บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเสนอผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน ดังนี้

N	แทน	จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง
K	แทน	จำนวนข้อของแบบทดสอบ
P	แทน	ค่าความยากของข้อสอบ
B	แทน	ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ
$\overline{X}$	แทน	คะแนนเฉลี่ย
C	แทน	คะแนนเกณฑ์
S.D.	แทน	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SE_{meas}	แทน	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด
r_{cc}	แทน	ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบอิงเกณฑ์ คำนวณโดยใช้สูตร Binomial ของ “โลเวทท์”
R	แทน	คำตอบถูกของข้อสอบแต่ละข้อ
W	แทน	คำตอบผิดที่นักเรียนเลือกตอบ

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)
   1.1 ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างเนื้อหากับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
   1.2 ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับข้อสอบวินิจฉัย
2. วิเคราะห์คำตอบผิดและจุดบกพร่องจากการทดสอบเพื่อสำรวจ
3. ค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (B) ของข้อสอบจากแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่หนึ่ง

4. ค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (B) ของข้อสอบจากแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สอง

5. ค่าสถิติพื้นฐานของแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สอง

6. ค่าความเชื่อมั่นและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สอง

7. ค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (B) ของข้อสอบจากแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

8. ค่าสถิติพื้นฐานของแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

9. ค่าความเชื่อมั่นและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

10. สาเหตุของความบกพร่องที่นักเรียนตอบข้อสอบผิดในแต่ละข้อของแบบทดสอบวินิจฉัยเรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยได้จากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ซึ่งแบ่งออกเป็น

1.1 ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างเนื้อหากับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมทุกข้อมีค่าเท่ากับ 1.00 กล่าวคือ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมทุกข้อมีความสอดคล้องกับเนื้อหาดีมาก ซึ่งรายละเอียดเนื้อหาและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก

1.2 ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับข้อสอบวินิจฉัย ได้ว่าค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อสอบทุกข้อที่ได้จากแบบทดสอบวินิจฉัยซึ่งดัดแปลงมาจากข้อสอบเพื่อสำรวจทั้ง 4 ฉบับ มีค่าเท่ากับ 1.00 กล่าวคือ ข้อสอบทุกข้อมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมสูงมาก ซึ่งรายละเอียดของความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับข้อสอบวินิจฉัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก

2. การทดสอบเพื่อสำรวจ

ผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบเพื่อสำรวจที่สร้างขึ้น 4 ฉบับ เป็นข้อสอบแบบเติมคำ และให้แสดงวิธีทำ ซึ่งให้นักเรียนทำฉบับละ 25 คน จากกลุ่มตัวอย่าง 100 คน แล้วนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์เพื่อรวบรวมคำตอบผิด และหาข้อบกพร่องในการตอบผิดนั้น คัดเลือกคำตอบที่นักเรียนส่วนใหญ่ตอบผิด เพื่อใช้สร้างเป็นตัวลวงข้อละ 3 คำตอบ ดังแสดงในตาราง 8-11

ตาราง 8 วิเคราะห์คำตอบผิดและจุดบกพร่อง ในการตอบแบบทดสอบเพื่อสำรวจวิชาฟิสิกส์ เรื่องฟิสิกส์อะตอม ฉบับที่ 1 การค้นพบอิเล็กตรอน

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
1	- เคลื่อนที่เท่ากับความเร็วแสง	4	- ไม่สามารถจำแนกสมบัติความแตกต่างระหว่างรังสีที่มีประจุและไม่มีประจุได้
	- เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5	- ไม่สามารถจำแนกสมบัติความแตกต่างระหว่างรังสีที่มีประจุและไม่มีประจุได้
	- มีอำนาจทะลุทะลวงสูง	3	- สับสนกับคุณสมบัติของรังสีเอกซ์
2	- รังสีนั้นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4	- ไม่เข้าใจว่าการเบี่ยงเบนของรังสีแคโทดเกิดขึ้นจากการที่รังสีนั้นเป็นอนุภาคที่มีประจุ
	- ไม่สามารถกั้นรังสีนั้นด้วยฉากวัตถุอื่น ๆ	3	- ไม่เข้าใจว่าการเบี่ยงเบนของรังสีแคโทดเกิดขึ้นจากการที่รังสีนั้นเป็นอนุภาคที่มีประจุ
	- รังสีนั้นมองเห็นได้ด้วยตา	2	- มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการเรืองแสงของรังสีกับการมีประจุของรังสี
3	- เป็นเส้นตรง	5	- เข้าใจว่าทางเดินของรังสีแคโทดเมื่อพุ่งผ่านตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอนั้นเป็นเส้นตรง
	- เป็นทางโค้งพาราโบลา	3	- เข้าใจว่าทางเดินของรังสีแคโทดเมื่อพุ่งผ่านตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอนั้นเป็นทางโค้งพาราโบลา

ตาราง 8 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
	- เป็นทางโค้งเหมือนสปริง	2	- เข้าใจว่าทางเดินของรังสีแคโทดเมื่อพุ่งผ่านตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอนั้นเป็นทางโค้งเหมือนสปริง
4	- 1.6×10^{-2} เทสลา - 4.9×10^{-2} เทสลา - 4.9×10^{19} เทสลา	7 2 3	- คำนวณเลขยกกำลังผิด - ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ - ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
5	- 6.6×10^{9} โวลต์/เมตร - 6.0×10^{10} โวลต์/เมตร - 1.5×10^{-10} โวลต์/เมตร	3 8 2	- จำสูตรผิด - คำนวณเลขยกกำลังผิด - จำสูตรผิด
6	- 2.50×10^{4} คูลอมบ์/กิโลกรัม - 2.50×10^{6} คูลอมบ์/กิโลกรัม - 1.56×10^{9} คูลอมบ์/กิโลกรัม	3 2 5	- ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบ เอส ไอ และสับสนในการแทนค่าระหว่างปริมาณของความต่างศักย์ (V) กับความเร็ว (v) ลงในสมการ - สับสนในการแทนค่าระหว่างปริมาณของความต่างศักย์ (V) กับความเร็ว (v) ลงในสมการ - ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบ เอส ไอ
7	- 1.0×10^{3} ตัว - 1.6×10^{-15} ตัว - 1.0×10^{34} ตัว	4 6 2	- สับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนัก - ไม่ได้นำค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) มาหาร เพื่อหาจำนวนอิเล็กตรอน - คำนวณเลขยกกำลังผิด
8	- 3.2×10^{10} เมตร - 2.0×10^{33} เมตร - 5.0×10^{-32} เมตร	4 5 3	- คำนวณเลขยกกำลังผิด - แทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง - แทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง

ตาราง 8 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
9	- 3.2×10^{-13} คูลอมบ์	4	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
	- 3.2×10^{-15} คูลอมบ์	5	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
	- 3.2×10^{-18} คูลอมบ์	2	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
10	- 9.6×10^{-14} นิวตัน	4	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
	- 9.6×10^{-16} นิวตัน	6	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
	- 9.6×10^{-17} นิวตัน	4	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
11	- 57 โวลต์	5	- สับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนัก
	- 5.7×10^{4} โวลต์	3	- ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
	- 9.1×10^{-17} โวลต์	3	- ไม่ได้แทนค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ลงในสูตรที่ใช้ในการคำนวณ
12	- 0.08 วินาที	6	- ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบ เอส ไอ และขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
	- 0.8 วินาที	5	- สับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนักและขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
	- 800 วินาที	4	- คำนวณเลขยกกำลังผิดและขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
13	- 0.0024 เซนติเมตร	3	- คำนวณเลขยกกำลังผิดและขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
	- 0.024 เซนติเมตร	4	- ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
	- 0.24 เซนติเมตร	3	- ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบ เอส ไอ และขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ตาราง 8 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
14	- 3 ตัว	5	- สับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนัก
	- 250 ตัว	4	- ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบเอส ไอ และสับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนัก
	- 2500 ตัว	4	- ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบเอส ไอ

