كلية الدراسات العليا

كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم؟

How do First and Fourth Year Palestinian University Students in Science Faculties Describe Their Understanding of Some Abstractive Concepts and Principles in Quantum Mechanics?

إعداد

سحر حسين رايق اسماعيل

إشراف

د. موسى الخالدي

جامعة بيرزيت – فلسطين

أيار 2016

كلية الدراسات العليا

كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم؟

How do First and Fourth Year Palestinian University Students in Science Faculties Describe Their Understanding of Some Abstractive Concepts and Principles in Quantum Mechanics?

إعداد

سحر حسين رايق اسماعيل

إشراف

د. موسى الخالدي – رئيساً

د. أحمد الجنازرة – عضواً

د. حسن عبد الكريم – عضواً

قدّمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات درجة الماجستير في التربية (توجه تعليم العلوم) من كلية الدراسات العليا

جامعة بيرزيت – فلسطين

أيار 2016

كلية الدراسات العليا

كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم؟

How do First and Fourth Year Palestinian University Students in Science Faculties Describe Their Understanding of Some Abstractive Concepts and Principles in Quantum Mechanics?

إعداد

سحر حسين رايق اسماعيل

اللجنة المشرفة	التوقيع
د. موسى الخالدي – رئيساً	.....
د. أحمد الجنازرة – عضواً	.....
د. حسن عبد الكريم – عضواً	.....

أيار 2016

"إنّي رأيتُ أنّه ما كَتَبَ أحَدُهُم في يَومِهِ كِتاباً إلا قالَ في غَدِهِ، لو غُيّرَ هذا لَكانَ أَحسن ولَو زُيّدَ ذاكَ لَكانَ يُستَحسن، ولَو قُدِّمَ هذا لكانَ أفضل، ولو تُرِكَ ذاكَ لَكانَ أجمل، وهذا مِن أعظَمِ العِبر، وهو دَليلٌ على استيلاءِ النّقْصِ على جُملَةِ البَشر"

عبد الرحيم البيساني

الإهداء

إلى الذين رسموا لنا طريق النصر لا بكلماتهم بل بدمائهم وصدق تضحياتهم، قناديل السماء المسرجة بالدماء الطاهرة والأنفس الزكية، الشهداء نبض قلوبنا وعز تاريخنا.

إلى الذين أعدّوا فأرعبوا المحتل وعلّموه أنّ ما أخِذ بالقوة لا يُسترد إلاّ بالقوة، المرابطين على ثغور هذا الوطن الحبيب.

إلى الذين حُرموا النور ليرسموا لنا طريق النور، أسيراتنا وأسرانا في سجون الاحتلال الغاشم.

إلى الذين مهدّوا لي طريق العلم، وذللوا لي الصعاب، ورافقتني دعواتهم الصالحة، فكان لهم الفضل بعد الله فيما وصلت إليه، عائلتي الكريمة وأخص بالذكر أمي الحبيبة وأبي الغالي.

إلى اللواتي يحملن القرآن في قلوبهنّ، وينشرن الفضيلة بأخلاقهنّ، صاحبات الهمم العالية، من أرى بيارق النصر في عيونهنّ والأمل والإيمان يغمر قلوبهنّ، من ضمهنّ مشروع تاج الوقار القرآني وجمعهنّ تحت ظلاله فمنحوني الفرصة لأحيا معهم هاتفاً قلبي قبل لساني:

(وَقُلْ رَبِّي زِدْنِي عِلْماً)

إلى أخواتي في الله اللواتي غرسن في قلبي همّة وأملاً ويقيناً بأنني أستطيع أن أصل إلى هذا الإنجاز فوصلت بفضل الله ثمّ بفضل دعمهنّ المتواصل

إلى التوّاقين للعلم في مشارق الأرض ومغاربها

أهدي رسالتي هذه

شكر وتقدير

الحمد لله الذي وفقني وسدد خطاي وأعانني على إتمام هذه الرسالة، فلك الحمد يا ربي ولك الشكر.

وبعد الحمد لله وانطلاقاً من قول رسولنا الكريم صلّ الله عليه وسلم: (من لا يشكر الناس لا يشكر الله) أتوجه بأسمى كلمات الشكر والتقدير والعرفان لمشرف رسالتي الرائع الدكتور موسى الخالدي الذي تفضّل عليّ بقبول الإشراف على الرسالة، ومنحني من كنوز علمه وإخلاص متابعته خطوة بخطوة ما أعانني على الاستمرار والمضي قدما وصولاً إلى إتمامها، فلولا متابعته وحرصه المستمر ما وصلت إلى هذا الإنجاز.

وبعدها فالشكر موصول للدكتور ماهر الحشوة الذي وضع معي حجر الأساس الأول لهذه الرسالة فأعانني على اختيار الموضوع، وأسدل لي النصح ووجهني نحو الطريق، وللجنة المناقشة الدكتور أحمد الجنازرة والدكتور حسن عبد الكريم على جهودهم وتشجيعهم وملاحظاتهم القيّمة في بداية الطريق ونهايته.

كما ويطيب لي أن أتقدم بجزيل الشكر والامتنان للهيئة التدريسية الرائعة في كلية التربية، وأخص بالذكر الدكتورة علا الخليلي والدكتور نادر وهبة لما كان لهم من أثر مميز في حياتي الأكاديمية.

ويوجب عليّ الاعتراف بالفضل أن أشكر دائرة الفيزياء في جامعة القدس على جهودهم الرائعة، وتعاونهم الكبير وأخص بالذكر الدكتور سلمان سلمان، والبروفيسور عماد البرغوثي.

وختاماً أشكر كل من ساعدني من قريب أو بعيد ولو بكلمة أو دعوة في ظهر الغيب.

قائمة المحتويات

الرقم	الموضوع	الصفحة
	الإهداء	ث
	شكر وتقدير	ج
	قائمة المحتويات	ح
	قائمة الجداول	ر
	قائمة الأشكال	ز
	قائمة الملاحق	س
	الملخص باللغة العربية	ش
	الملخص باللغة الإنجليزية	ض
	الفصل الأول: مشكلة الدراسة وإطارها النظري	
1:1	مقدمة	1
1:2	الإطار النظري	2
1:3	مشكلة الدراسة	11
1:4	أهداف الدراسة وأسئلتها	12
1:5	أهمية الدراسة ومبرراتها	13
1:6	تعريف المصطلحات	15
1:7	حدود الدراسة ومُحدداتها	15
1:8	افتراضات الدراسة	16
	الفصل الثاني: مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة ذات العلاقة	
2:1	مقدمة	17
2:2	الصعوبات التي يواجهها الطلبة في تعلّم مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة	17
2:3	المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة	21

الرقم	الموضوع	الصفحة
2:4	أثر أسلوب التدريس المُستخدم على فهم الطلبة لمواضيع ميكانيكا الكم المختلفة	25
2:5	ملخص الدراسات السابقة	29
	الفصل الثالث: منهجية الدراسة وتصميم البحث	
3:1	مقدّمة	31
3:2	منهجيّة الدراسة	31
3:3	مجتمع الدراسة	32
3:4	عيّنة الدراسة	32
3:5	أدوات الدراسة	33
3:6	صدق وثبات الأدوات	38
3:7	إجراءات الدراسة	41
3:8	المعالجة الإحصائية	42
3:9	ملخص الفصل	44
	الفصل الرابع: نتائج الدراسة	
4:1	مقدّمة	46
4:2	وصف فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم	47
4:3	المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري ومقارنتها بين طلبة السنة الأولى والرابعة	49
4:3:1	المفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى حول المفاهيم والمبادئ المجردة المتعلقة بمبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري	56

الرقم	الموضوع	الصفحة
4:3:2	المفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الرابعة حول المفاهيم والمبادئ المجردة المتعلقة بمبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري	59
4:4	وصف فهم الطلبة لكل من مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة	63
4:4:1	وصف فهم الطلبة لمبدأ اللايقين ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة	65
4:4:2	وصف فهم الطلبة للخاصية اللاحتمية ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة	68
4:4:3	وصف فهم الطلبة للخاصية الازدواجية ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة	71
4:4:4	وصف فهم الطلبة للنموذج الذري ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة	74
4:5	تفسير مفاهيم ومعتقدات الطلبة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري	77
4:5:1	تفسير مفاهيم ومعتقدات طلبة السنة الجامعية الأولى حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري	78
4:5:2	تفسير مفاهيم ومعتقدات طلبة السنة الجامعية الرابعة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري	81
4:6	ملخص الفصل	87
	الفصل الخامس: مناقشة النتائج والتوصيات	
5:1	مقدمة	89

الرقم	الموضوع	الصفحة
5:2	أنماط فهم الطلبة في كليات العلوم الفلســـطينية لبعض المفاهيم والمبـادئ المجرّدة المُتعلّقـة بميكـانيكـا الكم ومقـارنتهـا بين طلبـة السنة الأولى والرابعة	91
5:3	المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مبدأ اللايقين والخاصـية اللاحتمية والخاصـــية الازدواجية والنموذج الذري ومقارنتها بين طلبة السنة الأولى والرابعة	95
5:4	وصـــف فهم الطلبة لكل من مبدأ اللايقين والخاصـــية اللاحتمية والخاصـــيّة الازدواجية والنموذج الذري ومدى تطوره بين الســـنة الأولى والرابعة	99
5:5	مستوى تعميم نتائج الدراسة	102
5:6	التوصيات	103
5:6:1	توصيات عملية	103
5:6:2	توصيات لدراسات مستقبلية	104
6	قائمة المراجع	106
7	الملاحق	112

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
3.1	توزيع عيّنة الدراسة	32
3.2	المفاهيم البديلة المتعلقة ببعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم	33
4.1	متوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كل محور	50
4.2	النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري	51
4.3	النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الأولى وعدد الطلبة الذي يحملون كل مفهوم	56
4.4	النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الرابعة وعدد الطلبة الذين يحملون كل مفهوم	60
4.5	متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة لطلبة السنة الأولى والرابعة في كل محور	64

قائمة الأشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
4.1	متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة في كل محور من محاور الاختبار عند طلبة السنة الأولى والرابعة	48
4.2	متوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كل محور	49
4.3	النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري	55

قائمة الملاحق

الرقم	العنوان	الصفحة
1	اختبار التصـــوّرات البديلة حول المفاهيم والمبادئ المجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم	112
2	أسئلة المقابلة حول مستوى فهم الطلبة ومعتقداتهم نحو المفاهيم والمبادئ المجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم	118
3	جدول النسب المئوية للإجابات الصحيحة لطلبة السنة الأولى والرابعة على فقرات الاختبار في محاوره الأربعة	121
4	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور مبدأ اللايقين	123
5	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور مبدأ اللايقين	123
6	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية اللاحتمية	124
7	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية اللاحتمية	124
8	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية الازدواجية	125
9	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية الازدواجية	125
10	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور النموذج الذري	126
11	وصـــف إجابات طلبة الســـنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور النموذج الذري	126

ملخص الدراسة

كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم؟

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 (Uncertainty Principle) والخاصية اللاحتمية (Indeterminacy) والخاصيّة الازدواجية (Wave–Particle Duality) والنموذج الذري (Atomic Model).

سعت الدراسة لتحقيق هذه الأهداف من خلال محاولة الإجابة على السؤال الرئيسي التالي: كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟ وللإجابة على هذا السؤال تم توظيف المنهج الكمي الوصفي التحليلي من خلال تصميم اختبار تشخيصي للمفاهيم البديلة حول المفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة استُخدِم في جمع البيانات من عينات ممثلة من طلبة السنة الأولى والرابعة في جامعات بيرزيت والنجاح الوطنية والقدس. كما تم توظيف المنهج الكيفي من خلال تطوير مقابلة شبه منظمة بهدف التعمق في وصف وتحليل أنماط فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة، ومدى تطورها خلال سنوات دراستهم الجامعية. وقد تم التأكّد من صدق وثبات الأدوات من خلال عرضها على مجموعة من المحكمين وتجريبها على عيّنة استطلاعية من خارج

عينة الدراســـة، كما تم حســـاب معامل الاتســـاق الداخلي كرونباخ ألفا لإجابات الطلبة على بنود الاختبار التي بلغت 0.6.

أظهرت نتائج التحليل الكمي للبيانات تدنّي نسـب متوسـطات الإجابات الصـحيحة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شـملتها الدراسـة. كما وأظهرت النتائج تفاوت متوسـطات النسـب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة في محاور الدراسة الأربعة، كان أعلاها في محور مبدأ اللايقين وأدناها في محور الخاصــية اللاحتمية، وأشــارت إلى أنّ مدى التغلّب على المفاهيم البديلة الخاصــة بمحوري النموذج الذري والخاصية الازدواجية ما بين السنة الأولى والرابعة كان منخفضاً إلى حد كبير.

أمّا نتائج التحليل الكيفي للمقابلات مع طلبة الســـنة الأولى فأظهرت أنّ معظم الطلبة يحملون أفكاراً كلاسيكية في تفسير فهمهم للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة، بينما خلط معظم طلبة السـنة الرابعة بين أفكار كمية وكلاسـيكية عكسـت سـطحية فهمهم وتطوره في كثير من الأحيان من الناحية الشكلية والرياضية فقط.

يمكن القول بأنّ ما توصلت إليه هذه الدراسة يتوافق إلى حد كبير مع نتائج بعض الدراسات الإقليمية والعالمية التي تمت مراجعتها، والتي أكدّت على أنّ الطلبة في جميع المســـتويات الأكاديمية يعانون من قصـور في فهم مواضـيع ميكانيكا الكم، ومن المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها. بناء على هذه النتائج خرجت الدراسـة بمجموعة من التوصـيات العملية للأسـاتذة وصُـنّاع السـياسـات في الجامعات الفلسطينية، وأخرى لدراسات مستقبلية.

Abstract

How do First and Fourth Year Palestinian University Students in Science Faculties Describe Their Understanding of Some Abstractive Concepts and Principles in Quantum Mechanics?

The purpose of this study was to explore first and fourth year science faculty students in Palestinian universities understanding of the basic abstractive concepts and principles in quantum mechanics, and the potential alternative concepts they hold about the topic. The research also seeks to trace and describe the development of these concepts over the students' university education from first year level up till their fourth year in study in the four main themes of the topic: uncertainty principle, indeterminacy, wave–particle duality, and atomic model.

The research was configured around the following research question: How do first and fourth year university students in science faculties describe their understanding of some abstractive concepts and principles in quantum mechanics? To achieve the research goals, a diagnostic quantitative exam was designed to capture with the alternative concepts students might carry in the topic. It was used to collect data from a representative sample in three

Palestinian universities: Birzeit, Al Najah and Al-Quds. Semi-structured interviews were also developed and conducted on a small sample from the body of the students who answered the exam, in order to get a clearer description and analysis of students' various range of understanding, and the potential reasons behind these alternative concepts in the body of the students. The research instruments validity and reliability was confirmed by a group of specialized arbitrators. They were also tested on a pilot before the final application of them on the body of the whole sample. Internal consistency of the sample answers was measured. It gave a 0.6 Cronbach Alpha coefficient value.

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; the highest rate was in uncertainty principle while the lowest was in indeterminacy. The results indicated that first and fourth year students rate of alternative concept were almost similar around wave particle duality and atomic model.

The results of qualitative analysis of the interviews demonstrated that most first year students hold classic ideas in describing their understanding of the

abstractive concepts and principles, while most of fourth year students mixed up between quantum and classical ideas.

The result of this study were in line with the results of other regional and international studies that had been reviewed for the sake of the study, which confirmed that students at all academic levels suffer from lack of a mature understanding of the topics of quantum mechanics and carry some alternative concepts. Based on these results, the study ended up with some recommendations for practice and for future studies.

الفصل الأول: مشكلة الدراسة وإطارها النظري

1:1 مقدمة

ظهرت ميكانيكا الكم في أوائل القرن العشرين، وتحديداً النظرية النسبية "لآينشتاين"، ولم يكن ظهورها مُجرّد اكتشاف لنظرية جديدة، وإنما اكتشاف لإطار فكري جديد تماماً غيّر نظرة العالم للزمان والمكان والحركة وغيرها من المفاهيم الفيزيائية الأساسية، كما وأحدث نقلة نوعية في علم الفيزياء وأضاف إليه خصائص جديدة كان من أهمها الخاصية اللاحتمية (Muller & Wiesner, 2002).

يبدأ طلبة المدارس في كثير من البلدان بتعلّم مواضيع ميكانيكا الكم الأساسية في المرحلة الثانوية، ويتم التوسّع في تعلّمها لاحقاً 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 متعددة ومهمة أخفقت الميكانيكا الكلاسيكية في تفسيرها (Akarsu, Coskun & Kariper, 2011).

بدأ التربويون بدراسة تعليم الفيزياء منذ ثلاثة عقود تقريباً، وما زالت الأبحاث في هذا الجانب تُصنّف على أنها ضعيفة وتحتاج إلى مزيد من البحث والاستقصاء، خاصة في مجال ميكانيكا الكم التي تُعد أحد أهم فروع علم الفيزياء (Akarsu, 2011). تحتوي ميكانيكا الكم على عدد كبير من المفاهيم المعقّدة والمجرّدة في طبيعتها والتي لا يمكن أن يفهمها الطلبة بسهولة خلال وقت قصير، وإنما هم بحاجة إلى وقت كافي حتى يفهموا معانيها ويُدركوا مفاهيمها بشكل صحيح (Crawford, Fletcher & Johnston, 1998). ونظراً لاحتوائها على تصوّرات ومفاهيم غير مألوفة يواجه

الطلبة صـعوبات كبيرة في تعلّمها واسـتيعاب مفاهيمها (Ozcan, 2013). كما أنّها عرضـة للعديد من المفاهيم البديلة التي قد تكون مشـتركة عالمياً عند الطلبة ولا تقتصـر على ثقافة دولة معينة دون الأخرى (Ireson, 1999).

وفقاً للنظرية البنائية فالتعلّم هو عملية نشـطة وهادفة، وبالتالي تؤثّر معرفة الطلبة السـابقة بشـكل أساسـي على عمليات تعلّمهم اللاحقة، وعندما تكون هذه المعرفة السـابقة مرتبطة بمفاهيم فيزيائية لا تتفق مع المعرفة العلمية الصـحيحة يواجه الطلبة صـعوبات في تفسـير الظواهر الفيزيائية من حولهم، ويؤدّي ذلك إلى بناء نماذج فهم خاصـة بهم ونشـوء مفاهيم بديلة لديهم (Greca & Moreira, 2001). ولنسـاعد الطلبة للوصـول إلى الفهم العلمي السـليم لمواضـيع ميكانيكا الكم من المهم أن نعرف المفاهيم البديلة الشائعة التي يحملونها حولها (Muller & Wiesner, 2002).

لهذا تأتي هذه الدراسـة لوصـف أنماط فهم طلبة السـنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسـطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وكذلك وصف مدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية في أربعة مجالات رئيسية هي: مبدأ اللايقين (Uncertainty Principle) والخاصية اللاحتمية (Indeterminacy) والخاصية الازدواجية (Wave–Particle Duality) والنموذج الذري (Atomic Model).

1:2 الإطار النظري

تستند هذه الدراسة إلى النظرية البنائية لأنّها تتفق مع أهدافها المتمحورة حول وصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة

بميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وكذلك وصف مدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية.

تُعتبر نظرية التعلّم البنائية من أهم النظريات التي أحدثت ثورة عميقة في الأدبيات التربوية، خُصوصاً مع "جان بياجيه" الذي أثرى دراسات التطور الذهني بحقائق علمية جديدة، واستخدم مفاهيم مختلفة عن تلك التي كانت مألوفة في ذلك الوقت، فقد تمكّن من الغوص عميقاً في دراسة كيفية إدراك الأطفال لما يدور حولهم ليرسم بعدها الهيكل العام لعمليات بنائهم للمعرفة (von Glaserfeld, 1982). تُعد البنائية نظرية فلسفية في المعرفة والتعلّم تهتم بالبنية العقلية للمتعلم، وتبحث في كيفية بناء معاني المعرفة فيها، كما وتؤكد على أن الأفراد يبنون معارفهم الجديدة في ضوء خبراتهم التي مرّوا بها سابقاً (Floden & Prawat, 1994).

يُؤكد "فون جلاسرفلد" (von Glaserfeld, 1989) على أنّ النظرية البنائية تركز في تفسيرها لعملية التعلّم وإنتاج المعرفة على مبدأين رئيسيين: فهي ترى أنّ المتعلّم لا يستقبل المعرفة استقبالاً سلبياً وإنما يبنيها بناءً نشِطاً، وكذلك تنظر للتفكير على أنّه وظيفة تكيفية يتم من خلالها تنظيم المُدركات الموجودة في العالم الخارجي في أطر ذهنية قادرة على تفسير هذا العالم، وقد أطلق على المبدأ الأول اسم البنائية الساذجة، ورأى في المبدأ الثاني الموقف الفلسفي للبنائية الذي يتجاوز قضية الوجود الموضوعي للحقيقة، فمن المستحيل أن يصل التفكير البشري لتلك الحقيقة، لأنّ الإنسان يفهم العالم من حوله ويفسره من خلال النماذج الذهنية التي يبنيها بشكل شخصي عن هذا العالم أثناء تفاعله المباشر مع بيئته، بالتالي المعرفة العلمية لا تنفصل عن ذات العارف.

وفي ذات السياق يرى "بياجيه" أنّ للحقيقة عدّة مستويات ولا يمكن أن يشمل أياً منها التمثيل الحقيقي للواقع، وإن كان العالم التقليدي يهتم بالبحث عن الحقيقة الموضـــوعية وعملية التحقق من صـــحة المعرفة فيه تتم من خلال مقارنتها مع النسـخة 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 (von Glaserfeld, 1982). فالمعرفة عند البنائيين تتمثل بمنظومة النماذج "الأطر" الذهنية التي يكوّنها الأفراد من خلال تفاعلهم مع بيئاتهم، والتي يقومون من خلالها بتفسـير الأحداث والظواهر التي تصـل إلى إدراكهم، بالتالي الأفراد لا يفسـرون العالم كما هو، وإنما من خلال تلك النماذج (Norman, 1980). لذا تنظر هذه النظرية للبعد الشخصـي بأهمية كبيرة فهو يؤثر بشكل أساسـي ومباشـر على كيفية بناء الأفراد لمعارفهم الخاصـة (von Glaserfeld, 1989).

يبني الأفراد مجموعات من المخططات الذهنية "السـكيما" لتفسـير الظواهر التي تواجههم في حياتهم اليومية، ويتم تدعيمها من خبراتهم الشـــخصـــية وبيئتهم الاجتماعية ومنطقهم الخاص (Asoko, Driver, Leach, Mortimer & Scott, 1994). يُعرّف "بياجيه" (Piaget, 1950) المخططات الذهنية "السكيما" على أنّها وحدات الفهم العقلية الافتراضية ذات العلاقات المعقدة مع بعضها البعض والتي تسمح بتصنيف المعلومات والخبرات الجديدة التي يتعرض لها الأفراد، وتنظيمها بصورة عقلية في عالمهم الفكري الخاص. كما ويفترض أنّ المعارف عبارة عن بُنى وتراكيب ذهنية ذات علاقات داخلية، وتشـــكل هذه البُنى والتراكيب قواعد للتعامل مع المعلومات يتم عن طريقها تنظيم البيئة المُحيطة بالفرد، وهذا يعني أنّها تقوم بدور هام في عملية تكيّفه مع البيئة وتمثّل نظاماً عقلياً منظّماً

يوجّه سـلوكه (von Glaserfeld, 1982). يميّز "بياجيه" (Piaget, 1950) بين ثلاثة أنواع من المعرفة التي يجب أن تكون حاضرة في جميع مراحل التطوّر المعرفي للفرد وهي:

1) المعرفة المادية: هذا النوع من المعرفة يمكن اكتسابه عن طريق التفاعل المباشر مع عناصر البيئة.

2) المعرفة المنطقية الرياضية: هذا النوع من المعرفة ينتج من الاستدلال المنطقي المجرد وليس له علاقة بالتفاعلات المادية المحسوسة.

3) المعرفة الاجتماعية: هذا النوع من المعرفة يتم اكتسابه من خلال التفاعل الاجتماعي مع الآخرين، ويمتاز بأنّ له خصوصية ثقافية.

هذه الأنواع الثلاثة من المعرفة تعمل في جميع مراحل التطّور المعرفي وهي ليست موجودة بشكل هرمي في الطبيعة كمراحل "بياجيه" المقترحة للنمو.

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.

وفي 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 عنصرين بالغي الأهمية في النظرية البنائية (von Glaserfeld, 1982). فالتكيّف يستند إلى الاعتقاد بأن بناء المعرفة عملية ذاتية نشطة ومستمرة، فإذا تفاعل الشخص مع البيئة وحصل تناقض بين المعلومات الجديدة الموجودة فيها وبنيته الذهنية فإنّه أمام خيارين، إمّا أن يغيّر نظرته للبيئة من أجل الحصول على معلومات جديدة مطابقة للبنية الذهنية الموجودة عنده، أو أنّ بنيته الذهنية نفسها تتغير لتوائم المعرفة الجديدة، يُطلق على العملية التي يأخذ فيها الفرد الأحداث الخارجية ويوحّدها مع بنيته الذهنية الموجودة التمثّل، وتتضمّن تعديل المثيرات والخبرات الخارجية لتتفق مع البنى المعرفية السابقة الموجودة لدى الفرد، أمّا المواءمة فهي عملية تعديل للتراكيب والبُنى الذهنية الموجودة لدى الفرد لتتناسب مع المعلومات والخبرات الجديدة، بالتالي تتضمّن تطوير مخططات تتفق مع خصائص الخبرات الجديدة (Piaget, 1950). وهاتين العمليتين تبادليتين وتكمّل كل منهما الأخرى، 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 (von Glaserfeld, 1982). كما ويرى "بياجيه" (Piaget, 1950) أنّ الإدراك هو ثمرة التفاعل بين العقل والبيئة، فنتيجة لهذا التفاعل يتحقق التوازن بين المخططات الذهنية "السكيما" ومتطلبات البيئة.

في ذات السياق يشير "أسوكو" وآخرون (Asoko 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 الصـــحيحة 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 ليس له أسس واضحة، ولا يستند إلى نظريات علمية محددة، أما منطق المعرفة العلمية الصحيحة فيتميّز بصياغة واضحة ومحددة، وبالارتكاز إلى نظريات علمية تتيح فهمها في ضوء الأدلة والبراهين العلمية.

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.

التعلّم في ضـوء النظرية البنائية يأخذ بعدين، هما البُعد الشـخصـي والبعد الاجتماعي الثقافي، البعد الشخصي ينظر للتعلّم على أنه عملية فحص نشط للنماذج الذهنية التي يحملها المتعلّم، وقدرته على تفسير ما يحدث في البيئة المحيطة به، ويحدث في سياق هذه العملية مجموعة من العمليات الجزئية تتمثل بإثراء هذا النموذج الذهني من خلال إضـــافة أبعاد جديدة إليه، أو إعادة بناء نماذج ذهنية جديدة إن كان هناك قصـور في النموذج الموجود، أو تحسـين النموذج الذهني الموجود في ضـوء التفسيرات الجديدة، أما البعد الاجتماعي الثقافي فيرى أنّ التعلّم يحدث في إطار اجتماعي وثقافي من خلال إعادة صـياغة المعرفة الشـخصـية بمفردات الثقافة الرمزية الخاصـة بالمجتمع (الخالدي، 1998). أما فيما يتعلق بعلاقة التعلّم بالسـياق فيرى البنائيون أنّها علاقة جوهرية لا خلاص منها، وذلك لأن مدى تمسّـك الفرد بالنماذج الذهنية التي يحملها يعود إلى كفاءة تلك النماذج في تفسـير

المعلومات التي يستقيها من البيئة، ومن هنا يبرز دور عملية الاحتواء الثقافي في تطوير وإعادة بناء هذه النماذج من خلال إبراز جوانب قصورها عن طريق تقديم معلومات تتحدى قدرتها على التفسير، وهذا ما يعرف في الأدب التربوي باستراتيجيات التغيير المفاهيمي (Bell & Driver, 1986).

يرى "فون جلاســـرفلد" (von Glaserfeld, 1989) أنّ للنظرية البنائية تطبيقات تربوية لا بد من الوقوف عليها وهي:

1) الفصل الجذري بين الإجراءات التعليمية القائمة على التعلّم من أجل الفهم، وتلك التي تهدف إلى التكرار والتلقين فقط.

