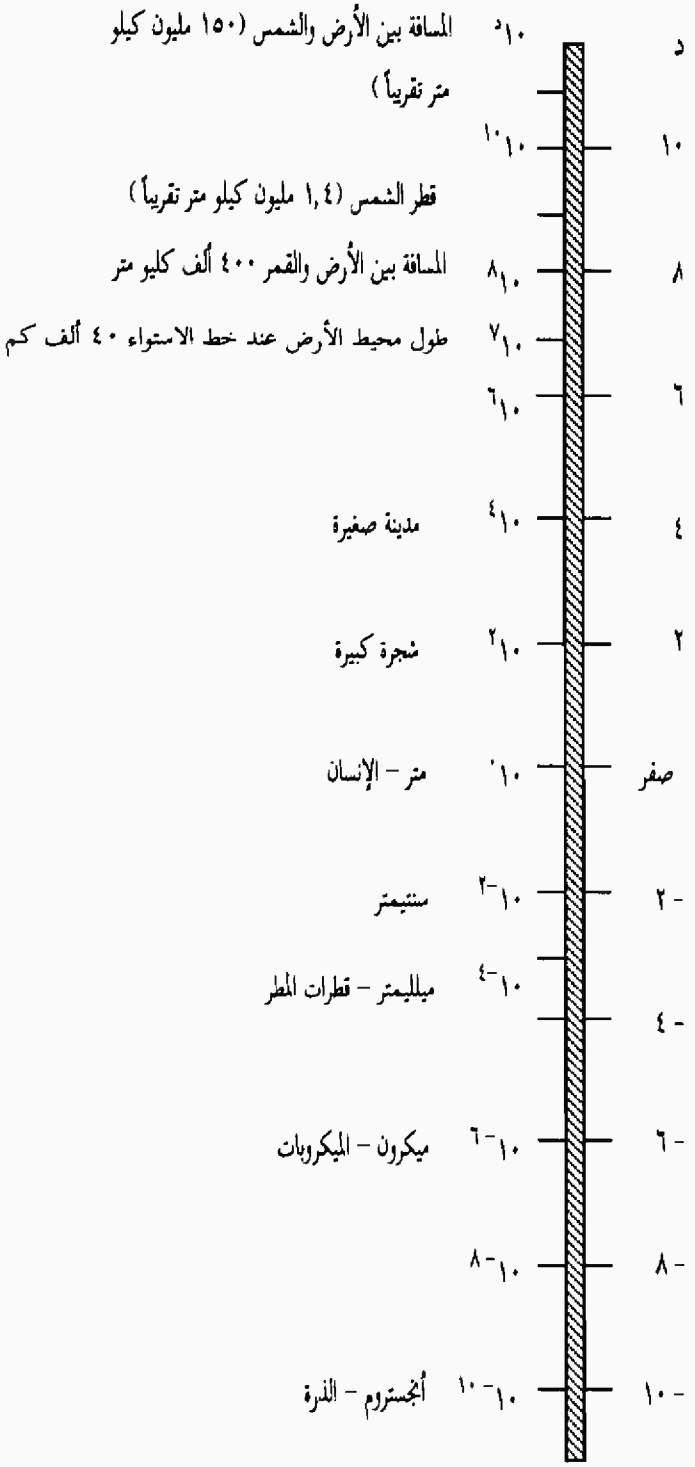
٣/٢ تدرج مقاييس الوحدات

فــى بعض التطبيقات ، قد تكون قيمة الوحدة كبيرة جداً بالنسبة للمقادير المتداولة، وفى تطبيقات أخرى قد تكون العكس . لهذا السبب يستعمل تدرج قياسى للوحدات ، مشابهاً للمقياس اللوغاريتمى ، كمضروب ١٠^{د} حيث « د» ، وهى درجة المضروب العشرى (Decade) ، رقم صحيح موجب أو سالب . وذلك للحصول على أرقام سهلة الإستيعاب لقيم المقادير . ولكل درجة مسمى كما هو مبين فى الجدول رقم (٢–٢) . فى حالة الزمن بصفة خاصة فإن درجة المضروب العشرى «د» تأخـذ فقط قيماً سالبة لتمثل القيم الأقل من الثانية . أما القيم التى هى أكبر من الثانية ، فقد جرى العرف على استعمال الدقيقة والساعة واليوم والأسبوع والشهر والسنة،كما هو معرووف .

