

## البحث الخامس :

” أثر الصور الذهنية على المعالجات الكمية : تطبيق على مجموعة من المفاهيم الفيزيائية الأساسية في الميكانيكا ”

إعداد :

د / ماهر محمد العرفج

أستاذ تدريس الفيزياء المشارك

كلية التربية جامعة الملك فيصل المملكة العربية السعودية

obeikandi.com

## ” أثر الصور الذهنية على المعالجات الكمية : تطبيق على مجموعة من المفاهيم الفيزيائية الأساسية في الميكانيكا “

د / ماهر محمد العرفج

### • ملخص الدراسة :

أثر الصور الذهنية الفيزيائية على المعالجات الكمية: تطبيق على مجموعة من المفاهيم الفيزيائية الأساسية في الميكانيكا تسلط هذه الدراسة الضوء على أحد الموضوعات المهمة في تدريس الفيزياء، ألا وهو "الصور الذهنية البديلة" أو "المفاهيم الفيزيائية المغلوطة"، وذلك من خلال دراسة مجموعة من المفاهيم الفيزيائية الأساسية في الميكانيكا وتحديد ما ينتاب تلك المفاهيم الذهنية من صور دخيلة. وتبين النتائج المستقاه من هذه الدراسة الآتي:

- ◀ امتلاك الطلبة لبعض الصور الذهنية المغلوطة لمجموعة من المفاهيم الفيزيائية الأساسية في الميكانيكا.
- ◀ لا توجد فروق ذات دلالة احصائية بين أداء طلبة السنة الأولى الجامعية (ذكور و اناث) على مقياس الأداء الكيفي.
- ◀ لا توجد فروق ذات دلالة احصائية بين أداء طلبة الصف الثاني الثانوي (ذكور و اناث) على مقياس الأداء الكيفي.
- ◀ توجد علاقة ذات دلالة احصائية بين أداء الطالبات على مقياس الأداء الكيفي ومقياس الأداء الكمي.

### Abstract :

*The impact of qualitative images in physics on quantitative manipulations: Applications on fundamental Physics' concepts in Mechanics*  
*The study pinpoints the importance of studying Physics' misconceptions and their influence on quantitative manipulations. For this reason, the study focused on nine mechanical concepts that may be interrupted by improper understanding. To achieve this goal, the researcher constructed a quantitative and qualitative inventory tests to depict mechanical misconceptions, and determine the relationship between qualitative and quantitative performances*

*In response to that, the study shows the following findings:*

- *First: Students possess improper understanding with regard to fundamental mechanical subjects.*
- *Second: There are no statistical significant differences in the performance of 11th grade female and male students on the scale of qualitative inventory test.*
- *Third: There are no statistical significant differences in the performance of freshmen female and male students on the scale of qualitative inventory test.*
- *Fourth: There is a statistical significant relationship between the quantitative and qualitative performances of female students.*

### • المقدمة :

بالرغم مما يبذله المعلمون من جهود في تدريس المفاهيم العلمية ، إلا ان مسألة المفاهيم البديله التي عادة ما تحل بدلا عن الفهم السليم تبقى محورا

مهم لما يجب ان تتجه اليه الجهود المبذولة من اجل الارتقاؤ بالعملية التعليمية . ان تكون المفاهيم او الافكار الخاطئة بعد التعاطي مع مادته تعليمية معينه قد يأخذ بعد اخر خصوصا عندما تتعلق المادة التعليمية بمادة الفيزياء ، اذ ان المفهوم الفيزيائي السليم يستلزم تحقيق تكاملا بين المعلومات الكمية (Quantitative Knowledge) المرتبطة بالمفهوم والمعلومات الكيفية (qualitative Knowledge) التي تتمثل في كيفية ترجمة هذه المعلومات الكمية الي صور ذهنيه ترتبط بمفهوم فيزيائي معين .

ان القدرة على التعاطي مع الجزء الكمي المرتبط بمفهوم معين لايعكس بالضرورة وجود صورة ذهنية سليمة لذلك المفهوم، فعلى سبيل المثال يوضح مازور (Mazur, 1996) بأن طلابه في مادة الفيزياء قد اتموا حفظ المعادلات

ومهارات حل المسائل ولكن مع ذلك فان ادائهم قد كان متدينا في الاختبارات التي تقيس مدى استيعابهم لهذه المفاهيم . ان عدم ادراك المتعلم للمفاهيم الاساسيه المتضمنه في المادة التعليمية المدرسيه قد يعزى الي عدة عوامل للمفاهيم الاساسيه ، الا ان كلا من فوند ودويت (Pfundt & Duit, 1991) يريا انه في العلوم الاساسيه كالفيزياء مثلا فانه غالبا ما يكون لدي المتعلم صور ذهنيه اوليه للظاهرة التي ستم تناولها من منظور فيزيائي ، وهذه الصور غالبا ما تعيق تكوين الصورة الفيزيائية السليمه .

ان دراسة الصور الذهنية للمفاهيم الفيزيائية ومايرتبط بها من صور مغلوطة قد يعود الى العديد من العوامل، الا أن بريسمج ( Presmeg, 1997 ) يذكر أن عملية البناء الذهني (metaphor construction) للمفهوم تتأثر بدرجة التشابه و الاختلاف لهذا المفهوم مع بقية المفاهيم الأخرى، وهذا ما يعبر عنه بالتوافق أو التوتر. فعلى سبيل المثال عند دراسة مفهومي "القوة" و "الضغط" يتأتى التوافق في كون أن كلا المفهومين يشتركان في كونهما يشكلان قوة بين جسمين، الا ان التوتر يتأتى عندما يتم ربط القوة المتضمنة في تعريف الضغط بالمساحة بينما عند الحديث عن القوة خارج مفهوم الضغط فان القوة المؤثرة هي تلك التي تؤثر على الجسم بصورة اجمالية.

