الباب الأول

مقدمة عامة فى علم الميكانيكا

بند ١ — الحركة الميكانيكية :

يرى المتأمل أن هناك عدداً لا يحصى من الأجسام يتحرك على الأرض بينما الأرض بدورها تدور حول محورها متنقلة فى الفضاء فى مدار حول الشمس كما أن الشمس ومعها مجموعة الكواكب تنتقل فى الفضاء بين عدد هائل من النجوم المتحركة فى الفضاء كذلك وإذا ما انتقلنا لأدق جزء فى المادة وهو الذرة لوجدناه يموج بالحركة شأنه فى ذلك شأن المجموعة الشمسية بما تحتويه من كواكب وجميع هذه الحالات تمثل حركة أجسام مادية . كما أثبت العلم أن الحرارة والضوء والكهرباء وغيرها من الظواهر الطبيعية هى أيضاً صور من صور الحركة بل إن الحياة نفسها بكل معانيها هى صورة من صور الحركة .

وتنشأ حركة المادة بتغيير المكان والزمان ولذا لا يمكن فصل المكان والزمان عن المادة المتحركة . فعندما يغير جسم موضعه بالنسبة لغيره من الأجسام نقول إن الجسم فى حالة حركة ويسمى هذا التغير النسبى فى موضع الجسم **بالحركة الميكانيكية** كما يسمى العلم المختص بقوانين الحركة **بعلم الميكانيكا** .

السكون ظاهرة نسبية :

عندما نشاهد مبنى ضخما مستقرا على الأرض لمئات السنين لا يخامرنا أى شك فى ثبات هذا المبنى وبالتالى سكونه غير أننا لو فكرنا فى هذا المبنى كجزء من الكرة الأرضية السابحة فى الفضاء حول الشمس والتابعة للشمس فى حركتها بين مجموعات النجوم لأدركنا أن ثبات المبنى أو سكونه لم يكن إلا سكوناً نسبياً

فالأصل إذن فى الأجسام الحركة وأما السكون فهو ظاهرة نسبية فقط .

فإذا تكلمنا عن جسم ساكن كنا فى الحقيقة نعنى أنه ساكن بالنسبة لجسم آخر كالكرة الأرضية مثلا . فالحركة والسكون ظاهرتان نسبيتان .

بند ٢ — علم الميكانيكا ومراحل تطوره :

الميكانيكا إذن علم يبحث فى الحركة النسبية للأجسام مستقصيا مقوماتها وشتى صورها ولا تقتصر أهمية هذا العلم على النواحى الطبيعية والفلسفية بل تتعدى ذلك إلى كونها أحد الأركان الأساسية فى بناء وتطوير العلوم الهندسية فى مختلف الاختصاصات .

ولقد أنفقت البشرية آلاف السنين للحصول على تعليلات علمية لبعض الظواهر الميكانيكية ويرجع الفضل لقدماء المصريين فى تطوير فرع الاستاتيكا بصفة خاصة يشهد بذلك ما شيدوه من مبانى ضخمة باقية على الزمن .

ومن أول الباحثين فى قوانين الروافع والمستوى المائل وطفو الأجسام وغيرها كان « أرشميدس » (٢٨٧ — ٢١٢ ق.م) وبعده خمدت جذوة البحث فى هذا العلم حتى القرن الخامس عشر الميلادى مع بداية عصر النهضة الأوربية باستثناء المجهود الطيب الذى بذله أبو الفتح الخازنى عن فكرة الجاذبية الأرضية حيث نشرها فى كتابه « ميزان الحكمة » حوالى عام ١١٢٢ وذلك قبل اكتشاف نيوتن لها بخمسة قرون .

