Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University-Libya, Vol. 1, No. 16, sep. 2020

Published online in September

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة، ليبيا، المجلد الأول، العدد السادس عشر، سبتمبر 2020م

محاكاة محوسبة بلغة الجافا لتجارب البندول بمعمل الفيزياء

مروة رمضان السريتي
جامعة مصراتة/ كلية التربية
Marw.Alsariti@edu.misuratau.edu.ly

إلهام علي عباس
الأكاديمية الليبية/ مصراتة
elham.abbas@it.lam.eda.ly

أميمة حسين الصغير
جامعة مصراتة/ كلية التربية
Omaima.elhisain@edu.misuratau.edu.ly

الملخص:

هدفت الدراسة إلى توظيف المحاكاة الحاسوبية في إجراء بعض تجارب البندول، وقد تم تصميم برنامج محاكاة تفاعلي للبندول البسيط والمزدوج والمركب، باستخدام لغة جافا، وخلُصت الدراسة إلى أن هذه المحاكاة وفرت إمكانية تنفيذ التجارب وإعادتها بسرعة وسهولة، كذلك وفرت إمكانية إثبات تأثير الجاذبية على حركة البندول والزمن الدوري له من خلال إجراء مقارنة بين جاذبية الأرض والقمر والشمس، وإيضاح تأثير متغيرات (طول البندول، الكتلة، والزاوية) على الزمن الدوري للبندول ونوع العلاقة بين كل متغير منها مع الزمن الدوري في حال وجود علاقة، كما أشارت إلى إمكانية استخدام هذه المحاكاة داخل المعامل الفيزيائية المدرسية والجامعية.

الكلمات المفتاحية: محاكاة بلغة جافا – تجارب البندول – معمل الفيزياء - Java - Physics lab - Pendulum experiments - simulation

Computerized Java simulation of pendulum experiments at Physics Lab

Abstract:

The study aimed to employ computer simulations in conducting some pendulum experiments, and An interactive simulation program was designed for the simple, double and compound pendulum, using the Java language, and the study concluded that this simulation provided the ability to implement experiments and return them quickly and easily, and also provided the ability to demonstrate the effect of gravity on the movement of the pendulum The

periodic time for it is by making a comparison between the gravity of the earth, moon, and sun, and clarifying the effect of variables (pendulum length, mass, and angle) on the periodic time of the pendulum and the type of relationship between each variable with the periodic time in the event of a relationship, as it indicated the possibility of using this simulation inside the school and university physical laboratories.

1- مقدمة:

إن العالم اليوم يواجه تغيرات متلاحقة في المعرفة العلمية ونظم المعلومات وحدوث تطورات سريعة في كافة المجالات العلمية، مما أثر في كيفية تطبيق المعرفة العلمية في حياة الإنسان، وبدأ النظام التعليمي يأخذ صيغاً جديدة في مجالاته ووسائله، وابتكار طرق تساعد على تطبيق المعرفة في الحياة العملية، وأصبح يتجه إلى التجربة والتطبيق والاستكشاف. وتعد المحاكاة الحاسوبية من الوسائل الحديثة التي تتيح بيئة افتراضية مماثلة للعالم الواقعي بتمثيل المسألة المراد محاكاتها بأسلوب رياضي وبرمجتها وتنفيذها بالحاسوب، وتتداخل فيها العلاقات الرياضية والمنطقية الضرورية لتمثيل سلوك النظام الحقيقي وهيئته، وتبدأ المحاكاة ببناء نموذج للموضوع قيد الدراسة ثم تنفيذ التجارب والحلول للنموذج بالحاسوب.

تعد الفيزياء من المباحث العلمية المهمة فهي تهتم إلى جانب المعرفة، بتوظيف هذه المعرفة في مختلف جوانب الحياة، فالأجهزة بمختلف أنواعها مثلاً تعتمد في تركيبها وطريقة عملها على المبادئ والقوانين الفيزيائية، وتقوم الفيزياء بشكل أساسي على التجارب العملية لذلك فإنه من الضروري تواجد معامل فيزيائية لإجراء التجارب العملية بشكل عملي، إلا أنه في كثير من الأحيان لا تتوافر كل التجهيزات اللازمة لهذه المعامل، كما أن الكثير من التجارب يصعب إجراؤها في المعامل بسبب التكلفة المادية أو الموارد البشرية، أو لخطورتها كالتجارب النووية، وأحياناُ لعدم توفر الوقت الكافي لإتمامها، أو لصغر حجمها أو لأنها تحدث بسرعة كبيرة جداً بحيث لا يمكن متابعتها وملاحظة ما حدث ، أو لصعوبة الحصول على نتائج دقيقة يدوياً، ولذلك تم الاستعانة بالحاسوب لإجراء محاكاة لهذه التجارب بحيث تحاكي وتماثل الواقع، وظهر ما يسمى بالمحاكاة الافتراضية لمعمل الفيزياء.

المحاكاة الحاسوبية للمعامل الفيزيائية توفر بيئة نشطة تفاعلية محفزة للباحث أو المُتعلم لتقريبه للعالم الواقعي للتجارب الذي يصعب توفيرها، وقد انتشرت فكرة محاكاة المعامل الفيزيائية باستخدام برامج الحاسوب، وتعد لغة جافا من أكثر لغات الحاسوب استخداماً في بناء برامج المحاكاة وذلك لما لها من

مميزات كثيرة منها استقلالية المنصة، ويقصد بها أن البرنامج المكتوب بالجافا لا يتم تحويله إلى لغة آلة معينة أو إلى اللغة الثنائية، بل يترجم ويحول إلى برنامج يسمى جهاز الجافا الافتراضي (Java Virtual Machine)، وبالتالي يمكن تشغيل البرامج المكتوبة بالجافا ضمن أي نظام تشغيل، كما أنها تدعم البرمجة الشيئية الموجهة OOP (Object oriented programming)، ولأنها تقدم تفاعل أفضل لما لها من تأثيرات ومرونة في تضمين الواجهة الرسومية والوسائط المتعددة وسهولة في التعامل. وفي هذه الدراسة تم برمجة محاكاة حاسوبية لبعض أنواع البندول باستخدام لغة الجافا.

2- مشكلة الدراسة:

مادة الفيزياء من المواد التطبيقية التي تعتمد في الجزء الأكبر منها على التطبيق العملي، والذي بدوره يحتاج إلى تجهيز جيد للمعامل الفيزيائية من حيث الأجهزة والمواد لتنفيذ التجارب العلمية، ولكن أغلب المدارس والجامعات والمراكز البحثية في ليبيا تواجه صعوبة في تجهيز المعامل بشكل متكامل لإجراء التجارب ويوجد بها الكثير من النواقص، كما أن الباحث أو المُتعلم أحياناً يحتاج لإجراء التجربة ومشاهدتها في أوقات مختلفة لا يكون متواجداً فيها داخل المعمل، بالإضافة إلى أن بعض التجارب تعتمد على الجانب التقديري مما يؤدي إلى ارتفاع نسبة الخطأ في نتائجها، وفي أحيان أخرى لا يمكن إجراء التجارب لخطورتها، أو لضيق الوعاء الزمني، ولعدم تطوير المعامل وتحديث الأجهزة المختبرية، وهذا يتسبب في صعوبة توضيح المادة العلمية بصورة محسوسة، ومن الممكن التغلب على كل هذه المعوقات باستخدام المحاكاة المحوسبة.

