

การทดลองที่ 9

เรื่อง กฎของบอยล์

จุดประสงค์การเรียนรู้

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของอากาศเมื่ออุณหภูมิคงที่

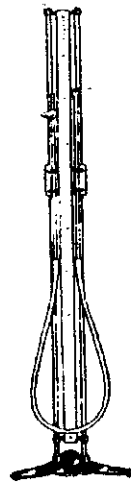
ทฤษฎี

จากทฤษฎีกล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิคงที่ ความกดดันของก๊าซเป็นปฏิภาคกลับกับปริมาตร

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองกฎของบอยล์
2. บารอมิเตอร์

ชุดทดลองกฎของบอยล์ประกอบด้วยหลอดแก้ว 2 หลอด สามารถเคลื่อนขึ้นลงได้ หลอดแก้วด้านขวาเป็นหลอดปลายเปิด ส่วนด้านซ้ายมีจุดแก้วสำหรับปิด/เปิดได้ ปลายล่างของหลอดทั้งสองนั้นถูกต่อเชื่อมด้วยสายยางบรรจุปรอท บนหลอดแก้วมีสเกลแสดงความสูงของปรอทซึ่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร ส่วนบารอมิเตอร์ใช้อ่านค่าความดันของบรรยากาศขณะทำการทดลอง



รูป 9.1 ชุดทดลองกฎของบอยล์



รูปที่ 9.2 บารอมิเตอร์ปรอท

การอ่านบารอมิเตอร์

1. เลื่อนให้ตำแหน่งศูนย์บนเวอร์เนียอยู่ที่ผิวบนของปรอท
2. อ่านความสูงของปรอทในหน่วยเซนติเมตร เศษของเซนติเมตรให้อ่านบนเวอร์เนีย
3. อ่านอุณหภูมิขณะทำการทดลอง
4. นำค่าที่อ่านได้จากข้อ 2 และ 3 ไปคำนวณหาค่าแท้จริงตามวิธีการแก้ความคลาดเคลื่อนของความดันบรรยากาศ ซึ่งค่าดังกล่าวคือความดันบรรยากาศขณะทำการทดลอง (P_a)

การแก้ความคลาดเคลื่อนของความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์

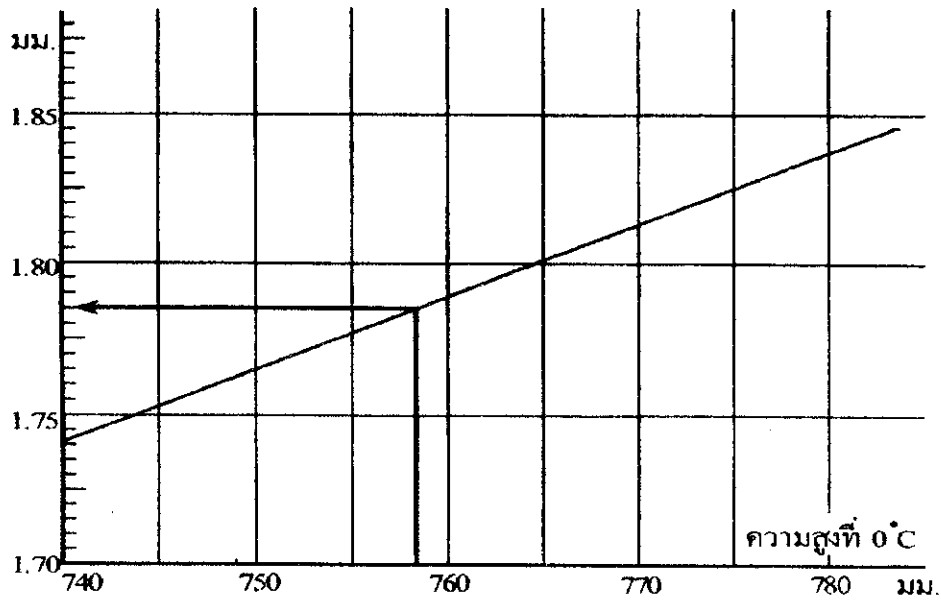
1. การแก้การขยายตัวของสเกลที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ให้นำเลขจำนวนนี้ไปลบค่าความสูงที่อ่านได้จากสเกลเหล็กกล้าไร้สนิมของบารอมิเตอร์ (ตาราง 9.1)
2. แก้ความคลาดเคลื่อนของระดับปรอท เนื่องจากปรอทอยู่ในหลอดแก้วเล็กและแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปรอทมีผิวโค้ง (ตาราง 9.2)
3. แก้ความคลาดเคลื่อนจากส่วนสูงของปรอท เนื่องจากมิได้อ่านที่เส้นรุ่ง 45 องศา ถ้าอ่านในกรุงเทพฯ ซึ่งอยู่ในระดับเส้นรุ่ง $13^{\circ} 45'$ ตัวเลขสำหรับแก้ความคลาดเคลื่อนนี้ให้อ่านจากกราฟในรูป 9.4 จากนั้นนำค่าไปลบออกจากส่วนสูงที่ได้แก้ในข้อ 1 และ 2 แล้ว
4. แก้ความคลาดเคลื่อนในส่วนสูงของปรอทเนื่องจากมิได้อ่านที่ระดับน้ำทะเล ถ้าตำแหน่งที่อ่านมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1 เมตรจะอ่านค่าความสูงของปรอทมากขึ้นไป 0.0002 ม.ม. กรณีอ่านบารอมิเตอร์ในกรุงเทพฯ นั้นไม่จำเป็นต้องแก้ค่า