ตาราง 9 วิเคราะห์คำตอบผิดและจุดบกพร่อง ในการตอบแบบทดสอบเพื่อสำรวจวิชาฟิสิกส์ เรื่องฟิสิกส์อะตอม ฉบับที่ 2 แบบจำลองอะตอม

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
1	- อิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ นิวเคลียส	5	- สับสนกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
	- นิวเคลียสมีประจุบวก อิเล็กตรอนมีประจุลบ	5	- สับสนกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
	- อะตอมแผ่รังสีเพราะอิเล็กตรอนปลดปล่อยพลังงาน	3	- สับสนกับทฤษฎีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแม็กเวลล์
2	- อิเล็กตรอนอยู่นิ่งและห่างออกไปจากนิวเคลียส	4	- ไม่เข้าใจโครงสร้างตามแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
	- อิเล็กตรอนฝังอยู่ในเนื้อประจุบวกของอะตอม	5	- สับสนกับแบบจำลองอะตอมของทอมสัน
	- อะตอมแผ่รังสีเพราะอิเล็กตรอนปลดปล่อยพลังงาน	3	- สับสนกับทฤษฎีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแม็กเวลล์

ตาราง 9 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
3	- อนุภาคแอลฟาทุก ๆ อนุภาคทะลุผ่านแผ่นทองคำ	4	- ไม่เข้าใจการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาเมื่อยิงเข้าชนแผ่นทองคำ
	- อนุภาคแอลฟาทุก ๆ อนุภาคกระดอนกลับจากผิวทองคำ	3	- ไม่เข้าใจการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาเมื่อยิงเข้าชนแผ่นทองคำ
	- อนุภาคแอลฟาทุก ๆ อนุภาคกระเจิงออกไปเป็นรูปวงกลม	2	- ไม่เข้าใจการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาเมื่อยิงเข้าชนแผ่นทองคำ
4	- อิเล็กตรอนสั่นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกจึงมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมาจากอะตอม	2	- เข้าใจว่าข้อสรุปที่เหมือนกันของแบบจำลองอะตอมทอมสันและรัทเทอร์ฟอร์ดนั้นอิเล็กตรอนมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา
	- อิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ ประจุบวกโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน	4	- เข้าใจว่าข้อสรุปที่เหมือนกันของแบบจำลองอะตอมทอมสันและรัทเทอร์ฟอร์ดนั้นอิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ ประจุบวกโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน
	- มวลของอะตอมส่วนใหญ่เป็นมวลของประจุบวกและภายในอะตอมเป็นที่ว่างเปล่า	5	- เข้าใจว่าข้อสรุปที่เหมือนกันของแบบจำลองอะตอมทอมสันและรัทเทอร์ฟอร์ดนั้นมวลของอะตอมส่วนใหญ่ของประจุบวกและภายในอะตอมเป็นที่ว่างเปล่า
5	- เนื้อของอะตอมมีความหนาแน่นน้อย	4	- ไม่เข้าใจการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาเมื่อยิงเข้าชนแผ่นทองคำ
	- อนุภาคแอลฟามีความเร็วมาก	4	- ไม่เข้าใจการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาเมื่อยิงเข้าชนแผ่นทองคำ

ตาราง 9 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
	- ไม่เกิดแรงคูลอมบ์ระหว่างประจุของอนุภาคแอลฟากับประจุของนิวเคลียส	5	- ไม่เข้าใจการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาเมื่อยิงเข้าชนแผ่นทองคำ
6	- อะตอมมีความหนาแน่นมาก ไม่มีที่ว่างภายในอะตอม	5	- เข้าใจว่าเมื่อยิงอนุภาคแอลฟาผ่านอะตอมที่มีความหนาแน่นมากอนุภาคแอลฟาบางตัวก็จะมีการเบี่ยงเบนและสะท้อนกลับ
	- เกิดแรงดึงดูดระหว่างมวลของอนุภาคแอลฟากับนิวเคลียส	4	- เข้าใจว่าอนุภาคแอลฟาบางตัวมีการเบี่ยงเบนและสะท้อนกลับนั้นเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างมวลของอนุภาคแอลฟากับนิวเคลียส
	- อะตอมของทองคำมีขนาดใหญ่มาก	4	- เข้าใจว่าเมื่อยิงอนุภาแอลฟาผ่านอะตอมของทองคำที่มีขนาดใหญ่มากจะมีการเบี่ยงเบนได้มากและสะท้อนกลับ
7	- -6.8 อิเล็กตรอนโวลต์	3	- จำสูตรผิด
	- 10.2 อิเล็กตรอนโวลต์	2	- จำสูตรผิด
	- -10.2 อิเล็กตรอนโวลต์	3	- จำสูตรผิด
8	- 4 / 9	5	- ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
	- 2 / 3	3	- จำสูตรผิด
	- 3 / 2	3	- จำสูตรผิด
9	- พลังงานของอะตอมเป็นบวกเสมอ	3	- ไม่เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์
	- อิเล็กตรอนจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางของวงโคจร	5	- สับสนกับทฤษฎีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแม็กเวลล์และไม่เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์
	- อิเล็กตรอนแสดงสมบัติเป็นคลื่น	4	- ไม่เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์และสับสนกับสมมติฐานของเดอบรอยล์

ตาราง 9 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
10	- มีค่าคงที่	3	- ไม่เข้าใจเรื่องระดับของพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน
	- มีค่าเพิ่มขึ้น	3	- ไม่เข้าใจเรื่องระดับของพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน
	- อาจจะน้อยลงหรือเพิ่มขึ้นก็ได้แล้วแต่อะตอม	2	- ไม่เข้าใจเรื่องระดับของพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน
11	- 3.04×10^{-19} จูล	5	- สับสนระหว่างสมการของอนุกรมไลมานกับสมการของอนุกรมบัลเมอร์
	- 2.42×10^{-32} จูล	2	- แทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง
	- 1.30×10^{-31} จูล	3	- สับสนระหว่างสมการของอนุกรมไลมานกับสมการของอนุกรมบัลเมอร์และแทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง
12	- อะตอมมีระดับพลังงานที่ต่อเนื่องกัน	3	- ไม่เข้าใจผลการทดลองของฟรังค์และเฮิรตซ์
	- อิเล็กตรอนชนกับอะตอมแบบไม่ยืดหยุ่น	2	- ไม่เข้าใจผลการทดลองของฟรังค์และเฮิรตซ์
	- อิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ นิวเคลียสระหว่างอะตอมเป็นที่ว่างเปล่า	4	- ไม่เข้าใจผลการทดลองของฟรังค์กับเฮิรตซ์และสับสนกับผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด
13	- 3.7 อิเล็กตรอนโวลต์	4	- ไม่เข้าใจในความหมายของสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น
	- 4.9 อิเล็กตรอนโวลต์	4	- ไม่เข้าใจในความหมายของสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น
	- 11.6 อิเล็กตรอนโวลต์	6	- ไม่เข้าใจในความหมายของการปลดปล่อยและดูดกลืนพลังงาน