هذا ما لفت انتباه الباحثات لتصميم برنامج محاكاة لبعض التجارب الفيزيائية، وتحديداً تجارب البندول (البسيط والمركب والمزدوج)، وقد تم اختيارها لأنها من التجارب التي تعتمد على دقة الشخص الذي يجري التجربة ويوجد بها نسبة خطأ عند القيام بتنفيذها بشكل يدوي، كما أنها تتطلب دقة في إيجاد زمن الذبذبة وإيجاد عجلة الجاذبية الأرضية ومقدار الخطأ المئوي، ولا يمكن القيام بتطبيقها يدوياً بالنسبة إلى جاذبية القمر والشمس لأنها تتطلب أن يكون إجراء التجربة على سطحهما، بالإضافة لأن أجهزة البندول المركب قد لا تتوفر للشخص الذي يرغب بإجراء التجربة.

3- أهداف الدراسة:

نشأت فكرة الدراسة على توظيف المحاكاة في إجراء التجارب الفيزيائية والاستفادة من قدرة الحاسوب على تجسيد التجارب والمفاهيم الفيزيائية، وإيجاد أوساط تفاعلية مماثلة لما يحدث في المعامل الفيزيائية عن طريق المحاكاة، وتتضمن الدراسة الأهداف التالية:

- بناء نموذج لكيفية التعلم بواسطة برامج المحاكاة الحاسوبية Computer Simulation Programs، وذلك بإيجاد محاكاة لتجارب البندول بمختلف أنواعها (البسيط، المزدوج، المركب)، بمتغيرات مختلفة، وعند مختلف أنواع الجاذبية (الأرض، القمر، الشمس)، وتوفير إمكانية إعادتها لأكثر من مرة بقيم مختلفة، وفي أي وقت يريده المتعلم.
- توضيح تأثير الجاذبية على البندول البسيط بتوفير مقارنة بين أنواعها المختلفة، وهو ما لا يمكن توفيره بطريقة أخرى غير المحاكاة.
- تكرار تطبيق التجربة على النموذج الحاسوبي ودراسة تأثير المعاملات المختلفة عليها بكلفة أقل وبأسرع وقت ممكن.
- تسليط الضوء على التعلم بالمحاكاة المدعمة بالحاسوب، حيث أن البندول يدرس في المرحلة الثانوية والجامعية ويمكن استخدام هذه المحاكاة في تدريسه من قبل المُعلمين والمُتعلمين.
- إعداد أنشطة تعليمية محوسبة في الفيزياء تعمل على تحسين التحصيل العلمي وتحسين طرق تَعلُم الفيزياء، وتنمية اتجاهات المُتعلمين نحو تعلم الفيزياء، حيث يمكن استخدام هذه المحاكاة في المدارس والجامعات.

4- مصطلحات الدراسة:

- **المحاكاة الافتراضية لمعمل الفيزياء (Simulated Virtual Physics Lab)**: هو بيئة تعليم وتعلم افتراضية تستهدف تنمية العمل المخبري لدى المتعلم، ويمكن أن تكون هذه البيئة على أحد المواقع في شبكة الإنترنت أو برنامج تطبيقي، وتحتوي على الأيقونات (الأدوات) المتعلقة بالأنشطة المختبرية وإنجازاتها وتقويمها (زيتون، 2005).
- **الحركة التوافقية البسيطة (Simple Harmonic Motion)**: نوع من الحركة الاهتزازية يعود فيها الجسم إلى موضعه الأصلي الذي يعرف بموضع الاستقرار ولها زمن محدد يعرف بالزمن

الدوري، تتناسب فيها القوة المعيدة (قوة الإرجاع) طردياً مع الإزاحة الحادثة للجسم وتكون دائماً في اتجاه معاكس لها (سكيك، 2014).

- **قوة الإرجاع (restoring force)**: هي القوة المحصلة التي تعمل على إرجاع الجسم المهتز إلى موقع اتزانه عندما يتزاح عن ذلك الموقع (سكيك، 2014).
- **التردد (Frequency) f**: هو عدد الاهتزازات الكاملة الحادثة في الثانية الواحدة يقاس بوحدة الهيرتز (HZ) (سكيك، 2014).
- **الزمن الدوري (Time of Period) T**: هو الزمن اللازم لعمل دورة كاملة أو اهتزازة كاملة ويقاس بوحدة الثانية (S) (سكيك، 2014).
- **الحركة الدورية (Rotational motion)**: الحركة التي تتكرر بكيفية واحدة في فترات زمنية متساوية (سكيك، 2014).
- **الجاذبية الأرضية (Terrestrial Gravity)**: القوة التي تشد جميع الأجسام إلى سطح الأرض وتؤدى بالتالي إلى أن يكون لها وزن وتقدر بقيمة (9.8) (المؤمن، 2002).

5- الدراسات السابقة:

هناك العديد من الدراسات والأبحاث التي عُنيت بتوظيف المحاكاة في مجال الفيزياء، ومن هذه الدراسات:

- دراسة دينغ وهاوفانغ (Ding & Hao Fang ،2009)، بعنوان :"استخدام مختبر المحاكاة لتحسين تعلم الفيزياء"، وقد أُجريت الدراسة في الصين، وهدفت إلى تقصي أثر استخدام تجارب المحاكاة بالحاسوب في تعلم الطلبة لتجربة انكسار الضوء، وركزت على تصميم مختبر الفيزياء بالمحاكاة للمساعدة على فهم قوانين ومفاهيم الفيزياء من خلال بيئة التعلم بالمحاكاة بتقديم محاكاة لتجارب انكسار الأشعة وانحراف الضوء، واستخدمت لغة C++ لبرمجتها.
- دراسة (المسعودي والمزروع، **2014**)، **بعنوان :"فاعلية المحاكاة الحاسوبية وفق الاستقصاء في تنمية الاستيعاب المفاهيمي في الفيزياء لدى طالبات المرحلة الثانوية"**، وقد أُجريت في المملكة العربية السعودية في محافظة الليث، وهدفت إلى تقصي فاعلية المحاكاة الحاسوبية في تنمية الاستيعاب لمفاهيم الفيزياء، وقد أظهرت النتائج تفوق الطلبة الذين درسوا دوائر التيار الكهربائي المستمر باستخدام طريقة المحاكاة الحاسوبية على الطلبة الذين درسوها بالطرق التقليدية.