ان التعاطي مع المعلومات الكمية وترجمتها الى معلومات كيفية من خلال صورة ذهنية يرتبط حتما بحجم المعلومات المتاحة و السياق الذي تم تقديم هذه المعلومات من خلاله، ففي دراسة دنلاب (Dunlap, 2007) المتعلقة بتكوين الطلبة لبناء ذهني (استعارة ذهنية) للمفاهيم الرياضية، كانت النتيجة أن الصور الذهنية المتكونة قد تشكلت في ضوء السياق الذي عرضت من خلاله تلك المعلومات الكمية المرتبطة بالمفهوم. وهنا يمكن النظر الى أن الخلل في الصور الذهنية المتكونة مرتبط بالقصور في التعاطي مع السياق الذي تم عرض المفهوم من خلاله، وهذا ما يعبر عنه بالغفلة العمياء "inattentional blindness"، اذ انه في اطار السياق المصاحب للتعاطي مع المفهوم

يكون الذهن مشغولا بأحد الأبعاد المرتبطة بالمفهوم بينما يغفل عن الأبعاد الأخرى و إيجاد التكامل بينها، وهذا يمكن أن يرجع الى الارث الثقائي للطلبة فعلى سبيل المثال تبين دراسات نسبت ومياموتو (Nisbett&Miyamoto, 2005) ودراسة ماركوس وكييتاياما (Markus & Kitayama, 2003) بان طلبة جنوب شرق اسيا يتعاطون مع الظواهر بصورة كلية (holistic) بينما ينظر الطلبة الغربيون الى الظواهر بصورة تحليلية (analytic).

وبناء على ما تقدم فان الدراسة الحالية ستعني بدراسة عددا من المفاهيم الفيزيائية لمعرفة الصور الذهنية المرتبطة بها من خلال النظر الى الجانبين الكمي و الكيفي المرتبط بها، ومن ثم محاولة التعرف على بعض العوامل التي تسهم في تكوين الصور الذهنية البديلة عن الفهم السليم.

#### • مشكله الدراسة :

اذا كانت البحوث التربويه قد اهتمت وما تزال ببحث الاسباب المؤديه الي لارتقاء بمستوي التحصيل العلمي للمتعلم ، واذا كانت نظريات التعلم قد اولت تسليط الضوء علي افضل الطرق لاكتساب المتعلم للمعرفه ، فان الذي لاخلاف حوله هو ان الطريق نحو اكتساب المتعلم لتلك المعرفه سواء كانت تلك معرفه متمثله باي شكل من اشكالها لن يكن طريقا سهلا في ظل العوامل التي تسهم في تشكيل تلك المعرفه ، واذا كانت الدول المتقدمه قد اولت عناية فائقة بتدريس العلوم وخصوصا الفيزياء ، فان الدول الناميه تبدو اكثر احتياجا لمثل ذا الاهتمام من اجل تكوين قاعده من المتعلمين القادرين علي فهم الفيزياء بصوره صحيحه وتعد مهمه اكساب المتعلم المفاهيم الفيزيائيه بصوره صحيحه من اصعب المهام التي قد تعترض مسيره المتعلم نحو اكساب الفهم الصحيح ويشير العرفج (٢٠٠٤) الي ان احد اهم الاسباب تكون تلك الافكار الدخيله هو ان المتعلم يتفاعل مع الظواهر الفيزيائيه منذ نعومه اظافره ويشكل فهمه لها بناء علي تفاعله الاولي مع تلك الظاهر ورصده لها . فاشعة الشمس تفضي الي تكوين المتعلم للافكار الاساسيه عن الضوء ، والاجسام المتحركه والتي يرصدها المتعلم بشكل يومي تفضي الي تكوين المتعلم لمجموعه من الافكار عن الميكانيكا ودواليك . لذلك فان الدراسة الحاليه ستحاول الاجابه علي التساؤلات التاليه :

« هل توجد صمور مفاهيميه مشوشه يمكن ان تعترض تشكيل المتعلم لبعض

المفاهيم الاساسيه في مجال الميكانيكا ؟

« ما مدي تاثير التحليل الكمي بالفهم الكيفي المتشكل لدي المتعلم ؟

« هل توجد فروق ذات دلالة احصائية في الفهم المتكون لبعض المفاهيم

الفيزيائيه في مجال الميكانيكا بين افراد العينه الذكور والاناث ؟

#### • اهداف الدراسة :

« حصر مجموعه من المفاهيم الفيزيائيه الاساسيه ذات الصله بحقل الميكانيكا

والتي غالبا ما يتاثر تكوينها بالصور الاولييه والفهم العام لدي المتعلم .

- « تكوين مقياس محدود المعايير لتقويم الصور الذهنية المتكونه لدي المتعلم فيما يتعلق بالمواضيع الاساسيه في مجال الميكانيكا الكلاسيكيه .
- « القاء الضوء علي نوعية العلاقة التي قد تنشأ بين الفهم الفيزيائي الكيفي والتحليل الكمي من اجل الوصول الي فهم فيزيائي متكامل للمواضيع الاساسيه في حقل الميكانيكا الكلاسيكيه .
- « مقارنة الفروق التي قد تنشأ ببيداء كلا من الطلبة والطالبات علي المقياس الذي تم تصميمه لتقويم الصور الذهنيه الخاصه بالمواضيع الاساسيه في مجال الميكانيكا الكلاسيكيه .

#### • اهمية الدراسة :

تاتي اهمية هذه الدراسه في كونها تاتي استكمالاً لدراسة سابقه اجراها الباحث ( العرفج ، ٢٠٠٤ ) لدراسة مفهوم الدفع والصور الذهنيه المغلوطة المرتبطه به ، وبالتالي فان الدراسه الحاليه ستستكمل طرح عددا من المفاهيم الفيزيائيه الاساسيه في الميكانيكا وتوضيح الصور المفاهيميه المتكونه لدي المتعلم في قيادة المعالجات الكميه للمسائل لتلك المفاهيم ، وبناء علي تلك الرؤي المتكونه ستقدم لدراسة بعض التوصيات والمقترحات التي يمكن ان تسهم في تفعيل التدريس من خلال معالجة ما قد ينتاب الصور المفاهيميه الصحيحه من صور مشوشه .

#### • عينة الدراسة :

تكونت العينه النهائيه للدراسه من خمسه وثلاثين طالبا واربعين طالبه من طلبة الصف الثاني الثانوي ، كما اشتملت العينه علي اربعين طالبا وثلاثه وعشرين طالبه من طلبة السنه الاولي الجامعيه .

#### • حدود الدراسة :

ان نتائج واستنتاجات هذه الدراسه قد حددت بالظروف الجغرافيه المحدده لافراد العينه والتي اجري عليها البحث ، وقد تم الحصول علي عينة البحث من طلبة وطالبات جامعة الملك فيصل بالاحساء ، بالاضافة الي مدرستين ثانويتين للبنين والبنات ، وسوف تقتصر هذه الدراسه علي المرحله التعليميه ممثله بالسنه الاولي الجامعيه والصف الثاني الثانوي .

