الشروط النظرية التي أدت إلى انهيار العلم الأرسطي وبناء العلم الحديث الفيزياء نموذجا

الأستاذ جمال الشاكري
المغرب

تمهيد:

إن تاريخ الفكر الإنساني تاريخ اتصال واستمرارية تطورية، لا وجود لقطائع في تاريخ العلم والفلسفة، حيث النظريات العلمية بناء وتراكم، لهذا لا توجد بدايات مطلقة للمذاهب العلمية كما يقول بيير دوهيم في مطلع مؤلفه نظام العالم: "لا توجد بداية مطلقة لنشأة المذاهب العلمية؛ بغض النظر عن ارتقاء وتطور مستوى الأفكار التي تم إعدادها، يتم التوصل دائمًا إلى آراء تم إعدادها واقتراحها وإعلانها؛ وإذا توقفنا عن اتباع هذه السلسلة من الأفكار التي انبثقت عن بعضها البعض ، فهذا لا يعني أننا وضعنا أيدينا على الحلقة الأصلية الأولى، لأن السلسلة تغرق وتختفي في أعماق ماضٍ غامض"[1]. من أجل الكشف عن هذه السلسلة ينبغي إتباع المنهج التحليلي المفهومي، الذي اتبعه كويري في كتابته، حيث يقوم على منطق تتبع التحولات الفكرية وتمييز بين المفاهيم حسب سياقاتها النظرية، ولعل هذه الوريقات محاولة للوقوف عند أهم مرحلة من مراحل تطور الفكر الإنساني العلمي والفلسفي، وهي المرحلة التي تمتد من علماء القرن الرابع عشر إلى ديكارت، ذلك لأن هذه المرحلة حلقة وصل بين العلم الأرسطي والعلم الحديث، فهي مرحلة مفصلية في تاريخ تطور الفيزياء، وأيضا مرحلة يتضح فيها التداخل بين الرياضيات والفيزياء والفلك من جهة وبين الفلسفة والفيزياء والفلك من جهة أخرى، من هنا نتساءل: ما مكانة علماء القرن الرابع عشر رواد مدرسة أوكسفورد وباريس في التحولات العلمية الفيزيائية في تلك المرحلة؟ وكيف استفاد غاليلي من هذا التراث العلمي لرواد مدرسة أوكسفورد وباريس في القرن الرابع عشر؟ وما مدى تأثير فيزياء غاليلي وفلك كوبيرنيك في فلسفة ديكارت؟ وكيف أسس ديكارت الفيزياء الحديث على تراث سابقيه؟ للإجابة عن هذه الأسئلة سوف نتطرق إلى ثلاث نقاط أساسية:

1- **مكانة علماء القرن الرابع عشر رواد مدرستي أوكسفورد وباريس في هذا التحول العلمي.**
2- **أهمية غاليلي التأسيسية.**
3- **ديكارت وليد الكوبيرنيكية.**

1- مكانة علماء القرن الرابع عشر رواد مدرستي أوكسفورد وباريس في هذا التحول العلمي.

تكمن أهمية علماء القرن الرابع عشر في وقوفهم عند المفاهيم الأساسية لفيزياء أرسطو والتمييز بين مفهوم الحركة والسرعة من جهة وبين أسباب السرعة أو العلل المحركة. وهنا سنقف لنقارن بين التصور الأرسطي الذي القائل بأن الحركة سعي الأشياء لتحقيق كمالها الخاص، بمعنى ارتباط الحركة بالعلة الغائية، في مقابل التصور الذي يتحدث عنه رواد مدرسة أكسفورد، وهو تحليل مفهوم الحركة، لقد اكتفى أرسطو بملاحظات أولية لمفهوم الحركة فقط، ولم يفحص المفهوم بشكل دقيق[2].

لقد قام علماء القرن الرابع عشر بتحليل ووصف مفهوم الحركة معتمدين لغة رياضية، وأخص بالذكر مدرسة أكسفورد ومدرسة باريس[3]، عندما نتحدث عن الحركة فلابد من الحديث عن مفهوم أخر وهو مفهوم السرعة، لأن تحليل الحركة يقتضي سؤال: **كيف تتم هذه الحركة؟**

للإجابة عن السؤال أعلاه كان لابد من استدعاء مفاهيم أخرى، من قبيل مفهوم السرعة والتسارع، بالإضافة إلى مفهومي الزمان والمكان، إن الحركة تتم بسرعات مختلفة، وهذه الأنواع من الحركات اتخذت أشكال تعبيرية محددة عند رواد المدرستين، ولعل من بين الأشكال التعبيرية التي وظفها هؤلاء العلماء، هي الأشكال الهندسية، من خلال تطبيق الخطوط « Latitude » والأشكال الهندسية للتعبير عن الزيادة والنقصان، بمعنى كل تغير يطال الجسم أثناء حركته.

لنفترض أن سرعة جسم تغيرت أثناء حركته إما بالزيادة أو بالنقصان، خلال فترة زمنية محددة، فإنه يمكننا تقسيم تلك الفترة الزمنية إلى أجزاء متساوية، وكذلك تقسيم التغير الكلي، سواء كان تغير منتظم أو غير منتظم، هذه التصنيفات سوف تستمر إلى حدود غاليلي، على الرغم من أن هذا التحليل يظل مساهمة أصيلة اكتملت في أعمال « NICOLE ORESME[4] » عند تصنيفه الحركات الغير المنتظمة وفق أنماط الزيادة والنقصان في السرعة، خلال فترات زمنية متتالية، وهذا ما أظهره علماء فيزياء أكسفورد من خلال معرفتهم بمفهوم التسارع « acceleration » ومفاهيم أخرى من قبيل: مفهوم الحركة « motus »، والسرعة « velocitas »، الزيادة أو الارتفاع « latitudo »، كل هذه المفاهيم كانت ضرورية لتحليل مفهوم الحركة، ويعد « ORESME » من الأوائل الذين قاموا بإدراج هذه المفاهيم من أجل تحليل ووصف مفهوم الحركة، ولعل مفهوم التسريع أو التسارع « velocitatio »، كان أساسيا في توضيح الزيادة المنتظمة في السرعة.

يقول Maurice Clavelin: " على أي حال، وبغض النظر عن الانتساب الدقيق للأفكار، هناك حقيقة واحدة مؤكدة: منذ عام 1320، في أكسفورد، لقد تم التعامل مع السرعة على أنها مقدار مكثف، وقابل للتكثيف والعكس صحيح، يصبح la qualitas motus، أو حتى l'intensio motus، من الشائع بعد ذلك التمييز بين نوعية الحركة (أي مقدار سرعتها) عن كميتها (أي – مقدار الفضاء الذي تم قطعه). وهكذا يكتب Bradwardine[5] أن حركة الجسم في نفس الوسط يمكن أن تكون متطابقة نوعياً وتختلف فقط من الناحية المقدار، يحدد Marsil d'Inghen الحركة ، كظاهرة ناتجة عن عمل النوع، فمن المستحسن فصل التمدد (الانتشار) والشدة، بشكل أكثر براعة، سيتحدث Oresme عن النوع والمقدار فيما يتعلق بالسرعة نفسها. هذه الملاحظات في غاية الأهمية. قبل كل شيء، فالحركة المكانية يمكن أن تصبح موضوع دراسة مباشرة في انكشافها المكاني والزماني، من خلال بُعد ينتمي إليها في حد ذاتها. بالنسبة لأرسطو، كان للسرعة معنى فيزيائي فقط من منظور القوة الدافعة وظلت بطريقة خارجة عن الحركة، تفسر القوة المقاومة، والتي يتم تحديدها من خلال العلاقة F / R، باعتبارها كمية مكثفة، والسرعة على العكس من ذلك سمحت لنفسها بسهولة أن ترتبط بالحركة: حيث أصبحت متداخلة معها وجعلت من الممكن متابعتها في أدائها ذاته"[6].

هكذا نحن أمام فكرة أساسية، وهي الانتقال إلى تحليل مفهوم الحركة، والسرعة جزء لا ينفصل عن هذا التحليل، ينبغي إذن الكشف عن التميز الذي أقامه علماء القرن الرابع عشر بين السرعات والطرق التي عبروا بها عن هذا التغير، رغم عدم تحقق الدقة عندهم بشكل كامل إلا أنهم كانوا حلقة أساسية في نشأة العلم الحديث، لقد أشار « ORESME » إلى الاختلافات في السرعة، لكنه كان بعيدا قليلا عن المفهوم الحديث للتسارع، كونه فشل في تحديد التغيرات اللحظية للسرعة، لكن الأساسي هنا أنه جعل مفهوم السرعة موضوع دراسة، هنا يمكننا الإشارة إلى أن العالم أو الفيلسوف لا يفكر خارج الأرضية النظرية السائدة في عصره، لأن تلك الثغور التي سيتركها علماء القرن الرابع عشر في دراستهم لمفهوم الحركة، ستؤدي إلى نشأة حساب التكامل والتفاضل، كما أدت نقائص دراسة أرسطو للحركة المكانية إلى ظهور مفهوم السرعة والتسارع.

لقد استند أرسطو إلى الأسباب الداخلية لحركة الجسم المتحرك، حيث هذا الأخير يتجه في نظر أرسطو إلى تحقيق كماله، وأن الأجسام تشتاق/ تحن إلى أماكنها الطبيعية، حتى في سلسلة الحركة التي يقطعها الجسم المتحرك عند أسطو، هي مجرد زيادة أو نقصان.

" هناك انطباع في الحركات الطبيعية والمستقيمة، حيث تتزايد القوة الدافعة المستلمة باستمرار، لأن سبب الحركة هو في حد ذاته، الميل للذهاب إلى المكان المخصص"[7].

هذا يعني أن في لحظة أرسطو لم يكن مفهوم السرعة موضوع دراسة، بل حتى المشائين الذين أتو من بعده لم يقفوا عند تحليل مفهوم السرعة، أثناء دراستهم للحركة.

يعد « BRADWARDINE » من بين رواد مدرسة أكسفورد، والذي يرى أن الحركة واحدة، لكنها تختلف كميا « quantitatif » ، ولما كانت هذه الحركة (الحركة المكانية) تشترط بعدي الزمان والمكان، بالإضافة إلى أنواع السرعة، والطريقة التي تتم بها، فإن ذلك يختلف عن التصور الأرسطي الذي يؤمن بأن حركة جسم مرتبطة بالقوة المحركة، والقوة المقاومة، حيث حددت حركة جسم بالقوة / المقومة، F/R ، بمعنى أن الجسم يتحرك بواسطة قوة ويخضع أيضا لمقومة فتمنعه من الحركة، هذا لا يعني أن أرسطو يتحدث عن القوة المحركة بالمعنى الحديث الذي سيظهر بعد ظهور **مبدأ العطالة** « le principe d'inertie »، بل الحركة عند أرسطو محددة بأنواعها وليس بتحليلها، كما هو الحال مع الأكسفورديين والباريسيين، لأنه مع هاتين المدرستين سوف تصبح السرعة ملازمة للحركة المكانية، فالسرعة = المسافة / الزمن، V=E/T .

يعود الفضل لعلماء القرن الرابع عشر من خلال إدخالهم مفهوم السرعة في دائرة علم الحركة، الأمر الذي سيمكن الفيزيائيين من دراسة وتحليل هاذين المفهومين بشكل مباشر، لكن لا يمكن أن نقول عنه تحليل دقيق، لأنهم درسوا السرعة كمفهوم خالص بشكل عام، أما الفكرة الحديثة عن السرعة في لحظة ثابتة، سوف يظهر بعد نشأة حساب التكامل والتفاضل، من خلال التوطين البياني[8].