- **دراسة هان– شن وحسين (Han-Chin & Hsien،2011) بعنوان: " Learning Residential Electrical Wiring through computer Simulation:The Impact of Computer-Based Learning Environments on Student Achievement and Cognitive Load"**، أُجريت الدراسة في تايوان، وهدفت إلى تحديد ما إذا كان الطلبة الذين يتم تعليمهم باستخدام المحاكاة الحاسوبية أفضل من الطلبة الذين يتم تعليمهم بالطريقة التقليدية في موضوع الكهرباء الساكنة، واستخدم في برمجتها لغة الجافا، وخلُصت الدراسة إلى وجود المزيد من الفرص للتفاعل مع بيئة التعلم القائمة على المحاكاة، مما يؤدي إلى ارتفاع الرصيد المعرفي، وأداء أفضل في الاختبار التحصيلي للطلبة، وأن الطلبة الذين تعلموا بواسطة المحاكاة الحاسوبية أكثر كفاءة من الذين تعلموا باستخدام الطريقة التقليدية.
- **دراسة الوسيوس ولوو وكيم (Aloysius, Loo, Kim ،2013) بعنوان: " Addressing learning difficulties in Newtonis 1^{st} and 3^{rd} Laws through problem based inquiry using Easy Java Simulation"**، أُجريت الدراسة في سنغافورة، وهدفت لاستخدام المحاكاة الحاسوبية في معالجة صعوبات التعلم في قانوني نيوتن الأول والثالث، واستُخدم في برمجتها لغة الجافا، وأشارت النتائج إلى أنه طرأ تحسن كبير على فهم الطلاب لقانون نيوتن الأول.

وترى الباحثات من خلال عرض الدراسات المذكورة أنها أكدت على أهمية استخدام المحاكاة الحاسوبية لمحاكاة التجارب الفيزيائية إذ تقدم مستوى تعلم أفضل وبيئة آمنة، وتساعد في اكتساب المفاهيم بصورة سليمة، وإجراء تجارب الفيزياء بالمحاكاة يؤدي إلى تطوير قدرات البحث والاستكشاف ويقوي حب الاستطلاع ويزيد من دافعية التعلم. واستُخدمت في أغلب التجارب المصممة لغة جافا.

وتتفق الدراسات السابقة مع هذه الدراسة في استخدام المحاكاة لتمثيل التجارب الفيزيائية، ونمذجة المفاهيم الفيزيائية في بيئة افتراضية مماثلة للبيئة الطبيعية، باستخدام لغة جافا.

6– برامج المحاكاة (simulation programs):

المحاكاة هي عملية تقليد لمنظومة حقيقية أو لعملية طبيعية أو حيوية، تحاول المحاكاة بواسطة هذا التقليد أن تحدد الصفات المميزة لسلوك نظام افتراضي أو فيزيائي، وتشمل المحاكاة الكثير من الطرق والتطبيقات التي تتم عادة على الحاسوب باستخدام البرمجيات المناسبة.

والمحاكاة حسب ما ورد في (سرايا، 2007) هي التقليد والنمذجة، وتجريد أو تبسيط لبعض المواقف المستمدة من الحياة الواقعية، حيث يعيش الشخص في بيئة مشابهة للبيئة الحقيقية، ليكتسب الخبرة

المطلوبة دون مخاطرة أو تكليف، والمحاكاة هي محاولة للتقليد بصنع نموذج تقريبي لما نريد فهمه بصورة أكبر.

تبدأ المحاكاة الحاسوبية بنمذجة موضوع أو مسألة على هيئة تركيبة من المعادلات الرياضية تمثله تمثيلاً جيداً ودقيقاً، ومن ثم استخدام إحدى لغات البرمجة لبرمجتها كتطبيق أو كموقع ويب يصور ويحاكي واقع ذلك الموضوع أو المسألة. النمذجة والمحاكاة هي عملية ترجمة تسمح بالانتقال من المنظومة الطبيعية إلى الرياضية، وبالعكس، فالنمذجة هي أن نبني نموذجاً نظرياً بواسطة المعادلات الحسابية، والمحاكاة هي تنفيذه عملياً وتحويله إلى برنامج (الروادي، 2007).

وتستخدم المحاكاة في بعض التجارب العلمية الخطيرة، أو عند ارتفاع تكلفة إجراء هذه التجارب، أو استحالة ممارسة النشاط المطلوب عملياً كدراسة تفاعل نووي، كذلك يمكن أن توفر جواً مناسباً لدراسة بعض الظواهر التي يصعب مراقبتها عن قرب مثل الزلازل والبراكين، واستخدام المحاكاة في توضيح انقسام الخلايا ونموها البيولوجي أو التشريح التخيلي لجسم الإنسان، وكذلك الظواهر الطبيعية التي لا تحدث إلا في فترات زمنية طويلة مثل: كسوف الشمس، وفي هذه الحالة فإن الحاسوب يوفر الوقت والجهد والمال (واثق وآخرون، 2010).

ازداد الاهتمام بالمحاكاة بشكل ملحوظ في الفترة الأخيرة بمختلف المجالات وخاصة في مجال التعليم، ويعود ذلك إلى الحاجة لأدوات برمجية تساعد على تحقيق فهم أعمق وأقرب للواقع ولتدريب وتعليم واكتساب الأشخاص المهارات العلمية المختلفة، كما يمكن من خلالها تحقيق عناصر العملية التعليمية المتمثلة في: عرض المعلومات، وتوجيه الطالب إلى كيفية استخدام المعلومات واستيعابها، وتقويم الطلبة (توفيق، 2003).

ويمكن أن تصنف المحاكاة من حيث موضوعها إلى:

أ- المحاكاة الإجرائية Procedural Simulation:

هي برامج صممت بهدف تعلم سلسلة من الأعمال، أو تعلم الخطوات بهدف تطوير مهارات معينة، مثل محاكاة قيادة الطائرات، محاكاة تركيب أو تشغيل جهاز ما، وغيرها.

ب-المحاكاة الموقفية Situational Simulation:

تهتم هذه البرامج من المحاكاة بالمجال الوجداني كالاتجاهات والسلوكيات والاعتقادات، إذ أنها لا تهدف إلى تعليم مهارة وإتقانها، بل تهدف إلى اختبار سلوكيات الشخص الاجتماعية والكشف

عن اتجاهاته، وعليه أن يلاحظ ويتخيل ويربط العلاقات، ومن تم يتعلم بالاكتشاف الحر(الفارو، 2000).

ج- المحاكاة الفيزيائية (الطبيعية) Physical Simulation:

ترتبط برامج المحاكاة الفيزيائية بالتجارب العملية فهي تتيح للطالب مشاهدة وإجراء التجارب، وإدخال القيم الرقمية لبعض المتغيرات، والحكم على النتائج النهائية للتجارب، من أمثلتها النمذجة في الفيزياء، وحركة الكواكب حول الشمس (حوراني، 2014)، وهذه الدراسة تتبع هذا النوع من المحاكاة.