#### • ادوات الدراسة :

- « لتحقيق اهداف الدراسه استخدم الباحث اداتين هما :
- « اختيار كيفي يتضمن ثمانية عشر غقره تتم الاجابه عليها وفق نمط الاختيار من متعدد ، ويسلط هذا الاختبار علي تسعة مفاهيم .
- « اختبار تحصيلي كي يمثل في ثلاث من المسائل التي تتطلب تحديد اجابة كميه محدد لها ، وقد تناولت تلك المسائل الثلاث مجموعه من المفاهيم التي حددت في الاختبار الكيفي .

وللتحقق من صدق الاختبار تم عرض الاداتين علي اثنين من المحكمين احدهما في تخصيص الفيزياء البحتة والاخر في تخصص طرق تدريس العلوم ، وبناء علي ما ابداه المحكمون من ملاحظات تم تعديل بعض الفقرات . وقد تم تطبيق الاداتين علي عينة من الطلبة في مقرر طرق التدريس الخاصة خلال الفصل الدراسي الاول من العام الجامعي ١٤٢٤ \_ ١٤٢٥ هـ وذلك للتأكد من سلامة الاختبارين ووضوح فقراتهما .

#### • الدراسات السابقة :

بعد الاهتمام بالضم الفيزيائي لدراسي الفيزياء احد محاور البحث المهمة في الدراسات التي تعني بتدريس الفيزياء ، حيث يبدو ذلك واضحاً في ثراء دراسات التي عنيت بهذا المجال ، ف فيما اتجهت بعض الدراسات الي البحث في الكيفية التي يكون من خلالها المتعلم الفيزيائي ، اتجهت دراسات اخري للبحث في الكيفية التي يتبناها المعلم لتاصيل ذلك الفهم ، وفي نفس السيلق نجد بروز احد الموضوعات الحالية البحثية المهمة الا وهو المفاهيم البديله او المغلوطة .

تعد المفاهيم المغلوطة من العقبات الرئيسية في تكوين المتعلم للفهم الفيزيائي السليم ، حيث ان وجود مثل تلك المفاهيم قد يتسبب بصورة او باخري في قصور الفهم الفيزيائي المتكون لدي المتعلم لاحقا

ويؤكد هامر (hammer,2000) بوجود اجماع من الباحثين يمثل في ان ما يكونه المتعلم من المعلومات جديده يبني بصورة رئيسيه علي المعلومات القبلية لدية ؟ ويدلل ماينستر ( minstrell,1989) علي ذلك من خلال تسليط الضوء علي احد المفاهيم الفيزيائية المغلوطة والمتمثل في فكرة نيوتن لقوة رد الفعل او القوة المجهوله ( passive force ) لذا فان المتعلم ، علي سبيل المثال ، لا يمكن ان يتصور تاثير طاولة عليها كتاب بقوة تماثل القوة الضاغطة التي يؤثر بها الكاتب علي الطاولة هذا القصور المفاهيمي قد يتطراحيانا ، فقد يسلم المتعلم بصحة هذا الافتراض مما يجعله يتصور بان قوة الفعل وقوة رد الفعل ستجعل الجسم تحت تاثير قوتين يلغي كلا منهما تاثير الاخر ، مما يعني ان نسبة هواء صغيرة ستعمل علي تحريك هذا الكتاب . ان عدم ادراك المتعلم للمفاهيم الاساسية المتضمنة في المادة التعليمية قد يعزي الي عدة عوامل الا ان كلا من فندت ودويت fundet , duit يريبان انه في العلوم الاساسية كالفيزياء مثلا ، فانه غالبا ما يكون لدي المتعلم صورة ذهنية اوليه للظاهرة التي سيتم تناولها من منظور فيزيائي ، وحيث ان هذه التصورات الاولية تختلف عن المفاهيم التي لها صلة بالظاهرة ، لذلك فان هذه الصورة الذهنية الاولية والتي يطلق عليها مسمس مفهوم خاطيء او مغلظ ( misconception) ستؤثر بشكل ما علي ادراك المتعلم للمفاهيم الفيزيائية بشكل كامل ، الا ان تلك المفاهيم الخاطئة قد تمثل بداية الطريق نحو توصل المتعلم الي المفاهيم الصحيحة ، فعلي سبيل المثال قد يرجع

المتعلم طفو او غوص الجسم في السوائل الي وزن ذلك الجسم ، ولكن سرعان ما يكتشف المتعلم خطأ هذا الافتراض الا وسرعان ما يبدأ في تصحيح هذا الفهم والبحث في مصادر واستنتاجات قد تمثل الحل الصحيح لا شك ان المتعلم يتعلم من اخطاءه ولكن حدوث هذا النوع من التعلم كما يراه اولسون وريس (ohlesson,rees,1991) يتطلب من المتعلم تكوين كم كاف من المعلومات المتكاملة ذات الصلة بمشكلة الدراسة ، حيث ان هذه المعلومات ستكون بمثابة محددات للحل (constraints on solution) ، ومن ثم ستساعد الفرد علي اكتشاف اخطائه ومن هنا اكتشاف المتعلم لخطئه سيدعم الصورة الذهنية المراد تكوينها ، وسيقلص من ظهور اي لبس مفاهيمي ( صورته مغلطة ) ، ولهذا جاءت دراسة اولسون وريس لتدعم التوجه وذلك من خلال سلسلة من برامج الحاسوب التي تهدف الي محاكاة بعض المبادئ الرياضية ، مما يعني تجسيد الصورة الذهنية لهذه المبادئ من خلال التمثيل الحسي لها ، وومع الاعتماد علي هذه الالية في تصحيح التصورات الخاطئة لدي المتعلمين ، فان الباحثين قد وجدوا ان هذا اثري المهارات العقلية ( error correction meshanism ) لدي المتعلم في المواقف الحسابية والمهام ذات طبيعته العلمية .