2) ضـرورة تركيز الباحثين في المجال التربوي وكذلك المُربين على كيفية تفكير الطلبة ومحاولة فهم ما يدور في أذهانهم، بدلاً من التركيز على الاستجابات والردود العلنية السطحية.

3) ضـــرورة إدراك المعلمين أنّ المعرفة لا تنتقل للطلبة من خلال التواصـــل اللغوي فقط، فاللغة تُستخدم كأداة تساعد في توجيه عمليات بناء الطلبة لمعارفهم.

4) الحاجة الماسّــة لأن يبذل المعلمون جُهوداً كبيرة لمعرفة منطق الطلبة الخاص الذي يســعون من خلاله لتفسير العالم من حولهم، وكذلك استكشاف أنماط فهمهم الخاطئة، للمساهمة في تسليط الضوء على كيفية فهم وتنظيم هؤلاء الطلبة لعالمهم التجريبي.

5) إعادة النظر في عملية التعلّم في ضوء النظرية البنائية، فهي عملية لا تهدف فقط إلى استكشاف نماذج فهم الطلبة للمفاهيم، وإنّما لإيجاد طرق ووسائل لتعديلها أيضاً، وهذا ما ركّز عليه "بياجيه" ويجب أن تركز عليه الأبحاث التربوية.

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).

إنّ المفاهيم في مادة الفيزياء متدرّجة ويتلقّاها الطلبة في صفوفهم المدرسية المختلفة على التوالي، حيث ينمو المفهوم شيئاً فشيئاً حتى يزداد عمقاً وتجريداً كلما ارتفع المستوى التعليمي الذي يُعطى فيه، أي أنّ المفاهيم لا تُدرّس مرة واحدة وبصورة تامة، بل تستمر دراستها على امتداد سنوات وبتطوّر يناسب تطوّر نمو المتعلم (الشربيني ويسري، 2000). تُعتبر المفاهيم التي تُطرح في ميكانيكا الكم من أكثر المفاهيم الفيزيائية صعوبةً في التعلّم (Akarsu, 2011). والسبب في ذلك هو التمثيلات والنماذج الذهنية التي يبنيها الطلبة لهذه المفاهيم، والتي تعمل في الخارج كتمثيلات هيكلية، تقوم بتفسير منطق الأفراد الخاص عند محاولتهم فهم الخطاب وتفسيره والتنبؤ بسلوك العالم الفيزيائي من حولهم (Greca & Moreira, 2001).

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 التصـــوّرات والأفكار البديلة على أنها تصـــوّرات ســـاذجة "naïve" بينما الطلبة يُفضّـــلونها على التصـــورات العلمية الصـــحيحة لأنها تبدو أكثر منطقية بالنســـبة 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 صـــبغة عالمية مشتركة (Mintzes, Novak & Wandersee, 1994).

يوجد عدّة عوامل تساعد في تعزيز المفاهيم البديلة عند الطلبة، كالاستخدام الآلي لهذه المفاهيم لأنها تصـــبح مفاهيم إجرائية محفوظة عندهم في اللاوعي، فيتم اســـتخدامها دون إعلان عن ذلك ودون تخطيط مُســبق، وكذلك العلاقات الســببية الخاطئة التي يبنيها الطلبة ويتم تدعيمها بمشـــاهدات من خبراتهم وحياتهم اليومية، وعدم تمييزهم بين اللغة العامية ولغة العلم، كما أنّ العامل النفســـي يســـاعد في إبقاء هذه المفاهيم حيث يرتاح الطالب لتفســـير معيّن فيتبناه دون أن يفكّر في أبعاده العقلانية، وهناك مفاهيم بديلة مرتبطة بمعتقدات وثقافات الطلبة لذلك يصعب تغييرها (Hashweh, 1986).

وبما أن البنائية تنظر للتعلّم على أنه عملية تغيير مفاهيمي، فإنها تعالج التصـوّرات البديلة من خلال استراتيجيات التغيير المفاهيمي. يوجد عدّة استراتيجيات للتغيير المفاهيمي ومنها استراتيجية "بوسنر وستريك" (Posner & Strike, 1982) التي ترى أنّ عملية التغيير المفاهيمي للمفهوم البديل الذي يحمله الطالب تتم وفق الخطوات التالية:

الخطوة الأولى: تتمثل بخلق حالة من عدم الرضـــا عن المفهوم الحالي، فالطالب لن يُغيّر مفاهيمه التي تشكّل جزءً مُهماً من استراتيجيات تفكيره إلاّ إذا شعر بعدم الرضا عنها.

الخطوة الثانية: تتمثل بتوضيح المفهوم الجديد للطالب، فالطالب لن يسعى لاستكشاف المفهوم الجديد إلاّ إذا شعر بحد أدنى من الميل نحوه.

الخطوة الثالثة: تتمثل برفع قيمة المفهوم الجديد والتقليل من قيمة المفهوم البديل عند الطالب من خلال عرض المفهوم الجديد كمفهوم قادر على تفسير ظاهرة عجز عنها المفهوم البديل.

الخطوة الرابعة: تتمثل بإحداث تغيير مفاهيمي ذي فهم عميق عند الطالب، وهذا يتطلّب عدم الاكتفاء بعرض المفهوم الجديد كمفهوم مناسب لحل معضلة عجز عنها المفهوم البديل، وإنما يتجاوز ذلك إلى إظهار القوة التفسيرية والتنبؤية للمفهوم الجديد.

1:3 مشكلة الدراسة

تُعد ميكانيكا الكم من أصعب فروع علم الفيزياء (Crawford, Fletcher & Johnston, 1998; Erol & Ozdemir, 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).

بناءً على ما تقدّم يمكن تحديد مشكلة الدراسة بصعوبة تعلّم واستيعاب الطلبة لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم ومنها مبدأ اللايقين (Uncertainty Principle) والخاصية اللاحتمية (Indeterminacy) والخاصيّة الازدواجية (Wave–Particle Duality) والنموذج الذري (Atomic Model). وبالتالي تأتي هذه الدراسة لتصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية لهذه المفاهيم والمبادئ المجرّدة، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وكذلك لتصف مدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية.

1:4 أهداف الدراسة وأسئلتها

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 السؤال الرئيسي التالي:

كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟

ومنه تنبثق الأسئلة الفرعية التالية:

– ما هي المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول بعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم؟

– كيف يصف الطلبة فهمهم لكل من مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم؟

– ما مدى تطّور فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة خلال سنوات دراستهم الجامعية (ما بين السنة الأولى والرابعة)؟

1:5 أهمية الدراسة ومبرراتها

تم اختيار هذا الموضوع بالاستناد بشكل جزئي إلى خبرة الباحثة كمتخصصة في مجال الفيزياء، حيث كانت فيزياء الكم من أكثر المواضيع التي يواجه الطلبة صعوبة في فهمها. وقد أكّدت الأدبيات على أهمية دراسة هذا الموضوع (Akarsu, 2011; Crawford, Fetcher & Johnston, 1998; Muller, 2005). أكّدت دراسة "مولر" (Muller, 2005) أنّ ميكانيكا الكم قد أصبحت مؤخّراً من أهم المواضيع التي يتم التركيز عليها في الأبحاث التربوية لأنّ الطلبة يواجهون صعوبات كبيرة في فهم مواضيعها. واتفقت معها دراستي "أكارسو" (Akarsu, 2011) و"كروفورد وفليتشر وجونستون" (Crawford, Fletcher & Johnston, 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 أنّ القيام بأبحاث من هذا النوع مهم جداً ويجب توثيقه ليُســـتفاد منه في تطوير وتحسين تعلّم الفيزياء.

ولهذه الدراسة أهمية أخرى كونها تُساهم في سد ثغرة في الأدبيات المُتعلقة بهذا الموضوع، لأنها – في حدود علم الباحثة – الدراسة الأولى من نوعها في مجال ميكانيكا الكم في فلسطين، كما أنّها تُقدّم تصــوّراً لأنماط فهم الطلبة لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلقة بميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وتصـــف مدى تطوّرها لديهم خلال ســـنوات دراســـتهم الجامعية، ممّا قد يُفيد الخبراء والمُتخصـــصـــين بمادة الفيزياء في وزارة التربية والتعليم العالي وفي الجامعات الفلســـطينية 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.

وقد يُفيد اختبار المفاهيم البديلة الذي أعدّته الباحثة في إثراء برامج تأهيل معلمي الفيزياء، من خلال المســـاعدة في الكشـــف عن المفاهيم البديلة التي يحملها هؤلاء المعلمون وبالتالي اتخاذ الإجراءات المناسبة لمعالجتها حتى لا تنتقل إلى طلبتهم.

تم اختيار مجالات الدراسة الأربعة التالية: مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري لأنها تعد من أهم أساسيات ميكانيكا الكم التي يبدأ الطلبة بتعلّمها في الصف الثاني عشـــر العلمي في المدارس، ثمّ تُطرح بشـــكل أعمق في مســـاقات الفيزياء في الجامعات للطلبة المتخصصين في مجال الفيزياء.

1:6 تعريف المصطلحات

تتضـمن الدراسـة مجموعة من المصـطلحات والمفاهيم الأسـاسـية التي يتم تعريفها إجرائياً في هذه الدراسة كما يلي:

المفهوم البديل (Misconception): هو المفهوم الذي يتكوّن أثناء محاولة الفرد فهم الظواهر الكونية بناءً على خبراته الذاتية والاجتماعية، وقد يختلف بشـكل كُلّي أو جزئي عن المفهوم العلمي الصحيح (الخالدي، 1998).

أفكار الميكانيكا الكلاسيكية: هي الأفكار القائمة بشكل أساسي على النموذج الكلاسيكي، وتسمح باستنتاج سير الحركة المستقبلية على أساس معرفة الظروف الابتدائية.

أفكار ميكانيكا الكم: هي الأفكار القائمة بشكل أساسي على النموذج الكمي، ولا تسمح باستنتاج سير الحركة المستقبلية على أساس معرفة الظروف الابتدائية.

1:7 حدود الدراسة ومُحدداتها

1) تقتصر هذه الدراسة على طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية في كل من جامعة بيرزيت وجامعة النجاح الوطنية وجامعة القدس، ولا تشـمل جامعات الضـفة الأخرى، كما لا تشمل جامعات غزّة نظراً لصعوبة الوصول إليها.

2) تقتصر هذه الدراسة على المفاهيم الأساسية المتعلقة بميكانيكا الكم التي يبدأ الطلبة بتعلّمها في الصـف الثاني عشـر العلمي في المدارس، ثمّ تُطرح بشـكل أعمق في مسـاقات الفيزياء في الجامعات للطلبة المتخصصين.

3) تهدف هذه الدراســـة إلى تشـــخيص المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة، ولا تبحث في أســـباب نشوئها.

1:8 افتراضات الدراسة

تفترض الدراسة أنّ طلبة السنة الجامعية الأولى في كليات العلوم الفلسطينية لديهم معرفة مسبقة عن المفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة، حيث تعرّضوا لها في مادة الفيزياء في الصف الثاني عشر العلمي، ولم يتعرضوا لها في مساقاتهم الجامعية، أمّا بالنسبة لطلبة السنة الرابعة فيُفترض أنهم قد تعرضوا لمساقات ميكانيكا الكم أثناء دراستهم الجامعية.

بعد أن تم الحديث في هذا الفصل عن مشكلة الدراسة وأهدافها وأسئلتها وأهميتها ومبرراتها وحدودها ومحدداتها وافتراضاتها وكذلك تعريف المصطلحات وإطارها النظري بالتفصيل، يتم في الفصل التالي مراجعة الأدبيات ذات العلاقة بموضوع الدراسة.

الفصل الثاني: مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة ذات العلاقة

2:1 مقدمة

هدفت هذه الدراســة إلى وصــف أنماط فهم طلبة الســنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلســطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، وكذلك وصــف مدى تطوّرها لديهم خلال ســنوات دراســتهم الجامعية. لتحقيق هذه الأهداف سعت الدراسة للإجابة على السؤال الرئيسي التالي: كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلســطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟ ومجموعة من الأسئلة الفرعية المنبثقة منه، وفي هذا الفصل تتم مراجعة الدراسات السابقة التي وردت في الأدب التربوي بما يتناسب مع أهداف الدراسة وأسئلتها، وعرضها ضمن المحاور الرئيسية التالية:

المحور الأول: الصعوبات التي يواجهها الطلبة في تعلّم مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة.

المحور الثاني: المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة.

المحور الثالث: أثر أسلوب التدريس المُستخدم على فهم الطلبة لمواضيع ميكانيكا الكم المختلفة.

2:2 الصعوبات التي يواجهها الطلبة في تعلّم مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة

بالرغم من أنّ ميكانيكا الكم أحدثت نقلة نوعية في علم الفيزياء إلاّ أنّها زادت من صــــعوبات تعلّمه، وذلك لكثرة المفاهيم المجرّدة وغير البديهية فيها، إضـافة إلى بنيتها الرياضـية المعقّدة، لذا جاءت هذه الدراسة لاستكشاف مستويات فهم الطلبة للمفاهيم الأساسية التي تعد من مسلّمات ميكانيكا الكم، تم جمع البيانات من خلال عمل مقابلات مع اثنين من معلمي ما قبل الخدمة المتخصـصـين في مجال

الفيزياء، استمرت كل مقابلة ما يقارب أربعين دقيقة، ثمّ تم تحليل البيانات بشكل كيفي، وأشارت النتائج إلى افتقار هؤلاء المعلمين إلى الفهم العلمي السليم للمفاهيم الأساسية التي تعد من مسلمات ميكانيكا الكم، وقد ظهر ذلك من خلال طريقة وصفهم لبعض الظواهر الكمية، إضافة إلى خلطهم بين المفاهيم الصحيحة والخاطئة في بعض الأحيان، ممّا أدّى إلى استخدامهم للمفاهيم بشكل متبادل وعشوائي (Didis, Erkoc & Eryılmaz, 2010).

وفي ذات السياق قام "فليتشر وجونستون" (Fletcher & Johnston, 1999) بتطوير أداة مسحية لاستكشاف المفاهيم التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى بعد إتمامهم لمساقات ميكانيكا الكم المطلوبة منهم، تتكون هذه الأداة من أربعة أسئلة تركز على المفاهيم الأساسية التالية: الظاهرة الكهروضوئية، اللايقين، طبيعة الأمواج وطبيعة مستويات الطاقة، تم تطبيق الدراسة على 231 طالب فيزياء في جامعة سيدني، ثمّ تم تحليل البيانات باستخدام طريقة التحليل الفينومينولوجي، وأشارت النتائج إلى أن فهم الطلبة للمفاهيم الجديدة التي طُرحت في مساقات ميكانيكا الكم سطحي، وغالبيتهم يحتفظون بالمفاهيم التي اصطحبوها معهم من المرحلة الثانوية في المدارس دون أن يطوّروا عليها، ولا يوجد أي ترابط بين مفاهيم الطلبة السابقة التي تعلموها في المرحلة الثانوية في المدارس والمفاهيم الجديدة التي تعلموها في السنة الجامعية الأولى، بالتالي قدرة هؤلاء الطلبة على تكوين نماذج ذهنية للمفاهيم الجديدة كانت متدنية، وقد واجهوا صعوبات كبيرة باستخدام النماذج الكمية الجديدة في تفسير البيانات التي قُدّمت لهم، ورغم أنّ هذه الدراسة وفّرت قاعدة أساسية للمساعدة في استكشاف المزيد من الأسئلة حول هذا الموضوع، إلاّ أنها اعتمدت على الردود الخطية فقط، مما لا

يتيح المجال للتأكّد من مدى توافق تفسير الباحثين لما كتبه الطلبة مع ما قصدوه وما يدور فعلاً في أذهانهم، وهذا كان من أوجه قصورها.

أمّا دراسة "كاليسكان وإيرول وسيلجك" (Caliskan, Erol & Selcuk, 2009) لم تكن عامة كما في الدراستين السابقتين وإنما تحدثت عن مفاهيم محددة منها مفهومي الاحتمالية واللاحتمية ومبدأ اللايقين. يُعد مفهومي الاحتمالية واللاحتمية ومبدأ اللايقين من أكثر المواضيع التي يواجه الطلبة عالمياً صعوبة في فهمها (Bao & Redish, 2002). أشارت دراسة "كاليسكان وإيرول و وسيلجك" (Caliskan, Erol & Selcuk, 2009) التي تم تطبيقها على 71 طالب اجتازوا مساقات ميكانيكا الكم بنجاح في جامعة أزمير إلى أنّ الطلبة يواجهون صعوبة في فهم عدم القدرة على تحديد موضع الإلكترون، ومدى توافق ذلك مع احتمالية وجوده في منطقة محددة، فهم لا يدركون أنّ نظرية الكم تحدد فقط احتمالية وجوده في موضع معين في الفراغ وهذا ليس تحديداً مطلقاً له، والسبب الرئيسي في ذلك هو محاولة الطلبة تفسير عالم الجسيمات من خلال إسقاط خصائص الأجسام التي تُرى بالعين المجردة عليه وهذا غير ممكن طبعاً. لذلك علينا أن نكون حذرين عند تدريس الطلبة مبدأ اللايقين، فهو يحتاج إلى اهتمام خاص لأنّ الأفكار التي تطرح فيه غير نمطية وتبدو بالنسبة لهم متناقضة مع واقعهم الذي يعيشونه، ومتناقضة أيضاً مع ما درسوه وعرفوه سابقاً في الميكانيكا الكلاسيكية بالتالي لا يتقبلوها بسهولة (Johansson & Milstead, 2008).

ومن المُلفت للنظر دراسة "هيروسكوفت وموريرا وبانتوجا" (Herscovitz, Moreira & Pantoja, 2012) التي تم تطبيقها على ستة من طلبة الماجستير المتخصصين في تعليم الفيزياء، وتوصلت إلى أنّهم يواجهون صعوبات في تعلّم بعض مفاهيم ميكانيكا الكم. وهذا يدل على أنّ هذه الصعوبات

في فهم مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة يعاني منها الطلبة في مختلف المستويات الأكاديمية، فتشمل طلبة المرحلة الثانوية، وطلبة الجامعات، وكذلك المعلمين بما فيهم معلمي ما قبل الخدمة والمبتدئين والخبراء (Akarsu, Coskun & Kariper, 2011).

وقد جاءت دراسة "إيرينشو" (Erinosho, 2013) لتلخص أسباب الصعوبات التي يواجهها الطلبة في فهم مفاهيم ميكانيكا الكم وموضوعاتها المختلفة، والتي تتمثل بطبيعتها المُعقّدة، وكيفية تدريس المعلمين لها، وأسس التقييم التي يطرحها المنهاج والتي لا تقيس الفهم الحقيقي للطلبة – فهذه المادة تحتاج إلى أساليب تقييم غير تقليدية – والافتقار إلى أمثلة ملموسة، وكثرة التصورات المجردة، واعتماد المادة بشكل كبير على الرياضيات المتقدمة، وكذلك على مهارة حل المشكلات التي يفتقر لها الطلبة. إضافة إلى عدم إدراك الطلبة للعلاقة التبادلية بين الفيزياء والرياضات، بالتالي ينظرون لميكانيكا الكم على أنها رياضيات معقدة، وهذا يجعلهم يفتقرون إلى فهم معانيها الفيزيائية (Caliskan, Erol & Selcuk, 2009).

وفي سياق متصل أشار" باو ومايكل وريديش" (Bao, Michael & Redish, 1999) إلى أنّ العديد من مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية تعد مُتطلّب لفهم هدف ومغزى نظريات ميكانيكا الكم، وإن لم يدرك الطالب جوانب القصور في الميكانيكا الكلاسيكية لن يُدرك أهمية دراسة ميكانيكا الكم، ولن يُقدّر الإضافات المهمة التي أضافتها إلى علم الفيزياء ولن يفهمها بالشكل الصحيح. وقد اتفقت معهم دراستي "أولسن" (Olsen, 2002) و"سينغ" (Singh, 2001) فبالرغم من أنّ الأولى تم تطبيقها على 236 طالب من طلبة المرحلة الثانوية في عشرين مدرسة في النرويج، والثانية تم تطبيقها على 89 طالب من ست جامعات مختلفة، توصلّت الدراستين إلى أنّ الطلبة يفتقرون وبشدة إلى فهم

مفاهيم ميكانيكا الكم، إضـــافة إلى أنهم يحملون مفاهيم بديلة حول هذا الموضـــوع تعود جذورها إلى افتقارهم للفهم العميق لمواضـيع الفيزياء الكلاسـيكية. وأضـافت الدراسـة الثانية أنّه بالرغم من أنّ طلبة الجامعات يتعلمون حل معادلة "شـرودنجر" مع إمكانيات معقدة وشـروط محددة في مسـاقات ميكانيكا الكم المتقدمة، إلاّ أنّ الكثيرين منهم يعانون من قصـــور في فهم مفاهيم ميكانيكا الكم الأســـاســـية، وقامت بتقسـيم أوجه القصـور المعرفي عندهم إلى ثلاثة مسـتويات: الأول يتمثّل بنقص المعرفة حول مفهوم معين، أمّا الثاني فيتمثّل بالمعرفة التي يتم اســترجاعها من الذاكرة ولا تُفسّــر بالشــكل العلمي الصـــحيح لأنّ الطالب قد حفظها ولم يفهمها، والثالث يتمثّل بالمعرفة التي يتم اســترادادها وتفســيرها على المستوى الأساسي ولا يمكن استخدامها لاشتقاق استنتاجات منها، لأن الطالب قد فهمها بشكل سطحي ولم يفهمها بعمق.

بالتالي يمكن القول بأنّ الصـعوبات التي يواجهها الطلبة في فهم مواضـيع ميكانيكا الكم المختلفة أدّت إلى وجود قصـــور حقيقي في الفهم عندهم، وهذا القصـــور في الفهم غير مرتبط بعمر محدد، حيث يعاني منه طلبة المرحلة الثانوية في المدارس وكذلك طلبة الجامعات بما فيهم طلبة الماجســـتير، والمعلمون أيضـاً. الدراسـات السـابقة كانت مفيدة ولكنّها ستكون أكثر فائدة لو تخصـصـت في وصـف الصـعوبات التي يواجهها الطلبة في فهم مفاهيم معينة في ميكانيكا الكم مثل دراسـة "كاليسكان وإيرول وسيلجك" (Caliskan, Erol & Selcuk, 2009).

2:3 المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة

بما أنّ الصـــعوبات التي يواجهها الطلبة في فهم مواضـــيع ميكانيكا الكم المختلفة مشـــتركة عالمياً عندهم، فإنّ المفاهيم البديلة التي يحملها هؤلاء الطلبة حول مفاهيم ميكانيكا الكم تُعد أيضـا مشـتركة

عالمياً عندهم (Ireson, 1999). وعندما نأخذ هذه المفاهيم البديلة بعين الاعتبار تختلف نظرتنا للتعلّم الفعّال، حيث لم يعد يقتصر على تعلّم الطلبة للمفهوم الصحيح، وإنما يشمل أيضاً التأكّد من أنّهم لا يحملون معتقدات خاطئة ومفاهيم بديلة حوله، لذا فإنّ دراسة المفاهيم البديلة المتعلقة بمواضيع ميكانيكا الكم أصبح هدفاً رئيسياً للأبحاث الفيزيائية الحديثة (Styer, 1996).

أشارت دراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 2002) إلى أنّ المفاهيم البديلة حول المفاهيم الأساسية المتعلقة بمواضيع ميكانيكا الكم المختلفة تشمل جميع فئات الطلبة من المتخصصين في مجال الفيزياء وغير المتخصصين، وقد تمّت هذه الدراسة على مرحلتين، حيث شملت المرحلة الأولى 532 طالب من غير المتخصصين في مجال الفيزياء، طُلب منهم الإجابة على استبيان يتكوّن من 44 فقرة ويدور حول أربعة محاور رئيسية وهي: الذرة والحتمية واللاحتمية واللايقين، بالإضافة إلى ذلك تمّ مقابلة 27 طالب منهم، طُرحت عليهم أسئلة متنوعة تراوحت ما بين أسئلة تحاكي الواقع مثل كيف يمكن قياس الطيف الذري؟، إلى تفسير قضايا مثل وجهات نظرهم حول الحتمية واللاحتمية، أمّا المرحلة الثانية فشملت 37 طالب متخصصين في مجال الفيزياء، ثمّ تمّت عملية المقارنة بين ردود المجموعتين من المتخصصين وغير المتخصصين في مجال الفيزياء، وتوصلّت الدراسة إلى أنّ الطلبة في كلا المجموعتين أظهروا ردود فعل متشابهة مما يدل على أنّ الإجابات نمطية والمفاهيم البديلة مشتركة عندهم.

أمّا دراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999) فقد تخصصت بمفاهيم بديلة محددة في ميكانيكا الكم، ودراسة نسب تواجدها عند الطلبة، ولتحقيق هذا الغرض تمّ مقابلة 37 طالب –79% منهم درسوا مساقات ميكانيكا الكم– حيث وُجّهت لهم أسئلة حول الذرة واللايقين وخصائص كمية

أخرى، فكانت أهم النتائج كالتالي: فيما يتعلّق بمفهوم الذرة، 38% من الطلبة يحملون المفهوم الكوكبي البديل المتمثل بوصف الذرة على أنّها تتكون من نواة تتمركز في منتصفها، وتدور حولها إلكترونات تجري في مداراتها كما تجري الكواكب في أفلاكها حول الشمس. وقد ذكرت دراسة "أوزكان" (Ozcan, 2013) أنّه عندما يتعلّم الطلبة النموذج الكلاسيكي للذرة ويتم تشبيهها لهم بالنظام الشمسي يرسخ في أذهانهم هذا المفهوم البديل، ويصبح من الصعب عليهم أن يتقبّلوا النموذج الكمي الحديث. وأشارت دراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999) أيضاً إلى أنّ 41% من الطلبة يصفون الذرة وفقا لنموذج "بور"، و14% يصفون الذرة بالشكل الكمي الصحيح. وقد أكّدت دراسة "أوزكان" (Ozcan, 2013) على أهمية أن يتعلّم الطلبة منذ البداية أنّ هناك عدّة نماذج للذرة ونموذج "بور" هو أحدها، ويمثّل نموذج كلاسيكي قديم وليس هو النموذج الصحيح المعتمد حالياً من قبل العلماء، لأنّ هذا يسهّل عليهم تقبل النموذج الصحيح في المستقبل. أمّا فيما يتعلّق بمفهوم اللايقين فقد توصلت الدراسة إلى أنّ 15% من الطلبة يحملون المفهوم البديل الذي يرى أن Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثلان مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المطلقة لكل من موضع الجُسيم وكمية تحركه، و21% من الطلبة يحملون المفهوم البديل المتمثل بأنّ عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي، وكذلك فإنّ 18% من الطلبة يحملون المفهوم البديل المتمثل بإمكانية قياس القيمة الحقيقية المطلقة للكمية المُقاسة وفق نسبة خطأ محددة، وكذلك فإنّ 21% من الطلبة يحملون المفهوم البديل المتمثّل بأنّ الإلكترون له موضع محدد بدقة مطلقة في الذرة ولكنّه غير معروف (Muller & Wiesner, 1999).

وقد قام "ستير" (Styer, 1996) بجمع خمسة عشر مفهوماً بديلاً متعلقاً بميكانيكا الكم بناءً على ملاحظاته العارضة من الطلبة والزملاء وكتاباتهم حول هذا الموضوع، ثمّ صنّفها تحت أربعة بنود أساسية وهي: مفاهيم بديلة حول فكرة الدالة الموجية "Wave Function"، ومفاهيم بديلة تتعلق بالقياسات، ومفاهيم بديلة تتعلق بالجسيمات المتماثلة "المتطابقة"، ومفاهيم بديلة متفرقة، ووصف هذه المفاهيم البديلة التي أوردها بأنها سهلة التسلل إلى عقول الطلبة وبالتالي يجب التنبّه لها، وأورد مجموعة من الاقتراحات للتغلّب عليها، وذكر أنه في مجال الميكانيكا غالباً ما تُسمّى المفاهيم البديلة بمفاهيم مسبقة "Preconceptions" لأنها تنشأ من الملاحظات والتعميمات اليومية وتبدأ من مرحلة الطفولة، ولكن أصول المفاهيم البديلة في ميكانيكا الكم أقل وضوحا مما يجعل استكشافها ودراستها أصعب من الميكانيكا الكلاسيكية.