6-1 المحاكاة الفيزيائية:

الفيزياء علم طبيعي معني بدراسة القوانين العامة للمادة والطاقة بأشكالها المختلفة، ويمثل العمل المختبري أهمية بالغة لعلم الفيزياء لأنه علم يقوم على إجراء التجارب باستخدام الأدوات والأجهزة والوسائل التطبيقية والمهارات العملية والذهنية لأدائها، فالتجربة أعظم ركيزة للاكتشاف والاستقصاء، ولكن الكثير من الأساليب والأدوات المستخدمة في المختبر التقليدي لم تعد تفي بحاجة الباحثين والمتعلمين لأسباب عديدة، لذا ظهرت الحاجة إلى تفعيل واستغلال تقنيات العصر ومنها إمكانيات الحاسوب المتعددة بما يوفره من مميزات كثيرة، لذا انصب الاهتمام على الاستفادة من تطبيقات الحاسوب في إيجاد بيئة تعلمية تفاعلية نشطة آمنة تحاكي الواقع، ومن هذه التطبيقات مختبرات المحاكاة الفيزيائية التي تسهل عملية الفهم بجعل الأشياء مرئية بالإضافة إلى كونها تفاعلية، فمن خلال تجارب المحاكاة يتمكن المتعلم أو الباحث من تطوير قدراته ومهاراته الإدراكية إذ تسمح له بالملاحظة العلمية الدقيقة واستخدام قدراته المعرفية والإدراكية في الاستنتاج وتسجيل نتائج التجارب، وتمكنه من محاكاة التجارب الخطرة أو التجارب التي تحتاج إلى أجهزة معقدة دون مشاكل في عملية إجرائها، لذا تعتبر المحاكاة أحد المجالات الرائدة في الأخذ بتكنولوجيا الواقع الافتراضي وتطويعها للتغلب على مشكلات الواقع التعليمي (واثق وآخرون، 2010).

6-2 مميزات استخدام المحاكاة الفيزيائية:

المحاكاة للتجارب الفيزيائية لها عدة مميزات منها:

1- تقليل التكلفة: المحاكاة من الطرق المرنة والمباشرة في الاستخدام والتي من خلالها يمكن تكرار التجربة بدون تكاليف، كما أن المؤسسة التعليمية والبحثية تتحمل تكلفة مادية كبيرة في حالة تلف الأجهزة الفيزيائية التي يتدرب عليها المتعلم أو تلف أحد أجزائها.

2- تقليل الوقت: إجراء بعض التجارب يتطلب الكثير من الوقت، واستخدام المحاكاة يعمل على اختصاره.

3- توفير الأمان: بعض التجارب في النظام الحقيقي تكون بها نسبة مخاطرة تُعرض الباحث أو المُتعلم للمخاطر، مثل تجارب التيار الكهربائي وربط الدوائر الكهربائية عند العمل في المختبر التقليدي، بينما إجرائها باستخدام المحاكاة يكون خالي من هذه المخاطر.

4- بعض التجارب يكون بها ارتفاع في نسبة الخطأ وصعوبة في الحصول على نتائج دقيقة عند إجراء التجربة بالطريقة اليدوية وذلك لاعتمادها على دقة متابعة الشخص كما في تجربة البندول البسيط، بعكس ما يحدث في تجارب المحاكاة المحوسبة (واثق وآخرون، 2010; علي، 2010).

7- البندول Pendulum:

يعتبر البندول من الأنظمة الميكانيكية التي تتحرك حركة دورية، وهو عبارة عن جسم يتأرجح ذهاباً وإياباً حول نقطة معينة إذا سحب إلى الجانب ثم ترك حراً، وتستمر الحركة تحت تأثير الجاذبية، ويتكون البندول من ثقل (كتلة) معلق في نهاية سلك مثبت من الأعلى، ويسمى الزمن الذي يستغرقه للحركة ذهاباً وإياباً مرة واحدة بفترة الذبذبة أو الزمن الدوري، والزمن الدوري للبندول يعتمد على طول البندول ويتناسب معه طردياً، بينما يتناسب عكسياً مع عجلة الجاذبية، ولا يتأثر الزمن الدوري بالكتلة، ويدخل البندول وطريقة عمله في الكثير من الاستخدامات منها:

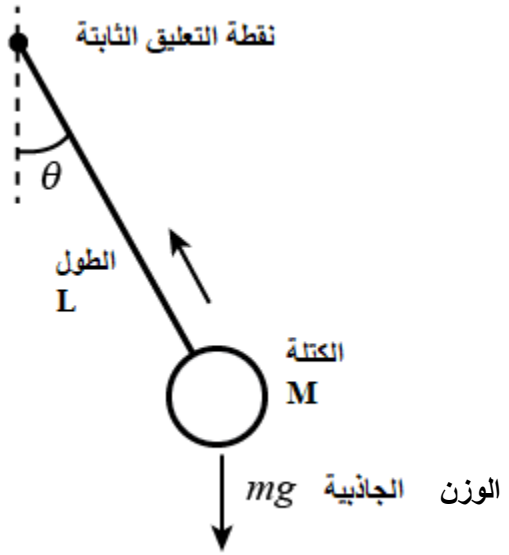
- يستخدم البندول البسيط في تحديد الوقت، وذلك لأن الزمن الدوري له يعتمد على عجلة الجاذبية وطول البندول فقط.
- يستخدم كأداة لقياس عجلة الجاذبية الأرضية، وهذه القياسات مهمة لمعرفة التغيرات في عجلة الجاذبية الأرضية في أماكن مختلفة على سطح الكرة الأرضية.

- يدخل في مبدأ عمل الكثير من الأجهزة الكهربائية والميكانيكية مثل جهاز رصد الاهتزازات الأرضية والزلازل السيزموجراف (سكيك، 2014).

والبندول له عدة أنواع نذكر منها:

1-7 البندول البسيط (Simple Pendulum):

يتركب البندول البسيط من ثقل عادة ما يكون على شكل كرة صغيرة مربوط في أحد طرفي خيط رفيع عديم الوزن غير قابل للتمدد بينما يثبت الطرف الأخر من الخيط في نقطة ثابتة (سكيك، 2014). الشكل(1) يوضح شكل البندول البسيط أثناء سحبه من نقطة السكون إلى الجانب بزاوية □، وقيمة الكتلة المعلقة في البندول M، وطول الخيط L، ويتحرك تحت تأثير عجلة الجاذبية g.