اما بلونزر (ploetzner,1995) فقد طور برنامجا حاسوبيا يتعرض من خلاله الي بعض المفاهيم الفيزيائية في مجال الميكانيكا ليبين دور المعلومات الفيزيائية الكيفية واثرها في حل المسائل الفيزيائية والتي تتطلب الحصول علي نتيجة كمية . ومع ان هذه الدراسة قد سلطت الضوء علي الخطوات الكمية لمعالجة المسائل الفيزيائية المتعلقة بالمفهوم موضع الدراسة والتي تشكل في ضوء الفهم الكيفي ، وبالتالي تترتب عليها الخطوات الاخرى لحل المسائل ، علي انها ايضا سلطت الضوء علي ماهية المعلومات الكيفية ( الصورة الذهنية ) والتي يجب ان تتشكل لدي المتعلم لكي تقود المعالجات الكمية ( الرياضية ) وبالتالي الوصول للحل السليم للمسائل /المسائل المتضمنة للمفهوم الفيزيائي موضوع الدراسة .ولقد اثبتت ان هذه الدراسة تحديدا ان الصور الذهنية غير الواضحة او المغلوطة ذات الصلة بالمفهوم الفيزيائي تمنع من تعميق التصورا التي تؤدي الي تطبيق المعالجات الكمية المناسبة للمسألة .

وبناء علي ما يتقدم يتضح كليا ان الطريق نحو اكساب المتعلم المفاهيم الفيزيائية السليمة سيكون محفوفًا بالمصاعب المتمثلة في وجود العديد من المفاهيم المغلوطة او الخاطئة ( mis conceptions ) ومع ان المفاهيم المغلوطة او الخاطئة نالت عناية فائقة في الابحاث ذات الصلة بمجال العلوم والتربيه (science education) وذلك من خلال رصد اكبر قدر من هذه المفاهيم ومحاولة تباين الاسلوب الامثل في التعاطي معها ، الا انه في مجال الفيزياء قد تبدو المهمة اكثر تعقيدا ، وذلك نظرا لطبيعة الفيزياء والتي تتسم بشقيها الكمي والكيفي .

• المفاهيم الفيزيائية المغلوطة ذات الصلة بالدراسة :

بعد مراجعة خمسة من المراجع البحثية فيما يتعلق بالمفاهيم المغلوطة في حقل الميكانيكا وبعد تحليل المحتوى العلمي لكتاب الميكانيكا في المرحلة الثانوية والمحتوي العلمي لمقرر مبادئ الفيزياء في السنة الأولى الجامعية في جامعة الملك فيصل تم استخلاص مجموعة من الصور الذهنية التي يمكن أن تشكل مفاهيم مغلوطة لدي الطلبة وهي كالتالي :

« يتباطأ الجسم ان لم تكن قوة محصله تؤثر عليه ، القوة الثابتة ستعمل علي تسارع الجسم الي ان يستهلك الجسم طاقة هذه القوه  
 « حركة الجسم تتبع مسار القوة الأكبر المؤثره علي الجسم .  
 « القوة العمودية لن تتعدي وزن الجسم .  
 « يسير الجسم بسرعه ثابتة اذا كانت القوة المؤثره عليه ثابتة ( تناسب السرعة مع القوة فكلما كانت القوة المؤثره أكبر ، كلما كان الجسم اسرع ، القوة المحصله ستكون في اتجاه الحركه لذا فان الاجسام تتحرك علي طول هذا الخط في ذلك الاتجاه ) .

« الاجسام تتبع مسار القوة المؤثرة عليها حتي بعد زوال هذه القوة .  
 « الاجسام الاثقل تسقط اسرع من الاجسام الاخف  
 « الخيط ينقل تماما القوة المؤثره علي الجسم الي الجسم الاخر المربوط معه بنفس الخيط .  
 « يختلف تسارع جسمين مرتبطين ببعضهنه البعض بخيط صلب (غير قابل للتمدد )  
 « ارتباط كتل صغيره باجسام متحركة ستعمل علي ارتداد تلك الاجسام من دون النظر الي التباين في الكتلتين .

• الفروض الاحصائية :

« الفرض الصفري الاول  $NO1$  : لا توجد فروق ذات صلة احصائية بين ادائي كل من طلبة وطالبات المرحلة الثانوية علي مقياس تكوين الصور الذهنية الخاصة بالمواضيع الاساسيه في مجال الميكانيكا .  
 « الفرض البديل الاول  $Na1$  : توجد فروق ذات صلة احصائية بين ادائي كل من طلبة وطالبات المرحلة الثانوية علي مقياس تكوين الصور الذهنية الخاصة بالمواضيع الاساسيه في مجال الميكانيكا  
 « الفرض الصفري الثاني  $No1$  : لا توجد فروق ذات صلة احصائية بين ادائي كل من طلبة وطالبات المرحلة الجامعية علي مقياس تكوين الصور الذهنية الخاصة بالمواضيع الاساسيه في مجال الميكانيكا  
 « الفرض البديل الثاني  $Na1$  : توجد فروق ذات صلة احصائية بين ادائي كل من طلبة وطالبات المرحلة الجامعية علي مقياس تكوين الصور الذهنية الخاصة بالمواضيع الاساسيه في مجال الميكانيكا .

• المعالجة الاحصائية :

تم استخدام الفروق الاحصائية (  $t\_test$  ) وضلك للجابة علي الفروض الاحصائية سابقة الذكر ، حيث تم احتساب كل اجبة صحيحة بدرجة واحدة

ومن ثم تمت مقارنة اداء العينة من الطلبة والطالبات . كما تم تقسيم العينة الي مستويين بناء علي ادائهم في الاختبار الكيفي ( اختبار قياس المفاهيم ) حيث يمثل المستوي الاول ( اداء مرتفع ) فممثل ها الطلاب الذين تمكنوا من الاجابة علي اكثر من ٥٠ % من الاسئلة اجابة صحيحة . اما المستوي الثاني ( اداء منخفض ) فممثل ها الطلاب الذين تمكنوا من الاجابة علي اقل من ٥٠ % من الاسئلة كما ان نتيجة الاختبار قد افضت الي تصنيف العينة الي ثلاث مجموعات حيث يمثل المجموعة الاولى الطلاب الذين وصلوا الي الاجابة السليمة وذلك بتعيين الكمية المطلوبة ، اما المجموعة الثانية فيمثلها الطلاب الذيت وصلوا الي اجابة كمية ولكنها لا تمثل النتيجة المطلوبة ، اما المجموعة الثالثة فيمثلها الطلاب الذين لم يقدموا اي جهد يذكر لحل المسألة المعروضة . وبناء علي ذلك تم عمل الجدول التقاطعي ( contingency table ) لكل مسألة من المسائل الكمية بدلالة الاداء الكمي ( اجابة صحيحة ، اجابة خاطئة ، لا اجابة ) والاداء الكيفي ( اداء مرتفع ، اداء منخفض ) ومن ثم استخدام اداء كاي تربيع ( chi \_ squae test ) لاختبار الفروض المدرجة في الدراسة وحساب استقلالية الاداء الكمي عن الاداء الكيفي .