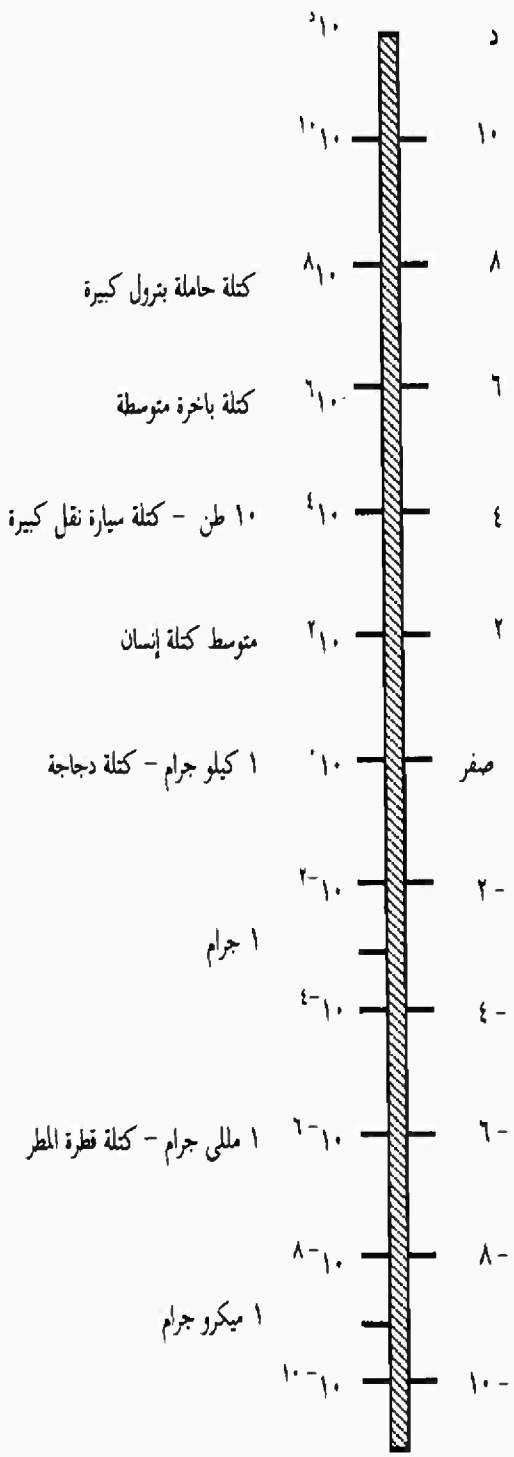
جدول (٢-٢) التدرج القياسي للوحدات

درجة المضروب العشري «د»	±١	±٢	±٣	±٦	±٩	±١٢	±١٥	±١٨
المسمى للموجب	ديكا Deca da	هيكتو Hecto h	كيلو Kilo k	ميجا Mega M	جيجا Giga G	تيرا Tera T	بيتا Peta P	إكزا Exa E
المسمى للسالب	ديسى Deci d	سنتى Centi c	ملى Mili m	ميكرو Micro μ	نانو Nano n	بيكو Pico p	فيمتو Femto f	أوتو Atto a

يبين الشكل رقم (٢-١) تدرج مقياس وحدة الطول « المتر » ، وأمثلة من الطبيعة لما تمثله بعض القيم . كذلك يبين الشكل رقم (٢-٢) تدرج مقياس وحدة الكتلة «كيلو جرام» ، وأمثلة من الطبيعة لما تمثله بعض القيم .