ตาราง 9.1 ค่าแก้ความดันของบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์สเกลทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม

อุณหภูมิ °C	ความสูงของปรอท (มิลลิเมตร)														
	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	
10	1.09	1.11	1.13	1.14	1.16	1.18	1.19	1.21	1.23	1.25	1.26	1.28	1.30	1.31	
11	1.20	1.22	1.24	1.26	1.28	1.29	1.31	1.33	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45	
12	1.31	1.33	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45	1.47	1.49	1.51	1.54	1.56	1.58	
13	1.42	1.44	1.46	1.49	1.51	1.53	1.55	1.57	1.60	1.62	1.64	1.66	1.69	1.71	
14	1.53	1.55	1.57	1.60	1.62	1.65	1.67	1.69	1.72	1.74	1.77	1.79	1.81	1.84	
15	1.64	1.66	1.69	1.71	1.74	1.76	1.79	1.82	1.84	1.87	1.89	1.92	1.94	1.97	
16	1.75	1.77	1.80	1.83	1.85	1.88	1.91	1.94	1.98	1.99	2.02	2.05	2.07	2.10	
17	1.85	1.88	1.91	1.94	1.97	2.00	2.03	2.06	2.09	2.12	2.14	2.17	2.20	2.23	
18	1.96	1.99	2.02	2.05	2.08	2.15	2.12	2.18	2.21	2.24	2.27	2.30	2.33	2.36	
19	2.07	2.10	2.14	2.17	2.20	2.23	2.27	2.30	2.33	2.36	2.40	2.43	2.46	2.49	
20	2.18	2.21	2.25	2.28	2.32	2.35	2.38	2.42	2.45	2.49	2.52	2.56	2.59	2.62	
21	2.29	2.32	2.36	2.40	2.43	2.47	2.50	2.54	2.58	2.61	2.65	2.68	2.72	2.75	
22	2.40	2.43	2.47	2.51	2.55	2.58	2.62	2.66	2.70	2.73	2.77	2.81	2.85	2.88	
23	2.51	2.54	2.58	2.62	2.66	2.70	2.74	2.78	2.82	2.86	2.90	2.94	2.98	3.02	
24	2.61	2.65	2.70	2.74	2.78	2.82	2.86	2.90	2.94	2.98	3.02	3.06	3.10	3.15	
25	2.72	2.77	2.81	2.85	2.89	2.94	2.98	3.02	3.06	3.11	3.15	3.19	3.23	3.28	
26	2.83	2.87	2.92	2.96	3.01	3.05	3.10	3.14	3.19	3.23	3.27	3.32	3.36	3.41	
27	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.17	3.22	3.26	3.31	3.35	3.40	3.45	3.49	3.54	
28	3.05	3.10	3.14	3.19	3.24	3.29	3.33	3.38	3.43	3.48	3.52	3.57	3.62	3.67	
29	3.16	3.21	3.25	3.30	3.35	3.40	3.45	3.50	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80	
30	3.26	3.32	3.37	3.42	3.47	3.52	3.57	3.62	3.67	3.72	3.77	3.83	3.88	3.93	
31	3.37	3.42	3.48	3.53	3.58	3.64	3.69	3.74	3.79	3.85	3.90	3.95	4.00	4.06	
32	3.48	3.53	3.59	3.64	3.70	3.75	3.81	3.86	3.92	3.97	4.02	4.08	4.13	4.19	
33	3.59	3.64	3.70	3.76	3.81	3.87	3.92	3.98	4.04	4.09	4.15	4.21	4.26	4.32	
34	3.70	3.75	3.81	3.87	3.93	3.99	4.04	4.10	4.16	4.22	4.27	4.33	4.39	4.46	
35	3.80	3.86	3.92	3.98	4.04	4.10	4.16	4.22	4.28	4.34	4.40	4.46	4.52	4.58	
36	3.91	3.97	4.04	4.10	4.16	4.22	4.28	4.34	4.40	4.46	4.52	4.59	4.65	4.71	
37	4.02	4.08	4.15	4.21	4.27	4.33	4.40	4.46	4.52	4.55	4.65	4.71	4.77	4.84	
38	4.13	4.19	4.26	4.32	4.39	4.45	4.52	4.58	4.65	4.71	4.77	4.84	4.90	4.97	
39	4.24	4.30	4.37	4.44	4.50	4.57	4.63	4.70	4.77	4.83	4.90	4.97	5.03	5.10	
40	4.34	4.41	4.48	4.55	4.62	4.68	4.75	4.82	4.89	4.96	5.02	5.09	5.16	5.23	
41	4.45	4.52	4.59	4.66	4.73	4.80	4.87	4.94	5.01	5.08	5.15	5.22	5.29	5.36	
42	4.56	4.63	4.70	4.77	4.85	4.92	4.99	5.06	5.13	5.20	5.27	5.34	5.42	5.49	
43	4.67	4.74	4.81	4.89	4.96	5.03	5.11	5.18	5.25	5.32	5.40	5.47	5.54	5.62	
44	4.78	4.85	4.92	5.00	5.07	5.15	5.22	5.30	5.37	5.45	5.52	5.60	5.67	5.75	
45	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19	5.26	5.34	5.42	5.49	5.57	5.65	5.72	5.80	5.88	