• تحليل النتائج ومناقشتها :

• تحليل المفاهيم المدرجة من خلال اجابات العينة :

• المفهوم الأول :

مع ان الاعتقاد بان حالة الجسم الطبيعيه هي السكون ترجع الي زمن الفيلسوف ارسطو ، الا ان بعض من دارسي الفيزياء ما زال يحمل مثل هذا الاعتقاد معللين ذلك بان الحركة تستلزم وقود قوة محصلة تؤثلالر علي الجسم . هذا اللبس المفاهيمي قد تكون من الملاحظات المستفادة من الحياة اليومية حيث يمكن رؤية توقف الاجسام عند دفعها علي سطح من دون ملاحظة الاحتكاك علي انه قوة تؤثر علي الجسم ايضا ( halloun and hestenes , 1985 ) . كما يندرج تحت هذا الاعتقاد ما يمكن ان يذهب اليه بعض من دارسي الفيزياء في افتراضان القوة الثابتة تعمل علي تسارع الجسم الي ان يستهلك الجسم جميع طاقته هذه القوة . من خلال الملاحظات اليومية للطلبة تتم ملاحظة انزلاق الجسم عند دفعة وذلك سرعان ما تبداء هذه القوة والتي ادت الي تسارع الجسم في وصوله الي سرعة ثابتة ( السرعة تعتمد علي طبيعة قوة الاحتكاك والتي غالبا ما تهمش  $(F=\mu N)$  ، ولهذا فان الطلاب قد يستنتج بان القوة قد استهلكت من قبل الجسم ( halloun , hestenes , 1985 ) ومن خلال الاجابات المقدمة علي الاسئلة المتعلقة بهذا المحور يتبين وجود هذا الخطاء المفاهيمي لدي الطلبة ، فعلي سبيل المثال اختار ٩٠ % من طلبة الصف الاول الثانوي قد اختارت الاجابة ( ب ) علي السؤال الاول وفي نفس الوقت ما نسبته ٩٨.٧ % من طلبة الصف الثاني الثانوي قد اختارت الاجابة ( ب ) مما يعطي دلالة علي وجود ذلك اللبس المفاهيمي لدي طلبة المرحلة الثانوية والسنة الاولى الجامعية . اما السؤالين الثاني والثالث فيعطيان دلالة واضحة علي الفهم المتكون لدي العينة ، والذي يت

من خلال الربط بين القوة المثرة والاحتكاك ، ففي حينتمكن ما نسبته ١٠٠٪ من طلاب السنة الاولى الجامعية في تحديد القوة المثرة علي جسم تحت تاثير مباشر لقوة عليية ، نجد ان اغفال قوة الاحتكاك والمرتبطة بحركة الجسم قد تمثل ما نسبته ٤٥ ٪ من طلبة المرحلة الثانوية الا ان الفهم المغلوط والذي اشتركت فيه العينة بمجملها هو افتراض قوة تعمل علي تحريك الجسم ما دام الجسم في حالة حركة .

#### • المفهوم الثاني :

يعتقد البعض من دارسي الفيزياء ان حركة الجسم تتحدد في ضوء القوة الاكبر وبالتالي فان الجسم يتسارع باتجاه القوة الاكبر الموثرة عليه ، بدلا ربط تسارع الجسم باتجاه القوة المحصلة ، ويتضح من اجابات الطلبة ان ما نسبته ٩٧ ٪ من طلبة السنة الاولى الجامعية قد استطاعوا الاجابة علي السؤائل الخامس بنجاح ومن هنا فاننا نسيدل علي ان التصور الصحيح والذي يربط حركة الجسم باتجاه القوة المحصلة هو الموجود لدي العينة ، لذلك فان التشويش المفاهيمي والمتمثل في اعتقاد العينة بان الجسم يتحرك تبعا لتاثير القوة الاكبر هو احتما غير قائم بصورة كبيرة . الا انه بالنسبة لطلبة الصف الثاني الثانوي فقد اشارت النتائج الا ما نسبته ٥٠ ٪ من العينة قد افترضت تحرك الجسم في اتجاه القوة الاكبر مما يعطي اشارة الي استمرارية تغليب شعور داخلي عام ( sense Belief common ) علي الفهم الفيزيائي الفترض تكوينه لدي المتعلم

#### • المفهوم الثالث :

يعتقد البعض من دارسي الفيزياء ان القوة العمودية المؤثرة علي الجسم تعادل وزن الجسم بغض النظر عن وضعة ( Gunstone ) .ويتبين من اجابات الطلبة عموما وجود ذلك اللبس المفاهيمي لعموم العينة حيث تذبذبت اجابات الطلبة طبقا للخيارات المقدمة للاجابة علي السؤال السادس والذي يجسد ذلك اللبس المفاهيمي ، الا ان سبب التذبذب قد يرجع الي تضمين العينة للعوامل التي قد تؤثر علي الحركة في هذه الحالة ، ومنها مقاومة الهواء ( air resistance ) والفقء في الطاقة بسطح الطاولة (energyloose) ، ومع ذلك فان نسبة ا خيار الاجابة التي تنص علي مساواة القوة العمودية بوزن الجسم قد كانت الاكثر اختيارا .