ختاماً يمكن القول بأنّ مواضيع ميكانيكا الكم عرضة للكثير من المفاهيم البديلة التي قد تكون مشتركة عالمياً عند الطلبة، وهذه المفاهيم البديلة كما أظهرت الدراسات السابقة يحملها الطلبة المتخصصين في مجال الفيزياء وغير المتخصصين، إضافة إلى أنّ أصولها أقل وضوحاً من أصول المفاهيم البديلة في الميكانيكا الكلاسيكية ممّا يجعل استكشافها عند الطلبة أصعب. الدراسات التي ذُكرت أعلاه كانت مفيدة ومتنوعة، ولكنها ستكون أفضل وذات فائدة أكبر لو تخصصت في مفاهيم بديلة محددة وتحدثت عنها بالتفصيل وشملت نسب تواجدها عند الطلبة كما في دراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999).

2:4 أثر أسلوب التدريس المُستخدم على فهم الطلبة لمواضيع ميكانيكا الكم المختلفة

تعد ميكانيكا الكم من أصعب فروع علم الفيزياء بالنسبة للمعلّم والطالب، فالمعلّم يواجه صعوبة في تدريسها، والطالب يواجه صعوبة في فهمها، بالتالي تحتاج لأساليب تدريس ملائمة تسهّل على المعلّم تدريسها وعلى الطالب فهمها (Crawford, Fletcher & Johnston, 1998; Erol & Ozdemir, 2010; Muller, 2005).

أشارت دراستي "كروفورد وفليتشر وجونستون" (Crawford, Fletcher & Johnston, 1998) و"مولر" (Muller, 2005) إلى أنّ التغيير الشكلي في نمط التدريس لن يكون مجدياً في حل مشكلة الصعوبات وفي تحسين فهم الطلبة للمفاهيم. تمّ تطبيق الدراسة الأولى على 33 طالب من طلبة السنة الجامعية الثالثة في إحدى جامعات أستراليا، حيث تم تقسيم الطلبة إلى مجموعتين، الأولى تتكون من 17 طالب درسوا ميكانيكا الكم بشكل رسمي وبالاعتماد على المعادلات الرياضية، والثانية تتكون من 16 طالب درسوا نفس الموضوع وفق النهج التطبيقي، وقد طُبّق على المجموعتين اختبار قبلي واختبار بعدي، وأشارت النتائج إلى أنّ العديد من الطلبة استخدموا في إجاباتهم على أسئلة الاختبار مصطلحات ليس لها علاقة بالأسئلة المطروحة، وكان هناك تنوّع كبير في نماذج التفكير الموجودة عندهم، وبالتالي في طبيعة فهمهم للموضوع الواحد، كما وأكّدت النتائج على أنّ مخرجات التعلّم كانت سطحية للمجموعتين، وأنّ نماذج التفكير العقلية التي استخدمها طلبة المجموعة الثانية قد تطوّرت من الناحية التقنية فقط، ولكن من ناحية بنائها وجوهرها لم تتطور. أمّا الدراسة الثانية فقد اهتمت بدراسة ما يحدث في محاضرات الفيزياء في جامعة سيدني، وشملت محاضرات لطلبة الفيزياء في مراحل أكاديمية مختلفة وقد تم التركيز على خمس محاضرات، ثلاثة منها للمستوى الأول الذي

يُعد مقدمة لميكانيكا الكم، وواحدة للمستوى الثاني الذي يُعد أكثر تخصصاً في ميكانيكا الكم، وواحدة لمستوى ميكانيكا الكم والنسبية الذي يدخل في عمق التخصص، وقد تم استخدام وسائل تكنولوجية متنوعة فيها جميعا، وبعد تحليل البيانات أشارت النتائج إلى أنّ الوسائل التكنولوجية المختلفة التي تم استخدامها في هذه المحاضرات لم تنجح في إشراك الطلبة مع الفيزياء، لأنّ التكنولوجيا لم تُستخدم بشكل فعّال حيث تم استخدامها كوسيلة منفصلة عن المحتوى، بالتالي لم تثير انتباه الطلبة ولم تساعد في توضيح المفاهيم المجردة لديهم، لذا حتى تكون التكنولوجيا فعّالة لا بُدّ من دمجها مع المحتوى وعدم التعامل معها كوسيلة منفصلة عنه.

أمّا دراسة "إيرول وأوزدمير" (Erol & Ozdemir, 2010) فقط نهجت نهجاً مختلفاً وتوصّلت إلى نتائج مختلفة، فالدراستين السابقتين عمدوا إلى رصد أي تغيير شكلي في نمط التدريس ولم يكن ذلك مُجديا في فهم مواضيع ميكانيكا الكم، أمّا هذه الدراسة فقد حددت موضوع معيّن في ميكانيكا الكم وهو مبدأ اللايقين وعمدت إلى تدريسه وفق نموذج "هايبرد"، وهو نموذج مقسّم إلى عدّة مهام تهدف جميعها إلى أن يفهم الطلبة مبدأ اللايقين بأفضل شكل ممكن، حيث 44% منه تعلّم بين الأقران، و26% نقاشات صفية، و26% نشاطات حل مُشكلات تتم في مجموعات، و4% نشاطات حل مشكلات على شكل واجبات بيتية، طُبّقت هذه الدراسة على 35 طالب جامعي، وأشارت نتائجها إلى أنّ هذا النهج في تدريس مبدأ اللايقين هو الأكثر فعالية من النهج التقليدي وقد أثّر إيجابياً على تحصيل الطلبة واحتفاظهم بالمادة وتحقيق فهم علمي صحيح للمفاهيم.

وفي ذات السياق كانت دراسة "ديليتز ونيديرير" (Deylitz & Niedderer, 1999) التي تم تطبيقها على 26 طالب من طلبة السنة الجامعية الأولى في منطقة بريمن، إلاّ أنها تخصصت في موضوع

الذرة، حيث تم تصـــميم طريقة جديدة اســـتُخدمت في تدريس هذا الموضـــوع وشـــملت أربع خطوات أسـاسـية: الخطوة الأولى تتضـمّن الانتقال من نموذج "بور" إلى معادلة "شـرودنجر" مع التركيز على المفاهيم لا على الحســـابات الرياضـــية المعقدة، أمّا الخطوة الثانية فتتمثل بتقليل المتطلبات من مواد الرياضـــيات وزيادة التركيز على فهم المعاني الفيزيائية والاعتماد على التكنولوجيا المتقدمة كوســـائل تســاعد في توضـيح المفاهيم المجردة، وشـملت الخطوة الثالثة الربط بين التطبيق والنظرية من خلال مجموعة من الظواهر الفيزيائية الذرية، والخطوة الرابعة تركّز على ضـــــرورة أن يكون الطالب محور العملية التعلّمية وبالتالي توجيه كل الاهتمام نحوه، وقد هدفت الدراســـــة إلى قياس مدى نجاح هذه الطريقة في تحســين مســتوى فهم الطلبة للذرة، تم قياس مدى تطّور فهم الطلبة للموضــوع من خلال إجاباتهم على أســئلة الاســتبيان قبل التعلّم بالطريقة الجديدة وبعده، وكذلك من خلال عمل مقابلات معهم، إضـافة إلى الملاحظات الصـفية التي تم تسـجيلها، وقد أظهرت النتائج أنّ مسـتوى فهم الطلبة لمفهوم دالة الموجة قد تحسّـــــن، وأنّ قدرتهم على الربط بين النماذج النظرية والمشـــــاهدات العملية والقياسات قد تحسّنت أيضـاً، أمّا فيما يتعلّق بفهم الطلبة لمعادلة "شرودنجر" فقط كان منخفضـاً على الرغم من الجهود الكبيرة التي بُذلت من أجل تحسـينه والعمل باسـتخدام الوسـائل التكنولوجية المتطورة والنمذجة الحاسوبية، وبشكل عام فقد أكّدت النتائج على أنّ الفهم الكمي للذرة كان متدنياً والسبب في ذلك هو عدم كفاية الوقت، فهذا الموضـــــوع يحتاج إلى وقت أطول ليفهمه الطلبة وليدركوا معانيه بالشـكل العلمي الصـحيح، ختاماً يمكن القول بأن هذه الطريقة نجحت بشـكل جزئي، فبالرغم من عدم تمكّن جميع الطلبة من تحقيق فهم عميق للوصف الكمي للذرة إلاّ أنهم حققوا متوسط فهم جيد لمفاهيم فيزياء الكم الأساسية.

أمّـا دراســـــة "أويلر وهـانســـيلمـان ومولر وزولمن" (Euler, Hanselmann, Muller & Zollman, 1999) فقد شـــملت 13 طالب من طلبة الفيزياء في جامعة كيل، معظمهم اجتازوا مسـاقات ميكانيكا الكم بنجاح، تم اختبارهم بشـكل قبلي من خلال إجابتهم على اسـتبيان يتكون من خمسـة عشـر سـؤالاً مغلقاً، وأشـارت نتائجه إلى أن فهمهم النظري للمادة لم يكن كافياً، وتم تصـنيف هؤلاء الطلبة بناءً على إجاباتهم على الاســـتبيان في ثلاث مجموعات رئيســـية: الأولى للفيزياء الكلاسـيكية وتشـمل عشـرة طلاب شـملت إجاباتهم أفكار كلاسـيكية سـيطر عليها نموذج "بور"، أمّا الثانية لفيزياء الكم وكان من المفترض أن تشمل الطلبة الذين استندت إجاباتهم إلى أفكار كمية ولكن لم يُصـنّف فيها إلاّ طالب واحد، بينما خُصـصـت المجموعة الثالثة للطلبة الذين خلطوا في إجاباتهم بين الأفكار الكلاســيكية والأفكار الكمية في نفس الوقت وشــملت طالبين، وبعد ذلك تم اســتخدام تصـميم تجريبي لدراسـة أثر طريقة تدريس علاجية جديدة على اكسـاب الطلبة للمفاهيم الكمية، ثمّ تم اختبارهم مرّة أخرى، وبعد إجراء التحليلات الإحصائية اللازمة أظهرت المجموعة التجريبية تحسّناً في الفهم وأصــبح الطلبة أكثر قُربا من الفهم العلمي الصــحيح، كان عدد الإجابات الصــحيحة لصــالح المجموعة التجريبية حيث كان أعلى ب 40% من المجموعة الضـابطة، في حين كان الانحراف عن القيم الصحيحة أعلى بنسبة 55% لصالح المجموعة الضابطة.

وبناءً على ما سبق يمكن القول بأنّ أسـاليب التدريس التقليدية لا تتناسـب مع مواضـيع ميكانيكا الكم التي تحتوي على العـديـد من المفـاهيم المجردة والمعقـدة في طبيعتهـا، بـالتـالي لا بُـدّ من بنـاء استراتيجيات تدريس تُساعد الطلبة في التغلب على الصعوبات التي تواجههم، وتُحقق لهم فهم أفضل للمفاهيم المجردة. إضـافة إلى ذلك فإنّ التغيير الشـكلي في أسـاليب واسـتراتيجيات التدريس لن يكون

مُجدياً في حل مشكلة الصعوبات التي يُواجهها الطلبة في فهم مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة وفي تحسين فهمهم لهذه المواضيع، فالوسائل التكنولوجية لن تنجح في تحسين فهم الطلبة للمفاهيم المجردة ما لم تُستخدم بشكل فعّال عن طريق دمجها مع المحتوى وعدم التعامل معها كوسائل منفصلة عنه. بالتالي ليس المهم التغيير في أسلوب التدريس ولكنّ المهم هو بناء نهج تغيير حقيقي قائم على أسس علمية يُساعد الطلبة على فهم المادة بشكل أفضل.

2:5 ملخص الدراسات السابقة:

أظهرت الدراسات السابقة في مجملها قصور حقيقي في فهم الطلبة لمفاهيم ميكانيكا الكم الأساسية والمتقدمة، وهذا القصور في الفهم غير مرتبط بفئة عمرية محدّدة، حيث شمل طلبة المدارس والجامعات والمعلمون أيضاً. وقد أكّدت هذه الدراسات على وجود مفاهيم بديلة مشتركة عالمياً عند الطلبة، سواء على مستوى المفاهيم الأساسية والمتقدمة، وعكست مدى الصعوبات التي تواجههم عند تعلّم مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة وأجملت أسبابها، كما وأشارت إلى أنّ التغيير الشكلي في أساليب التدريس واستخدام التكنولوجيا بشكل غير فعّال لن يُساعد في تحسين فهم الطلبة ولا في تغلّبهم على الصعوبات التي تواجههم. ومن الملفت للنظر إجماع معظم الدراسات على ما سبق رغم اختلاف مجتمعاتها وعيناتها ومنهجيات البحث المستخدمة فيها.

إضافة إلى ذلك، أظهرت المُراجعة السابقة للأدبيات النقص الموجود في دراسة هذا الموضوع، وأكّدت على أهمية القيام بالدراسة الحالية، فمعظم الدراسات السابقة امتازت بالعمومية ولم تتخصص في دراسة مفاهيم ومبادئ محددة، لذا جاءت هذه الدراسة لتسد ثغرة في الأدب التربوي حيث تقدم تصوّراً لأنماط فهم الطلبة لأربعة مفاهيم ومبادئ فيزيائية مجرّدة مُتعلقة بميكانيكا الكم، وتسعى لوصف مدى

تطوّرها لديهم خلال سـنوات دراسـتهم الجامعية، وكذلك لوصـف المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها ونسب تواجدها لديهم، كما أنّها شملت مجتمع دراسة جديد لم تتطرق له الدراسات السابقة.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وتصميم البحث

3:1 مقدّمة

هدفت هذه الدراســة إلى وصــف أنماط فهم طلبة الســنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلســطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم، ومدى تطوّرها لديهم خلال سـنوات دراسـتهم الجامعية، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها. كما وسـعت للإجابة على السـؤال الرئيســي التالي: كيف يصــف طلبة الســنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم في الجامعات الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟

يتم في هذا الفصـل توصـيف منهجية الدراسـة، مجتمع وعينة الدراسـة، أدوات الدراسـة، صـدق وثبات الأدوات، إجراءات الدراسة، وأخيرا المعالجة الإحصائية.

3:2 منهجيّة الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراســة تم اســتخدام المنهج الكمي الوصــفي التحليلي، حيث صُــمّمت أداة الاختبار لجمع البيانات وتم اســتخدام هذه الأداة في الكشــف عن نســب وجود المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة، وكذلك في وصف أنماط فهمهم للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة ومدى تطوّرها لديهم خلال سـنوات دراسـتهم الجامعية، كما وتم توظيف المنهج الكيفي التحليلي أيضـا حيث صُــممت مقابلة شــبه منظمة كأداة كيفية داعمة في محاولة للتعمّق في وصــف وتفســير أنماط فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة ومدى تطورها خلال سنوات دراستهم الجامعية.

3:3 مجتمع الدراسة:

يتمثّل مجتمع الدراسة بطلبة السنة الجامعية الأولى غير المتخصصين وطلبة السنة الجامعية الرابعة المتخصصين في مجال الفيزياء في كليات العلوم في كافة الجامعات الفلسطينية.

3:4 عيّنة الدراسة:

تم اختيار عينة 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، وذلك لوصف أنماط فهم هؤلاء الطلبة لأربعة مفاهيم ومبادئ مجردة شملتها الدراسة ومدى تطوّرها لديهم، وكذلك وصف المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها ونسب تواجدها عندهم.

جدول 3.1
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 وتمّ اختيار 28 طالب من الطلبة الذين شملتهم هذه العينة لإجراء مقابلات معهم، 18 منهم من طلبة السنة الأولى و10 من طلبة السنة الرابعة.

3:5 أدوات الدراسة:

لغرض وصف مخرجات التعلّم لدى طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية تمّت دراسة وتحديد 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، 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 "إيرول وأوزدمير" (Erol & Ozdemir, 2010)، دراسة "فالك" (Falk, 2007)، دراسة "إيرسون" (Ireson, 2000)، دراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 2002)، وأخيرا دراسة "ستير" (Styer, 1996)، والجدول 3.2 يعرض هذه المفاهيم البديلة.

جدول 3.2

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.

الرقم	المحور	المفهوم البديل
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.
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.

يتكوّن هذا الاختبار الذي تم تطويره بهدف وصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلســـطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها، ومدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية من واحد وعشرين سؤالاً، تم توزيعها على أربعة محاور كالتالي (الملحق (1) يظهر الأداة بالتفصيل):

المحور الأول: يهدف للكشف عن أنماط فهم الطلبة لمبدأ اللايقين، ويتكون من ست فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد. وهي البنود من الأول إلى السادس.

المحور الثاني: يهدف للكشــف عن أنماط فهم الطلبة للخاصــية اللاحتمية، ويتكون من خمس فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد. وهي البنود من السابع إلى الحادي عشر.

المحور الثالث: يهدف للكشــف عن أنماط فهم الطلبة للخاصــية الازدواجية، ويتكون من ســت فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد. وهي البنود من الثاني عشر إلى السابع عشر.

المحور الرابع: يهدف للكشـــف عن أنماط فهم الطلبة للنموذج الذري، ويتكون من أربع فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد. وهي البنود من الثامن عشر إلى الحادي والعشرين.

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

تم تطوير أداة أخرى وهي المُقابلة من النوع شـــبه المنظّم (semi-structured)، بحيث تم إعداد أســئلة مُســبقة وســناريوهات مختلفة للمُقابلة، ومن مميزات هذا النوع من المُقابلات أنّ الباحثة غير مُلزمة بطرح الأسئلة وفق ترتيبها، فيمكنها أن تقدّم سؤال أو تؤخّر آخر وفق ما يتناسب مع مُجريات الحديث مع المُقابَل، وبما أنّ الباحثة تمتلك فرصـة واحدة للحديث مع الأشـخاص الذين ستتم مُقابلتهم فإنّ هذا النوع من المُقابلات هو الأفضــل لأنّه يتيح لها اســتخدام الوقت بشــكل فعّال مع المُحافظة على التفاعل بينها وبين المُشاركين (Baden & Major, 2013).

تهدف هذه الأداة إلى التعمّق في وصــف وتحليل أنماط فهم الطلبة للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شـملتها الدراسـة ومدى تطورها خلال سـنوات دراسـتهم الجامعية. فالنموذج البنائي الذي ارتكزت عليه الدراســة يرى أنّ للمفهوم الواحد أنماط فهم متعددة عند الطلبة (Baden & Major, 2013). وكذلك فهو عُرضــة للكثير من المفاهيم البديلة التي يحملونها، ســواء مفاهيم اصــطحبوها معهم من البيئة التي يعيشـون فيها، أو مفاهيم قاموا ببنائها داخل غرفة الصـف (Demirci, 2005). لذا تمّت مُقابلة 28 طالب وجهاً لوجه، منهم 10 طلاب متخصــصــين في مجال الفيزياء في مســتوى الســنة الرابعة و18 طالب من غير المتخصصين في مستوى السنة الأولى. تتكون المقابلة من أربعة محاور أساسية كالتالي:

المحور الأول: يهدف للتعمّق في وصف وتفسير أنماط فهم الطلبة لمبدأ اللايقين ومدى تطوّرها خلال سنوات دراستهم الجامعية، ويشمل الأسئلة من الأول إلى السادس في الملحق (2).

أمثلة:

- ماذا تمثّل كل من Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ؟

- هل تعتقد أنّ مبدأ اللايقين مهم؟ ولماذا؟

المحور الثاني: يهدف للتعمّق في وصف وتفسير أنماط فهم الطلبة للخاصية اللاحتمية ومدى تطوّرها خلال سنوات دراستهم الجامعية، ويشمل الأسئلة من السابع إلى العاشر في الملحق (2).

أمثلة:

- ما الفرق بين المنظور الكمي والمنظور الكلاسيكي للقياسات؟

- كيف تنظر ميكانيكا الكم لإمكانية التنبؤ بوضع النظام المستقبلي انطلاقاً من وضعه الحاضر؟

المحور الثالث: يهدف للتعمّق في وصف وتفسير أنماط فهم الطلبة للخاصية الازدواجية ومدى تطوّرها خلال سنوات دراستهم الجامعية، ويشمل الأسئلة من الحادي عشر إلى السادس عشر في الملحق (2).

أمثلة:

- كان العالم نيوتن ينظر للضوء على أنه يتكوّن من جسيمات مادية دقيقة تنطبق عليها قوانين الحركة، ما الضرورة المُلحّة التي أدّت إلى تغيير هذه النظرة؟

- ما الجديد الذي أضافته الخاصية الازدواجية إلى علم الفيزياء؟

المحور الرابع: يهدف للتعمّق في وصف وتفسير أنماط فهم الطلبة للنموذج الكمي للذرة ومدى تطوّرها خلال سنوات دراستهم الجامعية، ويشمل الأسئلة من السابع عشر إلى العشرين في الملحق (2).

أمثلة:

- ما هو أفضل وصف للذرة؟

- كيف يمكن وصف الإلكترون داخل الذرة؟

3:6 صدق وثبات الأدوات:

للتأكُد من صـدق الأدوات تم عرضـها على سـبعة من المحكّمين الخبراء المُتخصـصـين في مجال ميكانيكا الكم وهم من أســـاتذة الفيزياء في جامعة بيرزيت وجامعة النجاح الوطنية وجامعة القدس، وكذلك على أساتذة متخصصين في تعليم العلوم في كلية التربية في جامعة بيرزيت، وذلك للتأكّد من أنّ هذه الأدوات تُحقق الهدف الذي أُعدّت من أجله. كما وتم تجريبها على عيّنة اســـتطلاعية من خارج عيّنة الدراسـة، ثمّ تم عمل بعض التعديلات على الأسئلة بناءً على توصـيات المحكّمين ونتائج العينة الاستطلاعية، ومن هذه الأسئلة المُعدّلة:

مثال (1) من أسئلة اختبار المفاهيم البديلة: السؤال قبل التعديل

تمثل Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ:

أ) مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية لموضع الجُسيم.

ب) مقدار القدرة على تحديد القيمة الحقيقة لموضع الجُسيم بدقة.

ت) مقدار عدم القدرة على تحديد قيمة موضع الجُسيم بدقة.

ث) مجموع الاحتمالات الممكنة لتحديد قيمة موضع الجُسيم بدقة.

السؤال بعد التعديل

تمثل Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ:

أ) مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم.

ب) مقدار الدقة في تحديد القيمة الحقيقية المطلقة لموضع الجُسيم.

ت) الفرق بين أقل وأكبر قيم محتملة للموضع لأسباب ذاتية لا تتعلق بأدوات القياس وترتبط بدقة كمية التحرّك.

ث) مجموع الاحتمالات الممكنة لقيم موضع الجسيم.

مثال (2) من أسئلة المقابلة: السؤال قبل التعديل

ماذا يعني مبدأ اللايقين بالنسبة لك؟

السؤال بعد التعديل:

ما هو فهمك لمبدأ اللايقين؟

كما وتمّت إضافة بعض الأسئلة ومنها:

مثال (1): سؤال تمّت إضافته إلى الاختبار

ترى ميكانيكا الكم أنه انطلاقاً من حالة نظام معزول في لحظة ما:

أ) يمكن التنبؤ بخواصه الموجية ولا يمكن التنبؤ بخواصه الجُسيمية.

ب) يمكن التنبؤ بخواصه الجسيمية ولا يمكن التنبؤ بخواصه الموجية.

ت) لا يمكن التنبؤ بقيم الكميات الفيزيائية التي نرغب بقياسها لاحقاً بدقة.

ث) يمكن التنبؤ بقيم الكميات الفيزيائية التي نرغب بقياسها لاحقاً بدقة.

مثال (2): سؤال تمّت إضافته إلى المقابلة

ما أهمية وجود مبدأ اللايقين إن تطوّرت كفاءة أدوات القياس في المستقبل؟

وتمّ حذف بعض الأسئلة ومنها:

مثال (1): سؤال تمّ حذفه من الاختبار:

أظهرت التجارب أنّ الإلكترونات داخل الذرة:

أ) ممكن أن تتواجد في أي موضع عند أي لحظة زمنية.

ب) لها مواضع ثابتة.

ت) تتحول إلى بروتونات.

ث) تمتلك خواص موجية.

مثال (2): سؤال تمّ حذفه من المقابلة

كيف ترى الرابط بين الميكانيكا الكلاسيكية وميكانيكا الكم؟

تم التأكّد من ثبات أداة الاختبار من خلال حساب معامل الاتساق الداخلي كرونباخ ألفا وقد كانت قيمته 0.6، وهذا يعكس اتساقاً داخلياً معقولاً لفقرات الاختبار في ظل عددها القليل (Coolican, 2004). وفي سياق متصل يتعلق بتحقيق صدق وثبات أدوات 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".

3:7 إجراءات الدراسة:

تضمن القيام بهذه الدراسة القيام بالخطوات الرئيسية التالية:

1) الاطّلاع على الأدبيات والأبحاث التربوية المتعلّقة بموضوع الدراسة، المتمثّل بوصف أنماط فهم الطلبة لبعض المفاهيم والمبادئ المجردة المتعلقة بميكانيكا الكم، ومدى تطوّرها لديهم ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة، ووصف المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها ونسب تواجدها عندهم، ومن أهمها: دراسة "ستير" (Styer, 1996)، ودراسة "إيرول وأوزدمير" (Erol & Ozdemir, 2010)، ودراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999)، وكذلك دراسة "إيرينشو" (Erinosho, 2013)، ودراسة "أوزكان" (Ozcan, 2013) وغيرها من الدراسات القيّمة التي تم ذكرها في قائمة المراجع.

2) تحديد المفاهيم والمبادئ المجرّدة الأساسية في ميكانيكا الكم التي يبدأ الطلبة بدراستها في المرحلة الثانوية في المدارس ثمّ يتم طرحها بشكل أعمق في مساقات فيزياء الكم في الجامعات للطلبة المتخصصين في مجال الفيزياء.

3) إعداد أدوات الدراسة المتمثلة بالاختبار والمقابلة، والتي تم استخدامها في وصف أنماط فهم الطلبة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة ومدى تطوّرها لديهم، والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها ونسب تواجدها عندهم.

4) التأكّد من صدق وثبات أدوات الدراسة.

5) الحصــول على إذن لتطبيق الدراســة في ثلاث جامعات فلســطينية وهي جامعة بيرزيت وجامعة النجاح الوطنية وجامعة القدس، وكذلك على إذن خاص من الطلبة لعمل مقابلات معهم.

6) تطبيق الاختبار، وإجراء المقابلات.

7) كتابة النتائج والخروج بتوصيات واقتراحات.

3:8 المعالجات الإحصائية

أولا: المعالجة الإحصائية الكمية للاختبار

تمّت معالجة فقرات الاختبار إحصائياً كما يلي:

1) لكل فقرة من فقرات الاختبار تم احتســاب عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل الأول (أ)، ثمّ عدد الذين أجابوا على البديل الثاني (ب)، ثمّ البديل الثالث (ت)، ثمّ البديل الرابع (ث).

2) تم احتســـاب النســـبة المئوية لإجابات الطلبة على البديل الأول (أ)، ثمّ البديل الثاني (ب)، ثمّ البديل الثالث (ت)، ثمّ البديل الرابع (ث)، لكل فقرة من فقرات الاختبار باستخدام المعادلة التالية:

النسبة المئوية لكل بديل = (عدد الطلبة الذين أجابوا على هذا البديل/عدد الطلبة الكلي) X 100%

3) تم وصــف أنماط فهم الطلبة للمفاهيم والمبادئ المُجرّدة التي تخصــصــت بها الدراســة من خلال البدائل التي حصلت على أعلى نسب مئوية من الإجابات على فقرات الاختبار الخاصة بكل محور.

4) بما أنّ كل فقرة من فقرات الاختبار تحمل مفهوماً بديلاً وحداً، تم تحديد نســـبة وجود كل مفهوم بديل من هذه المفاهيم التي شملها الاختبار كما ذُكر في البند الثاني.

5) تم احتساب متوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة في كل محور من محاور الاختبار.

6) تمت مقارنة متوسطات النسب المئوية للمفاهيم البديلة في كل محور بين طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة.

7) تمّ تحديد النسب المئوية للبدائل التي تحمل الإجابات الصحيحة كما ذُكر في البند الثاني.

8) تمّ احتساب متوسط النسب المئوية للمفاهيم الصحيحة في كل محور من محاور الاختبار.

9) تمّت مقارنة متوسطات النسب المئوية للمفاهيم الصحيحة في كل محور بين طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة.

ثانيا: المعالجة الإحصائية الكيفية للمقابلة

تم استخدام منهج التحليل الموضوعي "Thematic Analysis" في تحليل المقابلات، فبعد تفريغ البيانات حرفياً تم اتباع المراحل التالية التي أوردها "براون وكلارك" (Braun & Clarke, 2006):

أولا: مرحلة التعرُّف على البيانات

بدأت الباحثة خطوة التحليل بالتعرّف على البيانات، والانغماس فيها لدرجة أن أصبح عمق واتساع المحتوى مألوفاً بالنسبة لها، وحققت ذلك من خلال القراءة المتكررة للبيانات بطريقة نشطة، في محاولة لاستكشاف أنماط الفهم المختلفة للمفاهيم والمبادئ المجرّدة التي شملتها الدراسة.