شكل (٢-١) : تدرج مقياس وحدة الطول وأمثلة لبعض القيم .



شكل (٢-٢) : تدرج مقياس وحدة الكتلة وأمثلة لبعض القيم .

٤/٢ الطاقة - Energy

الطاقة مقدار طبيعى مهم جدا فى جميع أفرع العلم ، بما فى ذلك علم الإلكترونيات . تتمثل الطاقة فى عمل شغل أو القدرة على عمل شغل . لذلك ، فإن وحدة الطاقة هى نفسها وحدة الشغل ، وهى وحدة غير أساسية ، أى أنها مستنتجة من قانون ارتباط الطاقة أو الشغل بالمقادير ذات الوحدات الأساسية . تسمى وحدة الطاقة « جول – Joule » ، ويرمز لها بالرمز "J" . وأبسط قانون للطاقة أو الشغل هو :

الطاقة / الشغل = القوة × المسافة

= الكتلة × العجلة × المسافة

= كيلو جرام × (متر / ثانية . ثانية) × متر

من هذا يمكن تعريف الجول بأنه كمية الطاقة اللازمة لدفع جسم كتلته واحد كيلو جرام بعجلة مقدارها ١ متر / ثانية . ثانية لمسافة متر واحد . من المناسب هنا ، كما سيتضح فيما بعد ، التنويه أنه فى دراسة الإلكترونيات نستعمل كثيرا وحدة خاصة للطاقة تسمى «إلكترون فولت – eV » ، وتعريفها أنها الطاقة التى يكتسبها الإلكترون نتيجة انتقاله بالجذب أو سقوطه بين نقطتين الفرق فى الجهد بينهما واحد فولت ، وقيمة هذه الوحدة ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ جول .

الطاقة نوعان ، طاقة حركة نتيجة حركة الجسم بسرعة معينة فى أى مسار استقامى أو منحنى ، وطاقة وضع نتيجة تواجد الجسم فى مجال قوة فى وضع مقاوم لتأثير قوة هذا المجال عليه . هذه الطاقة تسمى طاقة ميكانيكية إذا كانت نتيجة تفاعل كتلة الجسم ومجال الجاذبية ، وتسمى طاقة كهربية إذا كانت نتيجة تفاعل شحنة الجسم ومجال كهرومغناطيسى . هناك صور أخرى عديدة للطاقة من بينها ، الطاقة الكيميائية ، الطاقة الحرارية ، الطاقة الهيدرولكية ، الطاقة الشمسية ، وغيرها . كل هذه الأنواع من الطاقة قابلة للتحول فيما بينها بآلات وأجهزة خاصة ، وهذا مجال العديد من التطبيقات فى تخصصات مختلفة خارج حدود اهتماماتنا هنا .

نعود الآن للطاقة الكهربية التى ، كما ذكرنا ، تتواجد نتيجة تفاعل جسم مشحون مع مجال كهرومغناطيسى . أوضح مثال على ذلك ، وما يهمنا أيضا ، هو تواجد الإلكترون فى المجال الكهربى لنواة الذرة . هذا ما درسه العالم الهولاندى نيلز بور – Niels Bohr ، وبنى عليه آخرون فى دراسة التركيب الداخلى للذرة ، والتطورات التى سنتعرض لها فى الباب القادم إن شاء الله .

من أهم مميزات استعمال الطاقة فى الدراسات والتحليلات العلمية أنها مقدار أحادى البعد – Scalar ، أى أن قيمتها تحدد برقم واحد فقط مثلها فى ذلك مثل

مقادير طبيعية أخرى كالكتلة والكثافة ودرجة الحرارة وغيرها . هذا بعكس المقادير المتعددة البعد – Vectors التى تحدد قيمها برقمين أو أكثر مثل القوة والسرعة والعجلة وغيرها . من المهم ملاحظة أن قيمة الطاقة غير مطلقة ، ولكنها نسبية مثلها فى ذلك مثل مناسيب الارتفاعات فى دراسة المساحة مثلاً . ففى كلتا الحالتين لنا مطلق الحرية فى اختيار منسوب معين على أنه نقطة الصفر ، ونتحرك حوله بالزيادة حيث تكون النقط موجبة أو بالنقصان حيث تكون النقط سالبة .