#### • المفهوم الرابع :

يتعتقد بعض من دارسي الفيزياء ان القوة تتناسب مع السرعة ولهذا فاذا كانت سرعة الجسم سرعة ثابتة (غير متغيرة ) فان هذا يستوجب ان تكن القوة المحصلة المؤثرة عليه ثابتة ، وكذلك ربط ازدياد التسارع بازدياد القوة ( halloun and hestense ) . وبناء علي هذا يمكن ان يبني المتعلم مجموعة اخري من المفاهيم البديلة الخاطئة ، وتتمثل في التالي :

ان القوة تتناسب مع السرعة وبالتالي فانه كلما كانت القوة المحصلة المؤثرة على الجسم اكبر كلما كان الجسم اسرع ، ان القوة تتناسب مع السرعة وبالتالي فالقوة المحصلة ستكون في نفس اتجاه السرعة من دون ملاحظة دور التسارع في تغيير اتجاه السرعة ومن ثم الافتراض بان الجسم يتحرك في خط مستقيم ( gunstone ) ويتضح من خلال اجابات الطلبة تربط السرعة بالقوة وكذلك تربط اتجاه السرعة باتجاه القوة تمثل مفاهيم ملبوسه تتوفر لدي الطلبة بصورة كبيرة ، اذ تبين الاجابات علي المسائل ( ٧ ، ٨،٩ ) ذلك (بشكل جمالي لم يتمكن ٩٨٪ من تحديد الاجابة الصحيحة ) اما في المسالة الحادية عشر والتي تجسد ما يمكن ان يكونه المتعلم من فهم للصلة التي يمكن ان يربط اتجاه القوة المؤثره علي الجسم باتجاه سرعته ، نجد ان معظم افراد العينة من طلبة المرحلة الاولي الجامعية ٩٠.٤٧٪ وطلبة المرحلة الثانوية ١٠٠٪ قد ذهبوا الي افتراضات الجسم سيستجيب للقوة المؤثرة عله وبالتالي سيتحرك باتجاهها وبصورة مستقيمه ايضا .

#### • المفهوم الخامس :

يعتقد البعض من دارسي الفيزياء ان القوة المؤثره علي الجسم ستعمل علي حركة هذا الجسم وفق مسار معين وسيواصل الجسم حركته في هذا المسار وحتى بعد زوال القوة المؤثره عليه (halloun, hestenes) ان الاعتقاد المسيطر علي فهم المتعلمين حيال هذه الحالة يتضح من خلال اجابات الطلبة بشكل عام، حيث احتلت الاجابة (ج) ما نسبته ٩٥٪ من اجابات الطلبة بشكل عام ، مما يعني ان الفهم المتكون لدي المتعلم قد اتجه نحو افتراض استمرار حركة الجسم وفق مسار تشكل من خلال تاثير قوي معينة ، ومواصلة الجسم لحركته وفق نفس المسار حتي في حالة زوال هذه القوي .

#### • المفهوم السادس :

عند مقارنة سقوط جسمين لهما وزنين مختلفين ، فان حالة سقوط الحجر والريشه غالبا تكون مسيطرة علي دارسي الفيزياء ، وبالتالي اعتبار ان الاجسام الاخف تسقط ابدا من الاجسام الاثقل (halloun, hestense) ، ان النتائج المستمدة من اجابات الطلبة توضح ان هذا الخلل المفاهيمي قائم لدي مجمل الطلبة . ففي حين كانت الاجابة (ب) (الكرة الاسرع تسقط اسرع من الكرة الاخف) تشكل ما نسبته ٩٩٪ من اجابة طلبة مرحلة الثاني الثانوي ، لم يكن حال طلبة المرحلة الاولي الجامعية بافضل حالا منهم حيث تم اختيار الاجابة (ب) من قبل ٩٥٪ من طلبة المرحلة الاولي الجامعية .

#### • المفهوم السابع :

يعتقد بعض من دارسي الفيزياء انه عند ربط جسمين ببعضهما البعض بواسطة خيط قابل للتمدد ، ومن ثم تم التاثير علي احد الجسمين بقوة خارجية فان الجسم الاخر سيكون ايضا تحت تاثير نفس هذه القوة (McDermott, 1994, Shaffer, and Sommers). وبارجوع الي المسالة المتعلقة بهذا الفهم (المسالة ١٤) نجد ان السؤال كان واضحا ، ان نسبته ٣٢٪ من طلبة المرحلة

الاولي الجامعية قد اختارت الاجابة (د) والتي كانت تنص علي نقص المعلومات المطلوبة للاجابة علي السؤال . الان ان الاعتقاد بان الجسمين سيكونان تحت تاثير نفس قوة الشد ( الاجابة ج ) وبالتالي تهيمش ما قد تسبب بقوة احتكاك الجسم بالسطح .

وبالرجوع الي المسألة المتعلقة بهذا الفهم ( المسألة ١٤ ) نجد ان نص السؤال كان واضحا ، ان نسبة ٣٢٪ من طلبة المرحلة الاولي الجامعية قد اختارت الاجابة (د) والتي كانت تنص علي نقص المعلومات المطلوبة للاجابة علي السؤال . الان ان الاعتقاد بان الجسمين سيكونانا تحت تاثير نفس قوة الشد ( الاجابة ج ) وبالتالي تهيمش ما قد تسبب بقوة احتكاك الجسم بالسطح من تاثير قد احتل المرتبة الاعلي ، حيث تم تمثلك تلك الاجابات المقدمة من قبل طلبة المرحلة الاولي الجامعية علي هذا السؤال ٦٤٪ من الاجابات من قبل طلبة المرحلة الثانوية .

#### • المفهوم الثامن :

يعتقد بعض دارسي الفيزياء انه عن ربط جسمين بعضهما البعض بواسطة خيط غير قابل للتمدد ، ومن ثم التاثير علي احد الجسمين بقوة خارجيه فان الجسم الواقع تحت التاثير المباشر لتلك القوة يمتلك تسارع اكبر من الجسم الاخر (McDermott, and Shaffer, 1994Sommers). يتضح من الاسئلة المتضمنة لهذا المفهوم والاجابات المقدمة من الطلبة بصورة عامة عدم نضج هذا المفهوم لديهم . فزي حين استطاع ما نسبته ٥٥,٦ من طلبة المرحلة الاولي الجامعية و ٢٠٪ من طلبة المرحلة الثانوية الاجابة بصورة صحيحة علي السؤال الخامس عشر مما اعطي دلالة علي امكانية استمرار هذه النسبة من الاجابات الصحية علي السؤال السادس عشر والسابع عشر، الا ان هذه النسب لم تستمر مع انها تتضمن نفس المفهوم ، اذا كانت نسبة الاجابات الصحيحة علي السؤالين السادس عشر والسابع عشر لدي طلبة المرحلة الاولي الجامعية ٣٩,٦٪ اما بالنسبة لطلبة الصفالثاني الثانوي فكانت ٣٥٪ و ١٥٪ علي التوالي .