غير أن ما نسميه « الميكانيكا الكلاسيكية » وما ندرسه الآن فى مدارسنا وجامعاتنا يرجع إلى علمين من أعلام القرن السابع عشر هما جاليليو جاليلى (١٥٦٤ - ١٦٤٢) وقد عمل أستاذا بجامعة بيزا وإسحق نيوتن (١٦٤٢-١٧٢٧) وقد عمل أستاذا بجامعة كمبردج . وقد أجرى الأول كثيرا من التجارب لاستنباط

قانون سقوط الأجسام وتابع الثانى مجهودات الأول إلى أن وصل بالميكانيكا لمستوى العلم وصاغها فى قوانينه الثلاثة المعروفة باسمه والتى برهنت التجارب والمشاهدات على صحتها إلى يومنا هذا باستثناء بعض حالات الحركة السريعة جدا كحركة جسيمات الذرة .

ولقد شهد القرن الثامن عشر تقدماً كبيراً فى ميكانيكا السوائل على يد دانيال برنولى (١٧٠٠ - ١٨٨٣) وقد شغل كرسى الاستاذية باكاديمية بطرسبورج لفترة قصيرة ليخلفه أويلر السويسرى (١٧٠٧ — ١٧٨٣) فى نفس الكرسى . كما حدثت طفرة أخرى على يد جوزيف لاجرانج الفرنسى (١٧٣٦ — ١٨١٣) فيما يسمى بالميكانيكا التحليلية . كما شهد القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين تقدما فى علم ديناميكا الطيران على يد نشايكوفسكى (١٨٤٧ - ١٩٢١) .

ولقد خطت الميكانيكا خطوة أخرى فى بداية القرن العشرين على يد ألبير أينشتين (١٨٧٩ - ١٩٥٣) بإدخال النسبية وبها وضعت البشرية يدها على منبع هائل للطاقة تلك هى الطاقة الذرية كما نشط البحث فى النصف الأول من القرن العشرين فيما يسمى بميكانيكا الكم وميكانيكا الموجية وذلك لتفسير بعض الظواهر الطبيعية التى عجزت ميكانيكا نيوتن الكلاسيكية عن تفسيرها .

بند ٣ ـ أسس البناء المنطقى للميكانيكا الكلاسيكية :

الميكانيكا النظرية علم استنتاجى منطقى يتأسس على :

(i) **مدركات** (Concepts) , (ii) **تعاريف** (Definitions) .

قوانين أساسية عامة (Postulates) قطعت بصحتها المشاهدات والتجارب وتعتمد الميكانيكا الكلاسيكية أو النيوتونية (نسبة إلى نيوتن) (Newton) أول ما تعتمد على الهندسة الاقليدية (Euclidean Geometry) بما تشتمله من

مدركات وتعاريف وبديهيات وهى المعروفة للطالب فى دراسته الثانويه .

بند ٤ اما المدركات الاساسية : لعلم الميكانيكا فأهمها ما يلى :

١ ـ الفراغ الاقليدى : وهو فراغ ثلاثى الأبعاد .

(3 - dimensional space) وهى الطول والعرض والارتفاع ـــ ويفرض فيه ثبات المسافات بين نقطه المختلفه وعدم تغيرها بوجود المادة أو حصول الحركة فيه . وتقاس المسافات بمقاييس معينة ومتفق عليها كالمتر أو القدم مثلا .

ولتحديد الموضع النسبى فى الفراغ يختار هيكل متماسك من ثلاثة محاور ملتقية فى مركز أو نقطة أصل معينة يسمى بهيكل رصد الحركة (Frame of reference) . ويحدد موضع النقطة بأبعادها الثلاثة بالنسبة لهذا الهيكل . ويفضل غالبا الاستعانة بهيكل رصد متعامد المحاور .

٢ ـ الزمن : فى الميكانيكا الكلاسيكية مدرك مطلق يعبر عن تتابع الأحداث . والفترة الزمنية بين حدثين معينين يفرض فيها التساوى فى تقدير جميع الراصدين مهما اختلفت حركاتهم النسبيه .