ثانيا: مرحلة الترميز الأولي للبيانات

عندما بدأت الباحثة بقراءة البيانات والتعرّف عليها تولّدت لديها قائمة من الأفكار حولها، وقامت بوضع رُموز أولية تُشير إلى السمات الأساسية لأنماط فهم الطلبة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة.

ثالثاً: مرحلة البحث عن الموضوعات

بعد أن توصّلت الباحثة إلى قائمة من الرموز المختلفة للبيانات، قامت بفرزها ضمن مجموعة من الأنماط المُحتملة "المُرشحة".

رابعاً: مرحلة تعريف وتسمية هذه الموضوعات.

بعد أن توفّرت لدى الباحثة خريطة مُرضية لأنماط الفهم التي تم اشتقاقها من البيانات، قامت بمراجعة البيانات التي تم إدراجها تحت كل نمط، وتنظيمها بشكل متناسق داخلياً، والخروج بتعريف لهذا النمط من خلالها.

3:9 ملخص الفصل

استعرض هذا الفصل منهجية الدراسة المتمثلة بالمنهج الكمي الوصفي التحليلي والتي تمّ تحقيقها من خلال تصميم اختبار تشخيصي للمفاهيم البديلة حول المفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة استُخدِم في جمع البيانات من عينات ممثلة لمجتمع الدراسة المتمثّل بطلبة السنة الجامعية الأولى غير المتخصصين وطلبة السنة الجامعية الرابعة المتخصصين في مجال الفيزياء في كليات العلوم في الجامعات الفلسطينية. كما تم توظيف المنهج الكيفي التحليلي من خلال تطوير مقابلة شبه منظمة بهدف التعمق في وصف وتفسير أنماط فهم الطلبة للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي

شــملتها الدراســة ومدى تطورها خلال ســنوات دراســتهم الجامعية، وقد تم التأكّد من صــدق وثبات الأدوات من خلال عرضــها على مجموعة من المحكمين وتجريبها على عيّنة اســتطلاعية من خارج الدراســة ثمّ عمل التعديلات اللازمة عليها، كما وتمّ جمع البيانات باســتخدام أكثر من أداة لتحقيق ما يعرف في الأدب التربوي بالتثليث "Triangulation"، كما وتمّ عرض إجراءات الدراســـة والمعالجة الإحصائية للبيانات التي تمّ جمعها باستخدام أداتي الاختبار والمقابلة.

في الفصل التالي يتم استعراض نتائج تحليل البيانات الكمية والكيفية التي تمّ التوصّل إليها بعد اتباع الإجراءات التي أشير إليها في هذا الفصل.

الفصل الرابع: نتائج الدراسة

4:1 مقدّمة

هدفت هذه الدراســة إلى وصــف أنماط فهم طلبة الســنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلســطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة في ميكانيكا الكم، ومدى تطوّرها لديهم خلال ســنوات دراستهم الجامعية، وكذلك وصف المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها. لتحقيق هذه الأهداف تحاول الدراسة الإجابة على السؤال الرئيسي التالي: كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلســطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟ ومجموعة من الأسئلة الفرعية المنبثقة منه. وللإجابة على أسئلة الدراسة تمّ تصميم أدوات الدراسة، ثمّ تمّت عملية جمع البيانات ومعالجتها للوصول إلى النتائج، وفي ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة وتحليلها يتم في هذا الفصل الإجابة على أسئلة الدراسة المتمثلة بالسؤال الرئيسي:

كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟

والأسئلة الفرعية المنبثقة منه:

– ما هي المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول بعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم؟

– كيف يصــف الطلبة فهمهم لكل من مبدأ اللايقين والخاصــية اللاحتمية والخاصــيّة الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم؟

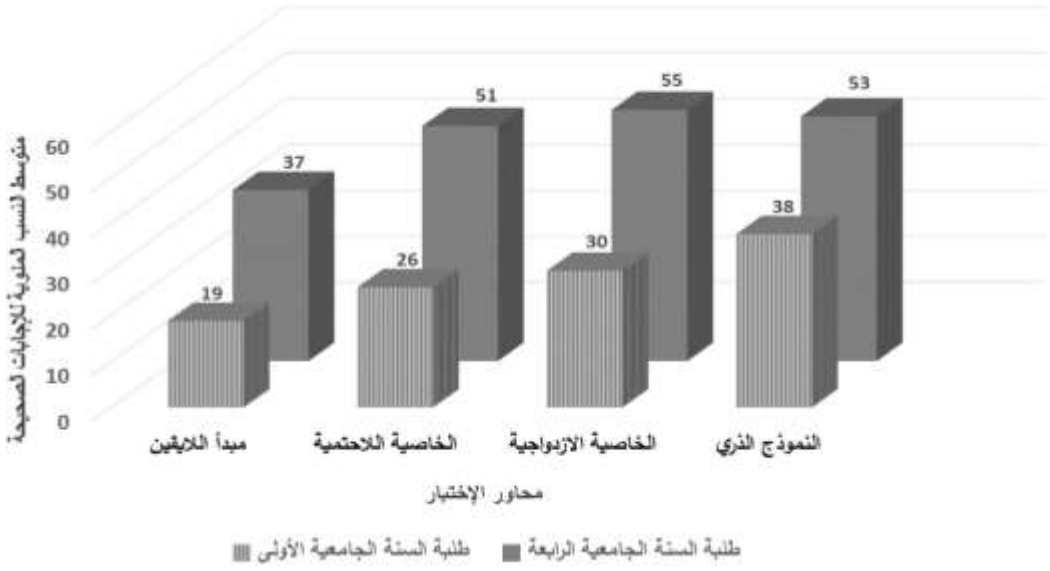
– ما مدى تطّور فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة خلال دراستهم الجامعية (ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة)؟

4:2 وصف فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم

للإجابة على سؤال الدراسة الرئيسي: كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟ تمّ تصميم اختبار تشخيصي للمفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول الموضوع (الملحق (1))، يشمل هذا الاختبار أربعة محاور وهي: مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري، وقد تمّ تطبيقه على عينة ممثّلة من طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم في ثلاث جامعات فلسطينية، ثمّ تم استخدام برنامج التحليل الإحصائي SPSS في تحليل بيانات الاختبار لاحتساب النسب المئوية للإجابات الصحيحة والبديلة لكل مفهوم، ثمّ احتساب متوسطات النسب المئوية للإجابات الصحيحة والبديلة في كل محور.

أظهرت النتائج تدّني نسب متوسطات الإجابات الصحيحة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة بشكل عام، ويُعد مبدأ اللايقين أكثرها تدنياً حيث شكل متوسط نسب الإجابات الصحيحة له عند طلبة السنة الأولى 19% وعند طلبة السنة الرابعة 37%، كما وأظهر التحليل الإحصائي للبيانات أن أكثر المفاهيم المجرّدة وضوحاً عند طلبة السنة الأولى النموذج الكمي للذرة، حيث شكل متوسط نسب إجاباتهم الصحيحة على فقرات الاختبار الخاصة به 38%، بينما كان أكثرها وضوحا

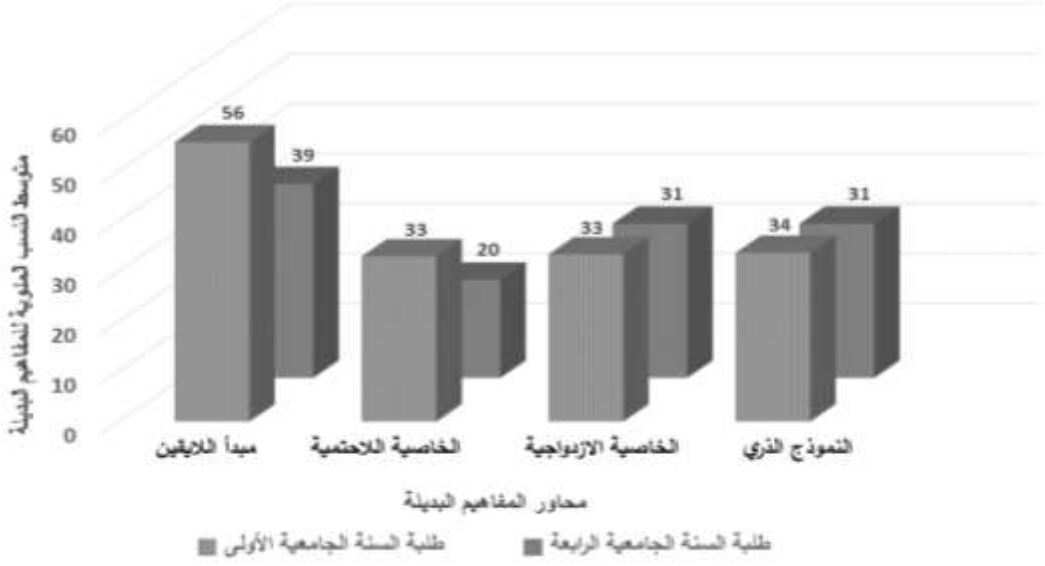
عند طلبة السنة الرابعة الخاصية الازدواجية حيث شكل متوسط نسب إجاباتهم الصحيحة على فقرات الاختبار الخاصة به 55%، ومن الملفت للنظر أنّ التدنّي في متوسط نسب الإجابات الصحيحة عند طلبة السنة الأولى فاق السنة الرابعة في كل المحاور. ويوضح الشكل 4.1 متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة على فقرات الاختبار الخاصة بكل محور.



شكل 4.1

متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة في كل محور من محاور الاختبار عند طلبة السنة الأولى والرابعة

أمّا فيما يتعلّق بالمفاهيم البديلة فأظهرت النتائج أنّ طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة يحملون مجموعة من المفاهيم البديلة حول المفاهيم والمبادئ الأساسية المجرّدة التي شملتها الدراسة بنسب متفاوتة، كان أعلاها في محور مبدأ اللايقين كما يتضح من الشكل 4.2 ، حيث بلغ متوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة الخاصة بهذا المحور عند طلبة السنة الأولى 56% وعند طلبة السنة الرابعة 39%، ويتضح أيضاً أنّ مدى التغلّب على المفاهيم البديلة الخاصة بمحوري النموذج الذري والخاصية الازدواجية ما بين السنة الأولى والرابعة كان منخفضاً إلى حد كبير.



الشكل 4.2

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

يتضح ممّا سبق 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.

4:3 المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري ومقارنتها بين طلبة السنة الأولى والرابعة

للإجابة على سؤال الدراسة الفرعي الأول: ما هي المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول بعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم؟ تم تصميم اختبار تشخيصي للمفاهيم البديلة المتعلقة بأربعة مفاهيم ومبادئ مجرّدة أساسية في ميكانيكا الكم وهي: مبدأ اللايقين والخاصية

اللاحتمية والخاصـية الازدواجية والنموذج الذري (ملحق(1))، ثمّ تمّ تطبيق الاختبار على عيّنة ممثلة لمجتمع الدراسـة المتمثّل بطلبة السـنة الجامعية الأولى غير المتخصـصـين وطلبة السـنة الرابعة المتخصـصـين في مجال الفيزياء في كليات العلوم في الجامعات الفلسـطينية، وبعد جمع البيانات تم تحليلها إحصـائياً لحساب النسبة المئوية لوجود كل مفهوم بديل عند الطلبة، ومتوسط النسب المئوية للمفاهيم البديلة الخاصـة بكل محور من محاور الاختبار. ثمّ تمّت مقارنتها بين طلبة السـنة الأولى والرابعة للإجابة على سؤال الدراسـة الفرعي الثالث: ما مدى تطور فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة خلال دراستهم الجامعية (ما بين السنة الأولى والرابعة)؟

أظهرت النتائج تفاوت متوسـطات النسـب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السـنة الجامعية الأولى والرابعة في محاور الدراسة الأربعة، ويعرض الجدول 4.1 هذه المتوسطات:

جدول 4.1

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

يتضـح من الجدول 4.1 أنّ طلبة السـنة الأولى والرابعة يحملون مجموعة من المفاهيم البديلة حول المبادئ والمفاهيم الأسـاسـية المجرّدة في ميكانيكا الكم بنسـب متفاوتة، كان أعلاها عند طلبة السـنة الأولى والرابعة في محور مبدأ اللايقين، كما ويتضـح أنّ مدى التغلّب على المفاهيم البديلة الخاصـة بمحوري النموذج الذري والخاصـية الازدواجية ما بين السـنة الجامعية الأولى والرابعة كان منخفضـاً

إلى حد كبير، ويعرض الجدول 4.2 النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة بالتفصيل.

جدول 4.2

النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري

الرقم	المحور	المفهوم البديل	النسبة المئوية لوجوده لدى طلبة السنة الأولى	النسبة المئوية لوجوده لدى طلبة السنة الرابعة
1	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين قائم على عمل قياســـات حول القيم الحقيقية –المحددة بشكل مطلق– للكميات الفيزيائية.	%23	%17
2	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات القياس البشري للكميات الفيزيائية.	%71	%36
3	مبدأ اللايقين	Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم.	%73	%45
4	مبدأ اللايقين	Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضـــع الجُسيم.	%74	%40
5	مبدأ اللايقين	مقدار اللايقين يعتمد على حجم الجُسيم.	%31	%21
6	مبدأ اللايقين	عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي.	%63	%72
7	الخاصية اللاحتمية	اللايقين ناتج عن الحركة السـريعة للجسـيمات دون الذرية.	%23	%11
8	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن عدم وجود كفاءة تكنولوجية.	%37	%15
9	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن وجود أخطاء بشرية في القياس.	%33	%13
10	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن الحركة الســريعة للجســيمات والتي تُعيق عملية رصدها.	%44	%30

الرقم	المحور	المفهوم البديل	النسبة المئوية لوجوده لدى طلبة السنة الأولى	النسبة المئوية لوجوده لدى طلبة السنة الرابعة
11	الخاصية اللاحتمية	انطلاقا من حالة نظام كمي معزول في لحظة ما يمكن التنبؤ بأي كمية فيزيائية نرغب بقياسها لاحقا بدقة مطلقة.	%29	%30
12	الخاصية الازدواجية	كل جُسيم يتكون من شقين منفصلين، أحدهما ذا خواص موجية والآخر ذا خواص جسيمية ولا يمكن أن يعملا معاً.	%33	%34
13	الخاصية الازدواجية	الخاصية الموجية للجسيمات ناتجة عن تذبذبات المادة المكوّنة لها.	%34	%19
14	الخاصية الازدواجية	إمكانية عمل قياسات دقيقة لخواص موجية وجسيمية في نفس الوقت.	%31	%32
15	الخاصية الازدواجية	الخواص الموجية خاصة بالجسيمات المجهرية الصغيرة، والخواص الجسيمية خاصة بالجسيمات المجهرية الكبيرة.	%37	%19
16	الخاصية الازدواجية	الفوتونات عبارة عن تيارات من جسيمات صغيرة تتحرك في مسارات محددة على شكل موجات.	%32	%32
17	الخاصية الازدواجية	الإلكترون عبارة عن جُسيم يُعرف بموضعه وكتلته ويدور حول النواة بسرعة عالية جدا.	%33	%49
18	النموذج الذري	إمكانية رؤية الإنسان لذرة منفردة –بما يشمل مكوناتها الدقيقة– بشكل مباشر إن توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضل في المستقبل.	%29	%11
19	النموذج الذري	الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي.	%46	%62
20	النموذج الذري	الإلكترونات تدور في مدارات لها مواضع محددة بدقة مطلقة حول النواة.	%25	%19
21	النموذج الذري	الإلكترونات تتواجد في الذرة على شكل كرات صغيرة.	%35	%32

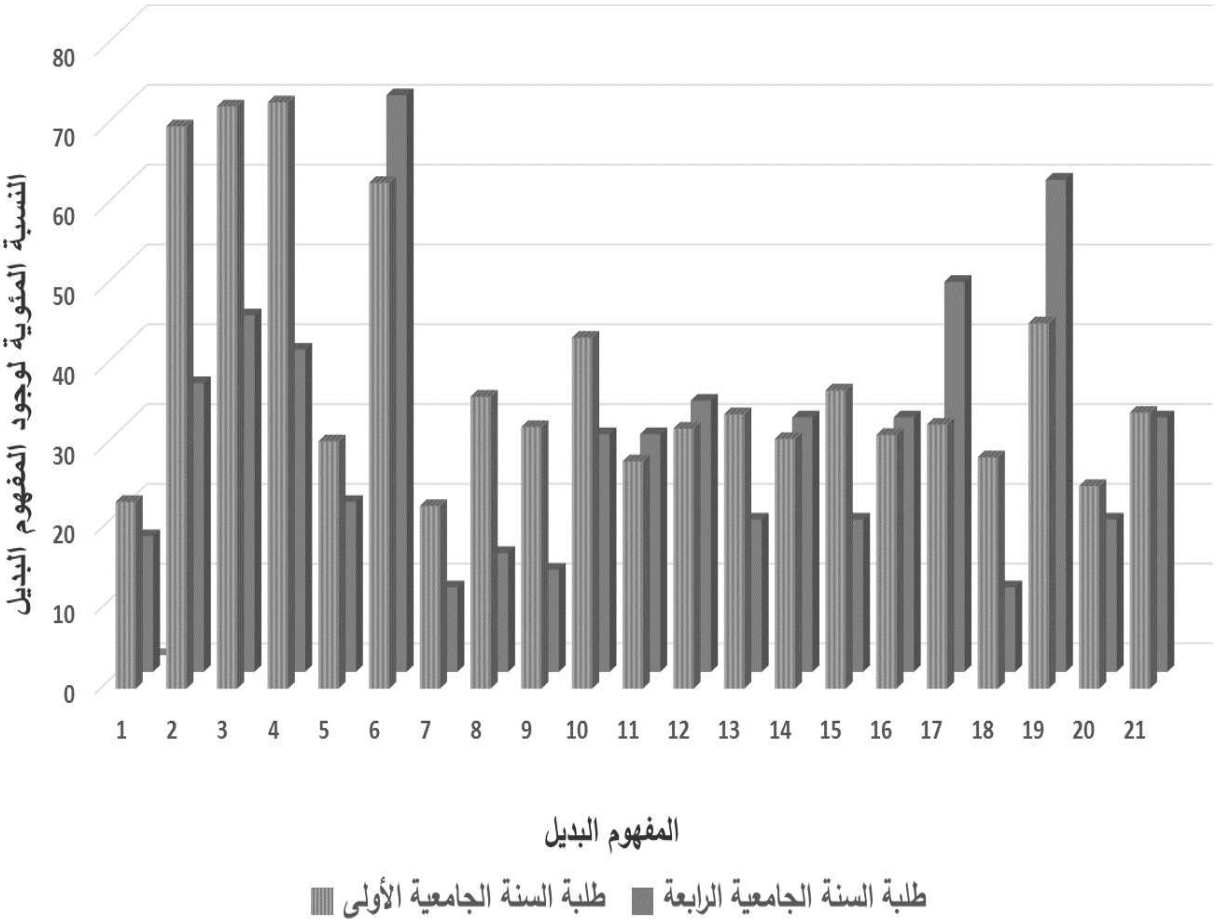
يُلاحَظ من الجدول 4.2 أنّ أكثر المفاهيم البديلة شـــيوعا عند طلبة الســـنة الأولى في محور مبدأ اللايقين يتمثّل باعتقاد الطلبة بأنّ Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم حيث تواجد بنسبة 74%، بينما كان أكثرها شيوعا عند طلبة السـنة الرابعة المفهوم البديل المتمثّل باعتقاد الطلبة بأنّ عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي وتواجد بنسبة 72%، كما ويتضح من الجدول أنّ معظم المفاهيم البديلة في هذا المحور قد انخفضت نســب وجودها عند طلبة الســنة الرابعة، وكان من أكثرها انخفاضــاً المفهوم البديل المتمثّل بأنّ مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات القياس البشــري للكميات الفيزيائية، حيث تواجد بنســبة 71% عند طلبة الســـنة الأولى وانخفض إلى 36% عند طلبة الســـنة الرابعة، ومن الجدير ذكره أنّ المفهوم البديل المتمثل باعتقاد الطلبة بأنّ عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي قد ارتفعت نسبة وجوده عند طلبة السنة الرابعة إلى 72%، بينما كانت 63% عند طلبة السنة الأولى.

كما ويُظهر الجدول أنّ أكثر المفاهيم البديلة شـــيوعاً عند طلبة الســـنة الجامعية الأولى والرابعة في محور الخاصية اللاحتمية هو اعتقاد الطلبة بأنّ اللاحتمية ناتجة عن الحركة السريعة للجسيمات مما يُصعّب عملية رصدها، فشكّلت نسبة وجوده 44% عند طلبة السنة الأولى و30% عند طلبة السنة الرابعة، ومن الملفت للنظر انخفاض معظم النســب المئوية للمفاهيم البديلة التي شــملها هذا المحور عند طلبة السنة الرابعة، وكان من أكثرها انخفاضــاً اعتقاد الطلبة بأنّ اللاحتمية ناتجة عن عدم وجود كفاءة تكنولوجية حيث شكّلت نسبة وجوده 37% عند طلبة السنة الأولى وانخفضت إلى 15% عند طلبة الســـنة الرابعة، بينما ارتفعت نســـبة المفهوم البديل المتمثل بإمكانية التنبؤ بأي كمية فيزيائية نرغب بقياسها بدقة مطلقة لأي نظام كمي معزول انطلاقاً من وضعه الحالي عند طلبة السنة الرابعة.

أمّا محور الخاصية الازدواجية فكانت نتائجه عكس المحورين السابقين حيث ارتفعت النسب المئوية لمعظم المفاهيم البديلة عند طلبة السنة الرابعة، وكان من أكثرها ارتفاعاً المفهوم البديل المتمثل بأنّ الإلكترون عبارة عن جُسيم يُعرف بموضعه وكتلته ويدور حول النواة بسرعة عالية جداً، فتواجد هذا المفهوم بنسبة 33% عند طلبة السنة الأولى وارتفعت نسبة وجوده إلى 49% عند طلبة السنة الرابعة.

وفي محور النموذج الذري برز المفهوم البديل المتمثّل بأنّ الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي كأكثر المفاهيم البديلة شيوعاً عند طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة، وقد ارتفعت نسبة وجوده عند طلبة السنة الرابعة فشكّلت 62% بينما كانت 46% عند طلبة السنة الأولى، في المقابل كان من أقلها شيوعاً المفهوم البديل المتمثّل بإمكانية رؤية الإنسان لذرة منفردة – بما يشمل مكوناتها الدقيقة – بشكل مباشر إذا توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضل في المستقبل، حيث تواجد بنسبة 29% عند طلبة السنة الأولى، وبنسبة 11% عند طلبة السنة الرابعة.

ويمكن إجمال النتائج السابقة بالشكل البياني 4.3 الذي يوضح النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري.



شكل 4.3

النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري

اتضــح ممّا ســبق تفاوت متوســطات النســب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة في محاور الدراسة الأربعة حيث كان أعلاها في محور مبدأ اللايقين وأدناها في محور الخاصية اللاحتمية، وقد انخفضـت النسـب المئوية لمعظم المفاهيم البديلة عند طلبة السـنة الرابعة مقارنة بطلبة السـنة الأولى في كل من محور اللايقين والخاصـية اللاحتمية والنموذج الذري، بينما ارتفعت النسـب المئوية لمعظم المفاهيم البديلة عندهم في محور الخاصية الازدواجية.

4:3:1 المفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الأولى حول المفاهيم والمبادئ المجردة المتعلقة بمبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري

يحمل طلبة السنة الجامعية الأولى مجموعة من المفاهيم البديلة حول المبادئ والمفاهيم الأساسية المجرّدة في ميكانيكا الكم بنسب متفاوتة، ويعرض الجدول 4.3 عدد طلبة السنة الأولى الذين يحملون كل مفهوم بديل ونسبة تواجده لديهم.

جدول 4.3

النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الأولى وعدد الطلبة الذين يحملون كل مفهوم

الرقم	المحور	المفهوم البديل	عدد الطلبة الذين يحملون المفهوم البديل	النسبة المئوية لوجوده لدى الطلبة
1	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين قائم على عمل قياسات حول القيم الحقيقية –المحددة بشكل مطلق– للكميات الفيزيائية.	92	%23
2	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات القياس البشري للكميات الفيزيائية.	277	%71
3	مبدأ اللايقين	Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم.	287	%73
4	مبدأ اللايقين	Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم.	289	%74
5	مبدأ اللايقين	مقدار اللايقين يعتمد على حجم الجُسيم.	122	%31
6	مبدأ اللايقين	عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي.	249	%63
7	الخاصية اللاحتمية	اللايقين ناتج عن الحركة السريعة للجسيمات دون الذرية.	90	%23

الرقم	المحور	المفهوم البديل	عدد الطلبة الذين يحملون المفهوم البديل	النسبة المئوية لوجوده لدى الطلبة
8	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن عدم وجود كفاءة تكنولوجية.	144	%37
9	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن وجود أخطاء بشرية في القياس.	129	%33
10	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن الحركة السريعة للجسيمات والتي تُعيق عملية رصدها.	173	%44
11	الخاصية اللاحتمية	انطلاقا من حالة نظام كمي معزول في لحظة ما يمكن التنبؤ بأي كمية فيزيائية نرغب بقياسها لاحقا بدقة مطلقة.	112	%29
12	الخاصية الازدواجية	كل جُسيم يتكون من شقين منفصلين، أحدهما ذا خواص موجية والآخر ذا خواص جسيمية ولا يمكن أن يعملا معاً.	128	%33
13	الخاصية الازدواجية	الخاصية الموجية للجسيمات ناتجة عن تذبذبات المادة المكوّنة لها.	135	%34
14	الخاصية الازدواجية	إمكانية عمل قياسات دقيقة لخواص موجية وجسيمية في نفس الوقت.	123	%31
15	الخاصية الازدواجية	الخواص الموجية خاصة بالجسيمات المجهرية الصغيرة، والخواص الجسيمية خاصة بالجسيمات المجهرية الكبيرة.	147	%37
16	الخاصية الازدواجية	الفوتونات عبارة عن تيارات من جسيمات صغيرة تتحرك في مسارات محددة على شكل موجات.	125	%32
17	الخاصية الازدواجية	الإلكترون عبارة عن جُسيم يُعرف بموضعه وكتلته ويدور حول النواة بسرعة عالية جدا.	130	%33
18	النموذج الذري	إمكانية رؤية الإنسان لذرة منفردة –بما يشمل مكوناتها الدقيقة– بشكل مباشر إن توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضل في المستقبل.	114	%29

الرقم	المحور	المفهوم البديل	عدد الطلبة الذين يحملون المفهوم البديل	النسبة المئوية لوجوده لدى الطلبة
19	النموذج الذري	الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي.	180	%46
20	النموذج الذري	الإلكترونات تدور في مدارات لها مواضع محددة بدقة مطلقة حول النواة.	100	%25
21	النموذج الذري	الإلكترونات تتواجد في الذرة على شكل كرات صغيرة.	136	%35

يتضح من الجدول 4.3 ارتفاع النسب المئوية لبعض المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة كالمفهوم البديل المتمثّل بأنّ Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم، حيث تواجد عند 289 طالب من طلبة السنة الجامعية الأولى وهؤلاء يشكلون 74% من حجم عينة الدراسة، ومن المفاهيم البديلة الشائعة أيضا المفهوم البديل المتمثّل بأنّ Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم، حيث تواجد عند 287 طالب وهؤلاء يشكلون 73% من عينة الدراسة، ويحتل المفهوم البديل الذي ينص على أنّ مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات القياس البشري للكميات الفيزيائية المرتبة الثالثة من حيث شيوعه عند الطلبة حيث تواجد عند 277 طالب، وهؤلاء يشكلون 71% من عينة الدراسة.

كما وأظهر الجدول السابق مفاهيم بديلة كانت أقل شيوعاً عند الطلبة مثل اعتقادهم بأنّ عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي حيث شكّلت نسبة وجوده عند الطلبة 63%، وكذلك المفهوم البديل المتمثل باعتقاد الطلبة بأنّ الخاصية اللاحتمية في ميكانيكا الكم ناتجة عن الحركة السريعة للجسيمات مما يُصعّب عملية رصدها حيث شكّلت نسبة وجوده عندهم 44%، والمفهوم البديل

المتمثل بأنّ الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي، فهي تتكون من نواة تتمركز في منتصفها وتدور حولها الإلكترونات التي تجري في مداراتها كما تجري الكواكب في أفلاكها حول الشمس، حيث تواجد هذا المفهوم عند 46% من الطلبة.

