IUGJEPS
Vol 29, No 4, 2021, pp 733 - 746

ISSN 2410-3152

مجلة الجامعة الإسلامية للدراسات التربوية والنفسية

تاريخ الإرسال (2020-07-23)، تاريخ قبول النشر (2020-12-06)

تطور المفاهيم المجردة في ميكانيكا الكم والمفاهيم البديلة المصاحبة لها لدى طلبة كليات العلوم خلال دراستهم الجامعية في فلسطين

اسم الباحث الأول: سحر رايق اسماعيل

اسم الباحث الثاني : د. موسى محمد الخالدي

اسم الجامعة والبلد: دائرة المناهج والتعليم-كلية التربية-جامعة بيرزيت-فلسطين

* البريد الالكتروني للباحث المرسل:

E-mail address: isahar84@gmail.com

https://doi.org/10.33976/IUGJEPS.29.4/2021/31

الملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى وصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم في الجامعات الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة في ميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وكذلك وصف مدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية في أربعة مجالات رئيسية هي: مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري. سعت الدراسة لتحقيق هذه الأهداف من خلال تصميم اختبار تشخيصي للمفاهيم البديلة حول المفاهيم الأربعة استُخدِم في جمع البيانات من عينات ممثلة من طلبة السنة الأولى والرابعة في أربع جامعات رئيسية في فلسطين. كما تم تطوير مقابلة شبه منظمة بهدف التعمق في وصف أنماط فهم الطلبة لهذه المفاهيم المجردة، ومدى تطوّرها خلال دراستهم الجامعية. أظهرت نتائج التحليل الكمي للبيانات تدنّي نسب متوسطات الإجابات الصحيحة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة. كما أظهرت النتائج تفاوت متوسطات النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة في محاور الدراسة الأربعة، كان أعلاها في محور مبدأ اللايقين وأدناها في محور الخاصية اللاحتمية. أمّا نتائج التحليل الكيفي للمقابلات مع طلبة السنة الأولى فأظهرت أنّ معظم الطلبة يحملون أفكاراً كلاسيكية في تفسير فهمهم للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة، بينما خلط معظم طلبة السنة الرابعة بين أفكار كمية وكلاسيكية عكست سطحية فهمهم وتطوره في كثير من الأحيان من الناحية الشكلية والرياضية فقط.

كلمات مفتاحية: الميكانيكا الكلاسيكية، ميكانيكا الكم، تطور المفاهيم المجردة، النظرية البنائية، المفاهيم البديلة.

Development of Students' Abstractive and Alternative Concepts in Quantum Mechanics Through University Education in Faculties of Science in Palestine

Abstract:

The purpose of this study was to explore first and fourth year science faculty students in Palestinian universities understanding of the basic abstractive concepts in quantum mechanics. The research also seeks to trace the development of these concepts over the students' university education in the four main themes of the topic: uncertainty principle, indeterminacy, wave–particle duality, and atomic model. To achieve the research goals, a diagnostic exam was designed to capture with the alternative concepts students carry in the topic. It was used to collect data from a representative sample in three Palestinian universities. Semi-structured interviews were also conducted on a small sample from the body of the students, in order to get a clearer description of students' understanding. The study findings revealed a low average rates for correct answers in the first and fourth year students indicating a fairly low understanding of the topic. Moreover, there was a wide range of desperation in the average rates of alternative concepts held by the students in the topic main themes.

Keywords: Classical mechanics, Quantum mechanics, Abstractive concepts development, Constructivism. Alternative concepts.

المقدمة:

في أوائل القرن العشرين ظهرت ميكانيكا الكم، وبظهورها تم اكتشاف إطار فكري جديد غيّر نظرة العالم للزمان والمكان والحركة وغيرها من المفاهيم الفيزيائية الأساسية، وأضاف إلى علم الفيزياء خصائص جديدة مثل اللاحتمية والاحتمالات (Muller & Wiesner, 2002). يبدأ طلبة المدارس في المرحلة الثانوية في معظم البلدان بتعلّم مواضيع ميكانيكا الكم الأساسية، ثمّ يتم التوسّع بها لاحقا في المرحلة الجامعية (Johansson & Milstead, 2008). وحتى يتمكّن الطلبة من فهم أساسيات ميكانيكا الكم يجب أن يفهموا تاريخها، ومبررات ظهورها، حيث نجحت في تفسير ظواهر فيزيائية أخفقت الميكانيكا الكلاسيكية في تفسيرها (Akarsu, Coskun & Kariper, 2011).

منذ ثلاثة عقود تقريبا بدأ التربويون بدراسة تعليم الفيزياء، وما زالت الأبحاث في هذا الجانب ضعيفة وتحتاج إلى مزيد من البحث والاستقصاء، خاصة في مجال ميكانيكا الكم التي تُعد أحد أهم فروع علم الفيزياء (Akarsu, 2011). تمتاز ميكانيكا الكم باحتوائها على عدد كبير من المفاهيم المعقّدة والمجرّدة في طبيعتها بالتالي يحتاج الطلبة لوقت كافٍ حتى يفهموا معانيها ويُدركوا مفاهيمها بالشكل العلمي الصحيح (Johnston, Crawford & Fletcher, 1998). ونظراً لاحتوائها على تصوّرات ومفاهيم غير مألوفة يواجه الطلبة صعوبات كبيرة في تعلّم واستيعاب مفاهيمها (Ozcan, 2013). كما أنها تحتوي على الكثير من المفاهيم البديلة التي قد تكون مشتركة عالمياً عند الطلبة ولا تقتصر على ثقافة دولة معينة دون الأخرى (Ireson, 1999).

تستند هذه الدراسة إلى النظرية البنائية التي تُعد من أهم النظريات التي أحدثت ثورة عميقة في الأدب التربوي، خُصوصاً مع "جان بياجيه" الذي يرى أنّ للحقيقة عدّة مستويات ولا يمكن أن يشمل أياً منها التمثيل الحقيقي للواقع، وإن كان العالم التقليدي يهتم بالبحث عن الحقيقة الموضوعية وعملية التحقق من صحة المعرفة فيه تتم من خلال مقارنتها مع النسخة المقبولة الموجودة في الواقع، فالنظرية البنائية لا تؤمن بوجود حقائق موضوعية في العالم، ولذلك تهتم بتقديم نماذج للمعرفة وليس للعالم الموجود، كما وتركّز على كيفية بناء الأفراد لهذه النماذج المعرفية (Glaserfeld, 1982) . فالمعرفة عند البنائيين تتمثل بمنظومة النماذج "الأطر" الذهنية التي يكوّنها الأفراد من خلال تفاعلهم مع بيئاتهم، والتي يقومون من خلالها بتفسير الأحداث والظواهر التي تصل إلى إدراكهم، بالتالي الأفراد لا يفسّرون العالم كما هو، وإنما من خلال تلك النماذج (Norman, 1980).