ตาราง 9 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
14	- ดูดกลืนแสงซึ่งมีพลังงาน 1.8 อิเล็กตรอนโวลต์	7	- สับสนสถานการณ์การดูดและคายพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน
	- ดูดกลืนแสงซึ่งมีพลังงาน 9.2 อิเล็กตรอนโวลต์	4	- สับสนสถานการณ์การดูดและคายพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานและขาดทักษะในการลบจำนวนเต็มลบ
	- ปลดปล่อยแสงซึ่งมีพลังงาน 9.2 อิเล็กตรอนโวลต์	4	- ขาดทักษะในการลบจำนวนเต็มลบ
15	- รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำมากและความยาวคลื่นยาวมาก	7	- ไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่
	- รังสีเอกซ์ไม่สามารถเลี้ยวเบนผ่านขอบสิ่งกีดขวางได้	3	- ขาดความเข้าใจในสมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
	- รังสีเอกซ์มีความเร็วเท่ากับ 3×10^{8} เมตร/วินาที	4	- สับสนระหว่างความเร็วของรังสีเอกซ์กับแสง
16	- 7.28×10^{-27} จูล	4	- จำสูตรผิด
	- 2.56×10^{-17} จูล	5	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
	- 1.60×10^{4} จูล	3	- แทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง
17	- 1.66×10^{13} โวลต์	3	- คำนวณเลขยกกำลังผิดและไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ลงในสมการ
	- 1.66×10^{-11} โวลต์	4	- ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ลงในสมการ
	- 1.04×10^{-30} โวลต์	5	- คำนวณเลขยกกำลังผิด

ตาราง 9 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
18	- 4.8×10^{-50} เฮิรตซ์	4	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
	- 3.0×10^{37} เฮิรตซ์	4	- ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ลงในสมการ
	- 3.2×10^{-15} เฮิรตซ์	3	- ไม่ได้แทนค่าคงตัวของพลังค์ ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ คูลอมบ์) ลงในสมการ
19	- 1.24×10^{-5} เมตร	5	- ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ
	- 1.24×10^{-8} เมตร	5	- ไม่ใช้หน่วยเอส ไอ ในการคำนวณ
	- 1.24×10^{-39} เมตร	4	- คำนวณเลขยกกำลังผิด

ตาราง 10 วิเคราะห์คำตอบผิดและจุดบกพร่อง ในการตอบแบบทดสอบเพื่อสำรวจวิชาฟิสิกส์ เรื่องฟิสิกส์อะตอม ฉบับที่ 3 ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
1	- 4.9×10^{16} เฮิรตซ์	5	- คำนวณเลขยกกำลังผิด
	- 2.0×10^{-15} เฮิรตซ์	3	- จำสูตรผิด
	- 2.0×10^{-52} เฮิรตซ์	3	- จำสูตรผิด
2	- 2.7×10^{15} เฮิรตซ์	5	- ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ในการคำนวณ
	- 2.0×10^{15} เฮิรตซ์	3	- ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
	- 1.3×10^{-18} เฮิรตซ์	2	- ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
3	- 6.4×10^{-5} จูล	3	- ขาดความเข้าใจในการหาจุดตัดแกน X จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_s กับ υ
	- -6.4×10^{-5} จูล	2	- ขาดความเข้าใจในการหาจุดตัดแกน X จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_s กับ υ
	- -2.5×10^{-19} จูล	2	- ขาดความเข้าใจในการหาจุดตัดแกน Y จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_s กับ υ

ตาราง 10 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
4	- 0.9 โวลต์ - 1.80×10^{-19} โวลต์ - 0.96×10^{-19} โวลต์	4 3 5	- ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ - ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ในการคำนวณ - เข้าใจว่าความถี่ของแสงเท่ากับส่วนกลับของความยาวคลื่นแสง ($f = \frac{1}{\lambda}$)
5	- ค่าคงตัวของพลังค์หารด้วยความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน - ค่าคงตัวของพลังค์คูณด้วยเลขจำนวนเต็มหารด้วย 2π - ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนหารด้วยความเร็วแสง	2 3 2	- อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบวงโคจรกับจำนวนเต็มครึ่งของอิเล็กตรอนตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ไม่ถูกต้อง - อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบวงโคจรกับจำนวนเต็มครึ่งของอิเล็กตรอนตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ไม่ถูกต้อง - อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบวงโคจรกับจำนวนเต็มครึ่งของอิเล็กตรอนตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ไม่ถูกต้อง
6	- 3.3×10^{-37} เมตร - 3.3×10^{-31} เมตร - 1.3×10^{-33} เมตร	4 3 2	- ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ - ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ และคำนวณเลขยกกำลังผิด - ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์
7	- 2.8×10^{-19} เมตร - 7.1×10^{-11} เมตร - 6.8×10^{-25} เมตร	3 4 2	- ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์)ในการคำนวณ - คำนวณเลขยกกำลังผิด - จำสูตรผิด

ตาราง 10 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
8	- 3.3×10^{-30} เมตร - $9.2 \times 10^{--39}$ เมตร - 5.5×10^{-40} เมตร	4 3 3	- คำนวณเลขยกกำลังผิด - ไม่ใช้หน่วย เอส ไอ ในการคำนวณ - ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ
9	- 2.19×10^{-10} นาโนเมตร - 4.55×10^{14} นาโนเมตร - $0.55 \times 10^{--9}$ นาโนเมตร	3 3 5	- ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ในการคำนวณ - ไม่ได้คำนวณค่ารากที่สองของสมการ - ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ
10	- 2.42×10^{-55} จูล - 2.42×10^{-53} จูล - 2.42×10^{-35} จูล	3 5 3	- คำนวณเลขยกกำลังผิด - ใช้คำอุปสรรคแทนเลขยกกำลังไม่ถูกต้อง - ไม่ใช้ตัวพหุคูณแทนคำอุปสรรค
11	- 8.29×10^{-24} เมตร - $2.07 \times 10^{--8}$ เมตร - 8.29×10^{-18} เมตร	3 5 2	- ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ในการคำนวณ - ใช้คำอุปสรรคแทนเลขยกกำลังไม่ถูกต้อง - ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ในการคำนวณ และใช้คำอุปสรรคแทนเลขยกกำลังไม่ถูกต้อง
12	- ระดับพลังงานของอะตอมมีค่าเป็นขั้น ๆ ไม่ต่อเนื่อง - อนุภาคแสดงสมบัติเป็นคลื่น - สามารถอธิบายสเปกตรัมของไฮโดรเจนในสภาวะปกติได้ดี	3 4 2	- สับสนกับผลการทดลองของฟรังค์และเฮิรตซ์ - สับสนกับสมมติฐานของเดอบรอยล์ - สับสนกับทฤษฎีอะตอมของโบร์

ตาราง 11 วิเคราะห์คำตอบผิดและจุดบกพร่อง ในการตอบแบบทดสอบเพื่อสำรวจวิชาฟิสิกส์ เรื่องฟิสิกส์อะตอม ฉบับที่ 4 กลศาสตร์ควอนตัม

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
1	- น้อยกว่าค่าคงตัวของพลังค์หารด้วย 2π	2	- เขียนสมการความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ตามหลักของไฮเซนเบิร์กไม่ถูกต้อง
	- มากกว่าค่าคงตัวของพลังค์หารด้วย 2π	2	- เขียนสมการความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ตามหลักของไฮเซนเบิร์กไม่ถูกต้อง
	- น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าคงตัวของพลังค์หารด้วย 2π	3	- เขียนสมการความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ตามหลักของไฮเซนเบิร์กไม่ถูกต้อง
2	- 6.63×10^{-34} กิโลกรัม.เมตร /วินาที	3	- สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η) และไม่ใช้ตัวพหุคูณแทนคำอุปสรรค
	- 1.05×10^{-43} กิโลกรัม.เมตร/วินาที	4	- ใช้คำอุปสรรคแทนเลขยกกำลังไม่ถูกต้อง
	- 6.63×10^{-25} กิโลกรัม.เมตร/วินาที	4	- สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η)
3	- 1.05×10^{-36} เมตร	3	- ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบเอส ไอ
	- $1.05 \times 10^{--33}$ เมตร	4	- ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ
	- 2.10×10^{-34} เมตร	5	- สับสนระหว่างค่าของความไม่แน่นอนของการวัดความเร็วกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุในการแทนค่าลงในสูตร
4	- ในระดับอนุภาค เราไม่สามารถทราบทั้งมวลและโมเมนตัมได้แม่นยำในเวลาเดียวกัน	3	- ไม่สามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมและกลศาสตร์นิวตันได้