لم تكن أمام كل من مدرسة أكسفورد وباريس أي وسيلة للشروع في دراسة رياضية للتغيرات في السرعة، إلا بعد ثلاث قرون ونصف من خلال إدراج حساب التفاضل والتكامل، وبالتالي كان السبيل أمامهم هو التحليل الفلسفي، من خلال اعتماد مفاهيم: « ocitatio » « latitudo » « intensio »، هذه المفاهيم تفيد تحليل مفهوم السرعة « la vitesse » ومفهوم التسارع « la accélération»، حيث يعد التسارع معدل تغيير في السرعة، في الميكانيكا الحديثة سوف تصبح سرعة نقطة ما في أي لحظة، هي المعامل التفاضلي للفضاء فيما يتعلق بالزمن، $v = \frac{\Delta e}{\Delta t}$ ، هكذا أصبح يعبر عن التسارع بنسب رياضية[9].

لقد توصل « ORESME » إلى تمثيل الحركات المتنوعة للسرعة عبر أشكال هندسية، كما توصل « SWINSHEAD[10] » للتعبير عن ذلك من خلال توظيف رموز رياضية، أي هناك تباين في التعبير عن التغيرات في السرعة من لدن المدرستين أكسفورد وباريس، وهنا يمكن القول بداية تريض الطبيعة، يعني إقحام الرياضيات في مجال الفيزياء، إلا أنه سيظهر بشكل جلي مع غاليلي.

يقول Maurice Clavelin: "هناك اختلافات مهمة تفصل بين علماء أكسفورد وعلماء باريس. بشكل اسبق زمنيا سيظهر علماء أوكسفورد أولاً، والذين تكمن أصالتهم في اللجوء بشكل منهجي إلى الرموز الحرفية والرقمية لتعبير عن المقادير الفيزيائية. منذ بداية القرن الرابع عشر ظهرت عادة تتجلى في التعبير عن الحرارة أو السرعة مثل "أ" أو ما شابه "ب". في الوقت نفسه، نخصص ترتيبًا رقميًا لمقدار الاختلافات في السرعة (التحدث، على سبيل المثال، عن سرعة تتراوح من 0 إلى 8 درجات)، أو درجات السرعة اللحظية (التحدث عن سرعة لحظية مثل 2، 4 أو 6 درجات، أو حتى سرعة ذات الزيادة المضاعفة في فترة زمنية

معينة). هذا الترميز الذي سمح كما قلنا بتبديل الحركات اللانهائية "interminis"، ومكن أيضا من التوصل إلى استنتاجات أكثر وضوحا وتعميما، مع تشكيل بدايات لغة أكثر تخصصا لحل مشاكلات الفيزياء"[11].

يقدم « SWINSHEAD » مثالا عن التغير الذي حدث في السرعة عند حركة جسم ما، يفترض جسمين أحدهما A والثاني B هاذين الأخيران يتحركان بشكل مختلف عن بعضهما البعض، الأول يتحرك بسرعة معينة في تناقص مستمر ومنتظم والثاني يتحرك بسرعة متزايدة أي في تسارع مستمر بشكل منتظم حتى درجة محدد يرمز لها ب C في هذه اللحظة تبدأ سرعة الجسم A في تناقص حتى تصل الى النقطة التي انطلق منها الجسم B، ولنفترض ان E هي الدرجة المتوسطة، أي القيمة المتوسطة لكلا الجسمين، إذن الجسمين يتحركان بشكل مختلف حركة منتظمة، حيث يكون مسار الحركة يساوي ضعف متوسط سرعتهما 2 E [12].

بالإضافة الى قانون الدرجة المتوسطة «La loi du degré moyen» الذي سيستنتجه «HEYTSESBURY[13]» وسيعبر عنه على النحو التالي: $E= \frac{V0+VT}{2}$ [14]، بمعنى الحركة سواء اكانت تبدأ من الصفر أو من درجة معينة، فإن أي تغير في السرعة سواء تم الحصول عليها أو فقدانها بشكل موحد، سوف يتوافق عبر الدرجة المتوسطة.

يقول Maurice Clavelin: "يذكر Heytesbury في تصوره للمصطلحات المرتبطة بالحركة:" أن أي اختلاف (سواء كان يبدأ من درجة صفر أو من حركة موحدة ذات مقدار محدد)، بشرط أن ينتهي المتحرك إلى درجة محددة ويتزايد أو يتناقص بشكل موحد، سوف يتوافق مع متوسط درجته، أي أن المتحرك الذي يمر به خلال فترة زمنية معينة سوف يقطع بشكل صرام نفس المسافة كما لو تم تحريكه، خلال نفس الوقت بسرعة تساوي متوسط درجته". هذا القانون الذي يمكن أن نسميه قانون المتوسط، "يعادل النظرية الأولى المرتبطة بتحليل جاليليو للحركة المتسارعة بشكل منتظم. إذا أشرنا بواسطة Vo إلى المقدار الأول للسرعة، وVt الشدة النهائية الخاصة بالمتحرك، والمسافة المقطوعة، فإنه يفترض أن. $e=\frac{V0+VT}{2}$ t." [15].

هناك أيضا عالم أخر ينتمي الى مدرسة أكسفورد وهو « CALCULATOR[16]» الذي يقول عنه « LEIBNIZ» أنه أول من قام بإدخال الرياضيات إلى دائرة الفلسفة الطبيعية [17]، من خلال تفسيره قانون المسافات، أي شرحه للتسارع (الزيادة المنتظمة في السرعة)[18].

لقد عمل أيضا رواد مدرسة باريس عن تحليل الحركة رياضيا، وأخص بالذكر «ORESME»الذي لجأ للهندسة من أجل التعبير عن السرعة المحدثة عند حركة جسم عين، مبينا أنواع الحركات، ومؤكدا على أن كل شيء قابل للقياس هندسيا باستثناء الكميات المنفصلة، يقدم « ORESME » أنواع الحركات لتفسير مفهوم التسارع، موظفا لهذا الغرض مجموعة من الأشكال الهندسية.

أولا: الحركة التي لها سرعة موحدة يرمز لها بمستطيل.

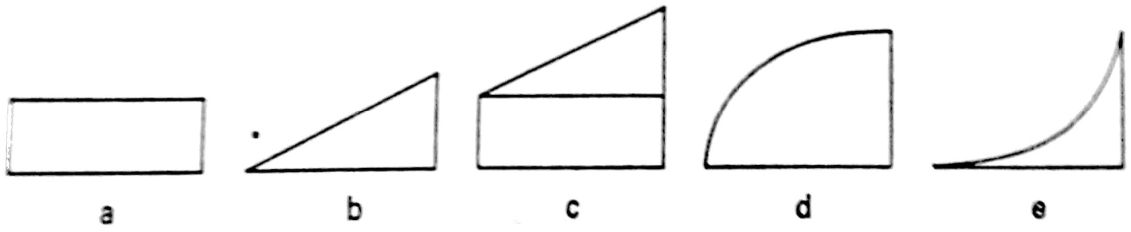
ثانيا: الحركة التي في تسارع منتظم انطلقت من نقطة معينة وتنتهي إلى الصفر، يرمز لها بمثلث قائم الزاوية.

ثالثا: الحركة ذات التسارع المختلف يرمز لها إما بشكل مقعر أو محدب.

يقول Maurice Clavelin : "لتوضيح ذلك، دعونا أولاً نأخذ سرعة غير ثابتة، فالحركة الموحدة: يمكن تمثيلها بمستطيل مثل (a)، ثم ننتقل بعد ذلك لنفكر في السرعة التي تخضع لتغير منتظم (حركة بسرعة متغيرة بشكل موحد): سيكون الشكل الناتج

عن عملية زيادة السرعة أو نقصانها مثلثًا قائم الزاوية، إذا كان الحد الأدنى من شدة السرعة هو صفر (B)، أو شبه منحرف إذا كان للحد الأدنى من الشدة قيمة معينة (C). أخيرًا، تستعمل الأشكال المنحنية التي قد يكون الخط العلوي منها (linea summitatis) محدبًا أو مقعرًا كتعبير عن الاختلافات الغير منتظمة "[19].

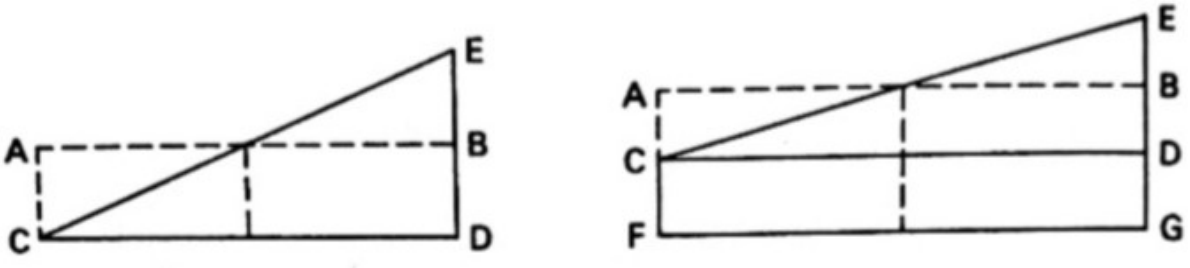
للتوضيح أكثر أنظر الاشكال التالية:



كل هذه الاشكال تعبر عن السرعة وما يطرأ عليها من تغير، فيما يخص التسارع أي الزيادة أو النقصان في السرعة، وبهذا يكون « ORESME » قد توصل إلى مفهوم جديد وهو، مقدار السرعة « QUANTITAS VELOCITATS »، هكذا قام « ORESME » بتوليف كل الزيادات التي مرت بها السرعة عبر الزمن، كما أنه يتحدث عن تمثل التغير الإجمالي في السرعة، لكن هذا المفهوم الجديد غير واضح بشكل دقيق، لأنه حسب « CLAVELIN » كان يفتقر إلى التقنيات التحليلية التي ستظهر يوما ما مع إنشاء حساب التفاضل والتكامل المتناهي في الصغر[20].

لقد عبر «ORESME» عن المشكلات الميكانيكية الأولية بمصطلحات هندسية بسيطة، حيث يرى «CLAVELIN» أن هذه الطريقة أدت إلى ظهور مجموعة من التعليقات واعتبرها العديد من الكتاب شكلا من أشكال التكامل، وإن كان نوعا تصوريا. هكذا فالإشكال سيحل في التحليل الحديث للحركة وما ارتبط بها من مفاهيم، من قبيل السرعة، المسافة، الزمن، من خلال توظيف منحنى الحركة والاحداثيات الأولية والنهائية «Initial – terminal» والتي تمثل تكامل السرعة خلال الفترة الزمنية قيد الدراسة[21].

أما فيما يخص نظرية السرعة المتوسطة فإن «ORESME» استطاع تقديم دليل مباشر عن هذه النظرية، معتمدا أشكال هندسية كالآتي:



إذا كانت السرعة في البداية صفر، يجب أن يكون المثلث CDE الذي يمثل به « ORESME » المسافة التي يتبعها الجسم في حركة مختلفة بشكل موحد متساوي في منطقة المستطيل ABCD، وتمثل المسافة التي كان من المفترض أن يقطعها الجسم في نفس الفترة الزمنية، أما فيما يخص الجسم الذي يتحرك بسرعة متغيرة في اللحظة المتوسطة في الوقت المناسب t/2، ويكون الدليل

مباشر تماما في حالة التغير في السرعة بدءا من زيادة أكبر من الصفر، يتخذ هذا التغير في السرعة شكل شبه منحرف CEFG والذي يعادل مساحة المستطيل ABGF، كل هذه الافتراضات كانت بمثابة تمهيد لنشأة العلم الحديث، حيث أخذ عنه غاليلي قانون الدرجة المتوسطة المرتبط بمفهوم التسارع المنتظم، رغم تلك العقبات التي واجهها التعبير عن التغير بشكل أدق، إلا أنه فتح المجال أمام ظهور حساب التكامل والتفاضل[22].