يبني الأفراد مجموعات من المخططات الذهنية "السكيما" لتفسير الظواهر التي تواجههم في حياتهم اليومية، ويتم تدعيمها من خبراتهم الشخصية وبيئتهم الاجتماعية ومنطقهم الخاص(Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994). يرى "بياجيه" (Piaget, 1950) أنّ التفاعل بين الفرد والبيئة يتم من خلال المخططات الذهنية التي تحوّل المعلومات الحسية التي يتلقّاها من البيئة عن طريق الحواس، وهذا التحويل يشوبه الكثير من التحريف والتشويه خلال الطفولة ويتعدّل شيئا فشيئاً ليُصبح أكثر مطابقةً للواقع مع ازدياد ثراء البُنى الذهنية وزيادة إحكامها، بالتالي الفرد لا يتعامل مع الواقع كما هو موجود بالفعل وإنّما يتعامل معه بقدر ما تحوّله بُناه الذهنية من المنبهات الداخلة إليه عن طريق الحواس، ولذلك يعتقد "بياجيه" أنّ المعرفة لا يتم تشرّبها من الخارج بل يُنشئها الفرد من الداخل خلال تفاعله الدائم مع البيئة.

في سياق متصل، ترى البنائية أنّ التعلّم يتم من خلال التكيّف مع البيئة من ناحية وتنظيم الخبرات من ناحية أخرى، ويتحقق التكيّف من خلال مبدأين رئيسيين هما التمثّل والمواءمة وهما عنصران مهمين في النظرية البنائية، كما أنهما تبادليان ويكمّل كل

منهما الآخر، حيث يتم تعديل أي بنية معرفية جديدة عندما تصطدم مع البنى الأخرى الموجودة لتتناسب معها، أو تتم مواءمة البنى الموجودة لتتناسب مع هذه المعرفة الجديدة (Glaserfeld, 1982).

في ذات السياق يشير "درايفر" وآخرون (Driver et.al, 1994) إلى أنّ المعرفة التي يبنيها الطلبة معقّدة في تركيبها حيث تدخل فيها عوامل شخصية واجتماعية وقد تختلف عن المعرفة العلمية الصحيحة فيما يلي:

أولا: تختلف المعرفة العلمية الصحيحة عن المعرفة التي يبنيها الطلبة "البديلة" بما تحتويه كل منها من كيانات، فهناك كيانات تُؤخذ على أنها حقيقية من الخطاب اليومي، ولكنها تختلف عن تلك الموجودة في المجتمع العلمي.

ثانيا: منطق المعرفة التي يبنيها الطلبة لا يستند إلى نظريات علمية محددة وليس له أسس واضحة، أما منطق المعرفة الصحيحة فيتميّز بالارتكاز إلى نظريات علمية تتيح فهمها في ضوء الأدلة والبراهين العلمية، كما ولها صياغة واضحة ومحددة.

ثالثا: طبيعة المعرفة التي يبنيها الطلبة تتميز بأنها براغماتية، حيث يتم الحكم على الأفكار من حيث كونها مفيدة لغرض محدد أو لتفسير حالات محدّدة، أمّا المنطق العلمي الصحيح فلا يرضى بنماذج شخصية مؤقتة تعمل على نطاق ضيّق، وإنما يسعى لبناء صورة عامة ومتماسكة للعالم.

تُعتبر المفاهيم العلمية من أهم نواتج العلم التي بواسطتها يتم تنظيم المعرفة العلمية على أساس ضرورة تعلّم المفاهيم بطريقة صحيحة، خاصة وأنّ المفاهيم العلمية تشكّل كيانات أكبر وأشمل وأعم من الحقائق العلمية، فالمفاهيم وما ينشأ عنها من مبادئ وقوانين ترتبط ببعضها في سلسلة متصلة تكوّن شبكة تشكّل في مجموعها البنية المعرفية للعلم (نشوان، 1989).

أشارت نتائج العديد من الدراسات التي نُشِرت خلال العقدين الماضيين إلى أنّ الطلبة في مختلف المراحل التعليمية يأتون إلى حجرات الدراسة ولديهم تصوّرات وأفكار وتفسيرات خاصة بهم حول بعض المفاهيم والظواهر العلمية، وغالباً ما تتعارض هذه الأفكار والتصوّرات الذهنية التي بحوزتهم مع التصوّرات العلمية الصحيحة التي توصّل إليها العلماء، وتقف عائقاً أمام فهمهم لسلوك العالم الفيزيائي من حولهم، وقد تكون هذه التصورات مفاهيم بديلة، أو أفكار سابقة، أو معتقدات غير علمية، أو أخطاء مفاهيمية، أو غيرها من المسميات الأخرى، ومن الجدير بالذكر أنّ العلماء ينظرون إلى هذه التصوّرات والأفكار البديلة على أنها تصوّرات ساذجة "naïve" بينما الطلبة يُفضّلونها على التصورات العلمية الصحيحة لأنها تبدو أكثر منطقية بالنسبة لهم من المفهوم الصحيح (Demirci, 2005). وهذه التصوّرات والأفكار البديلة التي يحملها الطلبة لا تقتصر على ثقافة معينة، أو جنس معيّن، أو فئة عمرية معينة، أو قدرات عقلية معينة، وإنّما هي ذات صبغة عالمية مشتركة (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994).

يوجد عدّة عوامل تساعد في تعزيز المفاهيم البديلة عند الطلبة، كالاستخدام الآلي لهذه المفاهيم لأنها تصبح مفاهيم إجرائية محفوظة عندهم في اللاوعي، فيتم استخدامها دون إعلان عن ذلك ودون تخطيط مُسبق، وكذلك العلاقات السببية الخاطئة التي يبنيها الطلبة ويتم تدعيمها بمشاهدات من خبراتهم وحياتهم اليومية، وعدم تمييزهم بين اللغة العامية ولغة العلم، كما أنّ العامل النفسي يساعد في إبقاء هذه المفاهيم حيث يرتاح الطالب لتفسير معيّن فيتبناه دون أن يفكّر في أبعاده العقلانية، وهناك مفاهيم بديلة مرتبطة بمعتقدات وثقافات الطلبة لذلك يصعب تغييرها (Hashweh, 1986).يعد التعلّم عملية نشطة وهادفة وفقاً للنظرية البنائية بالتالي فإنّ معرفة الطلاب السابقة تؤثّر بشكل أساسي على عمليات تعلّمهم اللاحقة، وعندما لا تتفق المعرفة السابقة مع

المعرفة العلمية الصحيحة يواجه الطلاب صعوبات في تفسير الظواهر الفيزيائية من حولهم، ويؤدّي ذلك إلى بناء نماذج فهم خاصة بهم وتكوّن مفاهيم بديلة لديهم (Greca & Moreiro, 2001).