ตาราง 11 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
	- ในระดับวัตถุขนาดใหญ่ เราไม่สามารถทราบทั้งตำแหน่งและความเร็วได้แม่นยำในเวลาเดียว	2	- ไม่สามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมและกลศาสตร์นิวตันได้
	- ในระดับวัตถุขนาดใหญ่ เราไม่สามารถทราบทั้งโมเมนตัมและเวลาได้แม่นยำในเวลาเดียวกัน	2	- ไม่สามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมและกลศาสตร์นิวตันได้
5	- หลักทางฟิสิกส์มีความไม่แน่นอน เพราะบางทีก็อธิบายว่าอนุภาคมีสมบัติเป็นคลื่นแต่บางทีก็อธิบายว่าคลื่นมีสมบัติเหมือนอนุภาคบอกไม่ได้แน่นอน	3	- เข้าใจว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กกับทวิภาพของคลื่นและอนุภาคสามารถใช้แทนกันได้
	- วัตถุบางอย่างขนาดเล็กมากจนเราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยเครื่องมือใด ๆ ที่เราสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้ เราจึงไม่ทราบความถูกต้องของมัน จึงไม่มีกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ใด ๆ นำไปใช้ได้แน่นอน	4	- เข้าใจว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กสามารถวัดได้โดยการใช้เครื่องมือทางฟิสิกส์ซึ่งจะมองเห็นวัตถุบางอย่างที่มีขนาดเล็กมากได้ถูกต้องแม่นยำ
	- เพราะอุปกรณ์ทางฟิสิกส์ย่อมมีความไม่แน่นอนอยู่เสมอ	3	- เข้าใจว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก คือความไม่แน่นอนเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวัดด้วยอุปกรณ์ทางฟิสิกส์

ตาราง 11 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
6	- 2.00×10^{-6} เมตร/วินาที - 1.26×10^{-2} เมตร/วินาที - 1.26×10^{-5} เมตร/วินาที	4 3 2	- ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ - สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η) - ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ และสับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η)
7	- 1.05×10^{-32} เมตร - 1.02×10^{-31} เมตร - 1.02×10^{-34} เมตร	3 4 3	- ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ - สับสนระหว่างผลต่างของความเร็ว (Δv) กับความเร็วเฉลี่ย ($\bar{v}$) ในการคำนวณ - ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ และสับสนระหว่างผลต่างของความเร็ว (Δv) กับความเร็วเฉลี่ย ($\bar{v}$) ในการคำนวณ
8	- 1.05×10^{-30} กิโลกรัม.เมตร/วินาที - 6.63×10^{-28} กิโลกรัม.เมตร/วินาที - 6.63×10^{-30} กิโลกรัม.เมตร/วินาที	4 3 2	- ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ - สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η) - ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ และสับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η)
9	- 7.29×10^{-6} เมตร - 7.29×10^{-7} เมตร	3 2	- สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η) - สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η) และเข้าใจว่าค่าความไม่แน่นอนของอัตราเร็วอิเล็กตรอนนั้นไม่ต้องคูณด้วยความคลาดเคลื่อน 10 % ที่โจทย์กำหนด

ตาราง 11 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
	- 1.15 x 10^{-7} เมตร	4	- เข้าใจว่าค่าความไม่แน่นอนของอัตราเร็วอิเล็กตรอนนั้นไม่ต้องคูณด้วยความคลาดเคลื่อน 10 % ที่โจทย์กำหนด
10	- 1.05 x 10^{-38} เมตร/วินาที - 1.05 x 10^{-35} เมตร/วินาที - 1.05 x 10^{-40} เมตร/วินาที	3 4 4	- คำนวณเลขยกกำลังผิด - ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ - ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบเอส ไอ
11	- อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลมภายในเนื้ออะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกและอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในอะตอม - อะตอมประกอบด้วยประจุบวกรวมอยู่ตรงกลางเรียกว่านิวเคลียส โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบ ๆ ระยะห่างจากนิวเคลียสมาก - อะตอมประกอบด้วยอิเล็กตรอนวิ่งวนรอบนิวเคลียสในวงโคจรได้โดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีโมเมนตัมเชิงมุมคงตัวเท่ากับ $n\eta$ และถ้าอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนวงโคจรจะมีการรับหรือปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3 3 4	- สับสนกับแบบจำลองอะตอมของทอมสัน - สับสนกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด - สับสนกับทฤษฎีอะตอมของโบร์

ตาราง 11 (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบผิด	ความถี่	จุดบกพร่อง
12	- 2.1×10^{-30} เมตร	5	- ใช้ค่าที่โจทย์ลวงมาคำนวณ
	- 2.1×10^{-33} เมตร	3	- ใช้ค่าที่โจทย์ลวงมาคำนวณและไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ
	- 1.2×10^{-7} เมตร	3	- คำนวณเลขยกกำลังผิด

3. ค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (B) ของข้อสอบในแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับจากการทดสอบครั้งที่หนึ่ง

ผู้วิจัยนำคะแนนจากการทดสอบครั้งที่หนึ่งมาคำนวณหาค่าความยากและค่าอำนาจจำแนก โดยใช้สูตรของเบรนแนน ได้ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนก ดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบในแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่หนึ่ง

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	B
1	1.1.1	1	.48	.12
		2	.52	.40
		*3	.12	.33
	1.1.2	4	.52	.40
		5	.44	.18
		6	.48	.29
	1.2	7	.48	.29
		8	.52	.23
		9	.52	.23

ตาราง 12 (ต่อ)

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	**B**
		10	.56	.34
		11	.44	.53
		12	.56	.51
		13	.52	.58
		14	.56	.17
2	2.1	1	.52	.12
		2	.52	.28
		3	.40	.51
		4	.48	.52
		5	.44	.28
		*6	.16	.33
	2.2.1	7	.52	.60
		8	.40	.19
		9	.48	.52
		10	.52	.60
		11	.52	.28
	2.2.2	12	.52	.44
		13	.44	.12
		14	.44	.44
	2.2.3	15	.56	.37
		16	.44	.44
		17	.44	.44
		18	.52	.44
		19	.56	.21

ตาราง 12 (ต่อ)

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	B
3	3.1	1	.56	.69
		2	.56	.51
		*3	.16	.10
		4	.44	.53
	3.2	5	.64	.56
		6	.64	.22
		7	.40	.24
		8	.28	.26
		9	.32	.19
		10	.36	.48
		11	.48	.64
		12	.68	.33
4	4.1	1	.60	.55
		2	.56	.30
		3	.60	.39
		*4	.12	.27
		5	.44	.35
		6	.56	.62
		7	.56	.46
		8	.44	.51
		9	.60	.39
		10	.60	.55
		11	.52	.37
		12	.48	.60

* หมายถึง ข้อสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์

จากตาราง 12 แสดงให้เห็นค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบในแบบทดสอบแต่ละฉบับ สรุปได้ดังนี้

แบบทดสอบฉบับที่ 1 (การค้นพบอิเล็กตรอน) จำนวน 14 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .12 - .56 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .12 - .58 คัดเลือกไว้ทดสอบครั้งที่สอง จำนวน 13 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .44 - .56 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .12 - .58