ومن المُلاحظ انخفاض نسب بعض المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة كاعتقادهم بأنّ اللايقين ناتج عن الحركة السريعة للجسيمات دون الذرية، حيث تواجد بنسبة 23%، وكذلك اعتقادهم بأنّ مبدأ اللايقين قائم على عمل قياسات حول القيم الحقيقية – المحددة بشكل مطلق – للكميات الفيزيائية، حيث تواجد بنسبة 23%.

وبناءً على ما سبق يمكن القول بأنّ طلبة السنة الجامعية الأولى يحملون مجموعة من المفاهيم البديلة بنسب متفاوتة، كان أكثرها شيوعا المفاهيم البديلة المتعلقة بمحور مبدأ اللايقين حيث تواجدت بنسب مئوية مرتفعة مقارنةً مع النسب المئوية للمفاهيم البديلة في المحاور الأخرى.

4:3:2 المفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الجامعية الرابعة حول المفاهيم والمبادئ المجردة المتعلقة بمبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري

يحمل طلبة السنة الجامعية الرابعة مجموعة من المفاهيم البديلة المتعلقة بالمبادئ والمفاهيم الأساسية المجرّدة في ميكانيكا الكم بنسب متفاوتة، ويعرض الجدول 4.4 عدد طلبة السنة الرابعة الذين يحملون كل مفهوم بديل ونسبة تواجده لديهم.

جدول 4.4

النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة السنة الرابعة وعدد الطلبة الذين يحملون كل مفهوم

الرقم	المحور	المفهوم البديل	عدد الطلبة الذين يحملون المفهوم البديل	النسبة المئوية لوجوده لدى الطلبة
1	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين قائم على عمل قياسات حول القيم الحقيقية –المحددة بشكل مطلق– للكميات الفيزيائية.	8	%17
2	مبدأ اللايقين	مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات القياس البشري للكميات الفيزيائية.	17	%36
3	مبدأ اللايقين	Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم.	21	%45
4	مبدأ اللايقين	Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم.	19	%40
5	مبدأ اللايقين	مقدار اللايقين يعتمد على حجم الجُسيم.	10	%21
6	مبدأ اللايقين	عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي.	34	%72
7	الخاصية اللاحتمية	اللايقين ناتج عن الحركة السريعة للجسيمات دون الذرية.	5	%11
8	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن عدم وجود كفاءة تكنولوجية.	7	%15
9	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن وجود أخطاء بشرية في القياس.	6	%13
10	الخاصية اللاحتمية	اللاحتمية ناتجة عن الحركة السريعة للجسيمات والتي تُعيق عملية رصدها.	14	%30
11	الخاصية اللاحتمية	انطلاقا من حالة نظام كمي معزول في لحظة ما يمكن التنبؤ بأي كمية فيزيائية نرغب بقياسها لاحقا بدقة مطلقة.	14	%30

الرقم	المحور	المفهوم البديل	عدد الطلبة الذين يحملون المفهوم البديل	النسبة المئوية لوجوده لدى الطلبة
12	الخاصية الازدواجية	كل جُسيم يتكون من شقين منفصلين، أحدهما ذا خواص موجية والآخر ذا خواص جسيمية ولا يمكن أن يعملا معاً.	16	%34
13	الخاصية الازدواجية	الخاصية الموجية للجسيمات ناتجة عن تذبذبات المادة المكوّنة لها.	9	%19
14	الخاصية الازدواجية	إمكانية عمل قياسات دقيقة لخواص موجية وجسيمية في نفس الوقت.	15	%32
15	الخاصية الازدواجية	الخواص الموجية خاصة بالجسيمات المجهرية الصغيرة، والخواص الجسيمية خاصة بالجسيمات المجهرية الكبيرة.	9	%19
16	الخاصية الازدواجية	الفوتونات عبارة عن تيارات من جسيمات صغيرة تتحرك في مسارات محددة على شكل موجات.	15	%32
17	الخاصية الازدواجية	الإلكترون عبارة عن جُسيم يُعرف بموضعه وكتلته ويدور حول النواة بسرعة عالية جدا.	23	%49
18	النموذج الذري	إمكانية رؤية الإنسان لذرة منفردة –بما يشمل مكوناتها الدقيقة– بشكل مباشر إن توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضل في المستقبل.	5	%11
19	النموذج الذري	الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي.	29	%62
20	النموذج الذري	الإلكترونات تدور في مدارات لها مواضع محددة بدقة مطلقة حول النواة.	9	%19
21	النموذج الذري	الإلكترونات تتواجد في الذرة على شكل كرات صغيرة.	15	%32

يتضح من الجدول 4.4 ارتفاع النسب المئوية لبعض المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة كاعتقادهم بأنّ عملية القياس تؤدّي إلى انهيار النظام الكمي، حيث تواجد هذا المفهوم البديل عند 34 طالب من

طلبة السنة الرابعة الذين شملتهم الدراسة وهؤلاء يشكلون 72% من حجم العينة، ومن المفاهيم البديلة الشائعة أيضا عند الطلبة اعتقادهم بأنّ الذرة في هيكليتها تشبه النظام الشمسي، فهي تتكون من نواة تتمركز في منتصفها وتدور حولها الإلكترونات التي تجري في مداراتها كما تجري الكواكب في أفلاكها حول الشمس، حيث تواجد هذا المفهوم البديل عند 29 طالب، وهؤلاء يشكلون 62% من عينة الدراسة، ويحتل المفهوم البديل المتمثّل بأنّ الإلكترون عبارة عن جُسيم يُعرف بموضعه وكتلته، ويدور حول النواة بسرعة عالية جدا – بالتالي يُعرف بخواصه الجسيمية فقط – المرتبة الثالثة من حيث نسبة شيوعه عند الطلبة، حيث تواجد عند 23 طالب وشكلت نسبة وجوده 49%.

كما وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي مفاهيم بديلة كانت أقل شيوعا عند الطلبة مثل اعتقادهم بأنّ Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم، حيث تواجد هذا المفهوم البديل عند 21 طالب، وهؤلاء يشكلون 45% من عينة الدراسة. وكذلك المفهوم البديل المتمثّل باعتقاد الطلبة بأنّ Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم، حيث تواجد بنسبة 40%، والمفهوم البديل الذي ينص على أنّ مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات الرصد والقياس البشري حيث تواجد بنسبة 36%.

ومن الملاحظ انخفاض نسب وجود بعض المفاهيم البديلة عند الطلبة مثل المفهوم البديل المتمثّل بأنّ اللايقين ناتج عن الحركة السريعة للجسيمات دون الذرية، حيث تواجد بنسبة 11%، وكذلك المفهوم البديل المتمثّل بأنّ اللاحتمية في ميكانيكا الكم ناتجة عن وجود أخطاء بشرية في القياس، حيث تواجد بنسبة 13%.

يتضــح ممّا ســبق أنّ الطلبة يحملون المفاهيم البديلة التي شــملتها الدراســة حول المفاهيم والمبادئ المجرّدة الأربعة بنسب متفاوتة، كان أكثرها شيوعاً المفاهيم البديلة المتعلقة بمحور مبدأ اللايقين حيث تواجدت بنسب مئوية مرتفعة مقارنةً مع النسب المئوية للمفاهيم البديلة في المحاور الأخرى.

4:4 وصـــف فهم الطلبة لكل من مبدأ اللايقين والخاصـــية اللاحتمية والخاصـــية الازدواجية والنموذج الذري ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة

للإجابة على ســـؤال الدراســـة الفرعي الثاني: كيف يصـــف الطلبة فهمهم لكل من مبدأ اللايقين والخاصـــية اللاحتمية والخاصـــية الازدواجية والنموذج الذري في ميكانيكا الكم؟ تمّ الاعتماد على إجاباتهم على أسئلة الاختبار، من خلال تسليط الضوء على البدائل التي حصلت على أعلى نسب مئوية وكذلك البدائل التي تمثّل الإجابات الصـحيحة. ثمّ مقارنتها ما بين طلبة السـنة الأولى والرابعة للإجابة على سؤال الدراسة الفرعي الثالث: ما مدى تطّور فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة خلال دراستهم الجامعية (ما بين السنة الأولى والرابعة)؟

يمكن وصـــف الفهم الصـــحيح لطلبة الســـنة الأولى والرابعة للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شـــملتها الدراســـة من خلال الجدول 4.5 الذي يعرض متوســـط النســـب المئوية لإجابات الطلبة الصحيحة في كل محور من محاور الاختبار.

جدول 4.5

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

يُلاحظ من الجدول 4.5 تدّني متوسطات النسب المئوية لإجابات الطلبة الصحيحة على فقرات الاختبار في محاوره الأربعة، ويُعد محور مبدأ اللايقين أكثرها تدنياً عند طلبة السنة الأولى والرابعة حيث بلغ متوسط النسب المئوية لإجابات الطلبة الصحيحة على فقرات الاختبار الخاصة بهذا المحور 19% عند طلبة السنة الأولى و37% عند طلبة السنة الرابعة، بينما يُعد محور النموذج الذري أقلها تدنياً عند طلبة السنة الأولى حيث بلغ متوسط النسب المئوية لإجابات الطلبة الصحيحة على فقرات الاختبار الخاصة به 38%، ويُعد محور الخاصية الازدواجية أقلها تدنياً عند طلبة السنة الرابعة حيث بلغ متوسط النسب المئوية لإجابات الطلبة الصحيحة على فقرات الاختبار الخاصة بهذا المحور 55%. ومن الجدير ذكره أنّ القصور بالفهم كبير جدا حيث تراوحت متوسطات النسب المئوية للإجابات الصحيحة على فقرات الاختبار في محاوره الأربعة (19%–38%) عند طلبة السنة الأولى، و (37%–55%) عند طلبة السنة الرابعة، ويعرض الملحق (3) النسب المئوية لإجابات طلبة السنة الأولى والرابعة الصحيحة على فقرات الاختبار بالتفصيل.

4:4:1 وصف فهم الطلبة لمبدأ اللايقين ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة

تم تخصيص المحور الأول في الاختبار لمبدأ اللايقين، ويشمل هذا المحور ست فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد، وقد تمّت الاستفادة من إجابات الطلبة على فقرات هذا المحور في وصف فهمهم لمبدأ اللايقين، فبعد تطبيق الاختبار على عينة الدراسة تم تحليل البيانات إحصائياً واحتساب عدد الطلبة الذين أجابوا على كل بديل لكل فقرة من فقرات الاختبار الخاصة بهذا المحور ونسبته المئوية. ويعرض الملحق (4) والملحق (5) النسب المئوية لإجابات طلبة السنة الأولى والرابعة على البدائل الأربعة الخاصة بكل فقرة من فقرات الاختبار في محور مبدأ اللايقين.

يتضح من الملحق (4) أنّ 71% من طلبة السنة الأولى يعتقدون بأنّ مبرر إضافة مبدأ اللايقين إلى علم الفيزياء يتمثّل بوجود أخطاء في عمليات رصد قيم الكميات الفيزيائية، سواء أخطاء ناتجة عن عدم دقة الأدوات المستخدمة في القياس، أو أخطاء بشرية في قراءة هذه القياسات. أما بالنسبة للإضافة الجديدة التي قدّمها هذا المبدأ فيرى 34% من الطلبة أن مبدأ اللايقين أضاف إلى فيزياء الكم أنّ دقة القياس تعتمد على طبيعة النظام وليس على دقة أدوات القياس فقط كما في الفيزياء الكلاسيكية، بينما 30% من الطلبة يرون أنّ هذه الإضافة تتمثل بتقديم تنبؤات إحصائية مختلفة حول القياسات الممكنة للكميات الفيزيائية، وهذه التنبؤات ناتجة عن عدم دقة أدوات القياس فقط ولا علاقة لها بطبيعة النظام.

وفيما يتعلق بعلاقة مقدار اللايقين بحجم الجُســـيم فيرى 31% من طلبة الســـنة الأولى أنّ مقدار اللايقين يتأثر بحجم الجُســـيم، فكلما زاد حجم الجُســـيم نقص اللايقين في القياس، بينما 31% من الطلبة يرون أنّ مقدار اللايقين يرتبط بدقة الكمية المرتبطة المصـاحبة بما يضـمن زيادة الأول على حساب الثاني والعكس صحيح ولا يرتبط بحجم الجسيم، وفي سياق متصل يرى 63% من الطلبة أنّ إجراء عملية قياس لأحد الخواص في النظام الكمي يؤدّي إلى انهياره وبالتالي عدم القدرة على قياس خواصه الأخرى.

كما ويرى 73% من طلبة الســـنة الأولى أنّ Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم، وفي ذات السياق يرى 74% منهم أنّ Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم.

أمّا طلبة السنة الرابعة فيتضح من الملحق (5) أنّ 43% منهم يرون أنّ مبرر إضافة مبدأ اللايقين إلى علم الفيزياء هو طبيعة عالم الكم الذي يتميز باللاحتمية، بينما يرى 36% منهم أنّ مبرر هذه الإضافة يتمثّل بوجود أخطاء في عمليات رصد قيم الكميات الفيزيائية، سواء أخطاء ناتجة عن عدم دقة الأدوات المستخدمة في القياس، أو أخطاء بشرية في قراءة هذه القياسات. أما بالنسبة للإضافة الجديدة التي قدّمها هذا المبدأ فيرى 45% من الطلبة أن الإضـــافة المميزة لمبدأ اللايقين إلى فيزياء الكم تتمثل بأنّ دقة القياس تعتمد على طبيعة النظام وليس على دقة أدوات القياس فقط كما في الفيزياء الكلاسيكية، بينما 23% منهم يرون أنّ هذه الإضافة تتمثل بتقديم تنبؤات إحصائية مختلفة حول القياســـات الممكنة للكميات الفيزيائية، وهذه التنبؤات ناتجة عن عدم دقة أدوات القياس فقط ولا علاقة لها بطبيعة النظام.

وفيما يتعلق بعلاقة مقدار اللايقين بحجم الجُســـيم فيرى 21% من طلبة الســـنة الرابعة أنّ مقدار اللايقين يتأثر بحجم الجُســـيم، فكلما زاد حجم الجُســـيم نقص اللايقين في القياس، بينما 57% منهم يرون أنّ مقدار اللايقين يرتبط بدقة الكمية المرتبطة المصـاحبة بما يضـمن زيادة الأول على حسـاب الثاني والعكس صـحيح ولا يرتبط بحجم الجسيم، وفي سـياق متصـل يرى 72% من الطلبة أنّ إجراء عملية قياس لأحد الخواص في النظام يؤدّي إلى انهياره وبالتالي عدم القدرة على قياس خواصـــه الأخرى.

كما يرى 45% من طلبة السنة الرابعة أنّ Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسـيم، وفي ذات السـياق يرى 40% منهم أنّ Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ تمثل مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم.

وبشكل عام يُلاحظ انخفاض النسب المئوية لإجابات الطلبة الصـحيحة على فقرات الاختبار الخاصـة بهذا المحور، حيث اتضـــح قصـــور كبير في فهم طلبة الســـنة الأولى لما تمثله Δ ف وΔ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ، فشكلت النسبة المئوية لإجابات الطلبة الصحيحة لما تمثله Δ ف 7% ولما تمثله Δ كت 10%، وقد تطّورت هذه النسب عند طلبة السنة الرابعة فشكلت 32% لما تمثله Δ ف و28% لما تمثله Δ كت. ومن الملفت للنظر انخفاض النسـبة المئوية للإجابات الصـحيحة للسـبب وراء عدم القدرة على قياس موضـــع الجسـيم وكمية تحركه بدقة مطلقة في نفس الوقت حيث شـكلت 21% عند طلبة السنة الأولى، وانخفضت إلى 19% عند طلبة السنة الرابعة.

4:4:2 وصـف فهم الطلبة للخاصـية اللاحتمية ومدى تطوره ما بين السـنة الجامعية الأولى والرابعة

تم تخصـيص المحور الثاني في الاختبار للخاصـية اللاحتمية التي تميّزت بها ميكانيكا الكم، ويشـمل هذا المحور خمس فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد، وقد تمّت الاســـتفادة من إجابات الطلبة على فقرات هذا المحور في وصـــف فهمهم للخاصـــية اللاحتمية، فبعد تطبيق الاختبار على عينة الدراســة تمت عملية التحليل الإحصــائي للبيانات واحتســاب عدد الطلبة الذين أجابوا على كل بديل لكل فقرة من فقرات الاختبار الخاصـة بهذا المحور ونسبته المئوية. يعرض الملحق (6) والملحق (7) النسب المئوية لإجابات طلبة السنة الأولى والرابعة على البدائل الأربعة الخاصـة بكل فقرة من فقرات الاختبار في محور الخاصية اللاحتمية.

يظهر من الملحق (6) أنّ 33% من طلبة الســـنة الأولى يعتقدون بأنّ ميكانيكا الكم تتميز بالحتمية المطلقة، وعدم القدرة على تحديد القيم المطلقة للكميات الفيزيائية ناتج عن عدم دقة أدوات القياس، بينما يرى 26% منهم أنّ ميكانيكا الكم تهتم بكل الخيارات الممكنة لقياســـات الكميات الفيزيائية، واحتمال كل منها، لأنّ اللاحتمية خاصـية متأصـلة فيها. وفي ذات السـياق ينظر 44% من الطلبة إلى الخاصـية اللاحتمية على أنها خاصـية ناتجة عن الحركة السـريعة للجسيمات مما يُصـعّب عملية رصدها، ولا يعتقدون بأنها خاصية أساسية.

أمّا فيما يتعلّق بإمكانية التنبؤ بقياســات الكميات الفيزيائية لنظام كمي معزول فيرى 29% من الطلبة أنه يمكن التنبؤ بأي كمية فيزيائية نرغب بقياسـها لاحقاً بدقة مطلقة، بينما يرى 23% منهم أنه يمكن

التنبؤ بخواص الجُسيمات الموجية ولا يمكن التنبؤ بخواصها الجُسيمية بالاعتماد على وضع النظام المعزول في لحظة ما. وفيما يخص موضع الجُسيم دون الذري فيرى 37% من الطلبة أن له تنبؤات إحصـــائية مختلفة لكل منها احتمال وجود معيّن، بينما 37% منهم يرون أنّ له قيمة محددة بدقة مطلقة، والخطأ في التحديد ناتج عن الأدوات المُستخدمة في القياس فقط.

وفي ذات السياق يرى 45% من طلبة السنة الأولى أنّ Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ ناتجتان عن القدرة على قياس خواص موجية وجسيمية معاً ولا علاقة لهما بالخاصية اللاحتمية التي تُميّز عالم الكم، بينما 23% من الطلبة يرون أنهما ناتجتان عن الحركة السريعة جداً للجسيمات دون الذرية.

أمّا طلبة السنة الرابعة فيرى 62% منهم كما يتضح من الملحق (7) أنّ أهم إضافات ميكانيكا الكم إلى علم الفيزياء تتمثل بأنها تهتم بكل الخيارات الممكنة لقياســـات الكميات الفيزيائية، واحتمال كل منها، لأنّ اللاحتمية خاصية متأصلة فيها، بينما يرى 17% منهم أنّها تستخدم قوانين تُعطينا قياسات دقيقة جداً لكل من موضـــع الجســيم وكمية تحركه. وفي ســياق متصــل يرى 47% من الطلبة أنّ الخاصـية اللاحتمية تُعد أحد الخصـائص الأسـاسـية في ميكانيكا الكم، بينما 30% منهم يرون أنها ليسـت خاصـية أسـاسـية وإنما خاصـية ناتجة عن الحركة السـريعة للجسـيمات مما يُصـعّب عملية رصدها.

وفيما يتعلّق بإمكانية التنبؤ بقياســـات الكميات الفيزيائية لنظام كمي معزول فيرى 30% من طلبة السـنة الرابعة أنه يمكن التنبؤ بأي كمية فيزيائية نرغب بقياسـها بدقة مطلقة، بينما 32% منهم يرون

أنّه لا يمكن عمل تنبؤات دقيقة لقيم الكميات الفيزيائية في النظام الكمي المعزول، ويرى 19% من الطلبة أنه يمكن التنبؤ بخواص الجُسيمات الموجية ولا يمكن التنبؤ بخواصها الجُسيمية بالاعتماد على وضع النظام المعزول في لحظة ما. وفيما يخص موضع الجُسيم دون الذري فإنّ 66% من الطلبة يرون أن له تنبؤات إحصائية مختلفة لكل منها احتمال وجود معيّن، بينما 15% منهم يرون أنّ له قيمة محددة بدقة مطلقة، والخطأ في التحديد ناتج عن الأدوات المُستخدمة في القياس فقط.

وفي ذات السياق يرى 49% من طلبة السنة الرابعة أنّ Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ ناتجتان عن الخاصية اللاحتمية التي تميّز ميكانيكا الكم، بينما 38% منهم يرون أنهما ناتجتان عن القدرة على قياس خواص موجية وجسيمية معاً ولا علاقة لهما بالخاصية اللاحتمية.

ختاماً، أظهرت النتائج تطوّر مفاهيم الطلبة الصحيحة الخاصة بهذا المحور بشكل ملحوظ أكثر من المحاور الأخرى، حيث ارتفعت نسب الإجابات الصحيحة عند طلبة السنة الرابعة، وكان من أكثرها تطوّراً المفهوم الصحيح المتمثّل بتميّز ميكانيكا الكم عن الميكانيكا الكلاسيكية بأنّها تهتم بكل الخيارات الممكنة لقياسات الكميات الفيزيائية واحتمال كل منها، بالتالي الخاصية اللاحتمية خاصية متأصلة فيها، حيث شكّلت نسبة الإجابات الصحيحة على هذه الفقرة عند طلبة السنة الأولى 26%، بينما ارتفعت إلى 62% عند طلبة السنة الرابعة، وكان من أقلها تطوّراً المفهوم الصحيح المتمثل بعدم إمكانية التنبؤ بقياسات الكميات الفيزيائية للنظام الكمي لأنه يتميّز باللاحتمية، فكانت نسبة الإجابات الصحيحة على هذا المفهوم 32% عند طلبة السنة الرابعة و21% عند طلبة السنة الأولى.

4:4:3 وصف فهم الطلبة للخاصية الازدواجية ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة

تم تخصيص المحور الثالث في الاختبار للخاصية الازدواجية، ويشمل هذا المحور ست فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد، وقد تمّت الاستفادة من إجابات الطلبة على فقرات هذا المحور في وصف فهمهم للخاصية الازدواجية، فبعد تطبيق الاختبار على عينة الدراسة تمّت عملية التحليل الإحصائي للبيانات واحتساب عدد الطلبة الذين أجابوا على كل بديل لكل فقرة من فقرات الاختبار الخاصة بهذا المحور ونسبته المئوية. ويعرض الملحق (8) والملحق (9) النسب المئوية لإجابات طلبة السنة الأولى والرابعة على البدائل الأربعة الخاصة بكل فقرة من فقرات الاختبار في محور الخاصية الازدواجية.

يتضح من الملحق (8) أنّ 39% من طلبة السنة الأولى يرون أنّ الخاصية الازدواجية تتمثل بامتلاك الجسيمات خواص موجية تُظهرها بعض التجارب، وخواص جسيمية تُظهرها تجارب أخرى، بينما 33% منهم يرون أنّ الخاصية الازدواجية تتمثل بامتلاك كل جسيم شقين منفصلين، أحدهما ذا خواص موجية والآخر ذا خواص جسيمية ولا يمكن أن يعملا معاً. في ذات السياق يرى 37% من الطلبة أنّ الخاصية الازدواجية تتمثل بامتلاك الجُسيمات المجهرية الكبيرة خواص جسيمية فقط والجسيمات المجهرية الصغيرة خواص موجية فقط، بينما 24% منهم يرون أنّ الخاصية الازدواجية تُلاحَظ على الفوتونات، ولا تُلاحَظ على الإلكترونات.

كما ويتضـــح أنّ 36% من طلبة الســـنة الأولى يعتقدون بأنّ تداخل وحيود الإلكترونات دليل على امتلاكها لخواص موجية، وكلما زادت دقة قياس الخواص الموجية تقل دقة قياس الخواص الجسيمية، بينما يرى 31% منهم أنّه يمكن قياس خواص موجية وجســـيمية للإلكترونات في نفس الوقت. وفي ســـياق متصـــل يرى 34% من الطلبة أنّ الخواص الموجية للإلكترونات ناتجة عن تذبذبات المادة المكوّنة لها، بينما يرى 29% منهم أنّ هذه الخواص أســاســية –وليســت عارضــة– وهي مهمة في تفســـير تداخل وحيود الإلكترونات، وفي ذات الســـياق يرى 25% من الطلبة أنّ الخواص الموجية للإلكترونات ناتجة عن وجود عناصر مشعة دخلت في تركيبها.

يصف 32% من طلبة السنة الأولى الفوتونات على أنها تيارات من الجسيمات الصغيرة التي تتحرك في مســـارات محددة على شـــكل موجات، بينما يصـــفها 27% منهم على أنها جســـيمات تشـــبه الإلكترونات في تركيبها ولكنها متعادلة الشحنة. وفيما يتعلّق بالإلكترونات فيصفها 33% من الطلبة على أنها جُسيمات مركبة تُعرف بموضعها وكتلتها، وتدور حول النواة بسرعة عالية جداً، بينما يصفها 28% من الطلبة على أنها جُسيمات أولية يمكن أن تمتلك خواص موجية أو خواص جسيمية.

وفي ســياق متصــل، يظهر من الملحق (9) أنّ 62% من طلبة الســنة الرابعة يرون أنّ الخاصــية الازدواجية تتمثّل بامتلاك الجســـيمات خواص موجية تُظهرها بعض التجارب، وخواص جســـيمية تُظهرها تجارب أخرى، كما ويصــف 49% منهم الإلكترونات بخواصــها الجســيمية فقط. وفي ذات الســـياق يرى 68% من الطلبة أنّ الخاصـــية الازدواجية ممكنة القياس إذا كانت موجة دي برولي المصـــاحبة أكبر أو تســـاوي أبعاد الجســـيم فعندها يمكن قياس الخواص الموجية وغير ذلك تظهر

الخواص الجســـيمية، بينما 19% منهم يرون أنّ الخاصـــية الازدواجية تتمثل بامتلاك الجُســـيمات المجهرية الكبيرة خواص جسيمية فقط والجسيمات المجهرية الصغيرة خواص موجية فقط.

يرى 55% من طلبة السـنة الرابعة أنّ تداخل وحيود الإلكترونات دليل على امتلاكها خواص موجية، وكلما زادت دقة قياس الخواص الموجية تقل دقة قياس الخواص الجسيمية، بينما يرى 32% منهم أنّه يمكن قياس خواص موجية وجسيمية للإلكترونات في نفس الوقت. وفي سياق متصل يرى 72% من الطلبة أنّ الخاصية الموجية للإلكترونات خاصية أساسية تفسر بعض الظواهر مثل تداخلها وحيودها، بينما يرى 19% منهم أنّ هذه الخاصـية خاصـية عارضـة ناتجة عن تذبذبات جزيئات المادة المكونة للإلكترونات.

يصـف 43% من طلبة السنة الرابعة الفوتونات على أنها جسيمات أولية لها خواص موجية وخواص جسيمية، بينما يصـفها 32%منهم على أنها تيارات من الجسيمات الصـغيرة التي تتحرك في مسارات محددة على شـكل موجات. وفيما يتعلّق بالإلكترونات فيصـفها 49% من الطلبة على أنها جُسـيمات مركبة تُعرف بموضـعها وكتلتها وتدور حول النواة بسـرعة عالية جداً، بينما يصـفها 28% منهم على أنها جُسيمات أولية يمكن أن تمتلك خواص موجية وخواص جسيمية.

يُلاحظ من النتائج انخفاض النسب المئوية للإجابات الصحيحة لبعض المفاهيم المجرّدة الخاصة بهذا المحور مثل المفهوم الصـــحيح المتمثّل بأنّ الإلكترونات عبارة عن جُســـيمات أولية يمكن أن تمتلك خواص موجية وخواص جسيمية، حيث شكلت النسبة المئوية للإجابات الصحيحة لهذا المفهوم 28% عند طلبة السـنة الأولى والرابعة، بينما ارتفعت النسـبة المئوية لبعض المفاهيم الصـحيحة عند طلبة

السـنة الرابعة ومنها المفهوم الصـحيح المتمثل بامتلاك الإلكترونات خواص موجية لا تقل أهمية عن الخواص الجسيمية حيث شكّلت نسبة وجوده عند طلبة السنة الأولى 29% وارتفعت إلى 72% عند طلبة السنة الرابعة.