لذا قام الباحثان بدراسة تطور فهم طلبة كليات العلوم في الجامعات الفلسطينية لأربعة مفاهيم مجردة في ميكانيكا الكم والمفاهيم البديلة المصاحبة لها، حيث تطرح هذه المفاهيم في المرحلة الثانوية في المدارس ويتلقاها الطلبة المتخصصين في الفيزياء بشكل تفصيلي في مساقات فيزياء الكم أثناء دراستهم الجامعية، وبما أنّ المعرفة السابقة تؤثر بشكل مباشر على عملية التعلّم اللاحقة فإنّ المفاهيم البديلة التي يصطحبها الطلبة من المرحلة الثانوية تؤثر على عملية تعلّمهم في المرحلة الجامعية. وقد قارن الباحثان تطوّر الفهم عند الطلبة ما بين السنة الأولى والرابعة حيث أنّ طلبة السنة الأولى يأتون للجامعات ولديهم تصورات –عن المفاهيم المجردة التي شملتها الدراسة– تم اصطحابها من المرحلة الثانوية، وطلبة السنة الرابعة لديهم تصورات تم تطويرها من خلال سنوات دراستهم الجامعية على مدار أربعة أعوام.

يبدأ الطلبة في فلسطين بتعلّم أساسيات ميكانيكا الكم في المرحلة الثانوية في المدارس ثمّ تُطرح بشكل أعمق في الجامعات للطلبة المتخصصين في مجال الفيزياء، وقد لاحظ الباحثان صعوبة كبيرة في فهم الطلبة لمواضيع ميكانيكا الكم، حيث يتم تدريسها بشكل تقليدي كما أنّها عرضة للكثير من المفاهيم البديلة والخاطئة –خاصة عند طلاب المدارس– لذا تأتي هذه الدراسة لوصف أنماط فهم كل من طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة في ميكانيكا الكم، ومدى تطوّرها لديهم، وكذلك وصف المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها.

مشكلة الدراسة ومبرراتها:

تُعد ميكانيكا الكم من أصعب فروع علم الفيزياء (Johnston, Crawford & Fletcher, 1998; Ozdemir & Erol., 2010; Muller, 2005). فهي تحتاج إلى وقت كافي وجهد كبير حتى يفهمها الطلبة ويُدركوا معانيها بالشكل العلمي الصحيح، ويبدأ الطلبة بتعلّم مفاهيمها الأساسية في كثير من البلدان في المرحلة الثانوية العليا في المدارس (Bao, Michael & Redish, 1999).

هذه الصعوبات في فهم مواضيع ميكانيكا الكم يُعاني منها الطلبة في مختلف المستويات الأكاديمية سواء طلبة المرحلة الثانوية في المدارس، أو طلبة الجامعات، وكذلك المعلمون سواء معلمو ما قبل الخدمة أو المبتدئون أو الخبراء (Akarsu, Coskun & Kariper, 2011). وهي مرتبطة بطبيعة الموضوع، وأساليب التعليم التي يستخدمها المعلمون، وأسس التقييم التي يطرحها المنهاج والتي لا تقيس الفهم الحقيقي للطلبة، والافتقار إلى الأمثلة المادية الملموسة، وكثرة التصوّرات المجرّدة، واعتماد المادة بشكل كبير على الرياضيات المتقدمة، وكذلك على مهارة حل المشكلات التي يفتقر لها الطلبة (Erinosho, 2013). وهذا يجعلها مُثقلة بالمفاهيم البديلة المشتركة عالمياً عندهم (Ireson, 1999).

وقد أكّدت الأدبيات على أهمية دراسة هذا الموضوع (Akarsu, 2011; Johnston, Crawford & Fletcher, 1998; Muller, 2005). فقد أشارت دراسة "مولر" (Muller, 2005) إلى أنّ ميكانيكا الكم أصبحت من أهم المواضيع التي يتم التركيز عليها في الأبحاث التربوية لأنّ الطلبة يواجهون صعوبات كبيرة في فهم مواضيعها. كما أكد ذلك دراستي "أكارسو" Akarsu, (2011) و"جونستون وكروفورد وفليتشر " (Johnston, Crawford & Fletcher, 1998). وأضافت الثانية أنّ الأدب التربوي

يفتقر إلى أبحاث تخصصت في مواضيع محددة في ميكانيكا الكم مثل مبدأ اللايقين والخاصية الازدواجية وغيرها، كما وأكّدت على الحاجة الماسة للقيام بأبحاث حول الموضوع وتوثيقه ليُستفاد منه في تطوير وتحسين تعلّم الفيزياء.

في سياق متصل لمس الباحثان من خلال عملهم أنّ الطلبة يواجهون صعوبات كبيرة في فهم مواضيع ميكانيكا الكم خاصة في المرحلة الثانوية العليا في المدارس، كما أنّ مفاهيم ميكانيكا الكم المجرّدة عرضة للعديد من المفاهيم البديلة والخاطئة عند طلبة المدارس والجامعات، حيث يتم تدريسها بشكل تقليدي بعيداً عن أساليب التعليم الحديثة. كما وجد الباحثان وبعد مراجعة متأنية، إلى أنّ الأدب التربوي الفلسطيني يفتقر لأبحاث في هذا المجال. لذا تأتي هذه الدراسة لتساهم في سد ثغرة في الأدبيات المُتعلقة بهذا الموضوع لأنها – في حدود علم الباحثين – الدراسة الأولى من نوعها في مجال ميكانيكا الكم في فلسطين، كما أنّها تُقدّم تصوّراً لأنماط فهم الطلبة لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلقة بميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وتصف مدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية، ممّا قد يُفيد الخبراء والمُتخصصين بمادة الفيزياء في وزارة التربية والتعليم العالي وفي الجامعات الفلسطينية ويضعهم أمام مسؤولياتهم الأكاديمية وعلى رأسها إعادة النظر في المنهاج ومدى ملائمته مع مستوى الطلبة، وكذلك إعادة النظر في مدى ملائمة أساليب التعليم التقليدية لهذه المادة.