إن علماء القرن 14 م اهتموا بالحركة المنتظمة، والحركة المتغيرة بشكل منتظم وموحد، وبالتالي كان الإجراء الأساسي هو تقسيم الفترة الزمنية المحددة إلى أجزاء متناسبة، لقد كان من الواضح أن أبسط طريقة للتعبير عن التغير في السرعة، هي تلك التي تضاعف فيها السرعة في كل جزء متناسب مع الوقت، ويمكن التعبير عن ذلك من خلال سلسلة من الأعداد، هنا تجدر الإشارة إلى بعض العلماء من قبيل: « CALCULALOR » و « HEYTESBURY »، هاذين العالمين سيعبران عن قانون السرعة المتوسطة حسابيا، حيث المتحرك بحركة مختلفة ومنتظمة، أي تسارع منتظم، ستكون المسافة المقطوعة في النصف الأول أصغر بثلاث مرات من المسافة المقطوعة في النصف الثاني، وأربعة في اللحظة الثالثة.

يقول Maurice Clavelin: "دعونا نستعير مرة أخرى صياغة Heytesbury: تزداد سرعة الجسم المتحرك بشكل موحد من الدرجة صفر إلى درجة محددة في ساعة واحدة من الوقت، سوف يقطع الجسم في النصف الثاني من الساعة مساحة أكبر بثلاث مرات من تلك التي سوف يقطعها في النصف الأول من الساعة ". يمكن تأسيس "قانون المسافات" هذا، كما يفعل Heytesbury، فيما يخص قانون "الدرجة المتوسطة". الحركة ذات السرعة المتغيرة بشكل موحد، في أول نصف ساعة، تتوافق في الواقع مع الحركة الموحدة التي تكون سرعتها نصف متوسط سرعة الحركة الكلية، وبالتالي ثلث سرعة الحركة المنتظمة مقابل للنصف ساعة الثاني، من حركة متغيرة السرعة بشكل موحد؛ ويترتب عن ذلك أن المسافة المقطوعة في النصف الأول من الحركة ستكون ثلاث مرات أصغر من المسافة المقطوعة خلال النصف الثاني".[23]

بنفس الطريقة سوف يعالج «CALCULATOR» مشكلة التسارع، يضيف «CLAVELIN» قائلا: "كما لاحظ CALCULATOR فمتوسط زيادة السرعة بالنسبة للحركة الكلية، هو ما يولده التباين في الجزء الثاني من الزمن. عرف في القرن الرابع عشر أيضًا هذا النمط من الاختلاف في شكل آخر، دعونا نتخيل حركة تحدث بسرعة موحدة خلال فترة زمنية محددة ومتساوية ومتتالية على الفور، حيث تخضع سرعتها لعملية زيادة منتظمة، في الجزء الأول من هذه الزيادة تضاعف ثلاث مرات في الثانية، أربع مرات في الثالثة، إلخ".[24]

هكذا نخلص إلى أن هناك تمييز واضح فيما يخص التصور الأرسطي لمفهوم الحركة المكانية، وتصور علماء القرن الرابع عشر، ويعود الأصل لهذا التمييز إلى طبيعة تكون الأفكار العلمية والفلسفية، في إطار علاقة تفاعلية بين مختلف العلوم، التي طالما تنبثق من داخلها مشكلات، تستدعي حلولا جديدة من علوم أخرى، وقد تتطلب نشأة علم جديد[25]، وبالتالي دراسة مفهوم الحركة من لدن علماء القرن الرابع عشر ونقدهم لأرسطو لم يكن صدفة، بل هناك حلقات وصل وتطور تبناها، رواد المدرستين أكسفورد وباريس تعود أصولها إلى رائد البصريات **الحسن ابن الهيثم**، وتجدر الإشارة هنا إلى رسالته في النور، حيث نجده يدافع عن فكرة مفادها: أن الحواس لا تدرك بل تلتقط الإشارات ليتم الإدراك على مستوى الذهن، وبالتالي الضوء الذي يساعد على الإدراك، والذي كان أرسطو يعتقد أن مصدره العين، أصبح يصدر عن الأشياء التي تتراءى للعين[26]، هذه الفكر تحمل في ذاتها بعدا معرفيا يرتبط بإعادة التفكير في مصادر الإدراك والكيفية التي يتم بها، إن هذا الأمر سوف يساهم بشكل أو بأخر في انهيار النسق الأرسطي فيما بعد، لأن أرسطو لم يفصل بشكل علمي بين العلوم ومجالاتها ومفاهيمها في تصنيفاته، حيث نجد مفهوم الحركة، وهو قيد الدراسة، لا

ينفصل عن نظرية العناصر الأربعة، وأيضا نظريته الكوسمولوجية، والمشكلات الرياضية السابقة عليه، لكن شيئا فشيئا ستبدأ العلوم في انفصالها عن بعضها البعض، لهذا وجب الوقوف عند التصورات السائدة وأهم الإشكالات التي أدت إلى تطور مفهوم الحركة، ونتائجها العلمية والفلسفية، وبشكل خاص نشأة العلم الحديث.

يمكن إقامة تمييز بين تصور أرسطو وعلماء القرن الرابع عشر للحركة المكانية أنظر الجدول التالي:

أرسطو	علماء القرن الرابع عشر
الحركة المكانية قسمين: – حركة طبيعية: الميل الطبيعي للأجسام أثناء حركتها، محايثة لطبيعة الجسم. – الحركة القسرية: الحركة الاضطرارية والمفروضة على الجسم من الخارج. إذن الأجسام المتحركة خاضعة لمبدأين: المقاومة والقوة. F/R ، هاذين المبدأين شرط الحركة والسكون.	تحليل مفهوم الحركة المكانية: –من خلال تحديد مفاهيم أخرى من قبيل: مفهوم السرعة/ التسارع/ الزمن/ المكان/... أصبح المفهوم يحمل أبعاد أخرى. –الكيفية التي يتحرك بها جسم معين تقتضي معرفة سرعته، ومن أجل معرفة هذه الأخيرة لابد من استحضار المساحة والزمن. $V=\frac{\Delta e}{\Delta t}$ –التعبير عن متغيرات سرعة متحرك بطريقة رياضة هندسية.

لقد انتقل التراث العلمي والفلسفي من مدرسة أكسفورد وباريس إلى الجامعات الإيطالية، هذه الأخيرة سيكون لها دور أساسي في نشأة العلم الحديث، وبوجه خاص مع غاليلي غاليليو، يرى «CLAVELIN» أن تمثيل قانون الدرجة المتوسطة عند « ORESME » وغيره من العلماء ك « HEYTESBURY » و « CALCULATOR » سوف تستمر في فيزياء غاليلي كنظرية أولى للحركة المتسارعة بشكل موحد.[27]

خلاصة القول هناك استمرارية مباشرة للأفكار من القرن 14م إلى القرن 17م، هكذا لاوجود لأفكار مستقلة عن أخرى، بل إن تاريخ العلوم والأفكار بصفة عامة هو تاريخ استمراري، لا يمكن فهمه واستيعابه بطريقة متقطعة دون مراعاة طبيعة تشكل الأفكار العلمية والفلسفية، إن التحليلات التي قام بها رواد مدرسة أكسفورد وباريس لمفهوم الحركة، لم تكن حاسمة بل ظلت هناك نقطة غامضة ومتمثلة في القوة المحركة، وهي عودة إلى أرسطو، إلا أنها عودة من أجل نقده من خلال ظهور **مبدأ العطالة le** « **principe d'inertie** »، كمفهوم أساسي لقيام الفيزياء الحديثة، لقد استفاد غاليلي من التراث العلمي والفلسفي لرواد مدرسة أكسفورد وباريس، حيث سيمكنه من بناء نظريته العلمية المرتبطة بسقوط الأجسام، وتأسيس مفهوم العاطلة، وبالتالي بداية الميكانيكا الحديثة، السؤال الذي يطرح نفسه هنا، **كيف بلور غاليلي التراث العلمي (الرياضي والفلكي) في تأسيس العلم الحديث؟ وما هي امتداداته؟ أي كيف سيتفيد ديكارت من فيزياء غاليلي في بناء تصوراته الفلسفية والعلمية؟**

2–أهمية غاليلي التأسيسية.

لقد ساهمت الأفكار العلمية (الرياضية، الفلكية) لكل من رواد مدرسة باريس ومدرسة أكسفورد، في ظهور فيزياء غاليلي وتصوراته العلمية بشكل عام، حيث ساهم تحليلهم لمفهوم الحركة، بالإضافة إلى الثورة الكوبيرنيكية التي تجلت في دوران الأرض، والتي ساهمت في تشكل العلم الجديد سواء عند غاليلي أو غيره من العلماء، بل نتائجها امتدت إلى ديكارت.[28]

إن ما قام به غاليلي فيما يخص مفهوم الحركة، يتمثل في نظريته حول سقوط الأجسام، بعد أن مثل كل من «ORESME» و«CALCULATOR» مفهوم الحركة هندسيا، بالإضافة إلى تعبيرات « DOMINGO SOTO » الرياضية حول سقوط الأجسام و أيضا حول الحركة المنتظمة السرعة والغير منتظمة، هكذا يكون غاليلي قد استفاد من العلماء السابقين عليه.[29]

لم يقتصر غاليلي عن ترييض الحركة المكانية فقط بل ذهب إلى ترييض الفراغ[30]، ليمهد الطريق أمام ظهور الفيزياء الديكارتية، الأمر الذي لم يتوصل له «Léonard de Vinci » وBenedetti » « لأنهما لم تتوفر لهما الشروط النظرية في مقابل « Galilée » و« Descartes ».

يقول Koyré: "يشرح Duhem جيدًا سبب عدم تمكن Léonard de Vinci وBenedetti من صياغة قانون سقوط الأجسام بشكل دقيق، لماذا اقتصر الأمر على جاليليو للقيام بذلك؟ ومع ذلك، فليوناردو لا يشرح لنا سبب لماذا علاقتين متكافئتين أو على الأقل، يعتقدان أنهما كذلك (السرعة المتناسبة مع الزمن المنقضي، والسرعة المتناسبة مع المسافة المقطوعة)، وكذلك فيما بعد غاليليو وديكارت، اختارا العلاقة الثانية، يبدو أن السبب في ذلك عميق جدًا وبسيط جدًا، يكمن بالكامل في الدور الذي يلعبه العلم الحديث من خلال الاعتبارات الهندسية والوضوح النسبي للعلاقات المكانية".[31]

ثم يضيف Koyré ، قائلا: "إن المسار الذي قطعته الفيزياء الكلاسيكية في تكونها كان بمثابة محاولة للعقلنة، بمعنى آخر هندسة الفضاء وإضفاء الطابع الرياضي على قوانين الطبيعة، إنه لقول حق، أن الجهد نفسه الذي يحيل على هندسة الفضاء لا يعني، أي شيء أخر سوى تطبيق قوانين الهندسية على حركة ".[32]

هكذا فأصالة غاليلي تكمن في هذا العمل، أي محاولته في ترييض أو (هندسة) الفضاء الخارجي، حيث تخلى في تحليله لمفهوم الحركة عن التصور الأرسطي، الذي يعتبر أن علة حركة جسم داخلية وليست خارجية، مستعيضا هذا التصور، بتصور جديد يرى أن سبب الحركة خارجي وليس داخلي، وهنا تجذر الإشارة إلى المفهوم الجديد، وهو **مبدأ العطالة** الذي سيكون بمثابة أساس بناء الفيزياء الحديثة، أي أن الجسم عاطل عن الحركة مالم يتدخل عنصر خارجي في تحريكه، وإذا كان يتحرك يظل يتحرك إلى مالا نهاية مالم يتدخل عنصر في إيقافه.

إن ما يسميه غاليلي ب « L'impetus » ويعرفه بالميل للحركة أو القوة التي تجعل جسم يتحرك، هذا يعني أن الجسم لا يتحرك من تلقاء ذاته بل هناك عامل خارجي يتدخل في إيقافه أو تحريكه، إن نتيجة فعل السبب تستمر إذا ما استمر سببها.[33]

لعل هذا النوع من الحركة هو ما يطلق عليه غاليلي الحركة في الفراغ، أو السقوط الحر، لكن هل هي حركة محسوسة؟ طبعا لا، بل إنها حركة مجردة، وهذه الحركة متخيلة وهنا يبرز دور الخيال في بناء المعرفة العلمية، أي القيام بتجربة رياضية لمفهوم الحركة الفيزيائي.