4:4:4 وصف فهم الطلبة للنموذج الذري ومدى تطوره ما بين السنة الجامعية الأولى والرابعة

تم تخصيص المحور الرابع في الاختبار للنموذج الكمي للذرة، ويشمل هذا المحور أربع فقرات يحمل كل منها مفهوم بديل واحد، وقد تمّت الاستفادة من إجابات الطلبة على فقرات هذا المحور في وصف فهمهم للنموذج الذري، فبعد تطبيق الاختبار على عيّنة الدراسـة تمّت عملية التحليل الإحصـائي للبيانات واحتسـاب عدد الطلبة الذين أجابوا على كل بديل لكل فقرة من فقرات الاختبار الخاصـة بهذا المحور ونسـبته المئوية. ويعرض الملحق (10) والملحق (11) النسـب المئوية لإجابات طلبة السـنة الأولى والرابعة على البدائل الأربعة الخاصـة بكل فقرة من فقرات الاختبار الخاصـة بمحور النموذج الذري.

يرى 39% من طلبة السـنة الأولى كما يتضـح من الملحق (10) أنّ رؤية الذرة ليسـت مرتبطة بالإمكانيات التكنولوجية، حيث لا يمكن لأحد رؤية ذرة منفردة بشـكل مباشـر بما تحتويه من مكونات دقيقة، بينما يرى 29% منهم أنّ هذا سيكون ممكناً إذا توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضل في المستقبل.

يصف 46% من طلبة السنة الأولى الذرة على أنّها تتكون من نواة تتمركز في منتصفها وتدور حولها الإلكترونات التي تجري في مداراتها كما تجري الكواكب في أفلاكها حول الشـــمس، بينما يصـــفها 31% منهم على أنها تتكون من نواة تتمركز في منتصفها وتظهر الإلكترونات حولها كبقع من الغيوم المشـحونة. وفي سـياق متصـل يرى 45% من الطلبة أنه يمكن وضـع تصـوّر تقريبي لمسـارات الإلكترونـات المحتملـة حول النواة، بينمـا يرى 25% منهم أنّ الإلكترونـات تتواجد في مـدارات يمكن تحديد أماكن تواجدها حول النواة بدقة مطلقة. كما ويعتقد 36% من الطلبة أنّ الإلكترونات تظهر حول النواة على شـــكل غيوم يمكن تقدير أماكن تواجدها المُحتملة ولا يمكن تحديد مواضـــعها بدقة مطلقة، بينما يعتقد 35% منهم أنّ الإلكترونات تظهر حول النواة على شـكل كرات صـغيرة تدور في مدارات محددة.

وفي ذات الســـياق يرى 62% من طلبة الســـنة الرابعة كما يظهر من الملحق (10) أنّ رؤية الذرة ليست مرتبطة بالإمكانيات التكنولوجية، حيث لا يمكن لأحد رؤية ذرة منفردة بشكل مباشر بما تحتويه من مكونات دقيقة، بينا يرى 11% منهم أنّ هذا ســـيكون ممكناً إذا توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضـــل في المســـتقبل. يصـــف 62% من الطلبة الذرة على أنّها تتكون من نواة تتمركز في منتصـــفها وتدور حولها الإلكترونات التي تجري في مداراتها كما تجري الكواكب في أفلاكها حول الشـمس، بينما يصـفها 30% منهم على أنها تتكون من نواة تتمركز في وسـطها وتظهر الإلكترونات حولها كبقع من الغيوم المشـحونة. وفي سياق متصـل يرى 64% من الطلبة أنه يمكن وضـع تصـوّر تقريبي لمســـارات الإلكترونات المحتملة حول النواة ولا يمكن تحديد أماكن تواجدها بدقة مطلقة، بينما

يرى 19% منهم أنّ الإلكترونات تتواجد في مدارات يمكن تحديد أماكن تواجدها حول النواة بدقة مطلقة.

كما ويعتقد 57% من طلبة السنة الرابعة أنّ الإلكترونات تظهر حول النواة على شكل غيوم يمكن تقدير أماكن تواجدها المُحتملة ولا يمكن تحديد مواضعها بدقة مطلقة، بينما يعتقد 32% منهم أنّ الإلكترونات تظهر حول النواة على شكل كرات صغيرة تدور في مدارات محددة.

ختاماً أظهرت النتائج تطوّر فهم الطلبة لمعظم المفاهيم الصحيحة الخاصة بهذا المحور حيث ارتفعت النسب المئوية لمعظم الإجابات الصحيحة عند طلبة السنة الرابعة، وكان المفهوم الصحيح المتمثل بعدم إمكانية رؤية ذرة منفردة –بما يشمل مكوناتها الدقيقة– بشكل مباشر أكثرها ارتفاعاً حيث شكّلت نسبة الإجابات الصحيحة على هذا المفهوم عند طلبة السنة الأولى 39% وارتفعت إلى 62% عند طلبة السنة الرابعة، بينما كان أقلها ارتفاعاً المفهوم الصحيح المتمثل بإمكانية وضع تصوّر تقريبي لمسارات الإلكترونات المُحتملة حول النواة، وعدم إمكانية تحديدها بشكل مطلق حيث شكّلت نسبة الإجابات الصحيحة لهذا المفهوم 45% عند طلبة السنة الأولى و64% عند طلبة السنة الرابعة. ومن الملفت للنظر عدم تطوّر الفهم الكمي للذرة حيث شكّلت النسبة المئوية لوصف الذرة على أنّها تتكون من نواة تتمركز في منتصفها وتظهر الإلكترونات حولها كبقع من الغيوم المشحونة 31% عند طلبة السنة الأولى و30% عند طلبة السنة الرابعة.

يتضح ممّا سبق تفاوت نسب الإجابات الصحيحة في محاور الدراسة الأربعة، حيث ارتفعت معظم النسب المئوية لإجابات طلبة السنة الرابعة الصحيحة على محاور الاختبار الخاصة بمبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والنموذج الكمي للذرة، بينما انخفضت بشكل ملحوظ في محور الخاصية

الازدواجية. وفيما يتعلّق بالبدائل التي اختارها الطلبة لوصـــف فهمهم للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شـــملتها الدراســـة فقط تمركزت في معظم الفقرات حول البدائل التي تحمل المفاهيم الصحيحة والبديلة.

4:5 تفســـير مفاهيم ومعتقدات الطلبة حول مبدأ اللايقين والخاصـــية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري

قامت الباحثة بعقد مقابلات شـبه منظمة "semi-structured" مع عشـرة طلاب من طلبة السـنة الجامعية الرابعة وثمانية عشـر طالباً من طلبة السـنة الجامعية الأولى الذين ينتمون لعينة الدراسـة، طرحت خلالها الباحثة أسئلة مُعدّة مسبقاً حول المفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة (الملحق (2)).

وبعد جمع البيانات تمّ تفريغها لكل من طلبة السـنة الجامعية الأولى والرابعة كلٌ على حدى وقراءتها عدّة مرات بطريقة نشـطة، في محاولة لاسـتكشـاف أنماط الفهم المختلفة للمفاهيم والمبادئ المجرّدة التي شـملتها الدراسـة، وبعد تولّد قائمة من الأفكار حولها، تم وضـع رُموز أوليّة تُشـير إلى السـمات الأسـاسـية لأنماط فهم الطلبة لكل مفهوم أو مبدأ مجرّد شـملته الدراسـة، وبعد التوصّـل إلى قائمة من الرموز المختلفة للبيانات أمكن تصـنيفها ضـمن أربعة أنماط محتملة، وبعد الحصـول على خريطة مُرضـية لأنماط الفهم التي تم اشـتقاقها من البيانات، تمّت مراجعة البيانات التي تم إدراجها تحت كل نمط، وتنظيمها بشكل متماسك ومتناسق داخلياً، والخروج بتعريف لهذا النمط من خلالها (Braun & Clarke, 2006). وقد أمكن تصنيف هذه الأنماط في أربعة محاور رئيسية كما يلي: الأول للأفكار

الكلاسـيكية، ويشـمل الطلبة الذين اسـتندت إجاباتهم على أفكار الميكانيكا الكلاسـيكية وتم إعطاؤها الرمز (C)، والثاني للأفكار الكمية ويشـمل الطلبة الذين اسـتندت إجاباتهم على أفكار ميكانيكا الكم وتم إعطاؤها الرمز (Q)، والثالث للأفكار المتداخلة بين الكلاسـيكية والكمية[1] ويشـمل الطلبة الذين دمجوا بين أفكار الميكانيكا الكلاسـيكية وأفكار ميكانيكا الكم وتم إعطاؤها الرمز (M)، أمّا الرابع فقد تم تخصـيصـه للطلبة الذين لم يتمكّنوا من الإجابة أو الذين قدّموا إجابات لا علاقة لها بالسـؤال المطروح وتم إعطاؤها الرمز (N).

4:5:1 تفسـير مفاهيم ومعتقدات طلبة السـنة الجامعية الأولى حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري

أظهرت نتائج المقابلات مع طلبة السـنة الأولى أنّ معظم الطلبة تقريباً أظهروا أفكاراً كلاسـيكية في وصـف فهمهم لمبدأ اللايقين وقد تمّ تصـنيفهم في محور الأفكار الكلاسـيكية فهم يعتقدون أنّ مبدأ اللايقين قائم على وجود أخطاء في قياس القيم الحقيقية المطلقة للكميات الفيزيائية، بالتالي يزودنا بقيمة الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المطلقة لموضع الجُسيم وكمية تحرّكه، كما ويعتقدون أنّ هناك علاقة عكسـية بين حجم الجسـيم ومقدار اللايقين، وفي هذا السـياق ذكر أحد الطلبة: *"أفهم مبدأ اللايقين على أنه لا يوجد دقة في أدوات القياس المستخدمة، فلا نستطيع قياس القيمة الحقيقية لكمية التحرك بدقة وإهمال الموضـع، لأنه يوجد نسـبة خطأ في القياس"* وأضـاف موضـحاً لعلاقة اللايقين

[1] أفكار الميكانيكا الكلاسيكية: هي الأفكار القائمة بشكل أساسي على النموذج الكلاسيكي، وتسمح باستنتاج سير الحركة المستقبلية على أساس معرفة الظروف الابتدائية.
أفكار ميكانيكا الكم: هي الأفكار القائمة بشكل أساسي على النموذج الكمي، ولا تسمح باستنتاج سير الحركة المستقبلية على أساس معرفة الظروف الابتدائية.

بحجم الجسيم: *"كلما زاد الحجم تغلب على الجسيمات الطبيعة الجسيمية ويكون من الصعب ملاحظة الطبيعة الموجية والعكس صحيح"*، وهذا الفهم يحمل في طياته الكثير من المفاهيم البديلة التي اهتمت الدراسة بالكشف عنها. أمّا القسم المتبقي من الطلبة فقد تمّ تصنيفهم ما بين المحورين الثالث والرابع، فالذين تمّ تصنيفهم ضمن المحور الثالث دمجوا بين الأفكار الكمية والكلاسيكية، أمّا الذين تمّ تصنيفهم بالمحور الرابع فقد أجابوا بأنهم لم يفهموا المادة أو إجابات أخرى لا علاقة لها بالسؤال المطروح.

أمّا فيما يتعلق بالخاصية اللاحتمية فقد أظهرت إجابات الطلبة افتقاراً كبيراً لفهمهم لهذه الخاصية؛ فما يقارب نصف الطلبة تم تصنيفهم في المحور الرابع حيث ذكروا بأنهم لا يعرفون هذه الخاصية، ومنهم أحد الطلبة الذي قال عندما سُئل عن معنى الخاصية اللاحتمية: *"لا أعرف عنها"*، والنصف الآخر تم تصنيفهم في المحور الأول حيث أظهروا أفكاراً كلاسيكية في تعريف اللاحتمية يدور معظمها حول وجود أخطاء في عمليات القياس ناتجة عن سرعة الجسيمات العالية جداً كما أشار أحد الطلبة: *"اللاحتمية خاصية من خواص ميكانيكا الكم ناتجة عن صعوبة رصد حركة الجسيمات نظراً لسرعتها بالتالي لا يمكن عمل قياسات بدقة لهذه الجسيمات السريعة، لا بد من وجود نسبة خطأ"*، أو تدور حول وجود أخطاء ناتجة عن عدم دقة أدوات القياس كما ذكر أحد الطلبة: *"القياسات الفيزيائية لا يمكن أن تكون دقيقة 100% لا بد من وجود نسبة خطأ ناتجة عن أدوات القياس نفسها"*، وهذا الوصف يشمل مفاهيم بديلة شملتها الدراسة.

أمّا محور الخاصية الازدواجية فقط تنوعت فيه إجابات الطلبة بين اتجاهين أحدهما يتمثل في الخلط بين مفاهيم كمية وكلاسيكية وشكل هؤلاء ما يقارب نصف الطلبة وقد تمّ تصنيفهم في المحور الثالث

– الذي يدمج بين الأفكار الكمية والكلاسيكية – أمّا النصف الآخر فيفتقرون تماماً للفهم وتم تصنيفهم في المحور الرابع. الطلبة الذين تمّ تصـــنيفهم في المحور الثالث الذي يدمج بين الأفكار الكمية والكلاسـيكية يعتقد معظمهم أنّ الخاصـية الازدواجية تعني امتلاك الجسـيم لخواص موجية وخواص جسيمية، ولكن في توضيح معنى ذلك أخفق أكثرهم حيث لم يميزوا بين الخواص الموجية والجسيمية وعرّفوا بعض الخواص الجســـيمية على أنها خواص موجية، فمثلا قال أحد الطلبة: *"أنّ الخاصـــية الازدواجية للإلكترونات تعني أنها تمتلك خواص موجية إضـــافة إلى خواصـــها الجســـيمية، وتظهر الخواص الموجية من خلال خاصـيتي الانكسـار والانتشـار وقدرتها على الاختراق وسـرعتها العالية"*، كما ويعتقد بعضهم أنّه من الممكن قياس خواص موجية وجسيمية في نفس الوقت، ومن الجدير ذكره أنّ إجابات الطالب الواحد على الأسئلة المتعلقة بالخاصية الازدواجية كانت متناقضة فيقول شيئاً في إجابته على سؤال ينفيه في إجابته على سؤال آخر، فمثلا ذكر أحد الطلبة أنّ: *"الخاصية الازدواجية تعني أنّ الجســـيم ممكن أن يكون موجة أو أن يكون جســـيم، فامتلاكه للخواص الموجية يعني أنه يتحول إلى موجة، وامتلاكه للخواص الجسـيمية يعني أنه يتحول إلى جسـيم بالتالي هما خاصـيتان تعملان بشكل منفصل تماما"*، وفي سؤال آخر قال: *"يمكن قياس خواص الجسيم الموجية والجسيمية في نفس الوقت"*، فإن كان الجســيم لا يمتلك الخاصــيتين معاً كما ذكر مســبقا، كيف ســيكون من الممكن قياسهما معاً؟ هذا تناقض واضح في الإجابات.

أمّا إجابات الطلبة على الأسئلة الخاصة بالنموذج الذري فأظهرت تمسكهم بالنماذج الكلاسيكية، فعند وصــف الذرة ذكر معظمهم أنّها عبارة عن كرة تتمركز النواة في منتصــفها وتدور حولها الإلكترونات في مدارات محددة وعددها مرتبط بعدد الإلكترونات، ووصفوا الإلكترونات على أنها جسيمات صغيرة

وبعضـهم قال كرات صـغيرة والمدارات على أنها حلقات دائرية أو مسـارات تتحرك فيها الإلكترونات كما تتحرك الكواكب في مســاراتها حول الشــمس وأجمعوا على أنّها غير مرئية، وفي هذا الســياق وصـــف أحد الطلبة الذرة كما يلي: *"كرة تتمركز فيها النواة التي تحتوي على بروتونات ونيوترونات وتدور حولها الإلكترونات في مدارات دائرية محددة ولها بعد ثابت عن النواة"*، وأضـــاف قائلاً في وصف الإلكترونات: *" كرات تدور في مدارات مثل كواكب المجموعة الشمسية حول الشمس"* ، وقد تمّ اســـتثناء طالبين تم تصـــنيفهم في المحور الثالث حيث دمجت إجاباتهم بين أفكار كمية وأفكار كلاسيكية، فقال أحد الطلبة أثناء وصفه للذرة: *"الذرة تتكون من نواة تتمركز في وسطها وتدور حولها الإلكترونات على شكل غيوم مشحونة بشحنة سالبة"* ، ولكن عند وصف حركة الإلكترونات حول النواة قال: *"تدور في مدارات محددة بشـكل منتظم، وهي تتميز بالخاصـية الجسـيمية وأحيانا تتحول إلى موجة"*.

4:5:2 تفسير مفاهيم ومعتقدات طلبة السنة الجامعية الرابعة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري

أظهرت نتائج المقابلات مع طلبة الســنة الجامعية الرابعة أنّ ثلثي الطلبة تقريبا يدمجون بين الأفكار الكمية والكلاسـيكية أثناء وصـف فهمهم لمبدأ اللايقين بالتالي تمّ تصـنيفهم في المحور الثالث، حيث ذكر أغلبهم أنّ هذا المبدأ جاء بإضـافة جديدة إلى علم الفيزياء تتمثل بعدم القدرة على قياس موضـع الجسـيم وكمية تحركه معاً بدقة مطلقة وهذا وصـف كمي سـليم، ولكنهم أخفقوا في تفسـير السـبب وربطوه بأفكار كلاسـيكية، وقد أشـار غالبية هؤلاء الطلبة إلى أنّ مقدار اللايقين لا يعتمد على حجم

الجسيم ولكنّهم أخفقوا في تفسير السبب أيضا، وفي هذا السياق 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"*، ويُظهر هذا الفهم افتقار الطلبة للمعنى الحقيقي لمبدأ اللايقين وسطحية فهمه، حيث لا يدرك الطلبة أنّ ميكانيكا الكم لا تتعامل مع قياسات مطلقة كما في الميكانيكا الكلاسيكية لأنها تمتاز بالخاصية اللاحتمية، كما وتمّ تصنيف بقية الطلبة في المحور الرابع حيث ذكر بعضهم إجابات خاطئة وفي كثير من الأحيان لا علاقة لها بالسؤال المطروح، وقد تمّ تصنيف طالب واحد في محور الأفكار الكمية – المحور الثاني – حيث أظهرت إجاباته فهم كمي سليم لمبدأ اللايقين.

وفي سياق متصل أظهرت نتائج المقابلات حول مبدأ اللايقين مجموعة من المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة، فيرى نصف الطلبة تقريبا أنّ Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين تمثلان مقدار الخطأ في قياس كل من موضع الجسيم وكمية تحركه، كما وأظهرت النتائج أنّ ثلث الطلبة تقريبا يعتقدون

بأنّ مبدأ اللايقين سيفقد أهميته إن تطورت كفاءة أدوات القياس في المستقبل، كما واتضح من إجابات الطلبة المختلفة أنّ نصفهم يحملون المفهوم البديل المتمثّل بأنّ مبدأ اللايقين قائم على عمل قياسات حول القيم الحقيقية –المحددة بشكل مطلق– للكميات الفيزيائية.

أمّا فيما يتعلق بالخاصية اللاحتمية فما يقارب نصف الطلبة وصفوا فهمهم لها بشكل خاطئ فتم تصنيفهم ضمن المحور الرابع، ومنهم أحد الطلبة الذي قال: *"اللاحتمية تعني أنّ كل شيء يتغير بسرعة"*، وفيما يتعلق بنظرة ميكانيكا الكم لإمكانية التنبؤ بوضع النظام المستقبلي انطلاقاً من وضعه الحاضر قال: *"لا أعرف"*، بينما تم تصنيف ربع الطلبة تقريبا في المحور الثاني لأنهم أظهروا فهم علمي صحيح لهذه الخاصية، وفي هذا السياق ذكر أحد الطلبة: *"اللاحتمية تتمثل بعدم القدرة على تحديد قيم الكميات الفيزيائية بدقة مطلقة، فميكانيكا الكم علم قائم على الاحتمالات وليس على التحديد المطلق"*، وفيما يتعلق بمدى إمكانية التنبؤ بوضع النظام المستقبلي انطلاقاً من وضعه الحاضر قال: *"يمكن وضع احتمالات لوضع النظام المستقبلي بناءً على الوضع الحالي ولا يمكن التنبؤ بدقة بوضع النظام المستقبلي كما في الميكانيكا الكلاسيكية"*، وتم تصنيف الربع المتبقّي في المحور الثالث حيث خلطوا بين مفاهيم كمية ومفاهيم كلاسيكية، وقد ذكر أحد الطلبة: *"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 انطلاقاً 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*

نلك"، وهذا يؤكّد على أنّ معرفة الطلبة للمفهوم لا تعني بالضـــرورة فهمهم لـه، فقد تكون المعرفة سـطحية وقد تكون عميقة. ومن الجدير ذكره الكشـف عن مجموعة من المفاهيم البديلة المتعلقة بهذا المحور عند الطلبة ومنها اعتقادهم بأنّ اللاحتمية في ميكانيكا الكم ناتجة عن عدم وجود كفاءة تكنولوجية، أو عن وجود أخطاء بشـــرية في القياس، وكذلك اعتقادهم بإمكانية التنبؤ بقيم الكميات الفيزيائية التي نرغب بقياســـها للنظام الكمي المعزول بدقة مطلقة، وقد تفاوتت نســـب وجود هذه المفاهيم البديلة عند الطلبة.

أمّا محور الخاصـــية الازدواجية فقد أظهرت إجابات الطلبة على الأســـئلة الخاصـــة به افتقاراً كبيراً للمفاهيم العلمية الصـحيحة، حيث أخفق معظمهم في تفسـير المقصـود بالخاصـية الازدواجية وكانت الإجابات مضطربة ومتناقضة إلى حد كبير، فمثلاً ذكر أحد الطلبة أنّ السبب وراء تغيير نظرة نيوتن الجسـيمية للضـوء: *"السـرعة الكبيرة لهذه الجسـيمات"*، وعندما سُـئل عن إمكانية أن يمتلك الإلكترون خواص موجية قال: *"هذا الكلام خطأ، لا يمكن للإلكترون أن يكون موجة فهو جسـيم"*، وقال مفســراً للخاصــية الازدواجية: *"كلما صــغر الجســم ازداد طول موجته وبالتالي يتصــرف كموجة، أما عندما يكون كبير يتصــرف كجســيم"*، وأشــار إلى أنّ الجديد الذي أضــافته الخاصــية الازدواجية إلى علم الفيزياء: *"النظرة للجسيمات على أنها تتصرف موجات وجسيمات، بعضها يتصرف كموجات وبعضها يتصرف كجسيمات"*.

وقد تم تصـــنيف ما يقارب نصـــف الطلبة في المحور الثالث – المخصـــص للأفكار المختلطة بين الكمية والكلاسـيكية – حيث اسـتخدموا مصـطلحات كمية ولكنهم لم يتمكنوا من تفسـيرها، فمثلاً أقرّوا بأنّ الإلكترون ممكن أن يمتلك خواص موجية، ولكن لم يتمكنوا من تقديم أدلة على ذلك، ولم يتمكنوا

من تفسير أهمية امتلاك الإلكترونات لهذه الخاصية، والنصف الثاني من الطلبة تم تصنيفهم ما بين المحورين الأول والرابع حيث تنوعت إجاباتهم بين إجابات كلاسيكية تنظر للإلكترون على أنه جسيم فقط ولا يمكن أن يمتلك خواص موجية، وللفوتون على أنه موجة فقط ولا يمكن أن يمتلك خواص جسيمية، وإجابات أخرى تمحور معظمها حول إقرارهم بعدم فهم هذه الخاصية، ومن الجدير ذكره أنه قد تم استثناء طالب واحد تم تصنيفه في محور الأفكار الكمية – المحور الثاني – حيث أظهرت إجاباته فهم كمي سليم للخاصية الازدواجية. كما وظهرت نسبة عالية من المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة ومن أكثرها شيوعاً اعتقادهم بأنّ كل جُسيم يتكون من شقين، أحدهما ذا خواص موجية والآخر ذا خواص جسيمية، وعندما يعمل الشق الموجي يختفي الشق الجسيمي والعكس صحيح، وكذلك اعتقاد الطلبة بأنه من الممكن قياس خواص موجية وجسيمية في نفس الوقت.

أمّا إجابات الطلبة على المحور الخاص بالنموذج الكمي للذرة فأظهرت تمسكهم بالنماذج الكلاسيكية مع استخدام مصطلحات كمية خاصة في وصف الإلكترونات، ومنهم أحد الطلبة الذي قال: *"الذرة تتكون من نواة تتمركز في منتصفها وتدور الإلكترونات حولها في مدارات محددة على شكل غيوم مشحونة بشحنة سالبة"* وهؤلاء يمتلكون نسبة عالية من المفاهيم البديلة وقد تمّ تصنيفهم ضمن المحور الثالث المخصص للأفكار المختلطة بين الكمية والكلاسيكية، بينما أظهر عدد من الطلبة فهم كلاسيكي بحت ومنهم أحد الطلبة الذي قال: *"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، تخضـــع لقانون توزيع الإلكترونات من حيث عددها في كل مدار، نســـيت القانون"، بينما تمّ استثناء طالب واحد أظهر فهم كمي سليم تم تصنيفه في المحور الثاني المخصص للأفكار الكمية.

في الخلاصــة عكســت نتائج المقابلات مع طلبة الســنة الأولى أنّ معظم الطلبة تقريباً أظهروا أفكاراً كلاسـيكية في وصـف فهمهم لمبدأ اللايقين بينما ثلثي طلبة السـنة الرابعة تقريباً يدمجون بين الأفكار الكمية والكلاســيكية أثناء وصــف فهمهم لهذا المبدأ، أمّا فيما يتعلق بالخاصــية اللاحتمية فما يقارب نصـف طلبة السـنة الأولى والرابعة لا يعرفون هذه الخاصـية، والنصـف الآخر من طلبة السـنة الأولى أظهروا أفكاراً كلاسيكية أثناء وصفها، وربع طلبة السنة الرابعة تقريباً أظهروا فهماً علمياً صحيحاً لهذه الخاصـية، أمّا في محور الخاصـية الازدواجية فما يقارب نصـف طلبة السـنة الأولى سـعوا إلى الخلط بين مفاهيم كمية وكلاسـيكية والنصـف الآخر يفتقرون تماماً للفهم، بينما نصـف طلبة السـنة الرابعة خلطوا بين أفكار كمية وكلاسـيكية حيث اسـتخدموا مصـطلحات كمية ولكنهم لم يتمكنوا من تفسـيرها، والنصـف الثاني تنوعوا ما بين إظهار أفكار كلاسـيكية وعدم المعرفة عن هذه الخاصـية. أمّا إجابات طلبة الســنة الأولى على الأســئلة الخاصــة بالنموذج الذري فأظهرت تمســكهم بالنماذج الكلاســيكية وكذلك إجابات طلبة السـنة الرابعة، كما وأضـاف طلبة السـنة الرابعة مصـطلحات كمية في وصـف الإلكترونات.

بالتالي كشـــفت المقابلات عن قصـــور كبير في فهم الطلبة للمبادئ والمفاهيم المجردة الأربعة التي شـملتها الدراسـة، وأظهرت مدى سـطحية الفهم عندهم، ففي كثير من الأحيان كان التطور في الفهم شـكلي وليس حقيقي، حيث اسـتخدم الطلبة مصـطلحات كمية ولكنهم لم يتمكنوا من تفسـيرها. ومن الجدير ذكره أنّ نتائج تحليل المقابلات أظهرت قصـوراً في الفهم أكبر من نتائج التحليل الكمي، لأنها

تمكنت من التمييز بين الفهم السـطحي والفهم الحقيقي، أمّا نتائج التحليل الكمي فلم تدخل في هذا العمق.

4:6 ملخص الفصل

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. أمّا فيما يتعلّق بالمفاهيم البديلة فأظهرت 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 واتضح أنّ مدى التغلّب على المفاهيم البديلة الخاصة بمحوري النموذج الذري والخاصية الازدواجية ما بين السنة الأولى والرابعة كان منخفضاً إلى حد كبير. كما وأظهرت 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.

أمّا نتائج التحليل الكيفي للبيانات فقد أكّدت على القصور الكبير 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.

وبعد أن تناول هذا الفصل نتائج تحليل البيانات يتم في الفصل التالي مناقشة هذه النتائج ومقارنتها بالأدب التربوي، ومدى إمكانية تعميم نتائجها، والتوصيات المتمخضة عنها.