أسئلة الدراسة وأهدافها:

تهدف هذه الدراسة إلى وصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة في ميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وكذلك وصف مدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية في أربعة مجالات رئيسية هي: مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري.

ويتم تحقيق هذه الأهداف من خلال محاولة الإجابة على الأسئلة التالية:

- ما مستوى الفهم لمفاهيم مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم لدى طلبة السنة الأولى والسنة الرابعة في كليات العلوم بالجامعات الفلسطينية؟
- ما المفاهيم البديلة لمفاهيم مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم لدى طلبة السنة الأولى والسنة الرابعة في كليات العلوم بالجامعات الفلسطينية؟
- كيف يصف الطلبة فهمهم لكل من مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم؟

حدود الدراسة ومُحدداتها:

تهدف هذه الدراسة إلى تشخيص المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة، ولا تبحث في أسباب نشوئها.

تقتصر هذه الدراسة على طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية في كل من جامعة بيرزيت وجامعة النجاح الوطنية وجامعة القدس، ولا تشمل جامعات الضفة الأخرى، كما لا تشمل جامعات غزّة نظراً لصعوبة الوصول إليها. كما وتقتصر على المفاهيم الأساسية المتعلقة بميكانيكا الكم التي يبدأ الطلبة بتعلّمها في الصف الثاني عشر العلمي في المدارس، ثمّ تُطرح بشكل أعمق في مساقات الفيزياء في الجامعات للطلبة المتخصصين.

طريقة الدراسة وإجراءاتها:

لغرض وصف مخرجات التعلّم لدى طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية تمّ تحديد المفاهيم الأساسية في ميكانيكا الكم التي يبدأ الطلبة بتعلّمها في المرحلة الثانوية في المدارس، ثمّ يتم طرحها بشكل أعمق في مساقات فيزياء الكم في الجامعات للطلبة المتخصصين في مجال الفيزياء. بعدها تمّ الاطّلاع على الأدبيات والأبحاث التربوية المتعلّقة بموضوع الدراسة، ومن أهمها: دراسة "ستير" (Styer, 1996)، ودراسة " أوزدمير وإيرول " (Ozdemir & Erol, 2010))، ودراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999)، وكذلك دراسة "إيرينشو"(Erinosho, 2013)، ودراسة "أوزكان" (Ozcan, 2013).

ثم تمّ تطوير اختبار يهدف إلى الكشف عن أنماط فهم الطلبة لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة، ومدى تطوّرها لديهم، وتشخيص المفاهيم البديلة التي يحملونها حول هذه المفاهيم والمبادئ المجردة. تمّت الاستعانة بأفكار ومفاهيم بديلة في بناء الاختبار تم تحديدها في دراسات سابقة مثل: دراسة "بيلي وفنكلستين" (Baily & Finkelstein, 2009)، دراسة " أوزدمير و إيرول " (Ozdemir & Erol, 2010)، دراسة "فالك" (Falk, 2007)، دراسة "إيرسون" (Ireson, 2000)، دراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 2002)، وأخيرا دراسة "ستير" (Styer, 1996). الجدول (1) يعرض هذه المفاهيم البديلة.

الجدول 1

المفاهيم البديلة المتعلقة ببعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم

الرقم	المحور	المفهوم البديل
1	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين قائم على عمل قياسات حول القيم الحقيقية –المحددة بشكل مطلق– للكميات الفيزيائية.
2	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات القياس البشري للكميات الفيزيائية.
3	مبدأ اللايقين	Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم.
4	مبدأ اللايقين	Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم.
5	مبدأ اللايقين	مقدار اللايقين يعتمد على حجم الجُسيم.
6	مبدأ اللايقين	عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي.
7	الخاصية اللاحتمية	اللايقين ناتج عن الحركة السريعة للجسيمات دون الذرية.
8	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن عدم وجود كفاءة تكنولوجية.
9	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن وجود أخطاء بشرية في القياس.
10	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن الحركة السريعة للجسيمات والتي تُعيق عملية رصدها.
11	الخاصية اللاحتمية	انطلاقاً من حالة نظام كمي معزول في لحظة ما يمكن التنبؤ بأي كمية فيزيائية نرغب بقياسها لاحقا بدقة مطلقة.

الرقم	المحور	المفهوم البديل
12	الخاصية الازدواجية	كل جُسيم يتكون من شقين منفصلين، أحدهما ذا خواص موجية والآخر ذا خواص جسيمية ولا يمكن أن يعملا معاً.
13	الخاصية الازدواجية	الخاصية الموجية للجسيمات ناتجة عن تذبذبات المادة المكوّنة لها.
14	الخاصية الازدواجية	إمكانية عمل قياسات دقيقة لخواص موجية وجسيمية في نفس الوقت.
15	الخاصية الازدواجية	الخواص الموجية خاصة بالجسيمات المجهرية الصغيرة، والخواص الجسيمية خاصة بالجسيمات المجهرية الكبيرة.
16	الخاصية الازدواجية	الفوتونات عبارة عن تيارات من جسيمات صغيرة تتحرك في مسارات محددة على شكل موجات.
17	الخاصية الازدواجية	الإلكترون عبارة عن جُسيم يُعرف بموضعه وكتلته ويدور حول النواة بسرعة عالية جدا.
18	النموذج الذري	إمكانية رؤية الإنسان لذرة منفردة –بما يشمل مكوناتها الدقيقة– بشكل مباشر إن توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضل في المستقبل.
19	النموذج الذري	الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي.
20	النموذج الذري	الإلكترونات تدور في مدارات لها مواضع محددة بدقة مطلقة حول النواة.
21	النموذج الذري	الإلكترونات تتواجد في الذرة على شكل كرات صغيرة.

يتألف هذا الاختبار من 21 فقرةً تحمل كل فقرة مفهوما بديلا واحدا، تم توزيعها على أربعة محاور رئيسية كالتالي:

المحور الأول: يهدف للكشف عن أنماط فهم الطلبة لمبدأ اللايقين، ويتكون من ست فقرات.

المحور الثاني: يهدف للكشف عن أنماط فهم الطلبة للخاصية اللاحتمية، ويتكون من خمس فقرات.