يقول Koyrré : "تعتبر السرعة الطابع الأساسي للحركة، لهذا فالقول بالحفاظ على الحركة يعني أيضًا الحفاظ على السرعة، إن الحركة والسرعة، وبصفة خاصة الأخيرة، تتغير بطريقة ما حالتها الأنطولوجية: نتيجة للتأثيرات الناجمة عن السبب والتي تدوم وتوجد فقط طالما استمر فعل السبب الذي ينتجها (على سبيل المثال: الضغط)، حيث تصبح كيانا مستقل نسبيًا، تحافظ على نفسها، تمامًا كما يحافظ الجسم الذي لا يتحرك عن سكونه، هذا فيما يخص الحركة "المجردة".[34]

لقد صاغ غاليلي مفهوم الحركة الميكانيكية «du moment le poids multiplié par la vitesse» ، حيث يرى أن كلما زاد الوزن زادت سرعة الجسم في السقوط، هكذا فالكتلة والوسط يلعبان دورا أساسيا في تحديد سرعة الجسم أثناء سقوطه، لكن عندما يتم تجريد الجسم من خواصه الفيزيائية، ونقصد بذلك الوزن والوسط، فإنه يصبح مجرد نقطة رياضية تسقط في الفراغ، الجسم أثناء حركته يخضع لأسباب خارجية، وليست داخلية كما تصور ذلك أرسطو، فيما يخص الحركة الطبيعية، معتبرا أن الأجسام تشتاق إلى مكانها الطبيعي، وهذا الأخير تصور تم تبيان حدوده من لدن الميكانيكا الحديثة.

إن تحليل غاليلي لمفهوم الحركة، من خلال نظريته المرتبطة بالسقوط الحر، تجعله يتجاوز تصور « Jean Buridain » الذي يعتبر « L'impetus » القوة المحركة للجسم ذات فاعل خارجي، حيث مع غاليلي لا حاجة لوسيط في تحقيق حركة الجسم، بل حركته مرتبطة بشكل مباشر بثقالته أثناء سقوطه، لأن هذا الجسم يفقد سرعته وينتهي إلى السكون بمجرد انتهاء القوة المحركة له، لكن عندما يتم تجريد الحركة من خلال تخليص الجسم المتحرك من خواصه الفيزيائية، التي قد تكون دافعة أو معيقة للحركة، فأنه يستمر في الحركة الى ما لانهاية مالم تتدخل قوة خارجية في إيقافه، وقد يكون ساكنا مالم تتدخل قوة خارجية في تحريكه، هذا هو **مبدأ العطالة** أو **القصور الذاتي**.

لا يمكن الحديث عن الحركة دون استحضار بعدي الزمان والمكان في فيزياء غاليلي، واللذان لهما دور أساسي في نشأة الميكانيكا الحديثة، حيث إن السقوط يتم في المكان ويستغرق مدة زمنية، هكذا تم تحليل مفهوم الحركة المكانية، أما فيما يخص الحركة في الفراغ والتي من خلالها يتم استنتاج مبدأ العطالة، رغم كونه نتاج الخيال الرياضي إلا أنه مبدأ أساسي لاستنتاج قانون سقوط الأجسام، وحركتها بشكل عام.

يقول koyrré: "عندما اقترب جاليليو مرة أخرى في عام 1604 من مشكلة سقوط الأجسام، كان يمتلك، كما رأينا، الصيغ التي تربط مدة السقوط بالفضاء الذي يتم اجتيازه؛ إن هذه الصيغة تمتلك، كما أوضحنا للتو، المبدأ الأساسي للحفاظ على الحركة والسرعة، من ناحية أخرى، يتخلى عن أي محاولة لتفسير سببي، ويسعى فقط إلى مبدأ بديهي، يمكن من استنتاج القوانين الوصفية للسقوط."[35]

لقد اتخذ غاليلي الرياضيات أداة للتعبير عن السقوط الحر ومبدأ العطالة، هذا الأمر سيمكنه من الوصول إلى استنباط قوانين صادقة تتحكم في الظواهر الطبيعية، رغم أنه قد يبدو مبدأ العطالة مبدأ خيالي، في مقابل التصور الأرسطي المنهزم كونه لا يتوفر على هذا المبدأ، لكن ما يجب التنبيه إليه هو كون عندما نتحدث عن علم الطبيعة الأرسطي، والفلسفة الأرسطية بشكل عام فإننا نجد أنفسنا أمام نسق فلسفي علمي متماسك إلى حد ما، إلا أن هذا النسق لن يستمر على حاله بعد خضوع مفهوم الحركة للتحليل من لدن رواد مدرسة باريس وأوكسفورد في القرن الرابع عشر، بالإضافة إلى مساهمة ابن الهيثم من قبل في البصريات والفلك، إلا أن التصدع القوي سوف يحدثه كبيرونيك من خلال فرضية دوران الأرض، والتي سوف يأتي غاليلي على تعزيزها تجريبيا بعدما تم اختراع المنظار... سوف ينظر غاليلي إلى السماء مكتشفا التشابه الحاصل بين الأرض والقمر.

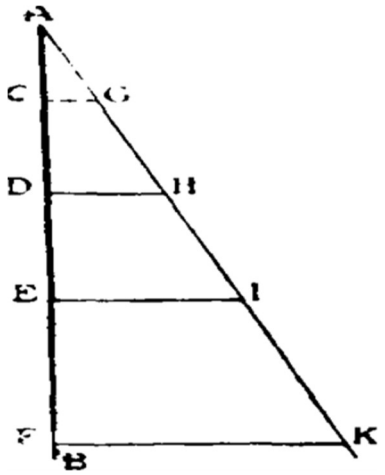
يقول غاليلي:" بوسع كل امرئ أن يدرك إدراكا يقينيا، بواسطة الحواس، أن سطح القمر ليس أملس صقيلا وإنما هو خشن وتكسوه النتوءات، وأنه، مثل سطح الأرض تماما، مليء بالبراكين والحفر العميقة والالتواءات. فليس من الهين إنهاء الجدل بشأن المجرة أو درب اللبانة وجعل طبيعتها جلية للحواس، بل وبينة للعقل أيضا، وإنه لمن دواعي السرور والروعة كذلك أن نتمكن من الإشارة بالبنان إلى جوهر بعض النجوم التي يسميها جميع الفلكيين إلى حد الآن سديمي (nebulous)، جوهر يظهر لنا أنه مغاير لما كنا نعتقد، بيد أن ما يثير إعجابنا أيما إثارة، وحملنا، فوق كل اعتبار، إلى لفت انتباه الفلكيين والفلاسفة إليه هو أساسا اكتشافنا

أربعة كواكب بقيت إلى حد الآن مجهولة ولم تراها عين من قبل، كواكب تقوم بدورتها حول نجم كبير معروف من بين تلك التي ذكرنا آنفا، مثلما تقوم الزهرة أو عطارد بدورتها حول الشمس، وتكون تارة متقدمة وطورا متخلفة عنه لكن دون أن يتجاوز ترددها حدا ما. لقد اكتشفت جميع هذه الظواهر وقمت برصدها مؤخرا بواسطة المنظار(perspicilli) الذي ابتكرته بما أنعمه الله علي، وهو الذي ألهم فكري مسبقا".[36]

هكذا لا يمكننا فصل غاليلي عن الكوبيرنيكية، بمعنى أخر لا يمكننا فصل انهيار النسق الأرسطي عن الفلك الكوبيرنيكي والفيزياء الغاليلية، كما لا يمكن الفصل بين الفلك الكوبيرنيكي وفيزياء غاليلي في التأسيس للميكانيكا الحديثة، بعد أن رمى كوبيرنيك بالأرض مبعدا إياها إلى الهامش، عندها حطم أسس النظام الكوني للعالم التقليدي بتراتبيته التفاضلية، بين عالم السماء الكامل الأزلي، والعالم الأرضي، عالم الكون والفساد،[37] فسقوط ثنائية العالم الأرسطي كان سبب كافي لقيام العلم الحديث، والذي سوف نجد صداه في مختلف المجالات.

لعل ديكارت هو الأخر سوف يبني كل فلسفته عن مخلفات الكوبيرنيكية، فبداية الشك الديكارتي كمنهج سوف يتبعه في بناء المعرفة العلمية والفلسفية، مستنبط في تقديري من الاستنتاج الذي توصل إليه غاليلي بعدما وظف المنظار في رصد السماء، وهو كالتالي: الحواس لا يمكنها إدراك الأجسام على حقيقتها، فاختراع المنظار إضافة أساسية في الساحة العلمية آن ذاك.

لقد عبر غاليلي عن التسارع أثناء سقوط جسم ما بطريقة هندسية:



إن ما يميز هذا التمثيل الهندسي لغاليلي عن تمثيلا « ORESME »، وغيره من علماء القرن الربع عشر، كونه أكثر دقة، وهنا بدايات أولى لنشأة نظرية الدوال الخطية، هكذا فنظرية سقوط الأجسام لغاليلي أحدثت تصدعا في التصور الأرسطي الفيزيائي، وفي الحركة بشكل خاص.

في هذه اللحظة لم يتحقق بعد الانتقال إلى الهندسة التحليلية، كان لابد من أن علم الحركة في حاجة إلى الدقة بشكل أكبر، حيث هناك تغيرات تطرأ على سرعة الحركة في أماكن مختلفة، وبالتالي تمثيل هذه السرعات كان يتطلب تمثيله على شكل دوال خطية للفضاء الذي تم قطعه، لكن غاليلي احتفظ بهندسة السرعة معتمدا على المثلثات كأشكال هندسية للتعبير عن التسارع، إلا أن هذا التمثيل غير كافي لدراسة كل أنواع السرعات في أماكن مختلفة.

يقول Koyrré: " في الواقع ودون شك أن نسب السرعات هي عكس تلك السائدة في تلك الأوقات، شريطة أن يكون أساس المقارنة، أي الفضاء الذي يتم قطعه هو نفسه وليس مختلفًا، كما في حالتنا، ومن الصحيح أيضًا أن السرعة الإجمالية للجسم المتحرك هي مجموع السرعات (اللحظية) التي يكتسبها في جميع نقاط مساره؛ كما أن مجموع السرعات التي يكتسبها في كل لحظات حركته"[38].

إن تاريخ الأفكار العلمية هو تاريخ مشكلات علمية تنبثق داخل النسق النظري، وقد تكون لها نتائج في مختلف المجالات الفلسفية والعلمية، مثلا علم الفلك الجديد خلف ميتافيزيقا جديدة، وتم الانتقال من مركزية السماء إلى مركزية الإنسان، بالإضافة إلى ظهور علوم جديدة، منذ أن تعقبنا تاريخ مفهوم الحركة رغم أنه تعقب مقتضب نظرا لمجموعة من الشروط الموضوعية، من قبيل الوقت والجهد، إلا أننا نحاول استفاء المطلوب، وهو معرفة منطق تطور الأفكار العلمية وتفرعها، وهذا ما يهمنا في هذا البحث، بعد أن تعقبنا مفهوم الحركة الى حدود الثورة الكوبيرنيكية، واقصد غاليلي، لقد جاءت اللحظة للتساؤل حول، ماهي مخلفات الثورة الكوبيرنيكية والفيزياء الغاليلية في تشكل العلم الحديث على يد ديكارت؟ بصيغة أخرى كيف استفاد ديكارت من المعطف العلمي الذي سبقه؟

3 – ديكارت وليد الكوبيرنيكية.