แบบทดสอบฉบับที่ 2 (แบบจำลองอะตอม) จำนวน 19 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .16 - .56 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .12 - .60 คัดเลือกไว้ทดสอบ ครั้งที่สอง จำนวน 18 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .40 - .56 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .12 - .60

แบบทดสอบฉบับที่ 3 (ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค) จำนวน 12 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .16 - .68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .10 - .69 คัดเลือกไว้ทดสอบครั้งที่สอง จำนวน 11 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .28 - .68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .19 - .69

แบบทดสอบฉบับที่ 4 (กลศาสตร์ควอนตัม) จำนวน 12 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .12 - .60 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .27 - .62 คัดเลือกไว้ทดสอบครั้งที่สอง จำนวน 11 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .44 - .60 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .30 - .62

4. ค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (B) ของข้อสอบจากแบบทดสอบวินิจฉัยวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สอง

ผู้วิจัยนำคะแนนจากการทดสอบครั้งที่สอง มาคำนวณหาค่าความยากและหาค่าอำนาจจำแนกโดยใช้สูตรของเบรนแนน ได้ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกดังแสดงในตารางที่ 13

ตาราง 13 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบในแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับจากการทดสอบครั้งที่สอง

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	**B**
1	1.1.1	1	.56	.46
		2	.56	.62

ตาราง 13 (ต่อ)

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	**B**
	1.1.2	3	.56	.30
		4	.60	.23
		5	.40	.42
	1.2	6	.56	.46
		7	.52	.37
		8	.52	.37
		9	.44	.35
		10	.40	.26
		11	.56	.30
		12	.44	.19
		13	.44	.35
2	2.1	1	.56	.12
		2	.64	.11
		3	.68	.19
		*4	.16	.15
		5	.64	.43
	2.2.1	6	.52	.68
		7	.64	.27
		8	.56	.44
		*9	.16	.31
		10	.28	.38
	2.2.2	11	.40	.61
		12	.52	.52
		13	.64	.75

ตาราง 13 (ต่อ)

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	B
	2.2.3	14	.24	.30
		15	.56	.44
		16	.40	.45
		17	.56	.60
		18	.56	.28
3	3.1	1	.40	.67
		2	.60	.33
		3	.48	.70
	3.2	4	.36	.73
		5	.40	.33
		6	.44	.43
		7	.60	.33
		8	.44	.60
		9	.40	.67
		10	.40	.50
		11	.40	.50
4	4.1	1	.44	.60
		2	.56	.53
		3	.64	.69
		4	.68	.46
		5	.56	.53
		6	.52	.60
		7	.52	.60
		8	.52	.44

ตาราง 13 (ต่อ)

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	B
		*9	.40	-.04
		10	.68	.29
		11	.68	.29

* หมายถึง ข้อสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์

จากตาราง 13 แสดงให้เห็นค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบในแบบทดสอบแต่ละฉบับ สรุปได้ดังนี้

แบบทดสอบฉบับที่ 1 (การค้นพบอิเล็กตรอน) จำนวน 13 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .40 - .60 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .19 - .62

แบบทดสอบฉบับที่ 2 (แบบจำลองอะตอม) จำนวน 18 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .16 - .68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .11 - .75 คัดเลือกไว้ทดสอบครั้งที่สาม จำนวน 16 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .24 - .68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .11 - .75

แบบทดสอบฉบับที่ 3 (ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค) จำนวน 11 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .36 - .60 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .33 - .73

แบบทดสอบฉบับที่ 4 (กลศาสตร์ควอนตัม) จำนวน 11 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .40 - .68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ (-.04) - .69 คัดเลือกไว้ทดสอบครั้งที่สาม จำนวน 10 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ .44 - .68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .29 - .69

5. ค่าสถิติพื้นฐานของแบบทดสอบวินิจฉัยวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับจากการทดสอบครั้งที่สอง

ผู้วิจัยนำคะแนนจากการทดสอบครั้งที่สอง มาคำนวณหาค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ค่าสถิติพื้นฐานของแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สอง

ฉบับที่	k	C	$\overline{X}$	S.D.
1	13	8	6.5600	2.6627
2	18	11	8.8800	3.8979
3	11	7	4.9200	3.2904
4	11	8	6.2000	2.7689

จากตาราง 14 แสดงให้เห็นว่า คะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของแบบทดสอบฉบับที่ 1 และฉบับที่ 4 มีค่าสูงกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม แต่คะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของแบบทดสอบฉบับที่ 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม และคะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของแบบทดสอบทุกฉบับมีค่าต่ำกว่าคะแนนเกณฑ์ สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบทดสอบ ปรากฏว่าแบบทดสอบที่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) สูงที่สุด คือ แบบทดสอบฉบับที่ 2 (แบบจำลองอะตอม) คือ มีค่าเท่ากับ 3.8979 และแบบทดสอบที่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ต่ำที่สุด คือ แบบทดสอบฉบับที่ 1 (การค้นพบอิเล็กตรอน) คือมีค่าเท่ากับ 2.6627

6. ค่าความเชื่อมั่นและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัยวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับจากการทดสอบครั้งที่สอง

ผู้วิจัยนำคะแนนจากการทดสอบครั้งที่สอง มาคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร Binomial ของโลเวทท์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับ ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 ค่าความเชื่อมั่นและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับจากการทดสอบครั้งที่สอง

แบบทดสอบฉบับที่	$\mathbf{r_{cc}}$	$\mathbf{SE_{meas}}$
1. การค้นพบอิเล็กตรอน	0.6674	1.5356
2. แบบจำลองอะตอม	0.7953	1.7636
3. ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค	0.8674	1.1982
4. กลศาสตร์ควอนตัม	0.7887	1.2729

จากตาราง 15 แสดงค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับ เมื่อคำนวณโดยใช้สูตร Binomial ของโลเวทท์มีค่าตั้งแต่ 0.6674 – 0.8674 จะเห็นได้ว่าแบบทดสอบทุกฉบับมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับค่อนข้างสูง สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบของทดสอบ ปรากฏว่าแบบทดสอบฉบับที่ 1-4 มีค่าเท่ากับ 1.5356, 1.7636, 1.1982 และ 1.2729 ตามลำดับ

7. ค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (B) ของข้อสอบจากแบบทดสอบวินิจฉัยวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

ตาราง 16 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบในแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับจากการทดสอบครั้งที่สาม

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	**B**
1	1.1.1	1	.74	.27
		2	.50	.27
	1.1.2	3	.61	.28
		4	.55	.42
		5	.57	.46

ตาราง 16 (ต่อ)

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	**B**
	1.2	6	.55	.70
		7	.42	.29
		8	.42	.47
		9	.35	.28
		10	.43	.66
		11	.42	.49
		12	.44	.48
		13	.50	.41
2	2.1	1	.62	.51
		2	.69	.37
		3	.71	.44
		4	.61	.57
	2.2.1	5	.50	.49
		6	.52	.37
		7	.53	.51
		8	.47	.32
	2.2.2	9	.50	.37
		10	.58	.40
		11	.60	.75
	2.2.3	12	.46	.30
		13	.55	.47
		14	.47	.40
		15	.50	.41
		16	.43	.48

ตาราง 16 (ต่อ)

ฉบับที่	จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	P	**B**
3	3.1	1	.50	.69
		2	.43	.58
		3	.48	.53
	3.2	4	.75	.38
		5	.53	.75
		6	.44	.52
		7	.49	.63
		8	.49	.63
		9	.48	.69
		10	.50	.61
		11	.50	.65
4	4.1	1	.53	.72
		2	.56	.59
		3	.60	.63
		4	.50	.54
		5	.56	.71
		6	.69	.55
		7	.48	.55
		8	.53	.48
		9	.58	.43
		10	.50	.31