المحور الثالث: يهدف للكشف عن أنماط فهم الطلبة للخاصية الازدواجية، ويتكون من ست فقرات.

المحور الرابع: يهدف للكشف عن أنماط فهم الطلبة للنموذج الذري، ويتكون من أربع فقرات. والملحق (1) يظهر الأداة بالتفصيل.

وقد تم إعداد هذا الاختبار على شكل اختيار من متعدد، لكل فقرة أربعة بدائل، على الطالب أن يختار بديلاً واحداً فقط وإلاّ تُلغى إجابته ولا تُحتسب، وتتراوح درجات الاختبار من (0– 21)، بحيث يحصل الطالب على علامة واحدة على الفقرة إذا أجاب عنها إجابة صحيحة، ويحصل على صفر إذا كانت إجابته خاطئة.

وقد تم تطبيق الاختبار على عينة عشوائية ممثلة شملت 393 طالب من طلبة السنة الجامعية الأولى غير المتخصصين، و47 طالب من طلبة السنة الجامعية الرابعة المتخصصين في مجال الفيزياء في كليات العلوم في كل من جامعة بيرزيت وجامعة النجاح الوطنية وجامعة القدس. و الجدول (2) التالي يوضّح توزيع عينة الدراسة بالتفصيل.

الجدول 2: توزيع عينة الدراسة

اسم الجامعة	عدد طلبة السنة الأولى	عدد طلبة السنة الرابعة
بيرزيت	149	14
النجاح الوطنية	158	23
القدس	86	10
المجموع	393	47

كما تم تطوير أداة داعمة ثانية وهي مُقابلة من النوع شبه المنظّم semi-structured interview (الملحق 2)، تمّ عقدها مع 28 طالب وجهاً لوجه، منهم 10 طلاب متخصصين في مجال الفيزياء في مستوى السنة الرابعة و18 طالب من غير المتخصصين في مستوى السنة الأولى بهدّف التعمّق في وصف وتحليل أنماط فهم الطلبة للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة ومدى تطورها خلال سنوات دراستهم الجامعية، فالنموذج البنائي الذي ارتكزت عليه الدراسة يرى أنّ للمفهوم الواحد أنماط فهم متعددة عند الطلبة (Baden & Major, 2013). وكذلك فهو عُرضة للكثير من المفاهيم البديلة التي يحملونها، سواء مفاهيم اصطحبوها معهم من البيئة التي يعيشون فيها، أو مفاهيم قاموا ببنائها داخل غرفة الصف (Demirci, 2005)..

للتأكّد من صدق وثبات أدوات الدراسة (الاختبار والمقابلة)، تم عرضهما على سبعة من المحكّمين الخبراء المُتخصصين في مجال ميكانيكا الكم وهم من أساتذة الفيزياء في الجامعات الفلسطينية، وكذلك على أساتذة متخصصين في تعليم العلوم في بعض كليات التربية في فلسطين. كما تم تجريبها على عيّنة استطلاعية من خارج عيّنة الدراسة، ثمّ تم عمل التعديلات اللازمة على الاختبار بناءً على توصيات المحكّمين ونتائج العينة الاستطلاعية، كما تم التأكّد من ثبات أداة الاختبار من خلال حساب معامل الاتساق الداخلي كرونباخ ألفا الذي بلغ 0.6، وهذا يعكس اتساقاً داخلياً معقولاً لفقرات الاختبار في ظل عددها القليل 21 فقرة فقط (Coolican, 2004).

وفي سياق متصل يتعلق بالتحقق من صدق وثبات الدراسة فقد تمّ جمع البيانات باستخدام أكثر من أداة (الاختبار والمقابلة) من أجل التحقق من مدى تطابق أو اختلاف النتائج ومحاولة تفسير مواطن التطابق والاختلاف وهذا تحقيق لما يعرف في الأدب التربوي بالتثليث "Triangulation"، وقد كان هناك توافقاً في نتائج الأداتين حيث أشارت نتائج كل منهما الى القصور الكبير في فهم طلبة السنة الأولى والرابعة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي تخصصت بها الدراسة والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها.

نتائج الدراسة

الإجابة عن السؤال الأول: "ما مستوى الفهم لمفاهيم مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم لدى طلبة السنة الأولى والسنة الرابعة في كليات العلوم بالجامعات الفلسطينية؟"

استخدم الباحثان النسب المئوية لحساب نسبة الطلبة الذين أجابوا إجابة صحيحة على أسئلة الاختبار المتعلق بمفاهيم مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم، والجدول (3) يوضح هذه النتائج.

الجدول 3

متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة لطلبة السنة الأولى والرابعة في كل محور

المحور	متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة لطلبة السنة الأولى البالغ عددهم 393 طالب	متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة لطلبة السنة الرابعة البالغ عددهم 47 طالب
مبدأ اللايقين	%19	%37
الخاصية اللاحتمية	%26	%51
الخاصية الازدواجية	%30	%55
النموذج الذري	%38	%53

أظهرت نتائج التحليل الكمي للبيانات تدنّي نسب متوسطات الإجابات الصحيحة للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة بشكل عام، ويُعد مبدأ اللايقين أكثرها تدنياً عند طلبة السنة الأولى والرابعة، بينما كان أكثر المفاهيم المجرّدة وضوحاً عند طلبة السنة الأولى النموذج الكمي للذرة، وعند طلبة السنة الرابعة الخاصية الازدواجية، ومن الملفت للنظر أنّ التدنّي في متوسط نسب الإجابات الصحيحة عند طلبة السنة الأولى فاق طلبة السنة الرابعة في كل المحاور.

ففي محور مبدأ اللايقين شكلت النسبة المئوية لإجابات طلبة السنة الأولى على البديل المتمثل بأنّ مبدأ اللايقين قائم على تقديم تنبؤات إحصائية مختلفة حول القياسات الممكنة للكميات الفيزيائية وهذه التنبؤات ناتجة عن عدم دقة أدوات القياس فقط 30%، بينما شكلت 23% عند طلبة السنة الرابعة وهذا يدل على خلط نسبة كبيرة من الطلبة بين المفاهيم الكمية والمفاهيم الكلاسيكية فهم يدركون أنّ ميكانيكا الكم تقدّم احتمالات متعددة للقياسات الممكنة ولكن يعزون السبب لأفكار كلاسيكية متمثلة بعدم دقة أدوات القياس.