الفصل الخامس: مناقشة النتائج والتوصيات

5:1 مقدمة

هدفت هذه الدراسة إلى وصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المُجرّدة في ميكانيكا الكم، والتصورات البديلة التي يحملونها حولها، ومدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية في أربعة مجالات رئيسية وهي: مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري. تم تحقيق هذه الأهداف من خلال محاولة الإجابة على السؤال الرئيسي التالي: كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم؟ ومجموعة من الأسئلة الفرعية المنبثقة منه. وقد صُمم اختبار تشخيصي للمفاهيم البديلة حول المفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة تم استخدامه في جمع البيانات من عينات ممثلة لمجتمع الدراسة ووظّف المنهج الكمي الوصفي التحليلي للوصول إلى النتائج، كما تم تطوير مقابلة شبه منظمة بهدف التعمق في وصف وتفسير أنماط فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة ومدى تطورها خلال سنوات دراستهم الجامعية.

وللإجابة على أسئلة الدراسة تم تحليل البيانات الكمية باحتساب النسب المئوية لإجابات الطلبة على البدائل التي تحمل المفاهيم الصحيحة والبديلة، ثمّ احتساب متوسط النسب المئوية للإجابات الصحيحة والبديلة في كل محور من أجل وصف أنماط فهم الطلبة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة والمفاهيم البديلة التي يحملونها حولها ومدى تطورها خلال سنوات دراستهم الجامعية.

كما تمّ تحليل البيانات الكيفية باستخدام منهج التحليل الموضوعي "Thematic Analysis" من أجل التعمّق في وصف أنماط فهم الطلبة لهذه المفاهيم والمبادئ المجردة، حيث صُنّفت إجابات الطلبة – بعد ترميز البيانات وتجميعها في أنماط وفئات – في أربعة محاور أساسية: الأول للأفكار الكلاسيكية، ويشمل الطلبة الذين استندت إجاباتهم على أفكار الميكانيكا الكلاسيكية، والثاني للأفكار الكمية ويشمل الطلبة الذين استندت إجاباتهم على أفكار ميكانيكا الكم، والثالث للأفكار المتداخلة بين الكلاسيكية والكمية ويشمل الطلبة الذين دمجوا بين أفكار الميكانيكا الكلاسيكية وأفكار ميكانيكا الكم، أمّا الرابع فقد تم تخصيصه للطلبة الذين لم يتمكنوا من الإجابة أو الذين قدّموا إجابات لا علاقة لها بالسؤال المطروح.

أظهرت نتائج التحليل الكمي للاختبار التشخيصي نسب مئوية متدنية للإجابات الصحيحة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة، ويُعد مبدأ اللايقين أقلها وضوحاً عند طلبة السنة الأولى والرابعة كما يتضح من الشكل 4.1 في الفصل السابق، أمّا فيما يتعلّق بالمفاهيم البديلة فأظهرت النتائج – كما يتضح من الشكل 4.2 في الفصل السابق – أنّ طلبة السنة الأولى والرابعة يحملون مجموعة من المفاهيم البديلة حول المبادئ والمفاهيم الأساسية المجرّدة التي شملتها الدراسة بنسب متفاوتة، كان أعلاها في محور مبدأ اللايقين، وأدناها في محور الخاصية اللاحتمية. كما وأظهرت النتائج أنّ مدى تغلّب طلبة السنة الأولى والرابعة على المفاهيم البديلة الخاصة بمحوري الخاصية الازدواجية والنموذج الذري كان منخفضا إلى حد كبير. وبالنسبة لأنماط فهم الطلبة فقد أظهرت نتائج التحليل الكيفي تفاوت في أنماط الفهم، فطلبة السنة الأولى غلب على فهمهم الطابع الكلاسيكي وسعوا لتفسير ظواهر كمية باستخدام أفكار كلاسيكية، وعدد قليل منهم حاولوا الدمج بين الأفكار

الكلاسيكية والكمية، أمّا طلبة السنة الرابعة فسعى معظمهم إلى الخلط بين الأفكار الكمية والكلاسيكية عند تفسير الظواهر الكمية، وعدد قليل منهم أظهروا فهم كمي سليم، وفي كثير من الأحيان كان التطور في الفهم شكلي وليس جوهري حيث استخدم طلبة السنة الرابعة مصطلحات كمية أخفقوا في تفسير معانيها.

يتناول هذا الفصل عرض لمناقشة النتائج ومقارنتها بالأدب التربوي وفق ثلاثة محاور أساسية: الأول مُخصص لأنماط فهم الطلبة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم ومقارنتها بين طلبة السنة الأولى والرابعة، والثاني مُخصص للمفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري ومقارنتها بين طلبة السنة الأولى والرابعة، أمّا الثالث فيتم تخصيصه لوصف فهم الطلبة لكل من مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري ومدى تطوّره بين السنة الأولى والرابعة، وكذلك يتناول الفصل مدى إمكانية تعميم نتائج هذه الدراسة وتقديم لأهم التوصيات النظرية والعملية التي تقترحها الدراسة في ضوء نتائجها.

5:2 أنماط فهم الطلبة في كليات العلوم الفلسطينية لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة المُتعلّقة بميكانيكا الكم ومقارنتها بين طلبة السنة الأولى والرابعة

أظهرت نتائج التحليل الكمي والكيفي للبيانات تنوّع في أنماط فهم الطلبة لكل من مبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري، فطلبة السنة الجامعية الأولى يغلب على أنماط فهمهم الطابع الكلاسيكي ويسعون لتفسير ظواهر كمية باستخدام أفكار كلاسيكية، وعدد قليل

منهم يدمجون بين الأفكار الكلاسيكية والكمية، أمّا طلبة السنة الجامعية الرابعة فيدمج معظمهم بين الأفكار الكمية والكلاسيكية ويستخدمون المصطلحات العلمية بشكل متبادل وعشوائي قد يشير إلى سطحية فهمهم، وعدد قليل منهم أظهروا فهم كمي سليم. وهذا يتفق مع نتائج دراسة "ديدس وإيركوك وإيرلماز" (Didis, Erkoc & Eryılmaz, 2010) التي هدفت إلى استكشاف مستويات فهم طلبة الفيزياء للمفاهيم الأساسية التي تعد من مسلّمات ميكانيكا الكم وأظهرت فهم سطحي لهذه المفاهيم عندهم، إضافة إلى وجود خلط بين المفاهيم الصحيحة والخاطئة أدّى إلى استخدامهم للمفاهيم بشكل متبادل وعشوائي، ومن الملفت للنظر أنّ هذه الدراسة اعتمدت منهجية كيفية وتوصلت إلى نتائج متشابهة. وتتفق النتائج أيضا مع نتائج دراسة "فليتشر وجونستون" (Fletcher & Johnston, 1999) التي تم تطبيقها على طلبة السنة الجامعية الأولى بعد إتمامهم لمساقات ميكانيكا الكم المطلوبة منهم، واعتمدت طريقة التحليل الفينومنولوجي، حيث أشارت إلى أن فهم الطلبة للمفاهيم الجديدة التي طُرحت في مساقات ميكانيكا الكم كان سطحياً، وغالبيتهم يحتفظون بالمفاهيم التي اصطحبوها معهم من المرحلة الثانوية في المدارس دون أن يطوّروا عليها، ولا يوجد أي ترابط بين مفاهيمهم السابقة التي تعلموها في المرحلة الثانوية في المدارس والمفاهيم الجديدة التي تعلموها في الجامعات.

ومن الجدير ذكره في هذا السياق أنّ طلبة السنة الجامعية الرابعة يستخدمون مصطلحات كمية في إجاباتهم على أسئلة المقابلات لم يستخدمها طلبة السنة الأولى ولكنهم أخفقوا في تفسير معانيها بالشكل العلمي الصحيح مما قد يدل على سطحية الفهم وتطوره من الناحية الشكلية فقط، كما وكانت إجابات طلبة السنة الأولى والرابعة على بعض الأسئلة "ساذجة" ومتشابهة وهذا دليل على عدم تطور

المفاهيم عند طلبة السـنة الرابعة فما زالوا يحتفظون بالمفاهيم التي اصـطحبوها معهم من المدارس، إضـافة إلى عدم إدراك الطلبة لجوانب القصـور في الميكانيكا الكلاسـيكية. وقد أكدّت نتائج دراسـتي "أولسن" (Olsen, 2002) و"سينغ" (Singh, 2001) على ذلك، فبالرغم من أنّ الأولى تم تطبيقها على طلبة تعلّموا ميكانيكا الكم بمسـتواها الأسـاسـي فقط في المدارس، والثانية تم تطبيقها على طلبة تعلموا ميكانيكا الكم بمستواها المتقدم في الجامعات، توصلّت الدراستان إلى أنّ الطلبة يفتقرون وبشدة إلى فهم مفاهيم ميكانيكا الكم، إضـافة إلى وجود مفاهيم بديلة حول هذه المفاهيم الكمية تعود جذورها إلى افتقار الطلبة للفهم العميق لمفاهيم الفيزياء الكلاسيكية. وأضافت الدراسة الثانية أنّه بالرغم من أنّ الطلبة في مساقات ميكانيكا الكم المتقدمة في الجامعات عليهم أن يتعلّموا حل معادلة "شرودنجر" مع إمكانيات معقدة وشـروط محددة، إلاّ أنّ عدداً كبيراً منهم يعانون من قصـور في فهم مفاهيم ميكانيكا الكم الأسـاسـية. وقد جمعت هذه الدراسـة بين عينة الدراسـتين فتم تطبيقها على طلبة السـنة الأولى الذين تعلموا أساسيات ميكانيكا الكم في الصف الثاني عشر العلمي في المدارس ولم يتعرضوا لها في مسـاقاتهم الجامعية، وطلبة السـنة الرابعة المتخصـصـين في مجال الفيزياء وهؤلاء قد درسـوا مسـاقات متقدمة في ميكانيكا الكم وتوافقت نتائجها مع نتائجهم.

ومن الجدير ذكره أنّ طلبة السـنة الجامعية الرابعة تعلّموا قانون اللايقين بصـوره الثلاثة، وهي الطاقة مع الزمن والموضـــع مع كمية التحرك الخطي، والزاوية مع كمية التحرك الزاوي، كما تعلّموا الدالة الموجية ومعادلة شـرودنجر وغيرها الكثير من أسـاسـيات ميكانيكا الكم، ولكنهم لم يسـتخدموها في إجاباتهم على أسـئلة المقابلة باسـتثناء طالب واحد تحدّث عن الدالة الموجية. تجاهل الطلبة لهذه المفاهيم الأسـاسـية الجديدة التي تعلموها في مسـاقات ميكانيكا الكم في الجامعات وتمسكهم بالمفاهيم

الكلاسيكية مع استخدامهم لبعض المصطلحات الكمية مثل الخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية ووصف الإلكترونات حول النواة بالغيوم المشحونة، يعكس مشكلة حقيقية، ويدل على قصور كبير بالفهم عندهم، وعدم اهتمامهم بهذه المفاهيم التي تُعد من أساسيات ميكانيكا الكم يدل على عدم إدراكهم لأهميتها.

في الخلاصة يبدو جلياً أن هناك توافق في نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسات عالمية متعددة رغم اختلاف منهجيتها، ويمكن 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 – لن يستبدلوها بأفكار ميكانيكا الكم التي طُرحت في أحد 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 أنّ هناك عدم إدراك من قبل الكثير من الطلبة لجوانب القصور في الميكانيكا الكلاسيكية وهذا يعزز احتفاظهم بالأفكار الكلاسيكية ويجعلهم يقاومون تغييرها، وقد ذكر "بوسنر وستريك" (Posner & Strike, 1982) أنّ عملية التغيير

المفاهيمي لا يمكن أن تتم بنجاح دون أن يدرك الطلبة جوانب القصـــور في المفاهيم التي يحملونها، ولن يُغيّروا مفاهيمهم التي تشكّل جزءاً مُهماً من استراتيجيات تفكيرهم إلاّ إذا شعروا بعدم الرضا عنها.

5:3 المفاهيم البديلة التي يحملها الطلبة حول مبدأ اللايقين والخاصـــية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري ومقارنتها بين طلبة السنة الأولى والرابعة

أشـارت النتائج التي تم عرضـها في الفصـل السـابق إلى أنّ طلبة السـنة الجامعية الأولى والرابعة يحملون مجموعة من المفاهيم البديلة حول المبادئ والمفاهيم الأساسية المجرّدة التي شملتها الدراسة بنسـب متفاوتة، كان أعلاها كما يظهر في الشـكل 4.2 في محور مبدأ اللايقين، وأدناها في محور الخاصـية اللاحتمية، ومدى التغلّب على المفاهيم البديلة الخاصـة بمحوري النموذج الذري والخاصـية الازدواجية ما بين السـنة الأولى والرابعة كان منخفضـاً إلى حد كبير. وهذا يتفق مع بعض نتائج دراسـة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 2002) المتمثلة بأنّ المفاهيم البديلة حول المفاهيم الأساسية المتعلقة بمواضيع ميكانيكا الكم المختلفة تشمل جميع فئات الطلبة من المتخصصين في مجال الفيزياء وغير المتخصصين.

يُلاحَظ من الجدول 4.2 أنّ أكثر المفاهيم البديلة شيوعاً 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 موضـع الجُسيم وكمية تحركه، حيث تواجد الأول بنسبة 74%، والثاني بنسبة 73%، بينما شكلت نسـبة وجود هذين المفهومين عند طلبة السـنة الجامعية الرابعة 40% و45% على التوالي. ومن الجدير ذكره أنّ نتائج دراسـة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999) التي تم تطبيقها على

مجموعة من الطلبة –79% منهم اجتازوا مساقات ميكانيكا الكم بنجاح – أشارت إلى أنّ 15% من هؤلاء الطلبة يحملون هذين المفهومين البديلين. وهذا يُظهر فرق كبير بين نتائج هذه الدراسة ونتائج دراسة "مولر وويزنر"، فطلبة الجامعات الفلسطينية يحملون هذين المفهومين البديلين بنسب عالية جداً، ربما السبب في ذلك منهاج الفيزياء للصف الثاني عشر العلمي الذي طرح تعريف Δ ف و Δ كت بشكل غير دقيق حيث تمّ تعريفهما على أنهما تمثلان مقدار اللايقين في تحديد موقع الجسيم وكمية تحركه الخطي، وهذا التعريف يعزز المفهوم البديل الذي ينص على أنّ موضع الجسيم وكمية تحركه لهما قيم محددة بشكل مطلق كما في الفيزياء الكلاسيكية، ويعزز فهم الطالب لمصطلح اللايقين على أنه نسبة الخطأ في التحديد سواء خطأ ناتج عن أدوات القياس أو عن عملية القياس نفسها.

كما يتضح من الجدول 4.2 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%. وبمقارنة هذه النتيجة مع الأدب التربوي يمكن ملاحظة اختلافها مع نتائج دراسة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999)، التي أظهرت أنّ نسبة توفر هذا المفهوم البديل عند الطلبة 21%. وربما السبب في ذلك أنّ طلبة الجامعات الفلسطينية وتحديداً طلبة السنة الرابعة – كما اتضح من تحليل المقابلات – يخلطون بين المفاهيم ويستخدمونها بشكل متبادل بالتالي لا يميزون بين النظام الكمي وبين الدالة الموجية للنظام الكمي التي تمثل حلاً لمعادلة "شرودنجر"، والتي تعد أداة لوصف الجسيمات وحركتها وتقدم احتمالات للقياسات الممكنة، وأنّ انهيار الدالة الموجية لا يعني انهيار النظام الكمي.

أمّا المفهوم البديل المتمثّل بأنّ مبدأ اللايقين مبني على وجود أخطاء في عمليات الرصـــد والقياس البشري للقيم الحقيقية للكميات الفيزيائية فأشارت نتائج هذه الدراسة إلى أنّ هذا المفهوم البديل يحمله 71% من طلبة الســنة الأولى، و36% من طلبة الســنة الرابعة، ويُلاحظ من هذه النتائج تطوّر فهم طلبة الســنة الرابعة حيث انخفضــت النســبة المئوية لوجود هذا المفهوم البديل عندهم إلى النصــف، وربما مساقات ميكانيكا الكم في الجامعات الفلسطينية ساعدت الطلبة على التغلب على هذا المفهوم البديل. وفي سـياق مقارنة النتائج مع نتائج دراسـة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999) أشــارت هذه الدراســة إلى تواجد هذا المفهوم البديل عند 18% من الطلبة، وهذا يُظهر ارتفاع نسـبة وجوده عند طلبة الجامعات الفلسطينية، فرغم أنها ساعدت في تخفيض نسبته المئوية خلال سنوات الدراســـة الجامعية إلاّ أنّها ما زالت مرتفعة وبالتالي نحتاج إلى المزيد من الجهود التدريســـية للتغلب على هذا المفهوم البديل بشكل أفضل.

أمّا المحور الخاص بالنموذج الذري فبرز فيه المفهوم البديل المتمثّل بأنّ الذرة في هيكليتها تشـــبه النظام الشـمســي كأكثر المفاهيم البديلة شـيوعاً عند طلبة السـنة الأولى والرابعة، وقد ارتفعت نسـبة وجوده عند طلبة الســنة الرابعة فشــكّلت 62% بينما شــكلت 46% عند طلبة الســنة الأولى. وقد أظهرت نتائج دراسـة "مولر وويزنر" (Muller & Wiesner, 1999) وجود هذا المفهوم البديل عند 38% من الطلبة. وهذا يعكس ارتفاع نسبة وجوده عند طلبة الجامعات الفلسطينية، وربما السبب في ذلك كتب العلوم المدرسية التي تعزز وجوده عندهم، ففي بداية تعلّم الطلبة عن الذرة يتم تشبيهها لهم بالنظام الشــمســي ولا يُشــار إلى أنّ هذا النموذج يمثل نموذج كلاســيكي قديم، بالتالي يبني الطلبة تعلّمهم اللاحق على هذا المفهوم الخاطئ، وكذلك مســاقات الفيزياء الكلاســيكية التي يتعلمها الطلبة

في السنوات الجامعية الأولى فهي تعزز أيضا من وجود هذا المفهوم البديل ممّا أدى إلى ارتفاع نسبة وجوده عند طلبة السنة الرابعة. وهذا التفسير يتناسب مع ما جاء في دراسة "أوزكان" (Ozcan, 2013) التي أكّدت على أنّ تعلّم الطلبة للنموذج الكلاسيكي للذرة في مرحلة مبكرة وتشبيهها لهم بالنظام الشمسي يُساعد في ترسيخ هذا المفهوم البديل في أذهانهم، ويصبح من الصعب عليهم تقبّل النموذج الكمي الحديث. وممكن أن يُعزى السبب في ذلك أيضاً إلى طرح مواضيع ميكانيكا الكم للطلبة بشكل غير متسلسل وغير مترابط ودون أن يتم التمهيد لها مُسبقاً عند تعلّم الميكانيكا الكلاسيكية، حيث يتعلّم الطلبة أساسيات ميكانيكا الكم لأول مرة في المرحلة الثانوية في المدارس بعد سنوات طويلة من اقتصار التعليم على الميكانيكا الكلاسيكية، ثمّ تُطرح مرّة أخرى في المرحلة الجامعية للطلبة المتخصصين في مجال الفيزياء بعد أن يتعلّموا مساقات الفيزياء الكلاسيكية، وربما هذا يقودهم نحو تعديل الأفكار الكمية الجديدة في بناهم الذهنية لتتناسب مع ما تحمله هذه البُنى من أفكار كلاسيكية ولا يسعوا لتعديل الأفكار الكلاسيكية بعد أن تصبح جزءاً مهماً من منظومتهم الفكرية. بالتالي الأفكار الكلاسيكية لا تزال تسيطر على طريقة تفكير الطلبة ولم ينجح نمط التدريس التقليدي السائد في الجامعات الفلسطينية في بناء فهم كمي للذرة.

في الخلاصة تؤكّد نتائج الدراسة على ارتفاع النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملها طلبة الجامعات الفلسطينية، سواء طلبة السنة الأولى أو الرابعة، وربما يعود ذلك إلى عدّة أسباب منها صعوبة الموضوع، والمقررات الدراسية التي تعزز بعض المفاهيم البديلة مثل كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر العلمي، ونمط التدريس التقليدي، وضعف البنية التحتية لمختبرات الفيزياء في المدارس والجامعات، وبالتالي افتقار هذه المختبرات إلى أجهزة حديثة تمكّن الطلبة من عمل تجارب تساعدهم

على فهم ميكانيكا الكم، وتعينهم على بناء نماذج ذهنية للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شـــملتها الدراسة وتمكّنهم من التغلّب على المفاهيم البديلة، ومن أهم الأسباب أيضا لعدم التغلّب على المفاهيم البديلة خلال سنوات الدراسة الجامعية عدم إدراك الطلبة لجوانب القصور في الميكانيكا الكلاسيكية وشعورهم بالرضا عنها ممّا يجعلهم متمسكون بها ويقود إلى خلطهم بين الأفكار الكمية وكلاسيكية وقد ذكر "بوسنر وستريك" (Posner & Strike, 1982) أنّ عملية التغيير المفاهيمي لا تتم 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.

5:4 وصـــف فهم الطلبة لكل من مبدأ اللايقين والخاصـــية اللاحتمية والخاصـــيّة الازدواجية والنموذج الذري ومدى تطوره بين السنة الأولى والرابعة

أظهرت النتائج تدنّي النســـب المئوية لإجابات الطلبة على بدائل الاختبار التي تحمل المفاهيم الصحيحة، وكان أكثرها تدنياً عند طلبة السنة الأولى والرابعة في محور مبدأ اللايقين، وهذا يدل على أنّه المحور الأقل وضـــوحاً عندهم. تعتبر هذه النتائج معقولة في ظل مقارنتها بالأدب التربوي الذي يؤكّد على صعوبة الموضوع وافتقار الطلبة لفهمه العلمي السليم وفي هذا السياق كانت دراسة "كاليسكان وإيرول وسيلجك" (Caliskan, Erol & Selcuk, 2009) التي تم تطبيقها على طلبة اجتازوا مساقات ميكانيكا الكم بنجاح في جامعة أزمير وأشارت نتائجها إلى أنّهم يواجهون صعوبة في فهم عدم القدرة على تحديد موضع الإلكترون ومدى توافق ذلك مع احتمالية وجوده في منطقة محددة، فهم لا يدركون أنّ نظرية الكم تحدد فقط احتمالية وجود الإلكترون في موضـــع معين في الفراغ وهذا ليس تحديداً مطلقاً له لامتيازها بالخاصية اللاحتمية، وقد يكون السبب في ذلك هو محاولة الطلبة

تفسير عالم الجسيمات من خلال استخدام الخصائص العينية التي تُرى بالعين المجردة. وغرابة الأفكار التي تطرح فيه والتي تعد غير نمطية وتبدو للطلبة متناقضة مع واقعهم الذي يعيشونه، ومتناقضة أيضا مع ما درسوه وعرفوه سابقاً في الميكانيكا الكلاسيكية بالتالي لا يتقبلوها بسهولة (Johansson & Milstead, 2008).

في 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، بالتالي يمكن القول بأنّ هذا المفهوم مرشّح ليكون مفهوم بديل عند طلبة السنة الأولى والرابعة. وفي ذات السياق فإنّ 22% من طلبة السنة الأولى و9% من طلبة السنة الرابعة يعتقدون أنّ مقدار اللايقين مرتبط بنوع الخاصية موجية أم جسيمية فيزداد عند رصد خواص جسيمية ويقل عند رصد خواص موجية وهذا مفهوم خاطئ، ويمكن ترشيحه كمفهوم بديل عند طلبة السنة الأولى، أمّا طلبة السنة الرابعة فيبدو أنّهم تغلبوا على هذا المفهوم الخاطئ أثناء دراستهم لمساقات ميكانيكا الكم.

أمّا في محور الخاصية اللاحتمية فيرى 45% من طلبة السنة الأولى و38% من طلبة السنة الرابعة أنّ Δ ف وΔ كت في قانون اللايقين ناتجتان عن القدرة على رصد قياسات دقيقة لخواص موجية وجسيمية في نفس الوقت، وهذا يمثل مفهوماً خاطئاً يعكس افتقار الطلبة لأهم الأساسيات التي قامت

عليها ميكانيكا الكم والتي تتمثل بعدم القدرة على رصد قياسات دقيقة لخواص موجية وجسيمية معاً بالرغم من وجودهما معاً، ومن الملفت للنظر أنّ النسب المئوية لإجابات الطلبة على هذا البديل في الاختبار فاقت النسب المئوية لإجاباتهم على البديل الذي يحمل المفهوم الصحيح عند طلبة السنة الأولى وعلى البديل الذي يحمل المفهوم البديل عند طلبة السنة الأولى والرابعة، بالتالي النسب المئوية المرتفعة لإجابات الطلبة على هذا المفهوم تدل على أنّه لا يشكل فقط مفهوماً خاطئاً ربما مفهوماً بديلاً أيضا. كما ويُلاحظ أنّ 25% من طلبة السنة الأولى و17% من طلبة السنة الرابعة يربطون الخاصية الموجية بالأفكار الكمية والخاصية الجسيمية بالأفكار الكلاسيكية، حيث يرون أنّه انطلاقاً من وضع النظام الكمي الحالي يمكن التنبؤ بخواصه الجسيمية ولا يمكن التنبؤ بخواصه الموجية وهذا يعكس خلطهم للمفاهيم الكمية والكلاسيكية ويدل أيضاً على افتقارهم لفهم الخاصية الازدواجية، حيث لا يمكن الفصل بين الخواص الموجية والجسيمية في ميكانيكا الكم.

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.

وكما اتضح مما سبق فقد تنوعت البدائل الخاطئة التي اختارها الطلبة لوصف فهمهم للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة التي شملتها الدراسة –حيث شمل الاختبار أربعة بدائل لكل سؤال– وقد تفاوتت النسب المئوية لتوفّر هذه البدائل عندهم، ولكن لم تتح الفرصة لمقارنتها مع الأدب التربوي نظراً لاختلاف منهجيات الدراسات السابقة عن منهجية هذه الدراسة، ويعد هذا أحد جوانب تميّز هذه الدراسة عن غيرها.

في الخلاصة يمكن الاستنتاج بأنّ هناك مفاهيم خاطئة كشفت عنها الدراسة قد تكون مرتبطة بنشوء مفاهيم بديلة حيث ارتفعت نسب وجودها عند الطلبة، وكما اتضح سابقا كان السبب في معظم الأحيان هو خلط الطلبة بين أفكار كمية وأفكار كلاسيكية وافتقارهم للفهم الكمي السليم، ومحاولة تفسير عالم الكم قياساً على ما يراه الطالب ويشاهده في حياته اليومية، كما واتضح ارتفاع النسب المئوية لبعض البدائل الخاطئة الناتجة عن نقص المعرفة العلمية الصحيحة عند الطلبة.

5:5 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 في الضفة وغزة، 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 مواضـــيع ميكانيكا الكم المختلفة هو نمط عالمي كما اتضـــح من مراجعة بعض الدراســـات السابقة (Bao & Redish, 2002; Ireson, 1999; Muller & Wiesner, 1999; Muller & Wiesner, 2002; Styer, 1996). وبالتالي فمن المبرر تعميم نتائج هذه الدراســة لتشــمل كافة الجامعات الفلسطينية وربما العربية.

5:6 التوصيات

في ضـــوء نتائج الدراســة التي أظهرت افتقار الطلبة للفهم الكمي والكيفي الســليم للمفاهيم والمبادئ المجردة الأربعة المتعلقة بمبدأ اللايقين والخاصــية اللاحتمية والخاصــية الازدواجية والنموذج الذري، وارتفاع النسب المئوية للمفاهيم البديلة التي يحملونها وكذلك الضعف في مدى تطوّر المفاهيم ما بين الســـنة الجامعية الأولى والرابعة يمكن الخروج بمجموعة من التوصـــيات العملية وأخرى لدراســـات مستقبلية يمكن إجمالها بما يلي:

5:6:1 توصيات عملية

أولا: تدعو الدراســة وزارة التربية والتعليم العالي لإعادة النظر في الكم الهائل من المفاهيم التي تُطرح في مســـاقات ميكانيكا الكم المتقدمة في الجامعات وكذلك في كتاب الفيزياء المقرر للصـــف الثاني عشر العلمي ومدى توافقها مع مستوى الطلبة.

ثانيا: تطوير الوحدة الرابعة في كتاب الفيزياء المقرر للصـــف الثاني عشـــر العلمي التي تتناول هذه المفاهيم، وإعادة صـياغتها بالشـكل العلمي السـليم، حيث تطرح فيها المفاهيم بشـكل عشـوائي 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 بشـــكل مباشـــر على عمليات تعلّمهم اللاحقة في الجامعات وتعيق فهمهم للمفاهيم بالشكل العلمي السليم، خاصة النصوص التي تتحدّث عن مبدأ اللايقين والخاصية الازدواجية.