8. ค่าสถิติพื้นฐานของแบบทดสอบวินิจฉัยวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

ผู้วิจัยนำคะแนนจากการทดสอบครั้งที่สาม มาคำนวณหาค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 ค่าสถิติพื้นฐานของแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

ฉบับที่	k	**C**	$\overline{X}$	S.D.
1	13	8	6.4950	3.4165
2	16	9	8.7255	4.1866
3	11	7	5.5980	3.5579
4	10	7	5.5545	2.9983

จากตาราง 17 แสดงให้เห็นว่า คะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของแบบทดสอบฉบับที่ 2 ฉบับที่ 3 และฉบับที่ 4 มีค่าสูงกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม แต่คะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของแบบทดสอบฉบับที่ 1 มีค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม และคะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของแบบทดสอบทุกฉบับมีค่าต่ำกว่าคะแนนเกณฑ์ สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบทดสอบ ปรากฏว่าแบบทดสอบที่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) สูงที่สุด คือ แบบทดสอบฉบับที่ 2 (แบบจำลองอะตอม) คือ มีค่าเท่ากับ 4.1866 และแบบทดสอบที่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ต่ำที่สุด คือ แบบทดสอบฉบับที่ 4 (กลศาสตร์ควอนตัม) คือมีค่าเท่ากับ 2.9983

9. ค่าความเชื่อมั่นและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัยวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

ผู้วิจัยนำคะแนนจากการทดสอบครั้งที่สาม มาคำนวณหาค่าความเชื่อมั่น โดยใช้สูตร Binomial ของโลเวทท์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับ ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 18

ตาราง 18 ค่าความเชื่อมั่นและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบวินิจฉัย ทั้งสี่ฉบับจากการทดสอบครั้งที่สาม

แบบทดสอบฉบับที่	r_{cc}	SE_{meas}
1. การค้นพบอิเล็กตรอน	0.8149	1.4697
2. แบบจำลองอะตอม	0.8236	1.7583
3. ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค	0.8779	1.2433
4. กลศาสตร์ควอนตัม	0.8403	1.1980

จากตาราง 18 แสดงค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับ เมื่อคำนวณโดยใช้สูตร Binomial ของโลเวทท์มีค่าตั้งแต่ 0.8149 – 0.8779 จะเห็นได้ว่าแบบทดสอบทุกฉบับมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับสูง สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดของแบบทดสอบ ปรากฏว่าแบบทดสอบฉบับที่ 1-4 มีค่าเท่ากับ 1.4697, 1.7583, 1.2433 และ 1.1980 ตามลำดับ

10. สาเหตุของความบกพร่องที่นักเรียนตอบข้อสอบผิดในแต่ละข้อของแบบทดสอบวินิจฉัยวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม ทั้งสี่ฉบับ จากการทดสอบครั้งที่สาม

ผู้วิจัยนำแบบทดสอบวินิจฉัยทั้งสี่ฉบับมาพิจารณาหาสาเหตุของความบกพร่องที่นักเรียนเลือกตอบผิด นักเรียนทำอย่างไร หรือนักเรียนใช้วิธีการใดในการแก้ปัญหาโดยพิจารณาจากการแสดงวิธีทำในแบบทดสอบเพื่อสำรวจมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อหาความบกพร่อง ดังแสดงในตารางที่ 19 - 22

10.1 ความบกพร่องในการตอบแบบทดสอบฉบับที่ 1 (การค้นพบอิเล็กตรอน) กำหนดสัญลักษณ์แทนข้อความในตาราง 19 ช่องความบกพร่อง ดังนี้

ก.1 ไม่สามารถจำแนกสมบัติความแตกต่างระหว่างรังสีที่มีประจุและไม่มีประจุได้

ก.2 สับสนกับคุณสมบัติของรังสีเอกซ์

ก.3 ไม่เข้าใจว่าการเบี่ยงเบนของรังสีแคโทดเกิดขึ้นจากการที่รังสีนั้นเป็นอนุภาคที่มีประจุ

ก.4 มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการเรืองแสงของรังสีกับการมีประจุของรังสี

ก.5 คำนวณเลขยกกำลังผิด

ก.6 จำสูตรผิด

ก.7 ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบ เอส ไอ

ก.8 สับสนในการแทนค่าระหว่างปริมาณของความต่างศักย์ (V) กับ ความเร็ว (v) ลงในสมการ

ก.9 สับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนัก

ก.10 ไม่ได้นำค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) มาหาร เพื่อหาจำนวนอิเล็กตรอน

ก.11 ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ก.12 ไม่ได้แทนค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ลงในสูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ก.13 แทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง

ตาราง 19 สาเหตุของความบกพร่องที่นักเรียนเลือกตอบผิดในการตอบแบบทดสอบ ฉบับที่ 1 (การค้นพบอิเล็กตรอน) จากการทดสอบครั้งที่ 3

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
1.1.1	1.	ค.	ก.	ก.1	10	9.90
			ข.	ก.1	13	12.87
			ง.	ก.2	3	2.97
	2.	ก.	ข.	ก.3	27	26.73
			ค.	ก.3	19	18.81
			ง.	ก.4	4	3.96
1.1.2	3.	ข.	ก.	ก.5	7	6.93
			ค.	ก.11	13	12.87
			ง.	ก.11	19	18.81
	4.	ก.	ข.	ก.6	14	13.86
			ค.	ก.5	18	17.82
			ง.	ก.6	13	12.87

ตาราง 19 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
	5.	ง.	ก.	ก.7 , ก.8	9	8.91
			ข.	ก.8	13	12.87
			ค.	ก.7	21	20.79
1.2	6.	ค.	ก.	ก.9	15	14.85
			ข.	ก.10	17	16.83
			ง.	ก.5	13	12.87
	7.	ก.	ข.	ก.5	34	33.66
			ค.	ก.13	16	15.84
			ง.	ก.13	9	8.91
	8.	ค.	ก.	ก.5	17	16.83
			ข.	ก.5	30	29.70
			ง.	ก.5	12	11.88
	9.	ข.	ก.	ก.5	14	13.86
			ค.	ก.5	41	40.59
			ง.	ก.5	11	10.89
	10.	ข.	ก.	ก.9	11	10.89
			ค.	ก.11	32	31.68
			ง.	ก.12	15	14.85
	11.	ค.	ก.	ก.7 , ก.11	8	7.92
			ข.	ก.9 , ก.11	41	40.59
			ง.	ก.5 , ก.11	10	9.90

ตาราง 19 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
	12.	ง.	ก.	ก.5 , ก.11	16	15.84
			ข.	ก.11	10	9.90
			ค.	ก.7 , ก.11	31	30.69
	13.	ข.	ก.	ก.9	14	13.86
			ค.	ก.7 , ก.9	25	24.75
			ง.	ก.7	12	11.88

จากตาราง 19 สาเหตุของความบกพร่องที่เกินร้อยละ 20 คือ

ก.3 ไม่เข้าใจว่าการเบี่ยงเบนของรังสีแคโทดเกิดขึ้นจากการที่รังสีนั้นเป็นอนุภาคที่มีประจุ

ก.5 คำนวณเลขยกกำลังผิด

ก.7 ขาดทักษะในการแปลงหน่วยในระบบ เอส ไอ

ก.9 สับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนัก

ก.11 ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

10.2 ความบกพร่องในการตอบแบบทดสอบฉบับที่ 2 (แบบจำลองอะตอม) กำหนดสัญลักษณ์แทนข้อความในตาราง 20 ช่องความบกพร่อง ดังนี้