وفيما يتعلق بمحور الخاصية الازدواجية، يعتقد 25% من طلبة السنة الأولى أنّ الخاصية الموجية للإلكترونات ناتجة عن وجود عناصر مشعة دخلت في تركيبها، وهذا يدل على قصور كبير في فهمهم للخاصية الازدواجية وهذا القصور قد يكون ناتجاً عن نقص المعرفة العلمية الصحيحة، حيث لا يوجد أي علاقة لهذا المفهوم الخاطئ بالمفهوم الصحيح للخاصية الازدواجية. كما ويصف 21% من طلبة السنة الأولى و15% من طلبة السنة الرابعة الإلكترونات على أنّها جسيمات تحمل طاقة هائلة جداً تُمكنها من السير بسرعة الضوء، وهذا يدل على نقص المعرفة العلمية عند الطلبة، حيث لا يمكن لجسيم يمتلك كتلة أن يسير بسرعة الضوء.

وفي محور النموذج الذري، يعتقد 18% من طلبة السنة الأولى أنّ الذرة تتكون من نواة تتمركز في منتصفها وبقية الفراغ المحيط بها ممتلئ تماماً بالإلكترونات ويحمل هذا المفهوم الخاطئ 11% من طلبة السنة الرابعة، وهذا يُظهر افتقار الطلبة لفهم طبيعة الذرة وتكوينها. يُظهر (الملحق 3) النسب المئوية للإجابات الصحيحة لطلبة السنة الأولى والرابعة على فقرات الاختبار في محاوره الأربعة.

الإجابة عن السؤال الثاني: ما المفاهيم البديلة لمفاهيم مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم لدى طلبة السنة الأولى والسنة الرابعة في كليات العلوم بالجامعات الفلسطينية؟" استخدم الباحثان النسب المئوية، والجدول (4) يوضح هذه النتائج.

الجدول 4

متوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كل محور

المحور	متوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة عند طلبة السنة الأولى	متوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة عند طلبة السنة الرابعة
مبدأ اللايقين	%56	%39
الخاصية اللاحتمية	%33	%20
الخاصية الازدواجية	%33	%31
النموذج الذري	%34	%31

أظهرت النتائج أنّ طلبة السنة الأولى والرابعة يحملون مجموعة من المفاهيم البديلة حول المفاهيم والمبادئ الأساسية المجرّدة التي شملتها الدراسة بنسب متفاوتة، كان أعلاها في محور مبدأ اللايقين. كما اتضح أنّ مدى التغلّب على المفاهيم البديلة الخاصة بمحوري النموذج الذري والخاصية الازدواجية ما بين السنة الأولى والرابعة كان منخفضاً إلى حد كبير. كما أظهرت النتائج أنّ معظم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية يصفون فهمهم للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة من خلال البدائل التي تحمل مفاهيم بديلة أو خاطئة، وأوضحت النتائج وجود نسبة قليلة من الطلبة وصفوا فهمهم من خلال البدائل التي تحمل المفاهيم الكمية الصحيحة. فمثلاً يُلاحَظ من نتائج الاختبار أنّ أكثر المفاهيم البديلة شيوعا عند طلبة السنة الأولى اعتقادهم بأنّ Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثلان مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المطلقة لكل من موضع الجُسيم وكمية تحركه، حيث تواجد الأول بنسبة 74%، والثاني بنسبة 73%، بينما شكلت نسبة وجود هذين المفهومين عند طلبة السنة الجامعية الرابعة 40% و45% على التوالي.

كما يتضح من نتائج الاختبار أنّ أكثر المفاهيم البديلة شيوعا عند طلبة السنة الرابعة يتمثل في أنّ عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي، وقد تواجد بنسبة 72%، بينما كانت نسبة توفر هذا المفهوم البديل عند طلبة السنة الجامعية الأولى 63%. أمّا المحور الخاص بالنموذج الذري فبرز فيه المفهوم البديل المتمثّل بأنّ الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي كأكثر المفاهيم البديلة شيوعاً عند طلبة السنة الأولى والرابعة، وقد ارتفعت نسبة وجوده عند طلبة السنة الرابعة فشكّلت 62% بينما شكلت 46% عند طلبة السنة الأولى.

الإجابة عن السؤال الثالث: "كيف يصف الطلبة فهمهم لكل من مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم؟"

قام الباحثان بالإجابة عن هذا السؤال من خلال تحليل نتائج المقابلة حول فهم الطلبة لمفاهيم مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة المتعلقة بها.

بينت نتائج المقابلة، والتي تضمنت مجموعة من الأسئلة المفتوحة المقننة حول هذه المفاهيم، أن هناك قصور كبير في فهم طلبة السنة الأولى والرابعة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي تخصصت بها الدراسة والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وأظهرت مدى سطحية الفهم عندهم، ففي كثير من الأحيان كان التطور في الفهم من السنة الجامعية الأولى إلى الرابعة شكلي وليس حقيقي،

حيث استخدم الطلبة مصطلحات كمية وفسروها تفسيراً كلاسيكياً. **فقد** وصف أحد الطلبة فهمه لمبدأ اللايقين قائلا: *"ينص مبدأ اللايقين على عدم القدرة على تحديد موضع الجسيم وكمية تحركه بدقة عالية في نفس الوقت، وقياس أي كمية يؤثر على قياس الأخرى، فكلما زادت الدقة في تحديد أحد الكميات تقل في تحديد الأخرى"*، وفي تفسير السبب قال: *"يوجد عدم دقة في القياس ناتجة عن أدوات القياس أو طريقة القياس نفسها، أخطاء بشرية وأخطاء من الأدوات"*، وقد ذكر هذا الطالب مضيفا: *"مبدأ اللايقين مرتبط بالكفاءة التكنولوجية إلى حد ما عند عمل مقارنات بين الحسابات النظرية والعملية، وسيبقى القانون مهم مهما تطورت أدوات القياس، لأنه ستبقى هناك نسبة خطأ في القياس حتى ولو نسبة قليلة جدا"*، وفي سياق توضيح علاقة مقدار اللايقين بحجم الجسيم أشار إلى أنّ: *"الجسيمات الكبيرة نسبيا يمكن تحديد أماكن تواجدها بدقة 100% بينما الصغيرة لا يمكن، بالتالي يعتمد مقدار اللايقين على الحجم"*.