ولقياس الزمن تتخذ الفترة الزمنية لحركة دورية متكررة بانتظام ـ كحركة الأرض اليومية حول محورها مثلا ـ كوحدة زمنية تقاس بالنسبة لها سائر الفترات .

ولقد إفترضت الميكانيكا الكلاسيكية صفة مطلقة لكل من الفراغ والزمن بحيث لا يتغيران بتغير الراصد ولا يتأثران بحركته غير أن التحليل المنطقى الدقيق الذى أجراه « اينشتين » فى أوائل هذا القرن ـــ عند تأسيس نظريته النسبية ـــ أثبت عدم صواب هذه الافتراضات . ومع هذا فإن الاخطاء التى تنشأ عن التمسك بالافتراضات الكلاسيكية تعتبر عديمة الأهمية فى أغلب

تطبيقاتنا ولا يظهر لها أثر يذكر إلا فى الحركات السريعة جدا التى تقارب سرعة الضوء كحركة الالكترونات فى الأنابيب المفرغة .

٣ ـ المادة : مدرك حسى يدركه الإنسان ببعض حواسه مباشرة كاللمس مثلا أو بطريق تجريبى غير مباشر . وتشغل المادة حيزا من الفراغ بصورة مركزة أو منتشرة . والخاصية الأساسية للمادة من وجهة النظر الميكانيكية هى خاصية القصور الذاتى (Inertia) وهى تلك الخاصية التى تعبر عن مقدار مقاومة المادة لعوامل تغيير حالة الحركة وهذه الخاصية هى التى ضمنت فى تعريف الكتلة (Mass) كما سيأتى بعد .

وللمادة حالات ثلاث رئيسية وهى الصلابة (Solid state) والسيولة (Liquid State) والغازية (Gaseous State) وقد تجمع حالتا السيولة والغازية فيما يعرف بالميوعة (Fluid State) ويمكن تقسيم الأجسام الصلبة إلى مرنة (Elastic) ولدنة (Plastic) وهناك بطبيعة الحال حالات انتقالية للمادة بين الصلابة والسيولة ثم بين السيولة والغازية :

بند ٥ ـ التعاريف الاساسية :

لدراسة الظواهر الطبيعية للحركة بطريقة علمية يتعين علينا أن نتخذ صورا ذهنية عن الصفات الميكانيكية الهامة للأجسام المتحركة دون غيرها من الصفات قليلة الأهمية أو عديمتها فى دراستنا للحركة .

هذه الصورة الذهنية ، تعتبر تجريداً مثاليا (Idealisation) لا غنى عنه لكى يتيسر لنا استخدام الرياضيات فى دراستنا العلمية لحركة الأجسام . وعلى هذا الأساس بنيت التعاريف الأساسية ونورد أهمها فيما يلى :

١ ـ الجسم : هو جزء معين من المادة ونعرف فيما يلى أنواع الأجسام

ا - **الجسم المتماسك** (Rigid body) : وهو صورة مثالية يعبر بها عن ثبوت شكل الجسم وحجمه بحيث لا تتغير المسافه بين أى نقطتين فيه . ويعتبر الجسم المعنى بالدراسة متماسكا إذا كان ما يعتريه من تغيرات فى الشكل أو الحجم لا أهمية لها فى الدراسة .

ب - **الجسم المرن** (Elastic body) : وهو قابل لتغيرات شكلية وحجمية بفعل القوى غير أنه يسترجع صورته الأصلية بمجرد زوال هذه القوى والأجسام المرنة تتبع **قانون هوك** الذى ينص على التناسب بين القوى المؤثرة والتغيرات التى تنشأ عنها .

حـ - : **الجسم اللدن** (Plastic body) وهو قابل لتغيرات شكلية وحجمية دائمة غير مسترجعة . وعلاقة القوى بالتغيرات الناشئة عنها فى هذه الحالة أكثر تعقيدا منها فى حالة المرونة .