بقيت نقطة أخيرة مهمة . ذلك أنه فى التفاعل بين كتلة الجسم ومجال الجاذبية، توجد فقط أجسام ذات كتل موجبة ، حيث لا يوجد جسم له كتلة سالبة . بذلك يوجد نوع واحد من مناسيب الطاقة . فإذا ترك الجسم حرا فى هذا المجال فإنه يسقط ذاتيا من مستويات ذات طاقة عالية إلى مستويات ذات طاقة منخفضة ، أى أنه يسقط إلى أسفل ، ويحتاج إلى قوة خارجية كى يفعل العكس . أما فى حالة التفاعل بين شحنة الجسم والمجال الكهربى ، فمن الممكن أن تكون شحنة الجسم موجبة أو سالبة ، وكل منهما يتفاعل مع المجال نفسه بصورة عكسية للآخر . فإذا رتبت مستويات الطاقة على أساس الجسم ذى الشحنة الموجبة ، فإن الجسم الموجب الشحنة يسقط ذاتيا من مستويات الطاقة العالية إلى مستويات الطاقة المنخفضة ، أى أنه يسقط إلى أسفل . بينما يطفو الجسم ذو الشحنة السالبة ذاتيا من مستويات الطاقة المنخفضة إلى مستويات الطاقة العالية. ويحدث العكس إذا رتبت مستويات الطاقة على أساس الجسم ذى الشحنة السالبة . هذا المفهوم مهم جدا لتصور وتخيل تحركات حوامل الشحنات الكهربية الموجبة والسالبة داخل الجوامد كما سنرى فيما بعد .

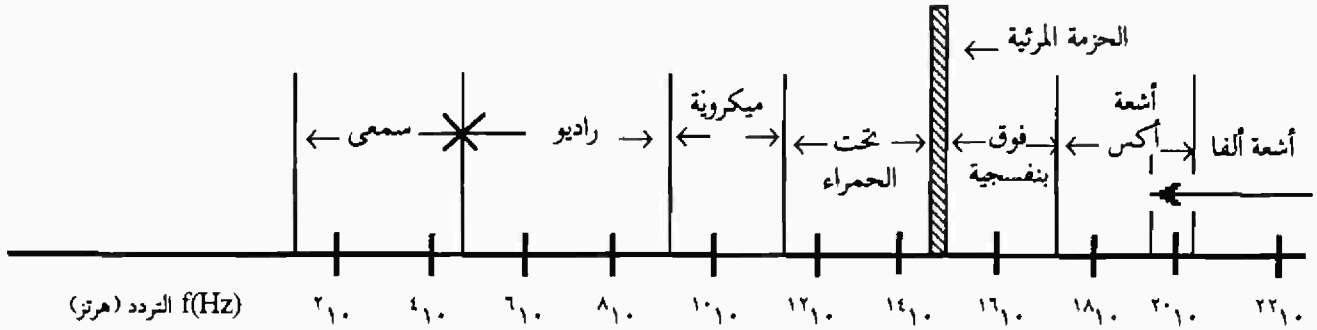
٥/٢ الإشعاع - Radiation

الإشعاع عبارة عن تموجات كهرومغناطيسية ذات ترددات مختلفة تسير بسرعة الضوء . مصدر الإشعاع هو المادة ، وكلاهما نوع من الطاقة . وكل ما يحدث حولنا فى الطبيعة يرجع إلى التفاعل بين المادة والإشعاع . أى مادة عند درجة حرارة فوق الصفر المطلق تبث إشعاعا بطريقة أو أخرى ، ويزداد إشعاعها كلما ازدادت درجة حرارتها . عندما يسقط الإشعاع على المادة يحدث تفاعل ما بينهما بطريقة تعتمد على نوع المادة وتردد أو طول موجة الإشعاع ، من حيث أنه قد يحدث للإشعاع انعكاس كلى أو جزئى أو امتصاص أو إمرار بنسب متفاوتة .