ข.1 สับสนกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ข.2 สับสนกับทฤษฎีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแม็กเวลล์

ข.3 ไม่เข้าใจโครงสร้างตามแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ข.4 สับสนกับแบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ข.5 ไม่เข้าใจการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาเมื่อยิงเข้าชนแผ่นทองคำ

ข.6 จำสูตรผิด

ข.7 ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ข.8 ไม่เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์

ข.9 สับสนกับสมมติฐานของเดอบรอยล์

ข.10 สับสนระหว่างสมการของอนุกรมไลมานและสมการของอนุกรมบัลเมอร์

ข.11 แทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง

ข.12 ไม่เข้าใจผลการทดลองของฟรังค์และเฮิรตซ์

ข.13 สับสนกับผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

ข.14 ไม่เข้าใจในความหมายของสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น

ข.15 ไม่เข้าใจในความหมายของการปลดปล่อยและดูดกลืนพลังงาน

ข.16 สับสนสถานการณ์การดูดและคายพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน

ข.17 ขาดทักษะในการลบจำนวนเต็มลบ

ข.18 ไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่

ข.19 ขาดความเข้าใจในสมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ข.20 สับสนระหว่างสมบัติของรังสีเอกซ์กับแสง

ข.21 คำนวณเลขยกกำลังผิด

ข.22 ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ลงในสมการ

ข.23 ไม่ได้แทนค่าคงตัวของพลังค์ ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ คูลอมบ์) ลงในสมการ

ข.24 ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ

ข.25 ไม่ใช้หน่วยเอส ไอ ในการคำนวณ

ตาราง 20 สาเหตุของความบกพร่องที่นักเรียนเลือกตอบผิดในการตอบแบบทดสอบฉบับที่ 2 (แบบจำลองอะตอม) จากการทดสอบครั้งที่ 3

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
2.1	1.	ค.	ก.	ข.1	17	16.67
			ข.	ข.1	19	18.63
			ง.	ข.2	3	2.94
	2.	ก.	ข.	ข.3	16	15.69
			ค.	ข.4	7	6.86
			ง.	ข.2	9	8.82

ตาราง 20 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
	3.	ข.	ก.	ข.5	20	19.61
			ค.	ข.5	4	3.92
			ง.	ข.5	7	6.86
	4.	ค.	ก.	ข.5	8	7.84
			ข.	ข.5	13	12.75
			ง.	ข.5	19	18.63
2.2.1	5.	ก.	ข.	ข.6	33	32.35
			ค.	ข.6	11	10.78
			ง.	ข.6	7	6.86
	6.	ง.	ก.	ข.7	20	19.61
			ข.	ข.6	13	12.75
			ค.	ข.6	16	15.69
	7.	ก.	ข.	ข.8	7	6.86
			ค.	ข.2 , ข.8	32	31.37
			ง.	ข.8 , ข.9	8	7.84
	8.	ก.	ข.	ข.10	16	15.69
			ค.	ข.11	21	20.59
			ง.	ข.10 , ข.11	16	15.69
2.2.2	9.	ค.	ก.	ข.12	25	24.51
			ข.	ข.12	11	10.78
			ง.	ข.12 , ข.13	13	12.75
	10.	ก.	ข.	ข.14	11	10.78
			ค.	ข.14	25	24.51
			ง.	ข.15	7	6.86

ตาราง 20 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
	11.	ข.	ก.	ข.16	15	14.71
			ค.	ข.16 , ข.17	17	16.67
			ง.	ข.17	10	9.80
2.2.3	12.	ง.	ก.	ข.18	26	25.49
			ข.	ข.19	11	10.78
			ค.	ข.20	18	17.65
	13.	ค.	ก.	ข.6	9	8.82
			ข.	ข.21	13	12.75
			ง.	ข.11	23	22.55
	14.	ง.	ก.	ข.21 , ข.22	24	23.53
			ข.	ข.22	20	19.61
			ค.	ข.21	9	8.82
	15.	ข.	ก.	ข.21	14	13.73
			ค.	ข.22	20	19.61
			ง.	ข.23	17	16.67
	16.	ข.	ก.	ข.24	18	17.65
			ค.	ข.25	26	25.49
			ง.	ข.21	14	13.73

จากตาราง 20 สาเหตุของความบกพร่องที่เกินร้อยละ 20 คือ

ข.2 สับสนกับทฤษฎีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแม็กเวลล์

ข.6 จำสูตรผิด

ข.8 ไม่เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์

ข.11 แทนค่าปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรไม่ถูกต้อง

ข.12 ไม่เข้าใจผลการทดลองของฟรังค์และเฮิรตซ์

ข.14 ไม่เข้าใจในความหมายของสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น

ข.18 ไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่

ข.21 คำนวณเลขยกกำลังผิด

ข.22 ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ลงในสมการ

ข.25 ไม่ใช้หน่วยเอส ไอ ในการคำนวณ

10.3 ความบกพร่องในการตอบแบบทดสอบฉบับที่ 3 (ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค) กำหนดสัญลักษณ์แทนข้อความในตาราง 21 ช่องความบกพร่อง ดังนี้

ค.1 คำนวณเลขยกกำลังผิด

ค.2 จำสูตรผิด

ค.3 ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ในการคำนวณ

ค.4 ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ค.5 เข้าใจว่าความถี่ของแสงเท่ากับส่วนกลับของความยาวคลื่นแสง ($f = \frac{1}{\lambda}$)

ค.6 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบวงโคจรกับจำนวนเต็มครึ่งของอิเล็กตรอนตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ไม่ถูกต้อง

ค.7 ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ

ค.8 ไม่ใช้หน่วย เอส ไอ ในการคำนวณ

ค.9 ไม่ได้คำนวณค่ารากที่สองของสมการ

ค.10 ใช้คำอุปสรรคแทนเลขยกกำลังไม่ถูกต้อง

ค.11 ไม่ใช้ตัวพหุคูณแทนคำอุปสรรค

ค.12 สับสนกับผลการทดลองของฟรังค์และเฮิรตซ์

ค.13 สับสนกับสมมติฐานของเดอบรอยล์

ค.14 สับสนกับทฤษฎีอะตอมของโบร์

ตาราง 21 สาเหตุของความบกพร่องที่นักเรียนเลือกตอบผิดในการตอบแบบทดสอบ ฉบับที่ 3 (ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค) จากการทดสอบครั้งที่ 3

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
3.1	1.	ก.	ข.	ค.1	20	19.61
			ค.	ค.2	27	26.47
			ง.	ค.2	4	3.92
	2.	ข.	ก.	ค.3	25	24.51
			ค.	ค.4	19	18.63
			ง.	ค.4	14	13.73
	3.	ก.	ข.	ค.4	22	21.57
			ค.	ค.3	10	9.80
			ง.	ค.5	21	20.59
3.2	4.	ค.	ก.	ค.6	4	3.92
			ข.	ค.6	15	14.71
			ง.	ค.6	6	5.88
	5.	ค.	ก.	ค.7	9	8.82
			ข.	ค.7 , ค.1	18	17.65
			ง.	ค.4	21	20.59
	6.	ข.	ก.	ค.3	22	21.57
			ค.	ค.1	28	27.45
			ง.	ค.2	7	6.86
	7.	ข.	ก.	ค.1	11	10.78
			ค.	ค.8	24	23.53
			ง.	ค.7	17	16.67
	8.	ง.	ก.	ค.3	17	16.67
			ข.	ค.9	23	22.55
			ค.	ค.7	12	11.76