تعد فلسفة ديكارت العلمية سليلة الثورة الكوبيرنيكية، إن انهيار ثنائية العالم الأرسطي، واكتشاف مبدأ العطالة من لدن غاليلي، سيدفع ديكارت إلى بناء فلسفة جديدة تتماشى والتصورات العلمية المتاحة في زمانه، يظهر ذلك في رسالته إلى الاب ميرسن (Mersenne) المؤرخة ب 22 تموز 1633م، والتي مضمونها أن أي تكذيب فيزياء غاليلي، هو في حقيقة الأمر هدم لأسس فلسفة ديكارت، حيث قام بما لم يقم به أحد من قبله، وهو الشك في كل المعارف المسبقة، من أجل تأسيس اليقين أو الحقيقة في العلوم، بمعنى التأسيس للفيزياء الحديثة، بعد أن وجد ديكارت نفسه أمام مجموعة من التصورات العلمية والفلسفية التي لزال يشوبها بعض الاختلاط، أي أنها غير واضحة بشكل تام.

إن الشك يعد الخطوة الأولى في المنهج المتبع من أجل تحصيل اليقين في العلوم، ولما كانت مشكلتنا في هذا البحث ترتبط بمفهوم الحركة عموما، ومشكلة ثبات كمية حركة كإشكال أفرزته الفلسفة للعلم، سوف نحاول التطرق إلى الكيفية التي عالج بها ديكارت مشكلة الحركة في العالم، من خلال إعادة بناء العالم من جديد بصورة خيالية، لكنها أكثر منطقية وعلمية بالمقارنة مع التصورات السابقة عليه، لهذا يدعوا ديكارت القارئ إلى الخروج بفكره إلى رؤية عالم جديد، سيجده في الأمكنة الخيالية، يقول ديكارت:" اسمحوا لفكركم إذن أن يخرج لبض الوقت من هذا العالم لرؤية عالم آخر جديد كليا سأوجده في الأمكنة الخيالية".[39]

يفترض ديكارت أن الله يخلق من حولنا من المادة في أي جهة تستطيع مخيلتنا أن تمتد على نحو لا يعود فيه أي مكان خالي، يقول ديكارت: " يخبرنا الفلاسفة أن هذه الأمكنة لا متناهية ويجب علينا أنصدقهم فيما يقولون، لا لشيء إلا لأنهم صنعوها بأنفسهم، لكن حتى لا يعوقنا ويضايقنا هذا اللاتناهي، لنحاول عدم الذهاب حتى النهاية، لنلج فيه فقط إلى درجة نفقد معها رؤية كل المخلوقات التي صنعها الله منذ خمسة أو ستة آلاف سنة؛ وبعد أن نكون قد توقفنا هناك في مكان محدد، لنفترض أن الله يخلق من جديد حولنا من المادة في أية جهة تستطيع مخيلتنا أن تمتد، على نحو أنه لا يعود يرى فيها أي مكان خال"[40].

هكذا ديكارت من أجل التأسيس للفيزياء الحديثة، لجأ إلى افتراض أن الله يخلق من جديد المادة والحركة ويحفظهما، لأنه (الله) مبدأ ثابت، لا يخلق شيئا متحول بل يخلق الثبات[41]، أي توهم عالم جديد بعيدا عن العالم الواقعي، وبالتالي فالخيال يلعب الدور

الأساسي في بناء المعرفة العلمية أو الفيزياء الحديثة، فديكارت عاد إلى بداية تشكل الموجودات، وهذا منهج كيفي، أي العودة إلى بداية تكون الأشياء، من خلال قوله بالعالم المفترض.

يقدم ديكارت مثال يتعلق بمسألة، كون الخيال يمكن أن يمتد إلى ما لا نهاية، مثال الركاب الذين يوجدون على مركب في البحر، حيث هؤلاء الركاب لا يرون شيئا غير الماء، لا يمتد بصرهم إلى اليابسة، وبالتالي فالخيال لا نهائي، والمادة الجديدة يفترض أن تكون لا نهائية[42].

هذه الشرعية التي منحها ديكارت للخيال ساعدته في بناء تصورات أكثر منطقية حول العالم الواقعي، وبالتالي لتفسير وفهم الواقع يقتضي الأمر الخروج منه.

ينطلق ديكارت في تصوره للعالم المتوهم من بداية خلق الله للمادة، وأيضا مدى قدرتنا على إدراك ذلك، حيث تتجلى القدرة في الذات، لأنها وحدها تستطيع وضع حدود للفكر، لقد عين الفلاسفة المادة الأولى وجردوها من كل الصور والصفات (الهيولى)، لكن المادة بهذه الطريقة لم تفهم بوضوح، لهذا رأى ديكارت أنه ينبغي أن نتصورها كجسم حقيقي له وجود واقعي، بحيث كل جزء من المادة يملأ جزء من الفضاء بمقدار ما يناسبه ولا يسمح لجزء أخر أن يحتل مكانه.

لا نظن كذلك من ناحية أخرى أن هذه المادة الأولى التي ذكرها الفلاسفة والتي جردت من كل الصور والصفات، بحيث لم يتبقى فيها شيء يمكنه أن يكون مفهوما بوضوح. لكن لنتصورها كجسم حقيقي تام الصلابة يملأ، وبصورة متساوية، كل أطوال وعروض وأعماق هذا الفضاء الكبير الذي أوقفنا في وسطه فكرنا، بحيث أن كل واحد من أجزائها يحتل دائما جزءا من هذا الفضاء، متناسبا مع حجمه إلى حد لا يمكنه معه أن يملأ جزءا أكبر من الفضاء ولا ينحصر في جزء أصغر، ولا يمكن لجزء آخر أن يحتل مكانه في هذا الجزء من الفضاء في نفس الوقت الذي يشغل فيه هذا الجزء"[43].

هكذا ديكارت بخلاف القائلين بالهيولى كمادة أولى، نجده يفترض المادة كجسم حقيقي يملأ المكان، وتنقسم المادة المتخيلة إلى كل الأجزاء التي يمكن تخيلها، وكل جزء يمكنه أن يتلقى في ذاته كل حركات التي يمكن تخيلها، ثم يفترض أن الله يقسمها أجزاء وأشكال وأحجام مختلفة، لكن هذا لا يفصلها عن بعضها البعض، حتى يحدث خلاء بين جزأين، لعل الله هو من يضع التمييز بين عناصر العالم، حيث هناك من الأجزاء من تتحرك بسرعة أكثر، وهناك من هي أقل، وهناك أيضا من الأجزاء ما هو عاطل عن الحركة، كما هناك من تتحرك في هذا الاتجاه وهناك من تتحرك في الأخر، وهكذا تتم الحركة وفق القوانين العادية للطبيعة، هذه القوانين جعلت أجزاء المادة تنتقل من الفوضى (chaos) إلى النظام من خلال الحركة التي ألقاها الله على المادة، حيث ستكون لها صورة عالم شديد الكمال، في هذه اللحظة انتقل فيها ديكارت من الميتافيزيقا لتأسيس الفيزياء.[44]

ولما كان الحديث عن الحركة في العالم الجديد يقتضي، التمييز بين المادة كما تصورها ديكارت والمادة كما تصورها الفلاسفة من قبل، وجب الوقوف عند هذا المنعطف، حيث نجد ديكارت يرى أن المادة لا تتميز بخصائصها الظاهرة، بل بامتدادها في المكان، حيث تشغل حيزا مكانيا، في المقابل الفلاسفة الذين يريدون أن يميزوها بكميتها الخاصة أو خواصها الظاهرة، لهذا يعد الامتداد ملازم للمادة كما هو الحال بالنسبة للأشياء المعدودة نسبتها إلى العدد عند ديكارت، وهنا يختزل ديكارت المادة في أبعاد هندسية رياضية، ولعل الترييض الذي بدأه غاليلي سيظهر بشكل جلي في فلسفة ديكارت العلمية.

إن ديكارت لا يلجأ إلى تفسير الأشياء الكائنة في العالم الحقيقي، **بل اقتصر على خلق عالمه الذي لا يمتنع فهمه عن العقل، عالم يمكن أن يخلق في كل مكان وعند كل شخص، ولعل ما يميز العالم المتوهم كونه جديد لا يشوبه أي تناقض مولد عن**

الغموض، حتى لو لم يكن مشابه للعالم القديم فان الله له القدرة على خلق العالم الجديد لأنه يستطيع خلق الاشياء التي نتخيلها، ديكارت في العالم المتخيل، يتصور العالم بوضوح وتمايز هذا ما يجعل منه مؤسس العلم الحديث، أي قيامه بتطبيق خطوات المنهج على تصوره للعالم، ويكننا اعتبارها عملية هدم وبناء، هدم تصورات قديمة تحمل الغموض والتناقض وبناء علم جديد يساعدنا على فهم العالم الواقعي وتفسير ظواهره بشكل أكثر وضوحا، بالإضافة إلى ذلك يرى ديكارت في البداية أن الله حينما خلق المادة فهو يستمر في حفظها، بالطريقة التي خلقها بها، لأن المادة قد يلحقها التغير في اجزائها، لكن الله لا يلحق فعله التغير يظل ثابت مستمر في حفظ المادة، أما التغيرات التي تلحق أجزاء المادة، فهي تتم وفق قواعد يسميها ديكارت قوانين الطبيعة.

منذ تكونت المادة وأجزاءها تتحرك حركات مختلفة، جراء التقاء أجزاءها وتصادمها، فالضوء مثلا يتجزأ عند ملاقاة الأجسام الصلبة، وبالتالي هناك حفظ الله للمادة والحركة، والذي يمكن حصره في ثلاثة قواعد:

القاعدة الأولى: الجسم عاطل ما لم تتدخل قوة في تحريكه أو تغيير حجمه أو شكله، ديكارت هنا ينزع الطابع الإحيائي والسحري عن الطبيعة.[45]

هنا تصور جديد للعالم، في مقابل تصور الأرسطي وأنواع الحركة عنده، هذه القاعدة حسب ديكارت لم تطرح في العالم القديم، لأن الحركة التي تصورها الفلاسفة في العالم القديم أقل وضوحا من التي تصورها ديكارت، فهي أكثر بساطه ومعقولية.

لقد أبقى ديكارت على نوع واحد من الحركة وهي الحركة المكانية، في مقابل الأنواع الثلاثة الموجودة في العالم القديم، الحركة من حيث (الشكل، الكيف، الكم)، إن الأجسام تنتقل من مكان إلى أخر وتحتل كل الفسحات الموجودة بين مكانين بالتتابع، في مقابل الفيزياء القديمة الجسم الذي لا يتحرك يطلقون عليه لفظ الحرمان، أي محروم من الحركة، والحرمان لفظ إحيائي، في المقابل ديكارت يرى أن الحركة والسكون مرتبطة بالمادة، هكذا ظهر التفسير العلمي من خلال تعطيل المادة.[46]

القاعدة الثانية: حفظ كمية الحركة، حيث أن جسم ما عندما يدفع الأخر يخسر حركته الذاتية في مقابل تحريك جسم أخر، وهكذا السكون والحركة مرتبطين بالمادة، وهنا نتحدث عن ثبات كمية الحركة كقاعدة ثانية وثيق الصلة بالقاعدة الأولى، بالإضافة إلى فكرة الفراغ الذي يرفضه ديكارت في تصوره للعالم.[47]

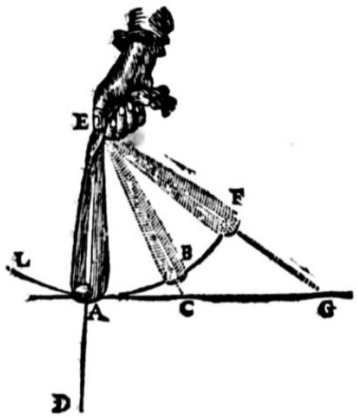
يقدم ديكارت مثال الحجر الذي يتحرك زمنا عندما يخرج من يدي من يطلقه، حيث يطرح السؤال لماذا لا يستمر هذا الحجر في الحركة؟ إن هذا الحجر يواجه مقاومة الهواء عندما ينطلق، ويتجلى ذلك في الصوت الذي يصدره هذا الحجر، لأنه في هذه اللحظة يصطدم بأجزاء الهواء، ما يجعل الحجر يتوقف عند ملقاته جسم ليين أكثر من ملقاته جسما أكثر قسوة وأكثر مقاومة، لأن الجسم اللين تكون أجزاءه في حركة لا تجعل الجسم يرتد بل يتم إخماد حركته، أما عند اصطدامه بجسم صلب يكون قد تخلى عن حركته لجسم أخر، الأمر الذي يجعل الحجر إذا اصطدم معه يرتد.