د - **الاجسام الثائعة** (Fluids) : وتنقسم إلى السوائل والغازات. والصورة المثالية للمائع تفترض إنعدام اللزوجة (Viscosity) والتماسك (Cohesion) بحيث يتخذ المائع شكل الاناء الذى يصب فيه . أما السائل المثالى (Ideal liquid) فيفترض فيه أيضا انعدام القابلية للانضغاط أى ثبوت الحجم .

أما الغازات فمن خواصها التمدد والانضغاط بحيث تشغل أى حيز مقفل من الفراغ . وهناك العلاقة الطبيعية المعروفة **بقانون شارل** التى تربط بين الحجم والضغط والحرارة لكمية معينة من الغاز.

٢ - **الجسيم** (Particle) : إذا كانت صفات الجسم من حيث الشكل والحجم غير ذات موضوع فى دراستنا مثل الجسم بنقطة مادية ونعرف علمياً بالجسيم

وللتمثيل تعتبر الكرة الأرضية جسيما فى دراسة حركتها المدارية حول الشمس نظرا لصغر حجمها بالنسبة للمسافات الشاسعة التى تقطعها فى مدارها .

٣ — القوة (Force) : هى العامل المسبب لتغير حركة الأجسام فاذا تغيرت سرعة جسم فى المقدار أو الاتجاه أو فيهما معا نسب ذلك إلى فعل قوة مؤثرة على الجسم . وتمثل القوة بما ندركه حسياً من الشد أو الدفع وقد تتوازن مجموعة من القوى فى تأثيرها على جسم ما بشروط معينة يعالجها فرع الاستاتيكا وفى هذه الحالة يحتفظ الجسم بحالة حركته أى يستبقى سرعته الأصلية فى المقدار والاتجاه أو يبقى ساكنا إن كان من الأصل ساكنا .

وتتواجد القوى فى الطبيعة على هيئة قوى تلامس مباشر (Contact forces) أو قوى تعمل من بعد (Action at a distance) كقوى التجاذب والتنافر الكهربى والمغناطيسى وقوى الجاذبية العامة بين الاجرام السماوية (Universal gravitatin).

والقوى الطبيعية تظهر إما موزعة على أسطح الأجسام كضغوط السوائل والغازات أو موزعة على أحجامها كقوى الجاذبية الأرضية مثلا .

ولقياس القوى يمكننا اتخاذ القوة المحدثة لاستطالة معينة فى زنبرك معيارى كوحدة للقوى.

وتمثل القوة هندسيا بجزء من خط مستقيم محدد الاتجاه بسهم ويختار طول الخط مناسبا لمقدار القوة بمقياس رسم معين والكميات التى يلزم بيان اتجاهها فضلا عن مقدارها تسمى كميات متجهة كالقوة والسرعة والعجلة مثلا .

٤ — الكتلة (Mass) هى مقياس خاصية القصور الذاتى للجسم أى مقياس مقاومته لتغيير حالة حركته . فاذا أثرت قوة معينة على التتابع فى أجسام مختلفة

لفترات متساوية انتجت تغيرات فى السرعة تتناسب عكسيا مع كتل تلك الأجسام أو بمعنى آخر إذا أثرت قوة معينة على جسم كبير الكتلة فانها تحدث تغييراً فى سرعته يعتبر طفيفاً بالنسبة لما تحدثه نفس القوة من تغيير فى سرعة جسم صغير الكتلة (قانون نيوتن الثانى) .

وباختيار جسم معين كوحدة للكتل يمكن بهذه الطريقة تعيين كتل الأجسام الاخرى .

بند ٦ — القوانين الاساسية العامة : (Fundamental Laws)

تربط هذه القوانين بين **المدركات والمعرفات الاساسية** - التى سبق تفصيلها - بعلاقات عامة بسيطة أثبتت التجارب دقتها الكافية فى وصف الظواهر الطبيعية .