#### • المفهوم التاسع :

يعتقد بعض ما دارسي الفيزياء ان ارتطام اجسام متحركة باجسام اخري ستعمل علي ارتداد تلك الاجسام للخلف مع عدم الاخذ في الاعتبار التباين في كتلتي الجسمين وسرعتيهم . وتبين اجابات العينة علي السؤال الثامن عشر عدم وضوح الرؤية لدي افراد العينة حيث تظل تلك المشاهدة المستقاة من الافلام السينمائية هي المسيطرة علي فهم المتعلم لهذه الحالة ، ففي حين اعتقد نسبة ٧٠٪ من طلبة السنة الاولي الجامعية ان الاجابة الصحيحة علي السؤال الثامن عشر تتمثل في الخيار ( ا ) ، فان ما نسبته ايضا ٢٣٪ من مجمل العينة قد اختار الاجابة (ب) ، بينما كان نصيب الاجابة الصحيحة (د) فقط ٧٪ ، في مقابل لم يتمكن اي طالب او طالبة من تحديد الاجابة الصحيحة بالنسبة لطلبة المرحلة الثانوية .

#### • الاجابة علي فروض البحث :

للاجابة علي الفرض الاول المتعلق بعدم فروق ذات دلالة احصائية بين ادائي كلا من طلبة وطالبات المرحلة الثانوية علي مقياس تقويم الصور الذهنية

الخاصة بالمفاهيم الاساية في مجال الميكانيكا الكلاسيكية موضع الدراسة ، فقد تم استخدام اختبار الفروق ( ت ) ، حيث يتضح من الجدول ( ١ ) انه لا توجد فروق احصائية بين ادائي كلا من طلبة وطالبات المرحلة الثانوية علي مقياس تقويم الصور الذهنية الخاصة بالمواضيع الاساسية في مجال الميكانيكا الكلاسيكية .

وللاجابة علي الفرض الثاني والمتعلق بعدم وجود فروق ذات دلالة احصائية بين ادائي كلا من طلبة وطالبات السنة الاولى الجامعية علي مقياس تقويم الصور الذهنية الخاصة بالمواضيع الاساسية في مجال الميكانيكا الكلاسيكية موضع الدراسة ، فقد تم استخدام اختبار الفروق ( ت ) ، حيث يتضح من الجدول ( ٢ ) انه لا توجد فروق احصائية بين ادائي كلا من طلبة وطالبات السنة الاولى الجامعية علي مقياس تقويم الصور الذهنية الخاصة بالمواضيع الاساسية في مجال الميكانيكا الكلاسيكية موضع الدراسة .

#### • تحليل المسائل الكمية :

بعد تصحيح المسائل الكمية والتي تمت الاجابة عليها من قبل افراد العينة ( ذكور واناث ، طلبة المرحلة الاولى الجامعية والصف الثاني الثانوي ) يتضح جاليا التباين في مستوي اداء افراد العينة ، خصوصا عند مقارنة اداء الذكور والاناث ، ومع ان تلك المسائل تتدرج من حيث مستوي الافكار المتضمنة في تلك المسائل ، فالمسألة الثالثة ما هي الا تطبيق مباشر لقانون التسارع بصورة صحيحة رجوعا الي الفهم المستمد لمفهوم التسارع ، وبالمقابل تحتاج المسائلتان الاولى والثانية الي نوع من التصور الذهني ، الا ان العدد الاكبر من افراد العينة من الذكور لم يبذل جهدا الا في حل المسألة الثالثة بغض النظر عن صحة الاجابة التي توصل لها من عدمها ، مع عدم وجود افكار ناضجة يمكن ان تمثل مصدرا لبداية حل بالنسبة لمسالتين المتبقيتين . ان هذه النتيجة قد تحتمل احد السببين التاليين : السبب الاول هو عدم رغبة العينة من الذكور في بذل جهد ذهني لحل تلك المسالتين ، خصوصا بان تلك المسائل قد اعطيت للطلاب في سياق تقويم الفهم لبعض ما تمت دراسته من مفاهيم . اما السبب الثاني فهو عجز الطلاب في التعامل مع تلك المسائل نظرا لقلّة التصور الذهنية والافكار التي يمكن تكوينها من اجل الوصول الي حل ، وهذا ما يتناهي مع تصور ديفيدو هامر (2000, hammer) بان الفكر الفيزيائي يتمثل في القدرة علي توليد كم من الافكار والتي يمكن ان تمثل مصدرا لحل مشكلة معينة الا انه من الواضح انه نظرا لكون المسألة الثالثة من المسائل المألوفة ولدي العينة ، فان بداية الحل لم تمثل اشكالية لديهم ، في حيث كانت المالتين المتبقيتان من المسائل الغير مألوفة للعينة مع انها في نطاق المحتوي المعلوماتي الذي تعلمه الطالب . الا ان افتقد العينة من الذكور للقدرة علي ايجاد فكرة او بداية للحل كانت وراء اخفاق تعاطي هؤلاء الطلبة مع تلك المسائل ، وفي المقابل لنتائج العينة من الذكور ، نجد ان العينة من الاناث قد تعاملت مع المسائل الثلاث جميعا مع ثراء في التصورا الذهنية والتي يمكن ان تقود الي الحل .

ولتحليل النتائج الكمية والبحث في علاقتها بالاداء الكمي ، فقد تم استخدام اختبار كاي ٢ (chi-square) ، ونظرا لوجود درجة حرية واحدة -Ncolumns (Nrows-1)=1} لذا فان درجة كاي (chi-square) ، ذات الدلالة الاحصائية عن المستوي (٠,٠١) هي (٦,٦٣٥) وحيث ان درجة كاي ٢ المحسوبة هي (٠,٦) عند مقارنة مستوي الاداء الكمي بمستوي الاداء الكيفي للعينة بصورة عامة ، وهذه الدرجة هي اقل من النقطة الحرجة ، لذلك فان هذا يدعم استقلال مستوي الاداء الكمي عن مستوي الاداء الكيفي ، الا ان هذه النتيجة يمكن ان تكون قد تاثرت بضعف اداء الطلاب على مقياس الاداء الكيفي كما تمت الاشارة سابقا لذا ننجد انه من المنطقي استثناء نتائج الطلاب والاقتصار على نتائج الطالبات ، وعلية نجد ان درجة اختبار كاي ٢ (chi-square) هي (١٥) ، وهذا دلالة احصائية ايجابية للعلاقة بين اداء الطالبات الكمي والكيفي ، وبناء على النتائج السابقة في اختبار كاي ٢ (Chi-square) واختبار الفروث (t \_ test) يتبين ان العينة تفتقد بصورة واضحة لمنهجية التعامل مع المسائل الكيفية ، بمعنى ان الافكار التي تؤدي الي حل المسائل الكمية قد تكون متوفرة لدي الطلاب ، الا ان القصور يكمن في توظيف هذه الافكار للخروج بحلول للمسألة ، وبصورة اخري يتضح افتقار الطلاب لمهارات حل المشكلة . ان مثل هذا الخلل لدي المتعلم يمكن رصده من خلال عدم قدرة المتعلم في التعامل مع المسائل الفيزيائية التي اتم دراسة الجزء النظري او المفاهيمي الخاص بها ، ولكن ما ان يقوم المتعلم بتقديم بداية الحل فانا المتعلم يستطيع بعد ذلك مواصلة الخطوات والوصول الي نتيجة .