أول ما عرفه الإنسان من التموجات الكهرومغناطيسية ، وفى الوقت نفسه أوضح مثال لها ، هو الضوء المرئى الذى يغطى حيزاً ضيقاً من الطيف الكهرومغناطيسى على مدى الطول الموجى من ٤٠٠٠ إلى ٨٠٠٠ أنجستروم . وهذه الحقيقة التاريخية منطقية حيث إن عين الإنسان هى أفضل جهاز استقبال حساس لهذا المدى .

أكبر مصدر للإشعاع هو النجوم بما فيها الشمس . مصادر الإشعاع الأخرى عديدة من بينها ، التفاعلات الكيميائية بين المواد ، التفريغ الكهربى فى الغازات ، تسخين المواد ، وغير ذلك . أى مصدر من هذه المصادر يمكن أن يعطى إشعاعا عند ترددات متقطعة معينة حسب المادة المشعة كما هو الحال عند التفريغ الكهربى فى غازات عند ضغوط منخفضة .

يوضح الشكل رقم (٢-٣) الطيف الكهرومغناطيسى ابتداء من الترددات المنخفضة مرورا بتموجات الراديو ، تحت الحمراء ، الضوء المرئى ، فوق البنفسجية ، أشعة إكس ، أشعة جاما ، إلى الأشعة الكونية . بما أن الطيف الكهرومغناطيسى يغطى مدى غير محدود من الترددات ، فإن المقياس اللوغاريتمى يستعمل عادة فى البعد الترددى . يقع الصفر على هذا المقياس عند ناقص مالا نهاية ($-\infty$) ، أى أننا لا نراه، ويشغل كل عقد (مضروب عشرة - Decade) الطول نفسه . على هذا المقياس نستطيع أن نبدأ التدريج بأى تردد منخفض يهمنا ، ونستعمل أى عدد من العقد حسب الإحتياج كما هو موضح بالشكل . التردد ، ويرمز له بالرمز "f" مرتبط بطول الموجة "λ" بالعلاقة $\lambda = c/f$ حيث "c" هى سرعة الضوء وقيمتها فى الفراغ تساوى ٣×١٠^{٨} متر / ثانية . فى العادة يستعمل التردد "f" عند الترددات المنخفضة ، وعندما يزداد التردد لقيم عالية جدا يصعب استيعابها يفضل استعمال طول الموجة "λ".



التردد (هرتز) f(Hz)	10^{2}	10^{4}	10^{6}	10^{8}	10^{10}	10^{12}	10^{14}	10^{16}	10^{18}	10^{20}	10^{22}
طول الموجة (متر) λ	10×3^{6}	10×3^{4}	300	3	10×3^{-2}	10×3^{-4}	10×3^{-6}	10×3^{-8}	10×3^{-10}	10×3^{-12}	10×3^{-14}
					(٣ سم)		(٣ ميكرون)		(٣ أنجستروم)		
الطاقة (إلكترون فولت — eV)	10^{-14} ق	10^{-12} ق	10^{-10} ق	10^{-8} ق	10^{-6} ق	10^{-4} ق	10^{-2} ق	ق	10^{2} ق	10^{4} ق	10^{6} ق

ق = ٤١,٣٣ إلكترون فولت

شكل (٢-٣) : الطيف الكهرومغناطيسي .