ตาราง 21 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
	9.	ข.	ก.	ค.1	15	14.71
			ค.	ค.10	19	18.63
			ง.	ค.11	19	18.63
	10.	ก.	ข.	ค.3	17	16.67
			ค.	ค.10	22	21.57
			ง.	ค.3 , ค.10	12	11.76
	11.	ก.	ข.	ค.12	20	19.61
			ค.	ค.13	23	22.55
			ง.	ค.14	8	7.84

จากตาราง 21 สาเหตุของความบกพร่องที่เกินร้อยละ 20 คือ

ค.1 คำนวณเลขยกกำลังผิด

ค.2 จำสูตรผิด

ค.3 ไม่ได้แทนค่าประจุของอิเล็กตรอน ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์) ในการคำนวณ

ค.4 ขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ค.5 เข้าใจว่าความถี่ของแสงเท่ากับส่วนกลับของความยาวคลื่นแสง ($f = \frac{1}{\lambda}$)

ค.8 ไม่ใช้หน่วย เอส ไอ ในการคำนวณ

ค.9 ไม่ได้คำนวณค่ารากที่สองของสมการ

ค.10 ใช้คำอุปสรรคแทนเลขยกกำลังไม่ถูกต้อง

ค.13 สับสนกับสมมติฐานของเดอบรอยล์

10.4 ความบกพร่องในการตอบแบบทดสอบฉบับที่ 4 (กลศาสตร์ควอนตัม) กำหนดสัญลักษณ์แทนข้อความในตาราง 22 ช่องความบกพร่อง ดังนี้

ง.1 เขียนสมการความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ตามหลักของไฮเซนเบิร์ก ไม่ถูกต้อง

ง.2 สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η)

ง.3 ไม่ใช้ตัวพหุคูณแทนคำอุปสรรค

ง.4 ใช้คำอุปสรรคแทนเลขยกกำลังไม่ถูกต้อง

ง.5 ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ

ง.6 ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ

ง.7 สับสนระหว่างค่าของความไม่แน่นอนของการวัดความเร็วกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุในการแทนค่าลงในสมการ

ง.8 เข้าใจว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กกับทวิภาพของคลื่นและอนุภาคสามารถใช้แทนกันได้

ง.9 เข้าใจว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก สามารถวัดได้โดยการใช้เครื่องมือทางฟิสิกส์ซึ่งจะมองเห็นวัตถุบางอย่างที่มีขนาดเล็กมากได้ถูกต้องแม่นยำ

ง.10 เข้าใจว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก คือความไม่แน่นอนเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวัดด้วยอุปกรณ์ทางฟิสิกส์

ง.11 สับสนระหว่างผลต่างของความเร็ว (Δv) กับความเร็วเฉลี่ย ($\bar{v}$) ในการคำนวณ

ง.12 สับสนกับแบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ง.13 สับสนกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ง.14 สับสนกับทฤษฎีอะตอมของโบร์

ง.15 ใช้ค่าที่โจทย์ลวงมาคำนวณ

ง.16 คำนวณเลขยกกำลังผิด

ตาราง 22 สาเหตุของความบกพร่องที่นักเรียนเลือกตอบผิดในการตอบแบบทดสอบ ฉบับที่ 4 (กลศาสตร์ควอนตัม) จากการทดสอบครั้งที่ 3

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
4.1	1.	ง.	ก.	ง.1	11	10.89
			ข.	ง.1	14	13.86
			ค.	ง.1	20	19.80
	2.	ก.	ข.	ง.2 , ง.3	28	27.72
			ค.	ง.4	8	7.92
			ง.	ง.2	8	7.92
	3.	ข.	ก.	ง.5	11	10.89
			ค.	ง.6	18	17.82
			ง.	ง.7	11	10.89
	4.	ค.	ก.	ง.8	15	14.85
			ข.	ง.9	14	13.86
			ง.	ง.10	21	20.79
	5.	ก.	ข.	ง.6	13	12.87
			ค.	ง.2	14	13.86
			ง.	ง.2 , ง.6	15	14.85
	6.	ก.	ข.	ง.6	10	9.90
			ค.	ง.11	18	17.82
			ง.	ง.6 , ง.11	10	9.90
	7.	ก.	ข.	ง.6	26	25.74
			ค.	ง.2	17	16.86
			ง.	ง.2 , ง.6	8	7.92
	8.	ข.	ก.	ง.16	8	7.92
			ค.	ง.6	14	13.86
			ง.	ง.5	25	24.75

ตาราง 22 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อที่	R	W	ความบกพร่อง	จำนวนนักเรียนที่เลือกตอบ	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกตอบ
	9.	ง.	ก.	ง.12	9	8.91
			ข.	ง.13	15	14.85
			ค.	ง.14	17	16.83
	10.	ง.	ก.	ง.15	26	25.74
			ข.	ง.6 ,ง.15	9	8.91
			ค.	ง.16	12	11.88

จากตาราง 22 สาเหตุของความบกพร่องที่เกินร้อยละ 20 คือ

ง.2 สับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเอชบาร์ (η)

ง.3 ไม่ใช้ตัวพหุคูณแทนคำอุปสรรค

ง.5 ขาดทักษะในการเปลี่ยนหน่วยในระบบ เอส ไอ

ง.6 ไม่ใช้หน่วยในระบบเอส ไอ ในการคำนวณ

ง.10 เข้าใจว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก คือความไม่แน่นอนเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวัดด้วยอุปกรณ์ทางฟิสิกส์

ง.15 ใช้ค่าที่โจทย์ลวงมาคำนวณ

จากตาราง 19 – 22 แสดงความบกพร่องในการตอบแบบทดสอบวินิจฉัย ทั้ง 4 ฉบับ ซึ่งสรุปความบกพร่องได้ดังนี้

แบบทดสอบฉบับที่ 1 จำนวน 13 ข้อ 52 ตัวเลือก มีความบกพร่องจำนวน 13 ประเภท และตัวเลือกที่นักเรียนเลือกตอบมากที่สุด มีข้อบกพร่องคือ นักเรียนคำนวณเลขยกกำลังผิด สับสนระหว่างความหมายของมวลกับน้ำหนักและขาดทักษะในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งทั้งสามจุดบกพร่องนี้มีนักเรียนเลือกตอบในจำนวนมากเท่ากันคือ 41 คน คิดเป็นร้อยละ 40.59

แบบทดสอบฉบับที่ 2 จำนวน 16 ข้อ 64 ตัวเลือก มีความบกพร่องจำนวน 25 ประเภท และตัวเลือกที่นักเรียนเลือกตอบมากที่สุด มีข้อบกพร่องคือ นักเรียนจำสูตรผิด มีนักเรียนเลือกตอบจำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 32.35

แบบทดสอบฉบับที่ 3 จำนวน 11 ข้อ 44 ตัวเลือก มีความบกพร่องจำนวน 14 ประเภท และตัวเลือกที่นักเรียนเลือกตอบมากที่สุด มีข้อบกพร่องคือ นักเรียนคำนวณเลขยกกำลังผิด มีนักเรียนเลือกตอบจำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 27.45

แบบทดสอบฉบับที่ 4 จำนวน 10 ข้อ 40 ตัวเลือก มีความบกพร่องจำนวน 16 ประเภท และตัวเลือกที่นักเรียนเลือกตอบมากที่สุด มีข้อบกพร่องคือ นักเรียนสับสนระหว่างค่าคงตัวของพลังค์ (h) กับค่าคงตัวในรูปเฮชบาร์ (η) และนักเรียนไม่ใช้ตัวพหุคูณแทนคำอุปสรรค ซึ่งทั้งสองข้อบกพร่องดังกล่าวมีนักเรียนเลือกตอบจำนวนมากเท่ากัน คือ 28 คน คิดเป็นร้อยละ 27.72