ตาราง 9.2 แสดงความคลื่อนคลาดที่ต้องแก้ เมื่อเปรียบเทียบบารอมิเตอร์เครื่องนี้กับบารอมิเตอร์มาตรฐาน เนื่องจากความคลื่อนคลาดของระดับปรอท ซึ่งมีผิวโค้ง

ส่วนสูง (มิลลิเมตร)	ความคลื่อนคลาดที่อุณหภูมิ(0° C)
790	0.1
780	0.1
760	0.1
740	0.1
720	0.05
700	0.05
680	0.05
660	0.05



รูปที่ 9.3 แสดงค่าที่ต้องแก้เนื่องจากมิได้อ่านที่เส้นรุ้ง 45°

ตัวอย่าง อ่านความดันอากาศจากบารอมิเตอร์เป็น 762.8 มิลลิเมตรของปรอท ขณะที่อุณหภูมิตั้งที่ 34.3°C ต้องแก้ค่าตามลำดับดังนี้

1. แก้เนื่องจากการขยายตัวของสเกลเหล็กไร้สนิม

ใช้ตาราง 9.1 ที่ค่าอุณหภูมิตั้งที่ 34°C อ่านค่าความดันระหว่าง 760-770 mmHg (เนื่องจากค่าสมมติคือ 762.8 นั้นเกิน 760 แต่น้อยกว่า 770) ค่าที่ปรากฏในตารางคือ 4.39 และ 4.45 ตามลำดับ ดังนั้นความดันต่างไป $(770 - 760) = 10$ mmHg ทำให้ค่าความดันต่างไป $(4.45 - 4.39) = 0.06$ mmHg ถ้าความดันต่างไป $(762.8 - 760) = 2.8$ mmHg ความดันต่างไป $(0.06 \times 2.8) / 10 = 0.0168$ mmHg
 \therefore ความดันที่ต้องนำไปหักออกจากค่าที่อ่านได้ = $4.39 + 0.0168 = 4.4068$ mmHg