التموجات الكهرومغناطيسية لها الصفات الطبيعية نفسها من حيث أنها تتكون من مجـــالين كهربى ومغناطيسى متعامدين ومتغيرين مع الزمن ويتحركان سويا بسرعة الضوء . رغم هذا التشابه ، فإن مجرد سرعة التغير مع الزمن ، المعروف بالتردد ، هو السبب فـــى الاختلاف الشديد بينها من حيث المنشأ والمسار والإحساس ، والخواص عامة . منشأ الإشعاع يرجع أساساً إلى التصرفات الديناميكية للجسيمات المكونة للذرة ، أو لنفس ذرات وجزيئات المادة . ويمكن إرجاع منشأ مدى الترددات المختلفة إلى المصادر الآتية :

أ – تموجات الراديو تنشأ نتيجة تردد الإلكترونات الحرة فى هياكل معدنية (المعروفة بالهوائيات) . تتولد هذه الترددات الإلكترونية على شكل تيار كهربى نابع من دائرة إلكترونية تولد الترددات المطلوبة بالطاقة المطلوبة .

ب– التموجات تحت الحمراء تنشأ نتيجة إهتزاز الذرات أو الجزيئات حول مكانها المفترض فى المادة نتيجة تسخينها وإرتفاع درجة حرارتها .

جـ – الضوء المرئى والأشعة فوق البنفسجية ينشآن نتيجة إنتقال الإلكترونات فى المـــدارات الخارجية للذرات من مستويات طاقـــة مـــرتفعة إلى مستويات طاقة منخفضة .

د – أشعة إكس تنشأ نتيجة إنتقال للإلكترونات مشابه لحالة الضوء المرئى ، إلا أن الإنتقال يحدث بين مستويات للطاقة عميقة داخل الذرة .

هـ – أشعة جاما تنشأ من المواد المشعة تلقائيا ، وعند تحطم نواة الذرات .

و– الأشعة الكونية تأتى من مكونات الكون فى الفضاء البعيد .

٦/٢ الجسم الأسود - Black Body

الجسم الأسود هو أى مصدر مادى يعطى إشعاعا كهرومغناطيسيا يعتمد توزيعه الترددى على درجة حرارة هذا المصدر . حتى نهاية القرن التاسع عشر كان التوزيع الترددى لإشعاع الجسم الأسود معروف معمليا فقط . ولم يستطع أحد بالقوانين القائمة حينذاك إثباته نظريا رغم عديد من المحاولات الجادة بواسطة علماء قادرين . فى عام ١٩٠١م تمكن العالم الألمانى ماكس بلانك – Max Planck (١٨٥٨ – ١٩٣٨) من الحصول على الإثبات النظرى المطلوب . توصل بلانك لهذا الإثبات النظرى بتقديم افتراض مثير ، أثار جدلا ودهشة بين العلماء فى ذلك الوقت . ذلك أن بلانك فى محاولته لإثبات خواص إشعاع الجسم الأسود نظريا ، افترض أن الإشعاع ليس مستمراً سواء فى المصدر أو فى المسار ، ولكنه يتكون من وحدات أو كوانتا –

quanta أطلق عليها اسم فوتونات – Photons . مواصفات هذه الفوتونات أنها جسيمات لا كتلة لها ولا شحنة عليها تسير بسرعة الضوء وتحمل كل منها كمية من الطاقة تتناسب مع التردد أى تساوى "hf" حيث "h" مقدار ثابت أطلق عليه ثابت بلانك – Planck's Constant . أى أن الإشعاع له وجهان للتعامل ، الوجه التموجي المعروف ، ووجه جسيمى كأنه قذائف من فوتونات تسير بسرعة الضوء لكل منها طاقة تساوى حاصل ضرب ثابت بلانك "h" فى التردد "f" . من هنا تتضح خطورة التعرض لهذه الإشعاعات كلما ازداد التردد .

فتح بلانك بذلك الباب لنظريات جديدة هامة هى النظرية الكمية – Quantum Theory وميكانيكا الكم – Quantum Mechanics التى تطورت سريعا إلى نتائج مذهلة على مدى الربع الأول من القرن العشرين . واضح أنه من المستحيل ، ولو من بعيد ، التعرض هنا لهذه النظريات ، ولكننا سنستعمل بعض نتائجها المقربة فيما بعد .