وفيما يتعلّق ب اللاحتمية فقد وصفها أحد الطلبة كما يلي: *"اللاحتمية تعني عدم القدرة على التحديد المطلق وبالتالي ميكانيكا الكم قائمة على تقديم احتمالات للقيم الممكنة"*، وعند تفسير السبب قال: *"السبب في ذلك يعود إلى نقص الكفاءة التكنولوجية والحركة السريعة للجسيمات ممّا يُصعّب عملية رصدها بدقة"*، وفيما يتعلق بإمكانية التنبؤ بوضع النظام المستقبلي انطلاقا من وضعه الحاضر قال: *"يرى علماء الكم أنهم غير قادرين على وضع نظام مستقبلي يعرفون من خلاله أين يقع الجزيء وفي أي مستوى فالتكنولوجيا لم تساعد حتى الآن في ذلك"*، وهذا يؤكّد على أنّ معرفة الطلبة للمفهوم لا تعني بالضرورة فهمهم له، فقد تكون المعرفة سطحية وقد تكون عميقة.

وحول مفهوم الخاصية الازدواجية ذكر أحد الطلبة أنّ السبب وراء تغيير نظرة نيوتن الجسيمية للضوء: *"السرعة الكبيرة لهذه الجسيمات"*، وعندما سئل عن إمكانية أن يمتلك الإلكترون خواص موجية قال: *"هذا الكلام خطأ، لا يمكن للإلكترون أن يكون موجة فهو جسيم"*، وقال مفسراً للخاصية الازدواجية: *"كلما صغر الجسم ازداد طول موجته وبالتالي يتصرف كموجة، أما عندما يكون كبير يتصرف كجسيم"*، وأشار إلى أنّ الجديد الذي أضافته الخاصية الازدواجية إلى علم الفيزياء: *"النظرة للجسيمات على أنها تتصرف موجات وجسيمات، بعضها يتصرف كموجات وبعضها يتصرف كجسيمات"*.

وفيما يتعلق بالنموذج الذري فقد وصفه أحد الطلبة قائلاً: *"معظم حجم الذرة فراغ، تتمركز النواة في وسطها وشحنتها موجبة، ويوجد شحنة سالبة تدور حولها في مدارات، وتمكن بور من حساب نصف قطرها"*، وعند وصف الإلكترونات ذكر أنها: *"جسيمات صغيرة تدور حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس"*، أمّا المدارات فيرى أنها *"مسارات دائرية تتحرك فيها الإلكترونات ولها أبعاد محددة عن النواة، تخضع لقانون توزيع الإلكترونات من حيث عددها في كل مدار، نسيت القانون"*.

مناقشة النتائج والتوصيات:

يمكن إجمال تفسير أنماط فهم الطلبة بأنّ طلبة السنة الجامعية الأولى الذين تعلّموا الميكانيكا الكلاسيكية على مدار مراحل تعلمهم في المدارس – المرحلة الأساسية والمرحلة الإعدادية والمرحلة الثانوية – لم يستبدلوها بأفكار ميكانيكا الكم التي طُرحت في إحدى الوحدات الدراسية المقررة في كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر العلمي بسهولة، خاصة وأنّ معظم الطلبة – كما ذكروا في المقابلات – حفظوا هذه المادة في المرحلة الثانوية ولم يفهموها، بالتالي لم يتمكّنوا من بناء نماذج ذهنية تمثل الفهم العلمي السليم لها، أمّا طلبة السنة الجامعية الرابعة فيمكن أن يُعزى هذا الخلط في المفاهيم بين الأفكار الكمية والكلاسيكية عندهم إلى نمط التدريس التلقيني المُستخدم في جامعاتنا الفلسطينية – كما ذكروا في المقابلات – وإلى صعوبة الموضوع وافتقار الطلبة إلى فهمه

السليم عالمياً كما اتضح من الأدب التربوي المتعلق بالموضوع. وكذلك إلى المفاهيم البديلة التي تعيق بناء الطلبة لنماذج ذهنية سليمة للمفاهيم الكمية، كما إنّ هناك عدم إدراك من قبل الكثير من الطلبة لجوانب القصور في الميكانيكا الكلاسيكية وهذا يعزز احتفاظهم بالأفكار الكلاسيكية ويجعلهم يقاومون تغييرها، وقد ذكر "ستراياك و بوسنر" (Strike & Posner,, 1982) أنّ عملية التغيير المفاهيمي لا يمكن أن تتم بنجاح دون أن يدرك الطلبة جوانب القصور في المفاهيم التي يحملونها، ولن يُغيّروا مفاهيمهم التي تشكّل جزءاً مُهماً من استراتيجيات تفكيرهم إلاّ إذا شعروا بعدم الرضا عنها.

تتفق نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسات عالمية متعددة رغم اختلاف منهجيتها ومنها دراسة "ديدس وإيرلماز وإيركوك " (Didis, Eryılmaz & Erkoc,, 2010)، دراسة "فليتشر وجونستون"(Fletcher & Johnston, 1999)، دراستي "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999) و "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 2002) ، دراسة "أوزكان" (Ozcan, 2013)، دراسة "كاليسكان وسيلجك وإيرول " (Calıskan, Selcuk & Erol,, 2009)، وكذلك دراستي "أولسن" (Olsen, 2002) و"سينغ" (Singh, 2001).

مستوى تعميم نتائج الدراسة: من الممكن تعميم نتائج هذه الدراسة على طلبة السنة الأولى غير المتخصصين وطلبة السنة الرابعة المتخصصين في مجال الفيزياء في كافة الجامعات الفلسطينية، خاصة وأنّ طرائق التدريس والظروف التي تحيط بالطلبة في هذه الجامعات متشابهة إلى حد كبير، والبنية التحتية للمختبرات متشابهة أيضا. ومن الجدير ذكره أيضا أنّ القصور في الفهم وشيوع المفاهيم البديلة حول مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة هو نمط عالمي كما اتضح من مراجعة بعض الدراسات السابقة (Bao & Redish, 2002; Ireson, 1999; Muller & Wiesner, 1999; Muller & Wiesner, 2002; Styer, 1996). وبالتالي فمن المبرر تعميم نتائج هذه الدراسة لتشمل كافة الجامعات الفلسطينية وربما العربية.