الشكل(1) البندول البسيط

إذا أُزيحت الكرة إزاحة جانبية صغيرة ثم تُركت فإنها تتذبذب، هذا التذبذب يسمى بالحركة التوافقية البسيطة، ويطلق على الزمن الذى يمضى بين مرور الكرة على نقطة واحدة في مسارها مرتين متتاليتين زمن الذبذبة T، ويتوقف هذا الزمن في مكان ما على طول البندول L، فيزيد كلما طال البندول، وينقص كلما قصر تبعاً للعلاقة المبينة في المعادلة (1)، والشكل(2) يبين رسم بياني لهذه العلاقة:

$$T = 2\pi \sqrt{L/g} \longrightarrow (1)$$

أي أن الزمن الدوري يتناسب طردياً مع طول البندول، كما بالمعادلة (2):

$$\propto L \; T^2 \longrightarrow (2)$$

عندما يزاح البندول إزاحة بزاوية صغيرة θ ويتحرك فإنه يقع تحت تأثير عزمي دوران متساويين في المقدار ومختلفين في الاتجاه وتكون معادلة الحركة الأساسية كما في المعادلة (3):

$$I\,\theta = -M\,g\,h\,\sin\theta \longrightarrow (3)$$

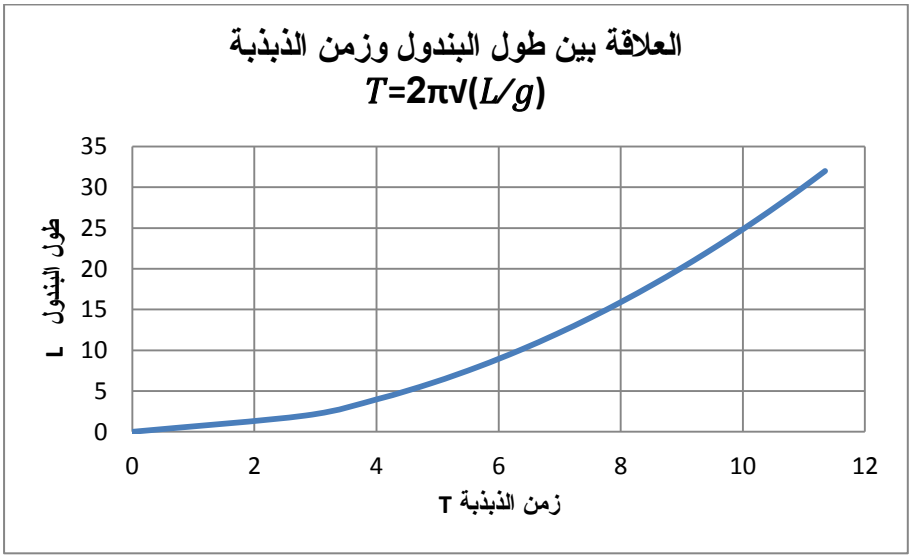
حيث: – π النسبة التقريبية 3.14

– g عجلة الجاذبية التثاقلية.

– I عزم القصور الذاتي حول المحور المار بنقطة التعليق.

– M كتلة الجسم.

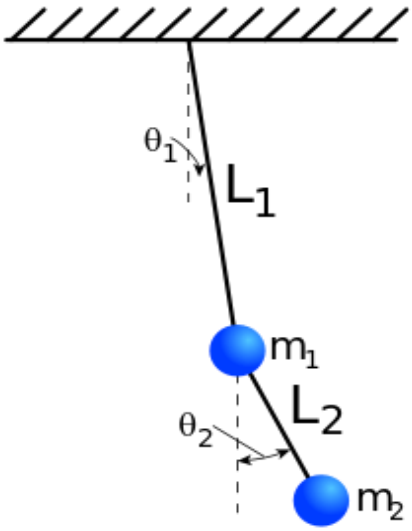
– h المسافة بين مركز الثقل ونقطة التعليق (أحمد وآخرون، 2007).



شكل(2) العلاقة بين طول البندول وزمن الذبذبة

2-7 البندول المركب (Double Pendulum):

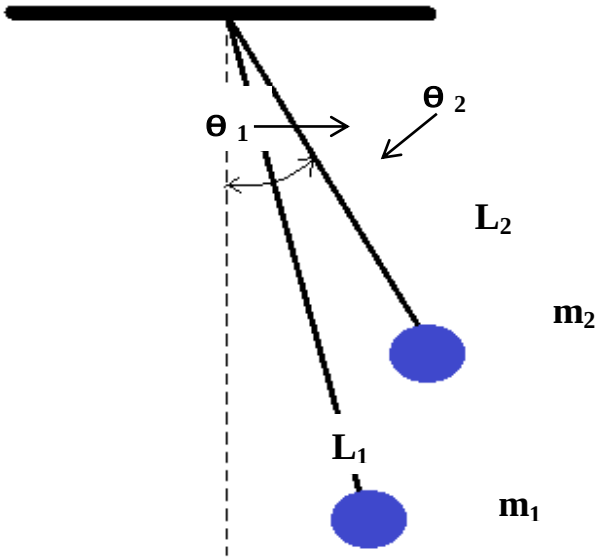
يمثل البندول المركب نظام فيزيائي بسيط يعرض سلوكا ديناميكيا غنيا مع حساسية قوية للظروف الأولية وتخضع حركة البندول المركب لمجموعة من المعادلات التفاضلية. (باشا والبكري، 2007). ويتركب من كرتين صغيرتين وخيطين رفيعين يمكن أن يكون لها نفس الكتلة والطول ويمكن أن تختلف، الطرف الأعلى للخيط الأول مثبت في ماسك محمول على قائم رأسي والطرف الآخر مرتبط بإحدى الكرتين، وهذه الكرة يرتبط بها الطرف الأعلى للخيط الثاني وبنهايته مرتبط بالكرة الأخرى كما هو موضح بالشكل(3).



الشكل(3) رسم البندول المركب

3-7 البندول المزدوج:

يتركب البندول المزدوج من كرتين صغيرتين وخيطين رفيعين يمكن أن يكون لها نفس الكتلة والطول ويمكن أن تختلف، كلا الخيطين طرافاهما مثبتان في نفس النقطة، والطرف الآخر مثبت به كرة، ويوضح الشكل(4) بندول مزدوج حيث يتحرك البندول الأول بسعة زاوية θ_1 محصورة بين خيط البندول L_1 والخط الرأسي الذي يمثل موضع السكون قبل حركة البندول، ويتحرك البندول الثاني بسعة زاوية θ_2 محصورة بين خيط البندول L_2 والخط الرأسي تحت تأثير الجاذبية.



الشكل(4) رسم البندول المزدوج

8- حدود الدراسة:

8-1 حدود موضوعية: تصميم وبرمجة محاكاة لتجارب البندول البسيط والمركب والمزدوج.

8-2 حدود نوعية: القوانين الفيزيائية والمعادلات الخاصة بنمذجة البندول البسيط والبندول المركب.

9- جمع المعلومات:

تم اتباع الطرق التالية في الحصول على المعلومات:

1. **المواد المكتوبة:**

تشتمل على دليل مختبر الفيزياء وبيانات إجراء تجارب البندول ونتائجها مأخوذة من قسم الفيزياء بكلية التربية وبعض الكتب الفيزيائية.