ต่อไปพิจารณาอุณหภูมิ ค่าสมมติคือ 34.3°C ซึ่งอยู่ระหว่างค่า 34 และ 35°C ค่าความดันที่ต้องอ่านคือค่าขนาดแนว 35°C ตรงกับความดัน 760 mmHg (เพราะค่าที่ได้แก้ตอนต้นนั้นแก้จากค่าของ 760 mmHg) ซึ่งอ่านได้เป็น 4.52 mmHg ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{อุณหภูมิต่าง } (35 - 34) &= 1^\circ \text{ C อ่านความดันสูงเกินไป } (4.52 - 4.39) &= 0.13 \text{ mmHg} \\ \text{ถ้าต่างกัน } (34.3 - 34.0) &= 0.3^\circ \text{ C ความดันอ่านเกินคือ } 0.13 \times 0.3 &= 0.039 \text{ mmHg} \\ \therefore \text{ค่าแก้จากกรณีนี้คือ} & &= 4.4068 + 0.039 &= 4.4458 \text{ mmHg} \\ \text{ความดันที่ถูกต้องเมื่อแก้ในกรณีนี้คือ} & &= 762.8 - 4.44 &= 758.36 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

2. แก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระดับปรอทปรอทมีผิวโค้ง

สำหรับค่าความดัน 760 – 780 mmHg ให้แก้โดยค่า + 0.10 mmHg

$$\therefore \text{ค่าความดันที่ถูกต้องคือ} \quad 758.36 + 0.10 \quad = \quad 758.46 \text{ mmHg}$$

3. แก้ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านส่วนสูงของปรอทเนื่องจากไม่ได้อ่านที่เส้นรุ่ง 45° ใช้รูป

9.4 บนแกนนอนที่ค่า 758.46 จะสอดคล้องกับค่าบนแกนตั้งคือ 1.784 mmHg

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความดันที่ถูกต้องคือ } 758.46 - 1.784 &= 756.676 \text{ mmHg} \\ &= 75.67 \text{ cmHg} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \therefore \text{ความดันที่ถูกต้องคือ } 758.46 - 1.784 \\ &= 75.67 \text{ cmHg} \end{aligned}} \right\} P_a$$

วิธีทดลอง

1. อ่านบารอมิเตอร์โดยอ่านความดันจากระดับความสูงของปรอท เป็นหน่วยของเซนติเมตร และอุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์เป็นองศาเซลเซียส แล้วนำค่าที่อ่านได้มาแก้ให้ถูกต้องซึ่งจะเป็นความดันบรรยากาศขณะทดลอง

2. เปิดจุกแก้วทางซ้ายและจัดหลอดแก้วทั้งสองให้มีระดับปรอทสูงเท่ากัน ความดันขณะนี้คือความดันอากาศขณะทดลอง

3. ปิดจุกแก้วเพื่อให้ปริมาณของก๊าซ(อากาศ) ในหลอดซ้ายคงที่ตลอดการทดลอง ระดับปรอทในหลอดแก้วทั้งสองยังคงอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้นความดันของก๊าซในหลอดแก้วปลายปิด คือ ความดันของอากาศขณะนั้น ซึ่งมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ อ่านขีดบนของหลอดแก้วปลายปิด (H) ตลอดเวลาในการทดลองห้ามเลื่อนหลอดแก้วปลายปิด

4. เลื่อนหรือยกหลอดแก้วทางขวา(หลอดเปิด) ให้สูงกว่าระดับปรอทในหลอดทางซ้าย (หลอดปิด) ครั้งละ 3 เซนติเมตร รวม 5 ครั้ง ให้อ่านตำแหน่งของระดับปรอทในหลอดเปิด และหลอดปิด ความดันของอากาศในหลอดปิดจะมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศ ดังนั้น ความดันของอากาศในหลอดปิดขณะนี้เท่ากับ ความดันบรรยากาศบวกด้วยผลต่างของระดับปรอททั้งสอง