توصيات الدراسة: في ضوء نتائج الدراسة يمكن الخروج بمجموعة من التوصيات العملية وأخرى لدراسات مستقبلية يمكن إجمالها بما يلي:

توصيات عملية:

تدعو الدراسة وزارة التربية والتعليم العالي لإعادة النظر في الكم الهائل من المفاهيم التي تُطرح في مساقات ميكانيكا الكم المتقدمة في الجامعات وكذلك في كتاب الفيزياء المقرر للصف الثاني عشر العلمي ومدى توافقها مع مستوى الطلبة. كما تدعو وزارة التربية والتعليم لتطوير الأجزاء التي تتناول هذه المفاهيم من منهاج الصف الثاني عشر العلمي، وإعادة صياغتها بالشكل العلمي السليم، حيث تطرح فيها المفاهيم بشكل عشوائي وغير متسلسل، وكثير من النصوص تحتاج إلى إعادة كتابة، فهي مصاغة بشكل غير دقيق علمياً، ويساعد في تعزيز وجود بعض المفاهيم البديلة عند الطلبة والتي تؤثّر بشكل مباشر على عمليات تعلّمهم اللاحقة في الجامعات، وتعيق فهمهم للمفاهيم بالشكل العلمي السليم، خاصة النصوص التي تتحدّث عن مبدأ اللايقين والخاصية الازدواجية. كما أظهرت نتائج الدراسة الحاجة الماسة لتطوير خطط علاجية للمفاهيم البديلة حول الموضوع، بحيث تعتمد نهج التغيير المفاهيمي بطريقة صحيحة منبثقة من أدبيات التغيير المفاهيمي الحديثة.

توصيات لدراسات مستقبلية:

توصي الدراسة بإجراء دراسة تبحث في المفاهيم البديلة التي يحملها معلمو الفيزياء في الجامعات والمدارس الفلسطينية حول مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة. كما هناك حاجة لدراسات تبحث في أسباب نشوء المفاهيم البديلة المتعلقة بمبدأ اللايقين والخاصية

اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري عند الطلبة. وفي نفس السياق تبرز الحاجة لإجراء دراسة تسعى لتطوير استراتيجية تغيير مفاهيمي مناسبة لمعالجة هذه المفاهيم البديلة الأربعة التي شملتها الدراسة وتطبيقها ودراسة أثرها على مساعدة الطلبة في التخلص من هذه المفاهيم البديلة. أخيرا توصي الدراسة بإجراء دراسة كيفية تصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة.

المصادر والمراجع:

نشوان، يعقوب (1989). *الجديد في تعليم العلوم*. عمّان: دار الفرقان.

Akarsu, B. (2011). Instructional designs in quantum physics: A critical review of research. *Asian Journal of Applied Sciences*, 4(2), 112-118.

Akarsu, B., Coskun, H. & Kariper, A. (2011). An investigation on college students' conceptual understanding of quantum physics topics. *Journal of Social Sciences Institute*, 8(15), 349-362.

Baden, M. & Major, C. H. (2013). *Qualitative research: The essential guide to theory and practice*. Routledge: London and New York.

Baily, C. & Finkelstein, N. (2009). Development of quantum perspectives in modern physics. *Physical Review ST Physics Education Research*. 5, 2-8.

Bao, L. & Redish, E. (2002). Understanding probabilistic interpretations of physical systems: A prerequisite to learning quantum physics. *American Journal of Physics*, 70(3), 210-217.

Bao, W., Michael, R. & Redish, E. (1999, March). *The influence of student understanding of classical physics when learning quantum mechanics*. A paper presented at Invited Presentation, NARST Annual Meeting. University of Maryland: College Park.

Calıskan, S., Selcuk, G. & Erol, M. (2009). Student understanding of some quantum physical concepts. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(2), 2002-2006.

Coolican, H. (2004). *Research Methods and Statistics in Psychology* (4th Ed). London: Hodder Headline.

Demirci, N. (2005). A study about students' misconceptions in force and motion concepts by incorporating a web-assisted physics program. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 4(3), 40-48.

Didis, N., Eryılmaz, A. & Erkoc, S. (2010). Pre-service physics teachers' comprehension of quantum mechanical concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(4), 227-235.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.

Erinosho, S. (2013). How do students perceive the difficulty of physics in secondary school: An exploratory study in Nigeria. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education*, 3(3), 1510-1515.

Falk, J. (2007). *Students' depictions of quantum mechanics: A contemporary review and some implications for research and teaching*. licentiate thesis. Uppsala University: Uppsala, Sweden.

Fletcher, P. & Johnston, I. (1999). Quantum mechanics: Exploring conceptual change. In D. Zollman (Ed.), *Research on teaching and learning quantum mechanics* (pp. 28-31). Papers

presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching (NARST).

von Glaserfeld, E. V. (1982). An interpretation of Piaget's constructivism. *Revue Internationale de Philosophie*, 36(4), 612-635.

Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2001). Mental physical and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86, 106–121.

Hashweh, M. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.

Ireson, G. (1999). A multivariate analysis of undergraduate physics students' conceptions of quantum phenomena. *European Journal of Physics*, 20, 193-199.

Ireson, G. (2000). The quantum understanding of pre-university physics students. *Physics Education*, 35(1), 15-21.

Johansson, K. & Milstead, D. (2008). Uncertainty in the classroom teaching quantum physics. *Physics Education*, 43(2), 173-179.

Johnston, I., Crawford, K. & Fletcher, P. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal Science Education*, 20(4), 427-446.

Muller, D. (2005). Inside the quantum mechanics lecture: Changing practices. *American Journal of Physics*, 70(3), 218-226.

Muller, R. & Wiesner, H. (1999). Students' conceptions of quantum physics. In D. Zollman (Ed.), *Research on teaching and learning quantum mechanics* (pp. 20-22). Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching (NARST).

Muller, R. & Wiesner, H. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level. *American Association of Physics Teachers*, 70(3), 200-2009.

Nashwan, Y. (1989). *The New in Science Instruction*, Amman, Dar Al Forqan,

Norman, D. (1980). Twelve issues for cognitive science. *Cognitive Science*, 4, 1-32.

Olsen, R. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *International Journal Science Education*, 24(6), 565–574.

Ozcan, O. (2013). Investigation of mental models of Turkish pre-service physics students for the concept of spin. *Egitim Arastirmalari-Eurasian Journal of Educational Research*, 52, 21-36.

Ozdemir, E. & Erol, M. (2010). Teaching uncertainty principle by hybrid approach: Single slit diffraction experiment. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(3), 474-480.

Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. London: Routledge & Paul.

Singh, C. (2001). Student understanding of quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 69(8), 885-895.

Strike, K. & Posner, G. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4(3), 231-240.

Styer, D. (1996). Common misconceptions regarding quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 64, 31-34.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science, In D.L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning, Macmillan Publishing Company* (pp. 177-210). New York: Macmillan Publishing Company.