2. **المشاهدة والملاحظة:**

تم تطبيق ومشاهدة تجربة البندول البسيط والمزدوج عملياً في معمل الفيزياء بكلية التربية بجامعة مصراتة وتدوين الملاحظات، وتسجيل النتائج لمقارنتها مع نتائج المحاكاة.

10- طريقة الدراسة:

10-1 المعادلات الأساسية لنمذجة البندول:

10-1-1 المعادلات الأساسية لنمذجة البندول البسيط:

إذا كان:

- النقطة (x1, y1) تمثل مركز الكتلة m1.
- L= طول خيط البندول.
- θ = الزاوية.
- m= الكتلة المربوطة في الخيط.
- النقطة (x1, y1) تمثل مركز الكتلة عند إزاحة البندول وتحركه في اتجاه اليمين.
- النقطة (x1', y1') تمثل مركز الكتلة عند إزاحة البندول وتحركه في اتجاه اليسار.
- c = عدد الاهتزازات.
- t= الزمن الدوري للهزة الواحدة.
- T = الزمن الكلي.
- g= عجلة الجاذبية.

علماً بأن قيم كل من: θ, M, L ستكون معطاة (قيمة M يتم ادخالها مباشرة، قيم: θ, L يمكن الحصول عليها بإدخالها مباشرة أو بالنقر ضمن المكان المخصص للمحاكاة).

فإن:

$$x1 = L \sin\theta \longrightarrow (4)$$

$$y1 = L \cos\theta \longrightarrow (5)$$

$$x1' = L\theta' \cos\theta \longrightarrow (6)$$

$$y1' = -L\theta' \sin\theta \longrightarrow (7)$$

$$t = 2\pi * \sqrt{\frac{L}{g}} \longrightarrow (8)$$

$$T = c^{*} t \longrightarrow (9)$$

حيث أن: المعادلتين (4) و(5) لإيجاد مركز الدائرة الذي يمثل الكتلة عند تحركها ضمن حركة البندول في اتجاه اليمين، بينما المعادلتين (6) و(7) لإيجاد مركز الكتلة عند تحركها ضمن حركة البندول في اتجاه اليسار.

المعادلة (8) هي ذاتها المعادلة (1) لإيجاد الزمن الدوري للاهتزازة الواحدة، والمعادلة (9) لإيجاد الزمن الدوري الكلي لجميع الاهتزازات.

10-1-2 المعادلات الأساسية لنمذجة البندول المركب:

إذا كان:

- L1= طول خيط البندول.
- $\theta 1$ = الزاوية.
- m1= الكتلة المربوطة في الخيط.
- النقطة (x1, y1) تمثل مركز الكتلة m1.
- L2= طول خيط البندول.
- $\theta 2$ = الزاوية.
- m2= الكتلة المربوطة في الخيط.
- النقطة (x2, y2) تمثل مركز الكتلة m2.
- c = عدد الاهتزازات.
- t1= الزمن الدوري للهزة الواحدة للبندول الأول.
- t2 = الزمن الدوري للهزة الواحدة للبندول الثاني.
- T = الزمن الكلي.
- g= عجلة الجاذبية

علماً بأن قيم كل من: $M1, L1, \theta 1, M2, L2, \theta 2$، معطاة.

فإن:

$$x1 = L1 \sin \theta 1 \longrightarrow (10)$$

$$y1 = L1 \cos \theta 1 \longrightarrow (11)$$

$$x1' = L1\theta 1' \cos \theta 1 \longrightarrow (12)$$

$$y1' = -L1\theta1' \sin\theta1 \longrightarrow (13)$$

المعادلتين (12) و(13) لإيجاد موضع الكرة (x2, y2) التي تمثل كتلة البندول الثاني عند الحركة في اتجاه اليمين، حيث أن موقعها يعتمد على موقع كتلة البندول الأول بالإضافة إلى قيمة زاوية حركة البندول الثاني وطوله، وبالتعويض بالمعادلة (10) في المعادلة (14) والمعادلة (11) في المعادلة (16)، نحصل على المعادلتين (15) و(17):

$$x2 = L2 \sin\theta2 + x1 \longrightarrow (14)$$

$$x2 = L2 \sin\theta2 + L1 \sin\theta1 \longrightarrow (15)$$

$$y2 = L2 \cos\theta 2 + y2 \longrightarrow (16)$$

$$y2 = L2 \cos\theta 2 + L1 \cos\theta1 \longrightarrow (17)$$

المعادلتين (18) و(20) لإيجاد موضع الكرة (x2', y2') التي تمثل كتلة البندول الثاني عند الحركة في اتجاه اليسار، حيث أن موقعها يعتمد على موقع كتلة البندول الأول (x1', y1') بالإضافة إلى قيمة زاوية حركة البندول الثاني وطوله، وبالتعويض بالمعادلة (12) في المعادلة (18) والمعادلة (13) في المعادلة (20)، نحصل على المعادلتين (19) و(21):

$$x2' = L2\theta2' \cos\theta2 + x1' \longrightarrow (18)$$

$$x2' = L2\theta2' \cos\theta2 + L1\theta1' \cos\theta1 \longrightarrow (19)$$

$$y2' = -L2\theta2' \sin\theta2 - y1' \longrightarrow (20)$$

$$y2' = -L2\theta2' \sin\theta2 - L1\theta1' \sin\theta1 \longrightarrow (21)$$

المعادلة (22) لإيجاد الزمن الدوري للبندول الأول، والمعادلة (23) لإيجاد الزمن الدوري للبندول الثاني وفقاً للمعادلة (1)، ويتم إيجاد الزمن الدوري الكلي للبندول المركب وفقاً للمعادلة (24):

$$t1 = 2\pi * \sqrt{\frac{L1}{g}} \longrightarrow (22)$$

$$t2 = 2\pi * \sqrt{\frac{L2}{g}} \longrightarrow (23)$$

$$T = c^*(t1+t2) \longrightarrow (24)$$

10-1-3 المعادلات الأساسية لنمذجة البندول المزدوج:

إذا كان:

- L1= طول خيط البندول الأول.
- $\theta 1$ = الزاوية.
- m1= الكتلة المربوطة في الخيط الأول.
- النقطة (x1, y1) تمثل مركز الكتلة m1.
- L2= طول خيط البندول الثاني.
- $\theta 2$ = الزاوية.
- m2= الكتلة المربوطة في الخيط الثاني.
- النقطة (x2, y2) تمثل مركز الكتلة m2.
- c = عدد الاهتزازات.
- t1= الزمن الدوري للهزة الواحدة للبندول الأول.
- t2 = الزمن الدوري للهزة الواحدة للبندول الثاني.
- T = الزمن الدوري الكلي.
- g= الجاذبية

علماً بأن قيم كل من: M1, L1, $\theta 1$ L2, , M2, $\theta 2$، معطاة.