#### • توصيات البحث :

في حدود هذا البحث والنتائج الخاصة به ، يتقدم الباحث بالخطوات الاتيه :

« ان تعليم المتعلم بالمفاهيم الفيزيائية الاساسيه وتحديد اياها في مجال الميكانيكا دون توضيح ما قد ينتاب هذا الفهم من تصورات مغلوطة لن يضمن باي حال من الاحوال تكوين المتعلم للفهم الفيزيائي السليم ، وبناء على ذلك فان اساليب تدريس الفيزياء يجب ان تعتمد على استشراف وتشخيص ما قد يعتري ذهن الطالب من تصورات ذهنيه يمكن ان تؤثر على تكوينه للتصور المفاهيميه الاساسيه ، وذلك بغية معالجتها ليحل الفهم السليم بدلا عنها . ومن هنا فان برنامج اعداد معلمي الفيزياء يجب ان تتبني هذا الاتجاه وذلك من خلال اكساب معلمي الفيزياء مهارات الكشف عن ما يمكن ان يكونه المتعلم من مفاهيم مغلوطة وكيفية معالجتها ، وفي هذا السياق فانه من المفيد ان تتبني برامج اعداد معلم الفيزياء تطوير ادوات قياس المفاهيم الفيزيائية وتدريب الطلبة عليها وكيفية التعامل معها .

« نظرا لوجود المفاهيم الفيزيائية المغلوطة فان معالجتها من قبل المعلمين يعد امر ضروريا ، الا ان المعالجة السليمة تتطلب التدريب السليم ، من هنا فان برنامج اعداد معلمي الفيزياء يجب ان توفر التدريب اللازم ومنها التدريب على استخدام نماذج التعلم البنائي Constructivist Learning

(Model) ونموذج بوسنر (Posner Model) و نموذج درايف (Driver Model) وغيرها من نماذج يمكن ان تسهم في تعديل التصورات الخاطئة للمفاهيم الفيزيائية وتاصيل الفهم السليم .

« ان المفاهيم المغلوطة يجب ان تعالج في ظل المنظمه المتكامله للمنهج بما يشمله من محتوى وطرق تدريس القاعده الفيزيائيه لدي المتعلم سواء كانت تلك الكتب المدرسه في المرحله الثانويه او تلك المدرسه في المرحله الاولي الجامعيه ، يجب ان ترصد بدقة تلك التصورات الملبوسه ومقارنتها بالمفاهيم السليمه ، وبعدها تعريض المتعلم لتلك المسائل التي يمكن للمتعلم من خلالها تعميق ذلك الفهم .

« مع تنوع مجالات الفيزياء فان الدراسات اللاحقه يمكن ان تتجه الي نحو حصر اكبر عدد من المفاهيم الفيزيائيه المغلوطة في مجالات الفيزياء المختلفه لتكن مرجعا لعلمي الفيزياء عند تدريسهم للمفاهيم الفيزيائيه .

#### • المراجع :

\_ العرفج م (٢٠٠٤) ، الفيزياء بين الفهم الكيفي والتحليل الكمي تطبيق علي احد المفاهيم الفيزيائية مجلة العلوم التربوية والنفسية التربوية والنفسية في جامعة البحرين ٢٢٣ \_ ٢٣٣

#### • المراجع الاجنبية :

- \_ Dunlap, H. (2007). Reasoning with metaphors and constructing an understanding of the mathematical function concept. Proceedings of the 31st Conference of the
- \_ International Group for the Psychology of Mathematics Education, 2. 209-216 Seoul: PME.
- \_ Halloun, I and Hestenes, D. (1985). Common-sense concepts about motion. Am. J. Phys. 53, 1056-1065.
- \_ Hammer, D. (2000). Student resources for learning introductory physics. American
- \_ Journal of Physics, Physics Education Research Supplement, 68, 52-59.
- \_ Gunstone, R. (1987). Student understanding in mechanics: A large populationsurvey. Am. J. Phys. 55, 691-696.
- \_ Markus, H.R., & Kitayama, S. (2003). Culture, Self, and the Reality of the Social. Psychological Inquiry, 14, 277-283.
- \_ Mazur, E. (1996). Qualitative vs. quantitative thinking: are we doing the right thing?
- \_ International Newsletter on Physics Education, 32(April).
- \_ McDermott, L., Shaffer, P., and Sommers, M. (1994). Research as a guide for

- \_ teaching introductory mechanics: An illustration in the context of the Atwood's machine. Am. J. Phys. 62, 46-55.
- \_ Minstrell, J. (1989). Teaching Science for Understanding. Toward the Thinking
- \_ Curriculum: Current Cognitive Research, Renick, L. and Klopfer, L., ed
- \_ (ASCD) , 129-149. Alexandria, VA: American Society for Curriculum Development.
- \_ Nisbett, R., & Miyamoto, Y. (2005). The Influence of Culture: holistic versus analytic perception. Trends in Cognitive Sciences, 9. 467-472.
- \_ Ohlsson, S., & Rees, E. (1991). The function of conceptual understanding in the learning of arithmetic procedures. Cognition and Instruction, 8, 103-179.
- \_ Pfundt, H., & Duit, R. (1991). Bibliography: Students' alternative frameworks and science education (3rd ed.). Kiel: Institute for Science Education.
- \_ Plötzner, R. (1995). How misconceptions affect formal physics problem solving:
- \_ Model-based predictions and empirical observations. Published in Moore, J., &
- \_ Lehman, J. (Eds). Proceeding of the Seventeenth Annual Meeting of the Cognitive Science Society (248-252).
- \_ Trowbridge, D. and McDermott, L. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. Am. J. Phys. 49, 242-253.