$$p = P_a + h$$

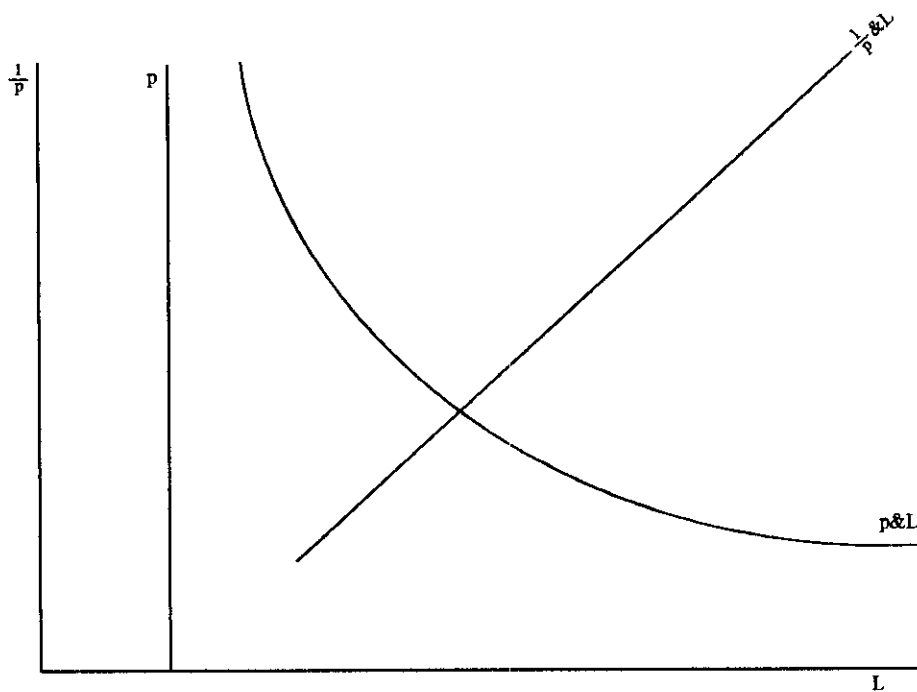
5. เลื่อนหลอดเปิดลงให้มีระดับเท่ากับระดับปรอทเท่ากับระดับปรอทของหลอดปิดแล้วเลื่อนหลอดเปิดให้ต่ำลงครั้งละ 3 เซนติเมตร รวม 5 ครั้ง อ่านตำแหน่งของระดับปรอทในหลอดเปิดและหลอดปิด ความดันของอากาศในหลอดปิดขณะนี้เท่ากับความดันบรรยากาศลบด้วยผลต่างของระดับปรอททั้งสอง

$$p = P_a - h$$

6. ปริมาตรของก๊าซ(อากาศ) คือ V หาได้จากความยาวของช่วงอากาศ (L) คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้ว เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้วมีความสม่ำเสมอตลอดความยาว ดังนั้นปริมาตร (V) จะเป็นสัดส่วนกับความยาว (L) โดย L คือ ผลต่างของขีดบนของหลอดปิดกับระดับปรอทในหลอดปิด

7. เขียนกราฟระหว่าง p กับ L และ กับ L บนกระดาษกราฟแผ่นเดียวกัน กำหนดให้ p และ อยู่บนแกน y ส่วน L อยู่บนแกน x จากกราฟให้หา และเปรียบเทียบกับค่า pL (โดยเฉลี่ย) ที่ได้จากการคำนวณ และแสดงข้อบกพร่องที่ได้จากการทดลอง (ดูรูปที่ 9.5) สรุปประเด็นสำคัญ

p	=	ความดันของอากาศในหลอด
P_a	=	ความดันบรรยากาศ
h	=	$h' - h''$
h'	=	ระดับปรอทในหลอดเปิด
h''	=	ระดับปรอทในหลอดปิด
L	=	$H - h''$
H	=	ขีดบนของหลอดปิด



รูปที่ 9.5 กราฟระหว่าง p กับ L และ $\frac{1}{p}$ กับ L

หมายเหตุ ความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{p}$ กับ L คือ $\frac{1}{pL}$

ดังนั้น

$$\frac{1}{\text{ความชัน}} = pL$$

สรุปประเด็นสำคัญ

การเปลี่ยนปริมาตรของก๊าซที่บรรจุภายในภาชนะปิดชนิดเปลี่ยนไปในทางที่กลับกันตามกฎของบอยล์ โดยที่ปริมาตรเป็นปฏิภาคกลับกับความดัน

กิจกรรมการเรียนรู้

1. จัดระดับปรอทในหลอดแก้วรูปตัวยู ให้อากาศเหนือระดับปรอทในหลอดปลายเปิดมีปริมาตรเปลี่ยนไป 10 ครั้ง
2. บันทึกผลการทดลองลงในตารางและกราฟให้ถูกต้องและชัดเจน