فإن:

$$x1 = L1 \sin\theta 1 \longrightarrow (10)$$

$$y1 = L1 \cos\theta 1 \longrightarrow (11)$$

$$x2 = L2 \sin\theta 2 \longrightarrow (25)$$

$$y2 = L2 \cos\theta 2 \longrightarrow (26)$$

$$x1' = L1\theta 1' \cos\theta 1 \longrightarrow (16)$$

$$y1' = -L1\theta 1' \sin\theta 1 \longrightarrow (17)$$

$$x2' = L2\theta 2' \cos\theta 2 \longrightarrow (27)$$

$$y2' = -L2\theta 2' \sin\theta 2 \longrightarrow (28)$$

$$t1=2\pi * \sqrt{\frac{L1}{g}} \longrightarrow (22)$$

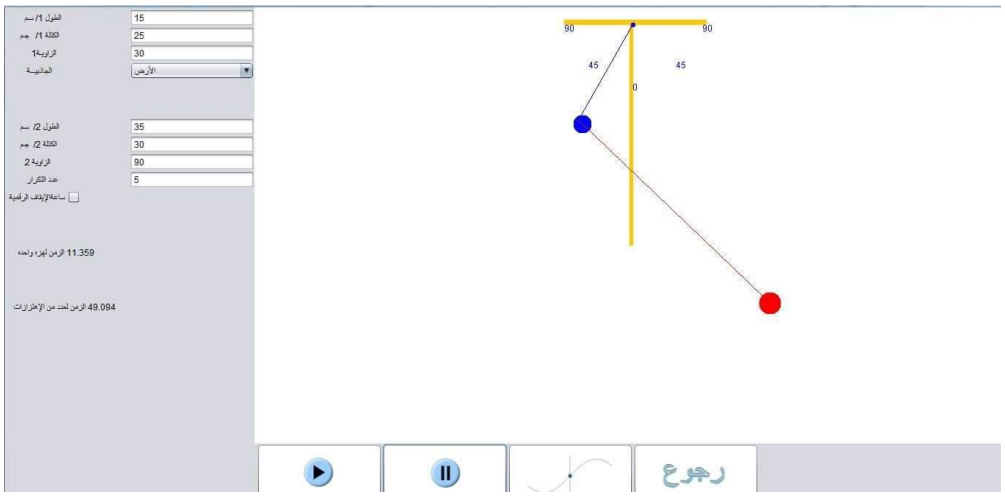
$$t2=2\pi * \sqrt{\frac{L2}{g}} \longrightarrow (23)$$

$$T= c^{*}(t1+t2) \longrightarrow (24)$$

بعض المعادلات التي وردت في هذا الجزء ذُكرت في الجزء الخاص بمعادلات البندول المركب لذا أعطيت نفس الترقيم.

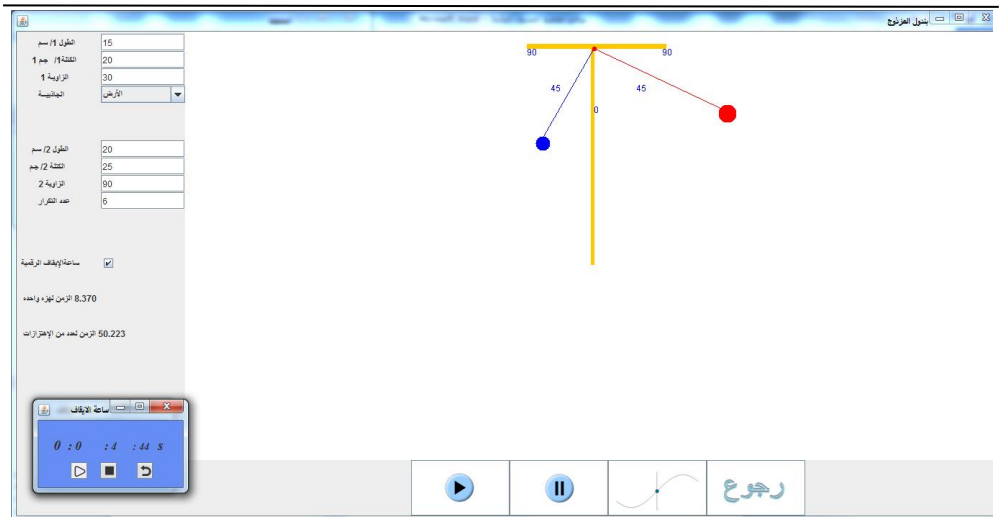
10-2 محاكاة تجارب البندول:

تم برمجة المحاكاة بلغة الجافا باستخدام برنامج NetBeans، واحتوت على محاكاة للبندول البسيط، ومحاكاة للبندول المركب، ومحاكاة للبندول المزدوج، ومقارنة للبندول البسيط بنفس البيانات للبندول في المحاكاة الواحدة بين أنواع الجاذبية الثلاثة (الأرض، الشمس، القمر)، كما توفر المحاكاة مخططاً يبين الموجات الناتجة عن حركة البندول، الشكل (5) يوضح محاكاة للبندول المركب.



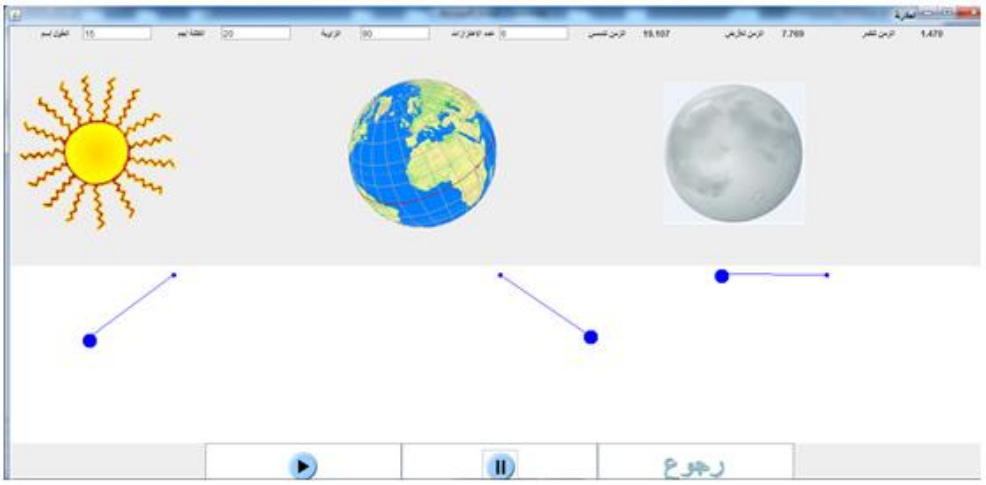
الشكل (5) محاكاة للبندول المركب

الشكل (6) يوضح محاكاة للبندول المزدوج وفقاً للقيم المدخلة لمتغيرات البندول الأول والثاني، مع تشغيل ساعة الإيقاف التي تسمح بتتبع حركة البندول مع الوقت.