ثالثا: تعميم قائمة المفاهيم البديلة التي تناولتها الدراســـة وأخرى غيرها على معلمي ميكانيكا الكم في كافة الجامعات الفلســـطينية، ليصـــبحوا على دراية تامة بها وبالتالي لا يعززوا وجودها عند طلبتهم بشكل غير مقصود.

رابعا: عقد دورات تأهيل لمعلمي فيزياء الكم في الجامعات يتم خلالها مناقشـــة اســـتراتيجيات التغيير المفاهيمي المناسبة لمواضيع ميكانيكا الكم التي تساعد في معالجة المفاهيم البديلة عند الطلبة.

خامســـا: توجيه طلبة الفيزياء في الجامعات ليقارنوا بشـــكل واضـــح وصـــحيح بين مفاهيم ومرتكزات ميكانيكا الكم والأفكار الكلاسيكية، والتركيز على جوانب القصور في الميكانيكا الكلاسيكية للتخلص من مشكلة الخلط بين المفاهيم قدر الإمكان.

ســادســا: وضــع خطط علاجية للمفاهيم البديلة تعتمد نهج التغيير المفاهيمي بطريقة صــحيحة منبثقة من أدبيات التغيير المفاهيمي الحديثة.

5:6:2 توصيات لدراسات مستقبلية

أولا: إجراء دراســـة تبحث في المفاهيم البديلة التي يحملها معلمو الفيزياء في الجامعات والمدارس الفلسطينية حول مواضيع ميكانيكا الكم المختلفة.

ثانيا: إجراء دراسة تبحث في أسباب نشوء المفاهيم البديلة المتعلقة بمبدأ اللايقين والخاصية اللاحتمية والخاصية الازدواجية والنموذج الذري عند الطلبة.

ثالثا: إجراء 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.

رابعا: إجراء دراسة تشمل مفاهيم بديلة حول مواضيع ميكانيكا الكم المتقدمة التي تُطرح في مساقات ميكانيكا الكم المتقدمة في الجامعات مثل الدالة الموجية ومعادلة "شرودنجر" وغيرها.

خامسا: إجراء دراسة موسعة لاختبار المفاهيم التي رشّحتها الدراسة كمفاهيم بديلة.

سادسا: إجراء دراسة كيفية تصف أنماط فهم طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة للمفاهيم والمبادئ المجردة التي شملتها الدراسة.

6: قائمة المراجع

الخالدي، موسـى محمد (1998). المفاهيم البديلة التي يحملها طلبة الصـف الحادي عشـر العلمي حول موضـوع الروابط الكيماوية. *رسـالة ماجسـتير غير منشـورة*. كلية الدراسـات العليا، جامعة بيرزيت: فلسطين.

الشربيني، زكريا ويسري، صادق (2000). *نمو المفاهيم العلمية للأطفال*. القاهرة: دار الفكر العربي.

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. (Online: http://docsdrive.com/pdfs/knowledgia/ajaps/2011/112-118 Accessed: 31/10/2015)

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. (Online: https://www.google.ps/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source Accessed: 31/10/2015)

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. (Online: http://journals.aps.org/prstper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER. Accessed: 27/10/2015)

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. (Online: http://perlnet.umaine.edu/abt/research/probability.pdf

Accessed: 31/10/2015)

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.

Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology,* 3(2), 77-101.

Calıskan, S., Selcuk, G. & Erol, M. (2009). Student understanding of some quantum physical concepts. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(2), 2002-2006.
(Online: http://www.lajpe.org/may09/02_Serap_Caliskan.pdf
Accessed: 31/10/2015)

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.
(Online: http://www.tojet.net/articles/v4i3/437.pdf
Accessed: 8/11/2015)

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.
(Online: http://www.ejmste.com/v6n4/eurasia_v6n4_didis.pdf
Accessed: 11/2/2016)

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

Driver, R. & Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: A constructivist view. *School Science Review,* 67, 443-456.

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. (Online: http://www.infonomics-society.org/IJCDSE/How%20Do%20 Accessed: 31/10/2015)

Euler, M., Hanselmann, M., Muller, A. & Zollman, D. (1999). Students' views of models and concepts in modern physics. In D. Zollman (Ed.), *Research on teaching and learning quantum mechanics* (pp. 15-19). Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching (NARST). (Online: https://web.phys.ksu.edu/papers/narst/qm_papers.pdf Accessed: 11/2/2016)

Falk, J. (2007). *Students' depictions of quantum mechanics: A contemporary review and some implications for research and teaching*. licentiate thesis. Uppsala University: Uppsala, Sweden. (Online: https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:116635/FULLTE Accessed: 27/10/2015)

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). (Online: https://web.phys.ksu.edu/papers/narst/qm_papers.pdf Accessed: 11/2/2016)

von Glaserfeld, E. (1982). An interpretation of Piaget's constructivism. *Revue Internationale de Philosophie,* 36(4), 612-635. (Online: http://www.univie.ac.at/constructivism/EvG/papers/077.pdf Accessed: 31/10/2015)

von Glaserfeld, E. (1989). Cognition construction of knowledge and teaching. *Synthese,* 80(1), 121-140. (Online: http://www.univie.ac.at/constructivism/EvG/papers/118.pdf Accessed: 31/10/2015)

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.
(Online: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1
Accessed: 31/10/2015)

Ireson, G. (2000). The quantum understanding of pre-university physics students. *Physics Education*, 35(1), 15-21.
(Online: http://personalpages.to.infn.it/~maina/didattica/SIS/qm
Accessed: 10/11/2015)

Johansson, K. & Milstead, D. (2008). Uncertainty in the classroom teaching quantum physics. *Physics Education*, 43(2), 173-179.
(Online: http://www.fysik.su.se/~milstead/teaching/kvantgrund/2008/
Accessed: 31/10/2015)

Johnston, I., Crawford, K. & Fletcher, P. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal Science Education*, 20(4), 427-446.
(Online: http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/notas_de_aula/c
Accessed: 31/10/2015)

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).
(Online: https://web.phys.ksu.edu/papers/narst/qm_papers.pdf
Accessed: 11/2/2016)

Muller, R. & Wiesner, H. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level[1]. *American Association of Physics Teachers*, 70(3), 200-2009.
(Online: https://www.tubraunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/ajp. Accessed: 24/10/2015)

Niedderer, H. & Deylitz, S. (1999). Evaluation of a new approach in quantum atomic physics in high school. In D. Zollman (Ed.), *Research on teaching and learning quantum mechanics* (pp. 23-27). Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching (NARST).
(Online: https://web.phys.ksu.edu/papers/narst/qm_papers.pdf Accessed: 11/2/2016)

Norman, D. (1980). Twelve issues for cognitive science. *Cognitive Science*, 4, 1-32.
(Online: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.2 Accessed: 12/2/2016)

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.
(Online: http://www.ejer.com.tr/0DOWNLOAD/pdfler/eng/%C3%B6 Accessed: 31/10/2015)

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.
(Online: http://www.lajpe.org/sep10/409_Erdogan_Ozdemir.pdf Accessed: 31/10/2015)

Pantoja, G., Moreira, M. & Herscovitz, V. (2012). Implementation of a didactic proposal on fundamental concepts of quantum mechanics with students of a professional master's degree in physics teaching. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(4), 519-529.

(Online: http://www.lajpe.org/dec2012/3_LAJPE_705_Glauco_Panto Accessed: 31/10/2015)

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

Prawat, R. S. & Floden, R. E. (1994). Philosophical perspectives on constructivist views of learning. *Educational Psychologist*, 29(1), 37-48.

Singh, C. (2001). Student understanding of quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 69(8), 885-895.
(Online: http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/notas_de_aula/c Accessed: 31/10/2015)

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.
(Online: http://www.physics.umd.edu/courses/Phys401/bedaque07 Accessed: 24/10/2015)

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.

7: الملاحق

الملحق (1)

اختبار التصوّرات البديلة حول المفاهيم والمبادئ المجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم

عزيزي الطالب/ عزيزتي الطالبة:

تحية طيبة وبعد:

تقوم الباحثة بإجراء دراسة بعنوان: كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم؟ بهدف وصف أنماط فهم الطلبة لبعض المفاهيم والمبادئ المجردة في ميكانيكا الكم، ومدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية، وكذلك وصف المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها ونسب تواجدها عندهم. تكمن أهمية هذه الدراسة بإثراء الأدب التربوي الفلسطيني لافتقاره لدراسات تحدّثت عن هذا الموضوع، كما أنّ لها أهمية كبيرة للعاملين في وزارة التربية والتعليم، والجامعات الفلسطينية. لذا فإن إجابتك الصادقة والموضوعية على فقرات الاختبار ستُساهِم في تحقيق أهداف الدراسة، علماً أن هذه الإجابات ستحظى بالسرية التامة، وستُستخدم لأغراض البحث العلمي فقط.

بإمكانك التواصل مع الباحثة للاطلاع على نتائج الدراسة من خلال عنوان البريد الإلكتروني التالي:

isahar84@gmail.com

شكراً لتعاونك، وفقك الله

الباحثة: سحر اسماعيل

كلية الدراسات العليا/ برنامج الماجستير في التربية

جامعة بيرزيت

يتكوّن هذا الاختبار من واحد وعشـــرين فقرة، لكل منها أربعة بدائل، يُرجى الإجابة عليها جميعاً باختيار البديل الذي يمثّل الإجابة الصحيحة لكل فقرة:

1) من أهم إضافات مبدأ اللايقين إلى علم الفيزياء:
أ) تقديم تنبؤات إحصائية مختلفة للقياسات الممكنة للكميات الفيزيائية، وهذه التنبؤات ناتجة عن عدم دقة أدوات القياس فقط.
ب) إمكانية عمل قياسات حول القيم الحقيقية –المحددة بشكل مطلق– للكميات الفيزيائية.
ت) اعتماد دقة القياس على طبيعة النظام إضافة إلى دقة أدوات القياس.
ث) إمكانية قياس القيم الحقيقية للكميات الفيزيائية بدقة مطلقة.

2) أُضيف مبدأ اللايقين إلى علم الفيزياء بسبب:
أ) تناقض آراء العلماء حول القضايا المتعلقة بميكانيكا الكم.
ب) وجود أخطاء في عمليات قياس قيم الكميات الفيزيائية، سواء أخطاء ناتجة عن عدم دقة الأدوات المستخدمة، أو أخطاء بشرية في قراءة هذه القياسات.
ت) اختلاف النتائج التي نحصل عليها باختلاف الدولة التي نجري فيها القياس.
ث) طبيعة عالم الكم الذي يتميّز بالخاصية اللاحتمية.

3) تمثل Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ:
أ) مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لكمية تحرك الجُسيم.
ب) الفرق بين أقل وأكبر قيم محتملة لكمية التحرك لأسباب ذاتية لا تتعلق بأدوات القياس وترتبط بدقة الموضع.
ت) مقدار الدقة في تحديد القيمة الحقيقية المطلقة لكمية تحرّك الجُسيم.
ث) مجموع الاحتمالات الممكنة لقيم كمية تحرك الجسيم.

4) تمثل Δ ف في قانون اللايقين لهايزنبرغ:
ج) مقدار الخطأ في قياس القيمة الحقيقية المُطلقة لموضع الجُسيم.
ح) مقدار الدقة في تحديد القيمة الحقيقية المطلقة لموضع الجُسيم.
خ) الفرق بين أقل وأكبر قيم محتملة للموضع لأسباب ذاتية لا تتعلق بأدوات القياس وترتبط بدقة كمية التحرّك.
د) مجموع الاحتمالات الممكنة لقيم موضع الجسيم.

5) حسب ميكانيكا الكم فإنّ مقدار اللايقين:
أ) يتأثر بحجم الجُسيم، فكلما زاد حجم الجُسيم نقص اللايقين في القياس.
ب) يرتبط بدقة الكمية المرتبطة المصاحبة بما يضمن زيادة الأول على حساب الثاني والعكس.
ت) يزداد في الخواص الجسيمية ويقل في الخواص الموجية.
ث) متساوي في الخواص الجسيمية والخواص الموجية.

6) عدم القدرة على قياس موضع الجُسيم وكمية تحركه بدقة مطلقة في نفس الوقت تعود إلى:
أ) أنّ إجراء عملية القياس لأحد الخواص في النظام تؤدّي إلى انهياره ممّا يتسبب في عدم القدرة على قياس خواصه الأخرى.
ب) عدم رغبة العلماء في ذلك.
ت) اهتمام العلماء بالخواص الموجية فقط.
ث) أنّ عملية القياس تُظهر بعض الخواص دون غيرها.

7) Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين ناتجتان عن:
أ) الخاصية اللاحتمية التي تميّز ميكانيكا الكم.
ب) الحركة السريعة للجسيمات دون الذرية.
ت) الحركة البطيئة للجسيمات دون الذرية.
ث) القدرة على رصد قياسات دقيقة لخواص موجية وجسيمية في نفس الوقت.

8) حسب ميكانيكا الكم فإنّ موضع الجُسيم دون الذري:
أ) يمكن التنبؤ به بدقة مطلقة في وقتنا الحاضر.
ب) له قيمة محددة بدقة مطلقة، ونسبة الخطأ في قياسها ناتجة عن الأدوات المستخدمة.
ت) له تنبؤات إحصائية مختلفة لكل منها احتمال وجود معيّن.
ث) إذا كان حراً فلا يمكن تحديده إطلاقا.

9) من إضافات ميكانيكا الكم إلى علم الفيزياء أنها:
أ) تهتم بتحديد قيم الكميات الفيزيائية المُقاسة بدقّة مطلقة، والحتمية خاصية متأصلة فيها.
ب) تهتم بكل الخيارات الممكنة لقياسات الكميات الفيزيائية، واحتمال كل منها، واللاحتمية خاصية متأصلة فيها.

ت) تعترف بخطأ قياس الكميات الفيزيائية الناتج عن أدوات القياس، وبوجود دقة ذاتية مطلقة.
ث) تستخدم قوانين تُعطينا قياسات محددة بشكل مطلق لكل من موضع الجسيم وكمية تحركه.

10) اللاحتمية في ميكانيكا الكم:
أ) تعد أحد خصائصها المؤقتة.
ب) ناتجة عن الحركة السريعة للجسيمات مما يُصعّب عملية رصدها.
ت) ناتجة عن عدم معرفتنا بكافة الظروف.
ث) تُعد أحد خصائصها الأساسية.

11) ترى ميكانيكا الكم أنه انطلاقاً من حالة نظام معزول في لحظة ما:
أ) يمكن التنبؤ بخواصه الموجية ولا يمكن التنبؤ بخواصه الجُسيمية.
ب) يمكن التنبؤ بخواصه الجُسيمية ولا يمكن التنبؤ بخواصه الموجية.
ت) لا يمكن التنبؤ بقيم الكميات الفيزيائية التي نرغب بقياسها لاحقاً بدقة.
ث) يمكن التنبؤ بقيم الكميات الفيزيائية التي نرغب بقياسها لاحقاً بدقة.

12) حسب الخاصية الازدواجية (موجة/جسيم) فإنّ:
أ) كل جُسيم يتكون من شقين، أحدهما ذا خواص موجية والآخر ذا خواص جسيمية يمكن قياسهما معا.
ب) الإلكترون لا يمتلك خواص موجية.
ت) الفوتون لا يمتلك خواص جسيمية.
ث) الجسيمات تمتلك خواص موجية تُظهرها بعض التجارب، وخواص جسيمية تُظهرها تجارب أخرى.

13) الخاصية الموجية للإلكترون:
أ) ناتجة عن تذبذبات المادة المُكوّنة له.
ب) خاصية أساسية تفسر ظواهر حيود الإلكترونات.
ت) ناتجة عن وجود عناصر مشعة دخلت في تركيبه.
ث) لا تهتم ميكانيكا الكم بدراستها.

14) إظهار الإلكترونات لخواص موجية يعني:

أ) إمكانية رصد تداخلها وحيودها، وعدم إمكانية تحديد مواضعها بدقة.
ب) إمكانية رصد تداخلها وحيودها إضافة إلى تحديد مواضعها بدقة.
ت) إمكانية رصد خاصيتي الانكسار والانتشار لهذه الإلكترونات.
ث) إمكانية تحوّلها إلى فوتونات.

15) الخاصية الازدواجية (موجة/جسيم) في ميكانيكا الكم:
أ) ممكنة القياس إذا كانت موجة دي برولي المصاحبة أكبر أو تساوي أبعاد الجسيم.
ب) تُلاحَظ على الفوتونات، ولا تُلاحَظ على الإلكترونات.
ت) تتمثل بامتلاك الجُسيمات المجهرية الكبيرة خواص جسيمية فقط والجسيمات المجهرية الصغيرة خواص موجية فقط.
ث) تتمثل بامتلاك الجُسيمات المجهرية الكبيرة خواص موجية فقط والجسيمات المجهرية الصغيرة خواص جسيمية فقط.

16) يمكن وصف الفوتونات على أنها:
أ) تيارات من جسيمات صغيرة تتحرك في مسارات محددة على شكل موجات.
ب) جسيمات تشبه الإلكترونات في تركيبها ولكنها متعادلة الشحنة.
ت) جسيمات تشبه البروتونات في تركيبها ولكنها متعادلة الشحنة.
ث) جُسيمات أولية تمتلك خواص موجية وخواص جسيمية.

17) يمكن وصف الإلكترونات على أنها:
أ) وحدات تخزين الطاقة في النواة.
ب) جُسيمات مركبة تُعرف بموضعها وكتلتها، وتدور حول النواة بسرعة عالية جدا.
ت) جُسيمات أولية يمكن أن تمتلك خواص موجية وخواص جسيمية.
ث) جسيمات تحمل طاقة هائلة جداً تُمكنها من السير بسرعة الضوء.

18) فيما يتعلق بإمكانية رؤية الإنسان لذرة منفردة –بما يشمل مكوناتها الدقيقة– بشكل مباشر يمكن القول بأنه:
أ) يمكن رؤية الذرة باستخدام الوسائل التكنولوجية المتوفرة حاليا.
ب) سيكون ذلك ممكناً إذا توفرت أدوات تكنولوجية ذات كفاءة أفضل في المستقبل.

ت) رؤية الذرة ليس مرتبطاً بالإمكانيات التكنولوجية.
ث) يمكن رؤية بعض الذرات بالوسائل المتوفرة حاليا ولا يمكن رؤية بعضها الآخر.

19) يمكن وصف الذرة كما يلي:
أ) تتمركز النواة في منتصفها وتظهر الإلكترونات حولها كبقع من الغيوم المشحونة.
ب) تتمركز النواة في منتصفها وتدور حولها الإلكترونات التي تجري في مداراتها كما تجري الكواكب في أفلاكها حول الشمس.
ت) تتمركز النواة في منتصفها ويمتلئ الفراغ المحيط بها بالإلكترونات بشكل تام.
ث) تقع النواة في أحد أقطابها وتتجمع الإلكترونات في القطب المقابل.

20) الإلكترونات داخل الذرة:
أ) تتواجد في مدارات يمكن تحديد مواضعها حول النواة بدقة مطلقة.
ب) يمكن وضع تصوّر تقريبي لمساراتها المُحتملة حول النواة.
ت) تتمركز في أحد الأقطاب وتملؤه تماما.
ث) تتواجد في مدارات محددة تملأ الفراغ المحيط بالنواة بشكل تام.

21) تظهر الإلكترونات حول النواة على شكل:
أ) كرات صغيرة تدور في مدارات محددة.
ب) كرات مختلفة الأحجام تدور في مدارات محددة.
ت) غيوم يمكن تقدير أماكن تواجدها المُحتملة ولا يمكن تحديد مواضعها بدقة مطلقة.
ث) غيوم يمكن تحديد أماكن تواجدها بدقة مطلقة.

الملحق (2)

أسئلة المقابلة حول مستوى فهم الطلبة ومعتقداتهم نحو المفاهيم والمبادئ المجرّدة المتعلقة بميكانيكا الكم

عزيزي الطالب/ عزيزتي الطالبة:

تحية طيبة وبعد:

تقوم الباحثة بإجراء دراسة بعنوان: كيف يصف طلبة السنة الجامعية الأولى والرابعة في كليات العلوم الفلسطينية فهمهم لبعض المفاهيم والمبادئ المجرّدة في ميكانيكا الكم؟ بهدف وصف أنماط فهم الطلبة لبعض المفاهيم والمبادئ المجردة في ميكانيكا الكم، ومدى تطوّرها لديهم خلال سنوات دراستهم الجامعية، وكذلك وصف المفاهيم البديلة التي يحملونها حولها ونسب تواجدها عندهم. تكمن أهمية هذه الدراسة بإثراء الأدب التربوي الفلسطيني لافتقاره لدراسات تحدّثت عن هذا الموضوع، كما أنّ لها أهمية كبيرة للعاملين في وزارة التربية والتعليم، والجامعات الفلسطينية. لذا فإن إجابتك الصادقة والموضوعية على أسئلة المقابلة ستُساهِم في تحقيق أهداف الدراسة، علماً أن هذه الإجابات ستحظى بالسرية التامة، وستُستخدم لأغراض البحث العلمي فقط.

بإمكانك التواصل مع الباحثة للاطلاع على نتائج الدراسة من خلال عنوان البريد الإلكتروني التالي:

isahar84@gmail.com

شكراً لتعاونك، وفقك الله

الباحثة: سحر اسماعيل

كلية الدراسات العليا/ برنامج الماجستير في التربية

جامعة بيرزيت

المحور الأول	مبدأ اللايقين
1	ما هو فهمك لمبدأ اللايقين؟
2	ما الجديد الذي أضافه مبدأ اللايقين إلى علم الفيزياء؟
3	هل تعتقد أنّ مبدأ اللايقين مهم؟ ولماذا؟
4	ما أهمية وجود مبدأ اللايقين إن تطوّرت كفاءة أدوات القياس في المستقبل؟
5	ماذا تمثّل كل من Δ ف و Δ كت في قانون اللايقين لهايزنبرغ؟
6	هناك من يدّعي بأنّ مقدار اللايقين في قياس موضع الجسيم يعتمد على حجمه، ما رأيك بهذا الادّعاء؟
المحور الثاني	الخاصية اللاحتمية لميكانيكا الكم
7	ماذا تعرف عن الخاصية اللاحتمية؟
8	ما الفرق بين المنظور الكمي والمنظور الكلاسيكي للقياسات؟
9	كيف تنظر ميكانيكا الكم لإمكانية التنبؤ بوضع النظام المستقبلي انطلاقاً من وضعه الحاضر؟
10	ما المبرر الرئيسي لوجود مبدأ اللايقين في ميكانيكا الكم؟
المحور الثالث	الخاصية الازدواجية
11	كان العالم نيوتن ينظر للضوء على أنه يتكوّن من جسيمات مادية دقيقة تنطبق عليها قوانين الحركة، ما الضرورة المُلحّة التي أدّت إلى تغيير هذه النظرة؟

12	هناك من يدّعي بأنّ الإلكترونات ممكن أن تتصرف كموجات، ما رأيك بهذا الادّعاء؟
13	كيف يمكن للجُسيم نفسه أن يمتلك خواص موجية وجسيمية؟
14	ما معنى أنّ الجُسيم يمتلك خواص موجية؟
15	ما الجديد الذي أضافته الخاصية الازدواجية إلى علم الفيزياء؟
16	هل يمكن قياس موضع الجُسيم وكمية تحركه بدقة في نفس الوقت؟ ولماذا؟
المحور الرابع	مفهوم النموذج الذري
17	ماذا نعني بكلمة نموذج ذري؟
18	ما هو أفضل وصف للذرة؟
19	هناك من يدّعي بأنّ الإلكترونات تتواجد حول النواة في مدارات محددة ما رأيك بهذا الادّعاء؟
20	كيف يمكن وصف الإلكترون داخل الذرة؟

الملحق (3)

جدول النسب المئوية للإجابات الصحيحة لطلبة السنة الأولى والرابعة على فقرات الاختبار في محاوره الأربعة

رقم الفقرة	المحور	البديل الذي يمثّل الإجابة الصحيحة	النسبة المئوية للإجابة الصحيحة لطلبة السنة الأولى	النسبة المئوية للإجابة الصحيحة لطلبة السنة الرابعة
1	اللايقين	ت	%34	%45
2	اللايقين	ث	%10	%43
3	اللايقين	ب	%10	%28
4	اللايقين	ت	%7	%32
5	اللايقين	ب	%31	%57
6	اللايقين	ث	%21	%19
7	اللاحتمية	أ	%21	%49
8	اللاحتمية	ت	%37	%66
9	اللاحتمية	ب	%26	%62
10	اللاحتمية	ث	%24	%47
11	اللاحتمية	ت	%21	%32
12	الخاصية الازدواجية	ث	%39	%62
13	الخاصية الازدواجية	ب	%29	%72
14	الخاصية الازدواجية	أ	%36	%55
15	الخاصية الازدواجية	أ	%21	%68
16	الخاصية الازدواجية	ث	%24	%43
17	الخاصية الازدواجية	ت	%28	%28
18	النموذج الذري	ت	%39	%62
19	النموذج الذري	أ	%31	%30

رقم الفقرة	المحور	البديل الذي يمثّل الإجابة الصحيحة	النسبة المئوية للإجابة الصحيحة لطلبة السنة الأولى	النسبة المئوية للإجابة الصحيحة لطلبة السنة الرابعة
20	النموذج الذري	ب	%45	%64
21	النموذج الذري	ت	%36	%57

الملحق (4)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور مبدأ اللايقين

رقم الفقرة	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
1	118	92	134	40	%30	%23	%34	%10
2	49	277	22	41	%13	%71	%6	%10
3	287	39	42	25	%73	%10	%11	%6
4	289	55	26	23	%74	%14	%7	%6
5	122	120	88	57	%31	%31	%22	%15
6	249	19	36	83	%63	%5	%9	%21

الملحق (5)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور مبدأ اللايقين

رقم الفقرة	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
1	11	8	21	7	%23	%17	%45	%15
2	4	17	6	20	%9	%36	%13	%43
3	21	13	9	4	%45	%28	%19	%9
4	19	9	15	3	%40	%19	%32	%6
5	10	27	4	6	%21	%57	%9	%13
6	34	1	3	9	%72	%2	%6	%19

الملحق (6)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية اللاحتمية

رقم الفقرة	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
7	84	90	36	178	%21	%23	%9	%45
8	56	144	147	35	%14	%37	%37	%9
9	72	103	129	80	18	%26	%33	%20
10	48	173	65	95	%12	%44	%17	%24
11	91	98	83	112	%23	%25	%21	%29

الملحق (7)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية اللاحتمية

رقم الفقرة	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
7	23	5	1	18	%49	%11	%2	%38
8	4	7	31	5	%9	%15	%66	%11
9	4	29	6	8	%9	%62	%13	%17
10	2	14	9	22	%4	%30	%19	%47
11	9	8	15	14	%19	%17	%32	%30

الملحق (8)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية الازدواجية

رقم الفقرة	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
12	128	48	56	154	%33	%12	%14	%39
13	135	114	97	36	%34	%29	%25	%9
14	143	123	96	22	%36	%31	%24	%6
15	84	85	147	54	%21	%24	%37	%14
16	125	104	58	96	%32	%27	%15	%24
17	56	130	108	87	%14	%33	%28	%22

الملحق (9)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور الخاصية الازدواجية

رقم الفقرة	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
12	16	0	1	29	%34	%0	%2	%62
13	9	34	1	1	%19	%72	%2	%2
14	26	15	4	1	%55	%32	%9	%2
15	32	4	9	1	%68	%9	%19	%2
16	15	6	5	20	%32	%13	%11	%43
17	3	23	13	7	%6	%49	%28	%15

الملحق (10)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الأولى على فقرات الاختبار الخاصة بمحور النموذج الذري

رقم الفقرة	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
18	39	114	153	69	%10	%29	%39	%18
19	122	180	70	8	%31	%46	%18	%2
20	100	176	48	58	%25	%45	%12	%15
21	136	50	142	53	%35	%13	%36	%14

الملحق (11)

وصف إجابات طلبة السنة الجامعية الرابعة على فقرات الاختبار الخاصة بمحور النموذج الذري

رقم السؤال	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	عدد الطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (أ)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ب)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ت)	النسبة المئوية للطلبة الذين أجابوا على البديل (ث)
18	5	5	29	5	%11	%11	%62	%11
19	14	29	3	0	%30	%62	%6	%0
20	9	30	0	7	%19	%64	%0	%15
21	15	3	27	2	%32	%6	%57	%4