แบบทดสอบการทดลองที่ 9

1. ความดันของอากาศในหลอดปลายปิดเท่ากับความดันของบรรยากาศขณะทำการทดลองเมื่อ
 1. ปิดจุกแก้วทางหลอดด้านซ้าย ยกหลอดด้านขวาให้สูงขึ้น 3 ซม.
 2. ปิดจุกแก้วทางหลอดด้านซ้าย อ่านระดับปรอทด้านขวาทันที
 3. เปิดจุกแก้วทางหลอดด้านซ้าย ระดับปรอททางด้านซ้ายและทางหลอดด้านขวาจะอยู่ในระดับเดียวกัน ปิดจุกแก้วทางหลอดด้านซ้ายทันที
 4. ความดันของบรรยากาศขณะทำการทดลองต้องมีค่าคงที่
2. ขณะทำการทดลองเรื่องกฎของบอยล์ ปริมาณที่ต้องคงที่ คือ
 1. อุณหภูมิอากาศ
 2. ความดันบรรยากาศที่ได้แก๊สเป็นค่าคงที่
 3. มวลของอากาศในหลอดปลายปิด
 4. ถูกทุกข้อ
3. ในการทดลองเรื่องกฎของบอยล์ ข้อที่ไม่ถูกต้องคือ
 1. ความดันของอากาศในหลอดปลายปิดจะแปรผกผันกับปริมาตรของอากาศภายในหลอดปลายปิดเมื่ออุณหภูมิคงที่
 2. ปริมาตรของมวลอากาศในหลอดปลายปิดมีค่าคงที่
 3. ความดันของบรรยากาศซึ่งอ่านจากบารอมิเตอร์แล้วนำมาแก้เพื่อถือเป็นค่าความดันที่จริงของบรรยากาศขณะนั้น
 4. หลอดแก้วปลายปิดจะต้องปิดจุกแก้วให้แน่นเพื่อกันอากาศรั่ว
4. ในทางปฏิบัติ การทดลองเรื่องกฎของบอยล์ใช้ความยาวแทนปริมาตรของอากาศในหลอดปลายปิดเพราะ
 1. หลอดแก้วทั้งสองมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเท่ากันตลอด
 2. หลอดแก้วทั้งสองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 1 ตารางหน่วย
 3. ความดันขึ้นกับความสูง
 4. ความดันที่ระดับเดียวกัน มีค่าเท่ากัน
5. ข้อผิดพลาดในการทดลองเรื่องกฎของบอยล์นั้นสาเหตุคือ
 1. การอ่านค่าความดันบรรยากาศจากบารอมิเตอร์และนำไปคำนวณเพื่อถือเป็นความดันที่ถูก

ต้อง

2. จุกแก้วสำหรับปิดหรือเปิดในด้านหลอดปลายเปิดในด้านหลอดปลายแค่นั้นปิดไม่สนิทจึงเกิดการรั่วซึมของอากาศในหลอดด้านนี้
3. ใช้ความยาวแทนปริมาตรของอากาศในหลอดปลายปิด
4. ถูกทุกข้อ
6. เมื่อยกหลอดปลายปิดให้สูงขึ้นจากจุดเริ่มต้น ค่าความดันของอากาศในหลอดปลายปิดคือ
 1. $P = P_a + H$
 2. $P = P_a + h$
 3. $P = P_a - H$
 4. $P = P_a \pm h$
7. เมื่อยกหลอดปลายเปิดให้ต่ำกว่าจุดเริ่มต้น ค่าความดันอากาศในหลอดปลายปิดคือ
 1. $P = P_a + H$
 2. $P = P_a + h$
 3. $P = P_a - H$
 4. $P = P_a \pm h$
8. เมื่อยกหลอดปลายเปิดให้สูง/ต่ำจากระดับปรอทเริ่มต้น P_V ที่คำนวณได้ควรมีค่าเท่ากัน เพราะ
 1. P และ V ของอากาศในหลอดปลายปิดมีค่าคงที่
 2. จุกแก้วของหลอดปลายปิดอยู่ตำแหน่งเดียวกันตลอดการทดลอง
 3. ใช้ความยาวแทนปริมาตรของอากาศในหลอดปลายปิด
 4. อากาศในหลอดปลายปิดมีค่าปริมาตรแปรผกผันกับความดัน ซึ่งเป็นไปตามกฎของบอยล์
9. วิธีการหาค่าคงที่ K คือ
 1. ความชันของกราฟ $1/P$ vs V
 2. ส่วนกลับของค่าความชันของกราฟ $1/P$ vs V
 3. ค่าเฉลี่ยที่ได้จากผลคูณของ P และ V
 4. นำค่าจากข้อ 2. & 3. มาเปรียบเทียบกัน
10. ค่า P & V เมื่อสร้างกราฟจะมีลักษณะเป็น
 1. เส้นตรง
 2. พาราโบลา
 3. ไฮเพอร์โบลา
 4. เส้นตรง