لقد وضع الله هاتين القاعدتين، حيث وضع كمية معينة من الحركة في المادة، لكن هذه الحركة توزعت بصورة غير متساوية على أجزاء المادة المختلفة، وهذه المادة محفوظة لأنها تنتقل من مكان لأخر.[48]

القاعدة الثالثة: رغم أن الأجسام تتحرك في خط منحنى، إلا أن كل أجزاء الجسم تنزع إلى متابعة الحركة في خط المستقيم، لكن الميل الذي للأجزاء يختلف عن حركتها، هنا الحركة عند ديكارت في مقابل الحركة عند السكولائيين (الدائرية والمنحنية).[49]

يقدم ديكارت مثال عجلة تدور حول محورها، تظهر أن أجزائها تدور بصورة دائرية، لكن إذا انفك أحد أجزائها وأصبح حرا عن الكل، يتحرك بشكل مستقيم، وأيضا مثال الحجر الذي يدور في مقلاع، دائما ينزع ليتحرك في خط مستقيم، لكن الحبل يمنعه مما يجعل الحبل يمتد، لأن الحجر في المقلاع حركته مستقيمة لكن يدور في وسط المقلاع مكره.

انظر الشكل التالي:



هكذا يرى ديكارت أن الله رتب كل شيء وفق عدد ووزن وقياس، وهذه الحقائق صادقة عندما تفهم بتمايز، ثم يخلص ديكارت إلى أن الله حتى لو خلق عدة عوالم سوف تكون فيها حقائق صادقة (العالم الجديد)، ما يفهم هنا هو كون ديكارت افترض عالم أخر غير العالم الواقعي له قوانين أكثر منطقية، من أجل تأسيس العلم الحديث، وفي الأخير يعود إلى العالم الحقيقي لكي يفهمه ويفسر ظواهره وفق هذه القوانين، يعني أن ديكارت يضع المبادئ الأولى لفتح الطريق أمام الباحثين في دراسة الطبيعة بشكل أكثر واقعية ومنطقية، بل وفحص أسس هذه الحقائق أيضا، للتمييز بين النتائج والأسباب، والإتيان ببراهيم قبلية على كل ما يمكن حدوثه في العالم الجديد، وهنا القوانين ينبغي معرفتها قبليا من أجل فهم العالم وتفسيره، إنها لحظة تخلص ديكارت من وصاية الفلسفة المشائية، بل وتخليص الفكر العلمي والفلسفي بصفة عامة.[50]

لقد قام ديكارت برفع الطابع الإحيائي والسحري عن الطبيعة، حيث يرى أن الله لم يخلق أي معجزة في هذا العالم، بل خلقه وفق قواعد، والإنسان عليه معرفتها، حيث نجده يفتح الطريق أمام العلماء الذين سوف يتمكنون من الكشف عن البراهين الدقيقة لكل الأشياء، لأن هناك من الأدهان من ترفض الأشياء السهلة[51]. هنا يحضر مفهوم الذات كأساس لكل معرفة، ويمكن فهم هذه الفكرة بشكل أكثر دقة من خلال العودة إلى كتاب ديكارت: "تأملات ميتافيزيقية"، أي بداية التأسيس الفعلي للحداثة.

من خلال قوانين الحركة يفسر ديكارت كيفية تشكل الكواكب والنجوم، حيث يأتي على ذكر ذلك في الفصل الثامن والتاسع من كتاب العالم، يكننا أن نشير إلى بعض هذه الأفكار باقتضاب التي لها علاقة بموضوعنا هذا، لأن ما يهمنا في هذا البحث هو مشكلة ثبات كمية الحركة، قبل الخوض في مسألة كيف تتشكل الأجسام لا بد في البداية من معرفة كيف تتحرك المادة؟ لأن الأجسام تتشكل نتيجة لحركة المادة في العالم الجديد، وبالتالي هذا الوصف يساعد على استنباط القانين العامة التي تحكم الظواهر الطبيعية.

يتحدث ديكارت عن المادة كونها مختلطة كفرضية أثناء خلقها، إلا أن هذا الاختلاط الحاصل بين أجزاء المادة يكمن أن يزول تبعا للقوانين التي فرضها الله على الطبيعة، فعالم ديكارت ممتلئ بالمادة، وكلما تحرك جزء من جسم يترتب عن ذلك تحريك الأجزاء الاخرى[52]، والتي تتوزع وتنتشر بشكل متساوي[53].

ولما كان الأمر كما ذكر ديكارت أعلاه، فإنه من المحال أن تتحرك أجزاء المادة كلها في خط مستقيم، حيث يجب التمييز بين نزوع أجزاء الأجسام إلى الحركة المستقيمة، وبين الحركة التي تفرض على الجسم حسب المكان الذي يشغله في العالم الممتلئ بالمادة، هذا الأمر ينتج عنه أن الأجزاء لا تستطيع تغيير اتجاهها بذاتها بل حسب موقعها في العالم وحسب القوة التي تمارس عليها من الخارج. يفترض ديكارت أن الله حرك هذه الأجزاء بصورة متنوعة حول مراكز المختلفة بالنسبة لبعضها البعض.

هكذا يستنتج ديكارت أن هناك من الأجزاء ما قد تكون أقل حركة بشكل طبيعي، أو أقل حجما، أو الإثنين معا في الأماكن الأقرب إلى المراكز، لكن هذه الأجزاء حسب ديكارت لها ميل لمتابعة الحركة في خط مستقيم، هذا يعني أن الأجزاء الأكبر حجما بين تلك التي تساوت حركتها، هي التي تستطيع أن تصنع أكبر الدوائر باعتبارها أقرب إلى الخط المستقيم، والمادة التي تأتي داخل هذه الدوائر تكون أقل انقسامها وأقل حركة (عاطلة)، إن الله حينما خلق الحركة خلقها متنوعة، حيث هناك من الأجسام ما يتحرك بسرعة وهناك من هو أقل من ذلك، وهناك من أجزاء المادة ما هو عاطل عن الحركة. **لكن ما السبب وراء تنوع هذه الحركة؟** يرجع السبب إلى كون حجم الجسم هو ما يحدد طبيعة حركته.

إن الأجزاء التي تدور حول المركز وتبعد عنه بنفس المسافة متساوية بعضها بعضا، فهذه الأجزاء الأكثر حركة ينتقل شيء من حركتها، إلى الأجزاء الأقل حركة، تكسر أكبرها حجما، حتى تستطيع المرور بالأمكنة وتصعد إلى الأعلى، وهكذا تترتب جميع أجزاء المادة حسب الحجم أو الضآلة أو شدة الحركة، وبالتالي تفقد أشكال الأجزاء زواياها اثناء حركتها، أي عند ما تلامس الأجزاء بعضها بعضا، كما الحال بالنسبة لحبة رمل عندما تتدحرج في الماء، بعد أن تتكسر زوايا الأجزاء تتحول إلى أشكال مستديرة، الأمر الذي يساهم في زيادة سرعة حركتها، حيث لم يعد ما يميز الأجزاء البعيدة أو القريبة من المركز، غير سرعة حركتها، فالقريبة من المركز تدور أسرع من البعيدة عنه، وأيضا هناك من الأجزاء التي لا تنقسم بل قد تتصل معا بدل أن تتكسر، وهكذا تحتفظ بصورة العنصر الثالث، ومنها تتشكل المذنبات.[54]

أما العنصر الأول شديد الحركة ينشأ كنتيجة لانكسار الجوانب الخاصة بأجزاء العنصر الثاني، ويقصد به ديكارت الهواء، حيث عندما تتخذ هذه الأجزاء شكل كورة، تكتسب حركة أسرع، إذن فالنار تنشأ من جوانب الهواء المكسورة والتي تتكور متخذتا سرعة أكبر، وقدرة على التكيف مع الأمكنة التي تدخلها.

تقطع أجزاء العنصر الأول طريق أطول، تتحرك بسرعة أكبر بالمقارنة مع باقي أجزاء العناصر الأخرى، الأمر الذي يفسر انتشار الضوء بسرعة أكبر في مسافة أطول.

بناء على هذه العناصر يعيد ديكارت بناء العالم من جديد، في مقابل العالم القديم (الأرسطي)، يرى ديكارت أن أجزاء الهواء التي تنكسر رؤوس زواياها، تصبح مستديرة، وتتحول تلك الرؤوس إلى أجزاء منها يتكون النور، لكن هذه الأجزاء مختلفة في أحجامها، الأمر الذي يجعل من الأجزاء التي تكبر عن سد الفسحات الموجودة بين أجزاء الهواء أن تتجه نحو المركز، ومنها تتشكل الشمس، في حين الصغيرة من هذه الأجزاء والتي تستطيع النفاذ من تلك الفسحات، وتتجه إلى أماكن أبعد، ومنها تتكون النجوم الثابتة.[55]

من خلال ما سبق نستنتج أن ديكارت يدعو إلى تخيل فضاء العالم الجديد، الذي تحتل فيه الشمس المركز من بين المراكز الأخرى التي تحتلها النجوم، أي كون ذو تعددية مركزية (وجود مراكز غير محدودة العدد، وهذا دليل على وجود سماوات غير محدودة العدد أيضا)، وكل مركز تدور حوله مادة السماء، هكذا تم الانتقال من العالم الأرسطي والبطليمي، الذي كانت تحتل فيه الأرض مركز الكون إلى الكون الشاسع (تجليات الكوبيرنيكية).

إن الحديث عن حركة أجزاء المادة، يقتضي الحديث عن سرعة الأجسام المادية سالفة الذكر، يرى ديكارت أن الأجسام تزداد سرعتها كلما اقتربت من المركز الذي تدور حوله، وبناء على هذا الأمر فالسيارات البعيدة عن الشمس تدور بسرعة أبطأ من التي تدور قريبة من المركز، والمذنبات تدور بسرعة أكبر من باقي السيارات كلما اقتربت من المركز.[56]

أما فيما يخص الكواكب والمذنبات فإنها نتيجة لتنوع أجزاء المادة، حيث منها من تحول إلى العنصر الأول، وهناك من تحول إلى العنصر الثاني، وهناك من احتفظ بصورة العنصر الثالث، هذا الأخير أجزاءه ممتدة، الأمر الذي جعلها تتكتل عند ملاقاة بعضها بعضا، وبالتالي يزيد حجمها، بدل أن تتحطم عند الاصطدام، كما هناك من هذه الأجزاء التي تحافظ على حجمها رغم أنها قد تكسر غيرها عند الاصطدام.[57]

أما فيما يخص حركة الأجسام المكونة من العنصر الثالث، سواء كانت تتحرك أو كانت عاطلة فإنها تتحرك بحركة السماء التي تضمها، كما أن هذه الأجزاء سواء كانت شديدة الصلابة أو قليلة الصلابة تستطيع نقل شيء من الحركة إلى أجزاء السماء المحيطة بها.[58]

هكذا تتحرك الأجسام في الفضاء ليس من تلقاء نفسها، وإنما من تأثير غيرها فيها، أي انتقال الحركة من عنصر إلى أخر، هذا هو مبدأ ثبات كمية الحركة في الكون، أما فيما يخص القانون الذي يجعل الكواكب والذنبات تتحرك بتلك الطريقة جنب إلى جنب، محافظة على تلك المسافة التي تفصل بينها، هو قانون الجذب والنبذ، حيث يخصص ديكارت الفصل الحادي عشر لتفسير وشرح مفهوم الثقالة، الذي سوف يتطور مع فيزياء نيوتن ليصبح قانون الجاذبية.