الشكل (6) محاكاة للبندول المزدوج

الشكل(7) يبين الفرق في حركة البندول البسيط وزمنه الدوري لبندول بالقيم المدخلة للمتغيرات ذاتها مع الاختلاف فقط في نوع الجاذبية.



الشكل (7) محاكاة للبندول البسيط بأنواع مختلفة من العجلة (الأرض، الشمس، القمر)

كما تم إضافة جزء للمحاكاة خاص بالمسائل والتمارين الفيزيائية المتعلقة بالبندول، بحيث تكون هذه المسائل متغيرة القيم حتى توفر وسطاً تفاعلياً، والشكل (8) يبين أحد هذه التمارين.

الشكل (8) أحد التمارين الموجودة بالمحاكاة

10–3 التقويم:

التقييم تم عن طريق مقارنة نتائج التجارب العملية بمعمل الفيزياء (بالنسبة لجاذبية الأرض) مع نتائج المحاكاة، وقياس الزمن الدوري في كل مرة.

تميزت المحاكاة عن التجربة العملية بسهولة التنفيذ وسهولة التكرار، ودقة النتائج، حيث كان معامل الخطأ في البندول البسيط بالنسبة للمحاكاة (0%)، بينما تراوح معامل الخطأ بالنسبة للتجربة العملية بين (10%) إلى (12%).

أيضاً تم عرض المحاكاة على مجموعة من طلبة قسم الفيزياء لاستخدامها ومعرفة ما إذا كانت مناسبة لاستخدامها في التدريس، وقد كانت ردودهم ايجابية من حيث استفادتهم من المحاكاة وسهولة استخدامها.

11– الاستنتاجات:

1. نسبة الخطأ في نتائج محاكاة البندول البسيط كانت (0%)، بينما نسبة الخطأ في نتائج التجارب العملية تراوحت بين (10%) إلى (15%).
2. استخدام المحاكاة يمكن المُتعلم من التفاعل مع التجربة عبر التثبت من القوانين الخاصة بالبندول وملاحظتها واستنتاجها بنفسه، فمثلاً بإدخال قيم للكتلة والزاوية وتثبيتها وتغيير الأطوال مع

تكرار إجراء المحاكاة يمكن دراسة تأثير طول البندول على الزمن الدوري، وملاحظة العلاقة الطردية بينهما.

3. عند تكرار المحاكاة مع تثبيت كل القيم والتغيير في قيمة الكتلة تبين أن الكتلة لا تأثير لها على الزمن الدوري للبندول.
4. استخدام المقارنة بين للمستخدم تأثير الجاذبية على البندول، وأن العلاقة بينها وبين الزمن الدوري عكسية.
5. استخدام المحاكاة ساعد على إجراء التجارب في زمن قصير وبسهولة، مع إمكانية تكرار تطبيق تجارب المحاكاة عدة مرات، مما وفر الوقت والجهد المبذول لتطبيقها بالطريقة التقليدية.
6. إمكانية استخدام هذه المحاكاة في تدريس دروس البندول في المدارس.
7. في ظل عدم توفر الإمكانيات في المعامل أحياناً، وكذلك الظروف والاحتياجات الخاصة لبعض التجارب، فإن استخدام المحاكاة الحاسوبية مهم للفيزياء.
8. إمكانية انشاء بيئة تعلم تفاعلية يمكن تشغيلها كتطبيقات مستقلة على الأقراص المدمجة.

12- التوصيات:

الاهتمام بالمحاكاة الحاسوبية للمعامل الفيزيائية لما لها من فوائد ومميزات.

المراجع:

- باشا، أحمد فؤاد و البكري، صلاح الدين محمد. (2007). *الفيزياء العملية و تجارب المحاكاة. سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الأساسية*. ط1. القاهرة. دار الفكر العربي.
- حوراني، أشواق عماد. (2014). *أثر توظيف أنشطة تعليمية محوسبة على تحصيل طلبة الصف الثاني ثانوي العلمي في المدرسة الصلاحية الثانوية للبنين/نابلس "في وحدة الحموض و القواعد" واتجاهاتهم نحو التعلم*. نابلس. جامعة النجاح الوطنية كلية الدراسات العليا. متوفر على: https://scholar.najah.edu/sites/default/files/Ashwaq%20Horani.pdf
- الروادي، نعيم. (2007). *استخدام تكنولوجيا المعلومات للتعليم بالمحاكاة: تجربة تعليمية*. سلطنة عُمان . جامعة السلطان قابوس.

- زيتون، حسن حسين. (2005). *رؤيا جديدة في التعليم "التعليم الإلكتروني": المفهوم- القضايا- التطبيق- التقييم*. الرياض. الدار الصولتية للتربية.
- سرايا، عادل. (2007). *تكنولوجيا التعليم المفرد وتنمية الابتكار*. الأردن. دار زائل للنشر.
- سليك، حازم فلاح. (2014). *فيزياء الاهتزازات والأمواج*. غزة. جامعة الأزهر.
- علي، عبد الله حسن. (2010). *استخدام أسلوب المحاكاة في حل بعض نماذج بحوث العمليات*. جامعة بغداد. المجلات الأكاديمية العلمية العراقية، العدد 125، ص 339-368، متوفر على: www.iasj.net
- الفارو، إبراهيم. (2002). *استخدام الحاسوب في التعليم*. ط1. الأردن. دار الفكر للنشر و التوزيع.
- المسعودي، عبير و المزروع، هيا. (2014). *فاعلية المحاكاة الحاسوبية وفق الاستقصاء في تنمية الاستيعاب المفاهيمي في الفيزياء لدى طالبات المرحلة الثانوية*. دراسات العلوم التربوية. 41(1). ص1-8.
- المؤمن، عبد الأمير. (2002). *الفلك والفضاء*. ط1. القاهرة. الدار الثقافية للنشر.
- Aloysius,K.Loo,G.Kim,Y. Lye,S.(2013).*Addressing learning difficulties in Newtonis 1st and 3rd Laws through problem based inquiry using Easy Java Simulation*.Physics Education.5(9).122-133.
- Arvind Rongala(02-05-2015). *Applications of Java Programming Langugage*. Invensis Technologies Retrieved 25-01-2017.Edited.
- Ding ,Yimin& Hao Fang. (2009). *Using a Simulation Laboratory to Improve Physics Learning*. A Case Exploratory Learning of Diffraction Grating," etcs, vol. 3, 2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science.
- Han-Chin,L. & Hsien, S. (2011). *Learning Residential Electrical Wiring through computer Simulation:The Impact of Computer-Based Learning Environments on Student Achievement and Cognitive Load*. British Journal of Educational Technology, 42(4),598-607.