ولوضع الأساس المنطقى للعلم وضعا صحيحا يلزم الاقتصار على أقل عدد ممكن من تلك القوانين الأساسية المسلم بصحتها دون برهان رياضى بحيث يتقرر كل من هذه القوانين حقيقة مستقلة تماما عن الآخر . وقد انتهى الرأى إلى القانونين الآتيين أساساً للميكانيكا كعلم منطق إستنتاجى وهما :

القانون الاول : قانون متوازى أضلاع القوى :

ينص هذا القانون على أنه إذا أثرت قوتان على جسم ومثلث عاتان القوتان مقداراً واتجاهاً بضلعين متجاورين فى متوازى أضلاع فإن تأثيرهما المشترك يعادل تأثير قوة واحدة تمر بنقطة تلاقيهما ويمثلها فى المقدار والاتجاه قطر متوازى الأضلاع المنشأ على القوتين كضلعين متجاورين فيه .

القانون الثانى : قانون نيوتن الأساسى للحركة :

وينص على أن « معدل التغير الزمنى لكمية حركة جسم — وهى حاصل ضرب كتلته فى سرعته — مساو للقوة المؤثرة عليه وفى اتجاهها » .

وسيأتى التعبير الرياضى الدقيق عن هذا القانون فيما بعد عندما نتناول فرع الديناميكا بالدراسة . وهذا القانون هو قانون نيوتن الثانى ضمن قوانينه الثلاثة المعروفة باسمه . أما قانونه الأول المعروف باسم قانون القصور الذاتى Law of Inertia فيعتبر حالة خاصة من هذا القانون العام فانه عندما تنعدم القوى المؤثرة لا تتغير كمية حركة الجسم أى أنه يحتفظ بسرعته الأصلية مقداراً واتجاهاً أو يبقى ساكناً إن كان من الأصل ساكناً .

وقانون نيوتن الثالث المعروف بقانون الفعل ورد الفعل (Action & reaction) وينص على تساويهما يمكن استنتاجه منطقياً من قانون نيوتن الثانى ومن تعريف الكتلة الذى أوردناه سابقاً كما بين ذلك العلامة ماخ (Mach) فى كتابه :

"Die Mechanik Historisch Kritisch Dargestellt"

« عرض تاريخى ونقدى لعلم الميكانيكا » .

وقد اكتفينا فى هذا الباب بسرد مبسط لأساسيات علم الميكانيكا مرجئين الصياغة الدقيقة فى القالب الرياضى للأبواب التفصيلية .

بند ٧ — أقسام علم الميكانيكا :

تنقسم الميكانيكا بوجه عام إلى فرعين أساسيين وهما :

١ — الاستاتيكا (Statics)

٢ — الديناميكا (Dynamics)

وتبحث الاستاتيكا فى اتزان الأجسام تحت تأثير القوى ويخدم هذا الفرع من العلم الإنشاء الهندسى على وجه العموم .

أما الديناميكا فتبحث فى وصف الحركة ودراسة مقوماتها ولذلك تنقسم بدورها إلى :

ا — الكينماتيكا (Kinematics) : وهى علم وصف الحركة وصفا مجردا دون التعرض للقوى المكيفة لها .

ب — الكينتيكا (Kinetics) : وتبحث فى تكييف القوى للحركة .

وتنقسم الميكانيكا من ناحية نوع المادة موضوع البحث إلى :

١ ـ ميكانيكا الجسيمات والاجسام المتماسكة
Mechanics of Particles & Rigid Bodies

٢ ـ ميكانيكا المرونة واللدونة Elasticity & Plasticiey Mechanics

٣ ـ ميكانيكا الوائع Fluid Mechanics

وتنقسم بدورها إلى :

١ ـ ميكانيكا السوائل Hydro Mechanics

٢ ـ ديناميكا الغازات Gas-Dynamics