يعد العالم الجديد الذي بناه ديكارت، بديلا حقيقيا عن التصور القديم للعالم، لأنه أعاد بناءه بطريقة علمية، حيث أزاح عن الكون والطبيعة النظرة القدسية والإحيائية، واضعا قواعد وقوانين يمكننا من خلالها تفسير الظواهر الطبيعية، هكذا تأسس العلم الحديث، لكن هذا الهدم والبناء تطلب نقلة مفهومية جديدة تستوعب التصورات الحديثة، من قبيل، حفظ المادة، معناه أن المادة واحدة لكن عناصرها مختلفة باختلاف احجامها، بالإضافة إلى مبدأ آخر وهو ثبات كمية الحركة، هذا المبدأ الذي سيولد اشكالا علميا، لدى الديكارتيين فيما بعد.

الهوامش:

[1] - « En la genèse d'une doctrine scientifique, il n'est pas de commencement absolu; si haut que l'on remonte la lignée des pensées qui ont préparé, suggéré, annoncé cette doctrine, on parvient toujours à des opinions qui, à leur tour, ont été préparées, suggérées et annoncées; et si l'on cesse de suivre cet enchaînement d'idées qui ont procédé les unes des autres, ce n'est pas qu'on ait mis la main sur le maillon initial, mais c'est que la chaîne s'enfonce et disparait dans les profondeurs d'un insondable passé ». Pierre Duhem, le système du monde histoire des doctrines cosmologiques de PLATON A COPERNIC, Tome premier, Paris 1913, p 5.

[2] - Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, p 77.

[3] – مدرستين كانتا في القرن الرابع عشر، اشتغلا روادها بالرياضيات واللاهوت، ومن بين الإضافات التي أضافوها هؤلاء الرواد في تاريخ العلم، دراسة مفهوم الحركة من خلال مفهومين هما السرعة والتسارع، بالإضافة إلى الفضل الذي كان لهم في التمهيد إلى ترييض الطبيعة.

[4] -NICOLE ORESME : يعتبر أحد علماء مدرسة باريس في القرن 14م، ويعود له الفضل في التعبير عن التغير الذي يطرأ على حركة جسم معين بأشكال هندسية تبين أنواع السرعة التي يتعرض لها الجسم اثناء الحركة في الزمن.

[5] - Bradwardine : **توماس برادواردن** بالإنجليزية(Thomas Bradwardine) : (1300 – 26 أغسطس 1349): هو رجل دين إنجليزي وباحث ورياضياتي وفيزيائي وأحد رجال الحاشية الملكية، ولفترة قصيرة للغاية، رئيس أساقفة كانتربيري .أُطلق عليه لقب دكتور بروفندس لكونه فيلسوفًا دراسيًا مشهورًا وطبيبًا لاهوتيًا ورياضيا، يعود له الفضل في تحليل مفهوم الحركة بشكل رياضي مع استحضار بعدين أساسيين هما الزمان والمكان.

[6] -« En tout cas, et quelle que soit la filiation exacte des idées, un fait est certain : dès 1320, à Oxford, la vitesse est traitée comme une grandeur intensive, susceptible d'intensio et de remissio . Elle devient la qualitas motus, ou encore l'intensio motus, et il est alors commun de distinguer la qualité d'un mouvement (c'est – à – dire la grandeur de sa vitesse) de sa quantité (c'est – à – dire la grandeur de l'espace parcouru). Ainsi Bradwardine écrit-il que les mouvements d'un corps dans un même milieu peuvent être identiques qualitativement et différer seulement quantitativement Marsile d'Inghen précise de même que dans le mouvement, comme dans tout phénomène dû à l'action d'une qualité, il convient de séparer l'extension et l'intensité. Plus subtilement encore, Oresme parlera de qualité et de quantité à propos de la vitesse elle - même. De telles remarques ont une importance capitale. Avant toutes choses, elles signifient que le mouvement local peut devenir l'objet d'une étude directe dans son déroulement spatio-temporel, à travers une dimension qui lui appartient en propre. Pour Aristote, la vitesse n'avait de signification physique que dans la perspective des forces motrices demeurait en quelque sorte extérieure au mouvement. Interprétée des et des forces de résistance ; définie par la relation F / R , elle comme une grandeur intensive , la vitesse se laissait au contraire associer sans difficulté au mouvement : elle lui devenait coextensive et permettait de le suivre dans son effectuation même ». Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, p 79

[7]- « Dans les mouvements naturels et rectilignes l'impression, l'impétuosité reçue croit continuellement, car le mobile a en lui-même sa cause mouvante, c'est-à-dire la propension à se rendre au lieu qui est assigné » . Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P 91.

[8]-Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 83

[9]-Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 84

[10] - Richard Swineshead. 1340–1354، عالم رياضيات إنجليزي ، ورجل منطق وفيلسوف طبيعي، من رواد مدرسة أكسفورد في القرن 14م، كان له الفضل في توظيف رموز رياضية في التعبير عن التغيرات في السرعة.

[11]-: «D'importantes différences, à cet égard, séparent Oxfordiens et Parisiens. Plus anciens, les Oxfordiens vont d'abord manifester leur originalité en recourant systématiquement pour désigner les grandeurs physiques à un symbolisme littéral et numérique. Dès le début du XIV siècle apparaît l'habitude de parle ou d'une chaleur ou d'une vitesse comme « a » ou comme « b ». En même temps on attribue un ordre de grandeur numérique aux variations de la vitesse (parlant, par exemple, d'une vitesse qui varie de 0 à 8 degrés), ou aux degrés de la vitesse (parlant d'une vitesse instantanée comme 2, 4 ou 6 degrés, ou encore d'une vitesse doublant d'intensité dans tel intervalle de temps). Cette symbolisation qui permettait, comme on disait, de transposer les

mouvements « interminis », rendait possible une simplification et une généralisation des raisonnements, tout en formant l'amorce d'un langage plus spécialisé pour les problèmes de physique » Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 85-86

[12] -Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 87

[13] - William Heytesbury (c. 1313–1372/3), a member of Oxford's Merton College and the School of "Oxford Calculators", was most likely a student of Richard Kilvington, who was a younger contemporary of John Dumbleton. Heytesbury developed the works of Thomas Bradwardine and Richard Kilvington, and he was also influenced by Walter Burley, William Ockham, and Swineshead. He authored a popular textbook *Regulae solvendi sophismata* and several other collections of sophisms. He linked interests in logic, mathematics, and physics.

صاغ نظرية الدرجة المتوسطة (المعروفة أيضًا باسم نظرية السرعة المتوسطة) التي تقدم قاعدة مناسبة للحركة المتسارعة بشكل منتظم، والتي طورها غاليليو لاحقًا.

[14]-Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 93

[15]-« Heytesbury l'énonce en ces termes : « Toute variation (qu'elle parte du degré zéro ou d'un mouvement uniforme d'intensité déterminée. Sans doute degré quelconque), pourvu qu'elle se termine par un degré fini et soit uniformément croissante ou décroissante, correspondra à son degré moyen, c'est-à-dire qu'un mobile qui la subit pendant un temps donné parcourra rigoureusement la même distance que s'il était mû, pendant le même temps, avec une vitesse égale à son degré moyen ». Cette loi que l'on peut appeler la loi du moyen » équivaut au premier théorème de l'analyse galiléenne du mouvement uniformément accéléré. Si l'on désigne par Vo l'intensité initiale de la vitesse, par Vt son intensité terminale, et par e l'espace parcouru, elle revient donc à poser que e= $\frac{V0+Vt}{2}$ .t. Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 93

[16] - Swineshead

[17]-Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 89

[18]-Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 94

[19]-« Pour le montrer, prenons d'abord une vitesse sans variation, c'est - à - dire un mouvement uniforme : un rectangle tel que (a) suffira pour la représenter. Considérons ensuite une vitesse sou mise à une variation uniforme (mouvement uniformément difforme) : la figure engendrée par le processus d'intensio ou de remissio de la vitesse sera soit un triangle rectangle, si l'intensité minima de la vitesse est une intensité nulle (b), soit un trapèze si l'intensité minima a déjà une certaine valeur (c). Enfin des figures curvilignes dont « la ligne de sommet » (linea summitatis) pourra être convexe ou concave serviront à traduire les variations difformes » Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, p P90

[20]-Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 91

[21] -Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 91

[22] -Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 92

[23]-« Empruntons encore la formulation de Heytesbury: vitesse d'un mobile croît uniformément du degré zéro à un degré déterminé en une heure de temps, il parcourra dans la deuxième demi-heure un espace exactement trois fois supérieur à celui qu'il parcourra dans la première demi-heure ». Cette « loi des distances » peut être établie, comme le fait Heytesbury, à partir de la loi du « degré moyen ». Le mouvement uniformément difforme, dans sa première demi-heure, correspond en effet à un mouvement uni- forme dont la vitesse sera la moitié de la vitesse moyenne du mouvement total, et donc le tiers de la vitesse du mouvement uniforme correspondant à la deuxième demi-heure du mouvement uniformément difforme; il s'ensuit bien que la distance franchie dans la première moitié du mouvement sera trois fois plus petite que la distance franchie pendant la deuxième moitié » Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, p 94

[24]-«… comme le remarque Calculator, l'intensité moyenne de la vitesse, pour le mouvement total, est celle que la variation engendre dans la deuxième partie proportionnelle du temps, Le XIV siècle connaît d'ailleurs sous une autre forme encore ce mode de variation. Imaginons un mouvement qui se déroule avec une vitesse uniforme a pendant un temps déterminé : durant un intervalle de temps égal, et immédiatement consécutif, on soumet sa vitesse à un processus d'intensio tel que dans la première partie proportionnelle de cet interne son intensité est doublée, triplée dans la deuxième, quadruplée dans la troisième, etc Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P 95

[25] د. عبد المجيد باعكريم، الدرس الأول في تاريخ الفلسفة الغربية 29 يناير 2020، وهي دروس نظمتها جمعية العمران الوطنية، https://www.youtube.com/watch?v=zt5ctIRBr5o&t=2045s

[26] – علي يوسف، بحث في فلسفة الضوء للمهندس والفيلسوف الطبيعي "ابن الهيثم البصري" الطبعة الثانية 1344 هجرية.

[27] – « Certains textes pourraient laisser croire que la « loi des distances » est articulée logiquement sur la « loi du degré moyen », comme Galilée le fera, et comme cela est nécessaire pour que l'on ait une science du mouvement cohérente. En fait, cela est si peu le cas qu'on voit les deux propositions déduites alternativement l'une de l'autre ; Heytesbury, par exemple, déduit la loi des distances de la loi du degré moyen ; Calculator, au contraire, s'appuie expressément sur la loi des distances pour prouver la loi du degré moyen, montrant que la seconde serait violée si la première n'était pas vraie. De même Dumbleton, tantôt démontre directement la loi du degré moyen, tantôt se sert de la loi des distances sans même se donner la peine de l'établir Quant à Oresme, s'il démontre bien la loi du degré moyen, il n'en tire nullement la loi des distances, bien qu'elle nous paraisse en découler immédiatement». Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P97

[28]– وسنأتي إلى ذكر ذلك في الصفحات القادمة.

[29] – « Cette impuissance à opérer un rapprochement entre l'étude de mouvement quoad effectus demeurée purement abstraite, et les mouvements naturelle, n'est pas propre d'ailleurs au XIV

siècle. Elle devait durer jusqu'à Galilée, a l'exception peut-être de Domingo Soto qui semble avoir perçu le caractère uniformément difforme du mouvement de choute des graves ; nous disons « peut-être », car il s'agit d'une simple allusion, sans examen systématique, et dans un texte ou l'on voit Soto qualifier d'uniformément difforme la variation d'un mouvement lui-même uniformément difforme… » Maurice clavelin, La philosophie Naturelle de Galilée, Première édition 1968, P97. P 110

[30] - Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P 100.

[31] -« Duhem nous explique fort bien pourquoi ni Léonard de Vinci, ni Benedetti, n'ont pu formuler la loi exacte de la chute. Pourquoi il fut réservé à Galilée de le faire. Il ne nous explique pas, toutefois, pourquoi, de deux relations équivalentes, ou que, du moins, ils croyaient être telles (vitesse proportionnelle au temps écoulé, vitesse proportionnelle au chemin parcouru), Léonard, ainsi que plus tard Galilée et Descartes, choisissent résolument la seconde. La raison nous en semble à la fois très profonde, et très simple. Elle gît tout entière dans le rôle joué dans la science moderne par les considérations géométriques, par l'intelligibilité relative des relations spatiales » - Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P 97.