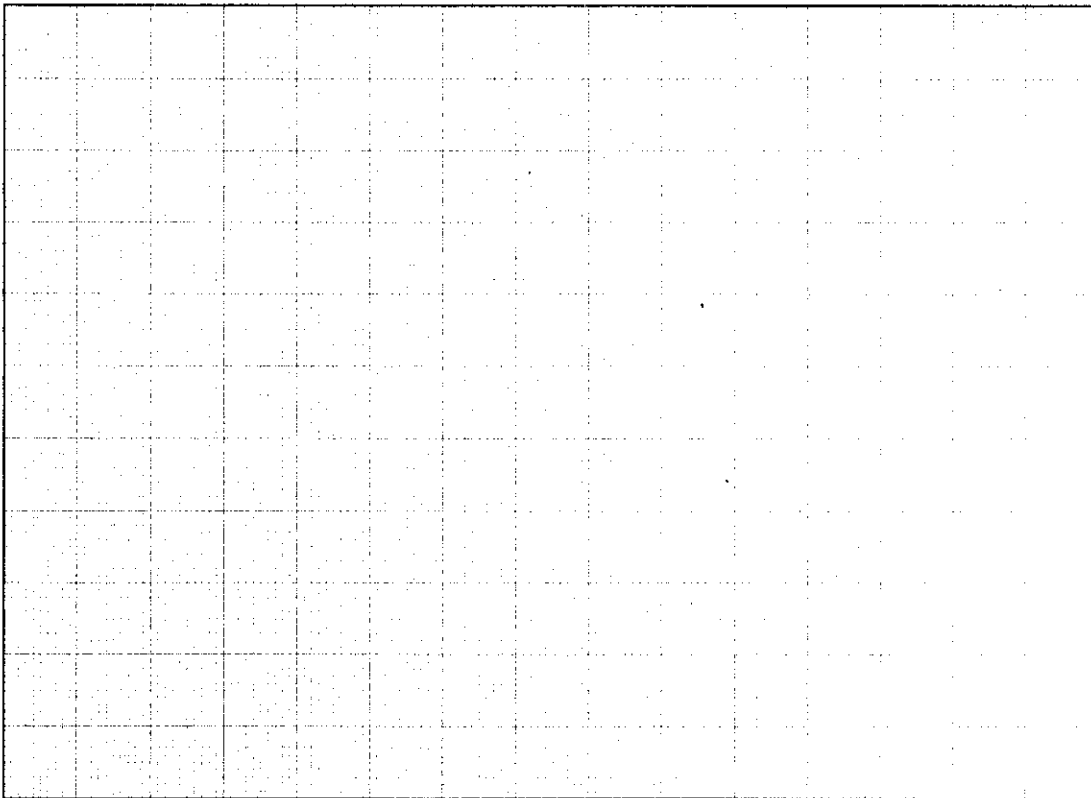
แนวตอบ

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1. 3 | 2. 4 | 3. 2 | 4. 1 | 5. 2 |
| 6. 2 | 7. 3 | 8. 4 | 9. 4 | 10. 3 |

$$P_a = \dots\dots\dots \text{ซ.ม. ของปรอท}$$

$$H = \dots\dots\dots \text{ซ.ม.}$$

ครั้งที่	ระดับปรอทใน (ซ.ม.)		ความแตกต่างของระดับปรอท(ซ.ม.) $h = h' - h'' $	ความยาวของอากาศ (ซ.ม.) $L = H - h''$	ความดันอากาศในหลอดปิด(ซ.ม.) $p = P_a \pm h$	$\frac{1}{p}$	pL	
	หลอดเปิด (h')	หลอดปิด (h'')						
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
เฉลี่ย								



การคำนวณ

.....
.....
.....
.....
.....

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....