[32] -« Le processus dont est sortie la physique classique consiste dans un effort de rationaliser, autrement dit de géométriser l'espace et de mathématiser les lois de la nature. C'est, à vrai dire, du même effort qu'il s'agit, car géométriser l'espace ne veut pas dire autre chose que d'appliquer au mouvement des lois géométriques » Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P 97.

[33] -« Nous devons insister sur l'importance capitale de l'abandon, par Galilée, de la notion de l'impetus, cause interne du mouvement du mobile. Sans doute conservera-t-il le terme (1) ; mais sa signification sera complètement transformée : de cause du mouvement, l'impetus deviendra son effet. Quant à la conception de l'impetus, cause du mouvement, elle disparaît purement et simplement. Notion bâtarde, confuse, obscure, elle n'est, dans sa pensée, remplacée par rien. Ou, ce qui veut dire la même chose, elle est remplacée par celles de vitesse et de mouvement. » Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P 101

[34]- Et puisque mouvement implique vitesse comme son caractère essentiel, dire que le mouvement se conserve tel quel veut dire aussi que la vitesse se conserve également. Le mouvement, ainsi que la vitesse, et même surtout cette dernière, modifient en quelque sorte leur statut ontologique : d'effets produits par une cause et qui ne durent et n'existent que tant que dure l'action de la cause qui les produit (exemple : pression), ils deviennent des entités relativement indépendantes, qui se conservent d'elles-mêmes, comme de lui-même se conserve le repos d'un corps qui ne se meut pas (1). Ceci pour le mouvement « abstrait ». Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P 101- 102.

[35] -« Lorsque, en 1604, Galilée aborde à nouveau le problème de la chute des graves, il possède, ainsi que nous l'avons vu, les formules qui lient la durée de la chute à l'espace parcouru ; il possède,

nous venons de le faire voir, le principe cardinal de la conservation du mouvement et de la vitesse. Il renonce, par contre, à tout essai d'explication causale, et ne cherche qu'un principe, un axiome, qui permette de déduire les lois descriptives de la chute. » Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P 102

[36] – الكسندر كويريه، "من العالم المغلق الى الكون اللامتناهي" ترجمة يوسف عثمان، مراجعة محمد بن ساسي، دار سيناتر، معهد تونس للترجمة، تونس 2017، ط 1، ص 138.

[37] – الكسندر كويريه، "من العالم المغلق إلى الكون اللامتناهي" ترجمة يوسف عثمان، مراجعة محمد بن ساسي، دار سيناتر، معهد تونس للترجمة، تونس 2017، ط 1، ص 74.

[38]– « Il est vrai, sans doute, que les rapports des vitesses sont inverses de ceux des temps ; à condition que la base de comparaison c'est-à-dire, l'espace parcouru, soit le môme, et non, comme dans notre cas, différent. Et il est tout aussi vrai que la vitesse totale du mobile est la somme des vitesses (instantanées) qu'il acquiert en tous les points de son parcours ; comme elle est également la somme des vitesses qu'il acquiert en tous les instants de son mouvement. » Alexandedre Koyrré, Etudes Galiléennes, Paris 1935-1936, P

[39] – "Permettez donc pour un peu de temps à votre pensée de sortir hors de ce monde, pour en venir voir un autre tout nouveau que je ferai naître en sa présence dans les espaces imaginaires". Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 6, p 67

[40]–"Les philosophes nous disent que ces espaces sont infinis; et ils doivent bien en être crus, puisque ce sont eux-mêmes qui les ont faits : mais, afin que cette infinité ne nous empêche et ne nous embarrasse point, ne tâchons pas d'aller jusqu'au bout ; entrons-y seulement si avant que nous puissions perdre de vue toutes les créatures que Dieu fit il y a cinq ou six mille ans, et, après nous être arrêtés là en quelque lieu déterminé, supposons que Dieu crée de nouveau tout autour de nous tant de matière que, de quelque côté que notre imagination se puisse étendre, elle n'y aperçoive plus aucun lieu qui soit vide", Le Monde ou le Traité de la lumière et des autre principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grand salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 67 -68.

[41] – وسنأتي إلى التفصيل في هذه النقاط فيما بعد.

[42] – Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 68

[43]–"Et ne pensons pas aussi, d'autre côté, qu'elle soit cette matière première des philosophes qu'on a si bien dépouillée de toutes ses formes et qualités, qu'il n'y est rien demeuré de reste qui puisse être clairement entendu; mais concevons-la comme un vrai corps parfaitement solide, qui remplit également toutes les longueurs, largeurs et profondeurs de ce grand espace au milieu duquel nous avons arrêté notre pensée, en sorte que chacune de ses parties occupe toujours une partie de cet

espace tellement proportionnée à sa grandeur, qu'elle n'en saurait remplir une plus grande, ni se resserrer en une moindre, ni souffrir que pendant qu'elle y demeure quelque autre trouve place". Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 70-71

[44] - Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 72-73

[45]- Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 81-82

[46] -"Outre cela, ils attribuent au moindre de ces mouvements un être beaucoup plus solide et plus véritable qu'ils ne font au repo s, lequel ils disent n'en être que la privation ; et moi je conçois que le repos est aussi bien une qualité qui doit être attribuée à la matière pendant qu'elle demeure en une place, comme le mouvement en est une qui lui est attribuée pendant qu'elle en change." Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 85-86

[47] -"Je suppose, pour seconde réglé, que, quand un corps en pousse un autre, il ne saurait lui donner aucun mouvement qu'il n'en perde en même temps autant du sien, ni lui en ôter que le sien ne s'augmente d'autant. Cette règle, jointe avec la précédente, se rapporte fort bien à toutes les expériences dans lesquelles nous voyons qu'un corps commence ou cesse de se mouvoir, parce qu'il est poussé ou arrêté par quelque autre". Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 87-88

[48] - Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 92-93

[49] - « J'ajouterai, pour la troisième, que lorsqu'un corps se meut, encore que son mouvement se fasse le plus souvent en ligne courbe, et qu'il ne s'en puisse jamais faire aucun qui ne soit en quelque façon circulaire, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, toutefois chacune de ses partie en particulier tend toujours à continuer le sien en ligne droite. Et ainsi leur action, c'est-à-dire l'inclination qu'elles ont à se mouvoir, est différente de leur mouvement ». - Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 95- 96

[50]- « Je pourrais mettre encore ici plusieurs règles، pour déterminer en particulier quand et comment et de combien le mouvement de chaque corps peut être détourné, et augmenté ou diminué par la Rencontre des autres, ce qui comprend sommairement tous les effets de la nature ». Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 100

[51] - « Et, afin qu'il n'y ait point d'exception qui en empêche, nous ajouterons, s'il vous plaît, à nos suppositions, que Dieu n'y fera jamais aucun miracle, et que les intelligences, ou les âmes raisonnables que nous y pourrons supposer ci-après, n'y troubleront en aucune façon le cours ordinaire de la nature. Ensuite de quoi néanmoins je ne vous promets pas de mettre ici des démonstrations exactes de toutes les choses que je dirai ; ce sera assez que je vous ouvre le chemin par lequel vous les pourrez trouver de vous-même quand vous prendrez la peine de les chercher. La plupart des esprits se dégoûtent lorsqu'on leur rend les choses trop faciles. Et pour faire ici un tableau qui vous agrée, il est besoin que j'y emploie de l'ombre aussi bien que des couleurs. Si bien que je me contenterai de poursuivre la description que j'ai commencée, comme n'ayant autre dessein que de vous raconter une fable. » Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. chapitre 6 p 102- 103.

[52] - "Et comme on ne saurait pousser aucune partie d'un tel corps sans pousser aussi ou tirer par même moyen toutes les autres, ainsi faut-il penser que l'action ou la force de se mouvoir et de se diviser qui aura été mise d'abord en quelques-unes de ses parties, s'est épandue et distribuée en toutes les autres au même instant aussi également qu'il se pouvait". Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 8 p 104

[53]- "Il est vrai que cette égalité n'a pu totalement être parfaite: car, premièrement, à cause qu'il n'y a point du tout de vide en ce monde" . Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 8 p 105.

[54] - "Seulement en faut-il excepter quelques-unes qui, ayant été dès le commencement beaucoup plus grosses que les autres ،n'ont pu si facilement se diviser, ou qui, ayant eu des figures fort irrégulières et empêchantes, se sont plutôt jointes plusieurs ensemble que de se rompre pour s'arrondir ; et ainsi elles ont retenu la forme du troisième élément, et ont servi à composer les planètes et les comètes, comme je vous dirai ci-après". Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 8 p 111

[55] – Il est aussi besoin de remarquer que ce qui se trouve de ce premier élément de plus qu'il n'en faut pour remplir les petits intervalles que les parties du second, qui sont rondes, laissent nécessairement autour d'elles, se doit retirer vers les centres autour desquels elles tournent, à cause qu'elles occupent tous les autres lieux plus éloignés, et que là il doit composer des corps ronds, parfaitement liquides et subtils, lesquels, tournant sans cesse beaucoup plus vite et en même sens que les parties du second élément qui les environne, ont la force d'augmenter l'agitation de celles dont ils sont les plus proches, et même de les pousser toutes de tous côtés, en tirant du centre vers la circonférence, ainsi qu'elles Se poussent aussi les unes les autres, et ce par une action qu'il faudra tantôt que j'explique le plus exactement que je pourrai ; car je vous avertis ici par avance que c'est cette action que nous prendrons pour la lumière, comme aussi que nous prendrons ces corps ronds composés de la matière du premier élément toute pure, l'un pour le soleil et les autres pour les étoiles fixes du nouveau monde que je vous décris, et la matière du second élément, qui tourne autour d'eux, pour les cieux ». Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 8 p 113-14

[56] – " D'où vous pourrez entendre tantôt que les planètes qui sont les plus hautes se doivent mouvoir plus lentement que celles qui sont plus basses ou plus proches du soleil, et tout ensemble plus lentement que les comètes, qui en sont toutefois, plus éloignées". Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 8 p 118.

[57] – "Or, afin que je commence à vous parler des planètes et des comètes, considérez que, vu la diversité des parties de la matière que j'ai supposée, bien que la plupart d'entre elles, en se froissant et divisant par la rencontre l'une de l'autre, aient pris la forme du premier ou du second élément, il ne laisse pas néanmoins de s'en être encore trouvé de deux sortes, qui ont dû retenir la forme du troisième ; savoir celles dont les figures ont été si étendues et si empêchantes, que, lorsqu'elles se sont rencontrées l'une l'autre, il leur a été plus aisé de se joinder plusieurs ensemble, et par ce moyen de devenir grosses, que de se rompre et s'amoindrir ; et celles qui ayant été dès le commencement les plus grosses et les plus massives de toutes, ont bien pu rompre et froisser les autres en les heurtant, mais non pas réciproquement en être brisées et froissées". Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 9 p 121- 122

[58] – Or, soit que vous vous imaginiez que ces deux sortes de parties aient été d'abord fort agitées, ou même fort peu ou point du tout, il est certain que par après elles ont dû se mouvoir de même branle que la matière du ciel qui les contenait ; car si d'abord elles se sont mues plus vite que cette matière, n'ayant pu manquer de la pousser en la rencontrant en leur chemin, elles ont dû en peu

de temps lui transférer une partie de leur agitation ; et si au contraire elles n'ont eu en elles-mêmes aucune inclination à se mouvoir, néanmoins, étant environnées de toutes parts de cette matière du ciel, elles ont dû nécessairement suivre son cours" Le Monde ou le Traité de la lumière et des autres principaux objets des sens, a été écrit par René Descartes en 1632 et 1633, à Paris, chez Theodore Girard dans la grande salle du Palais, à l'envie, M. DC. LXIV. Chapitre 9 p 121- 122.