การทดลองที่ 8
เรื่องกฎของบอยล์

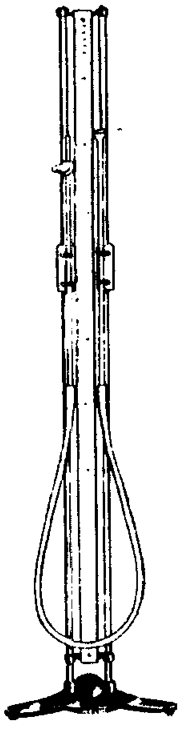
จุดประสงค์การเรียนรู้

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของอากาศเมื่ออุณหภูมิคงที่

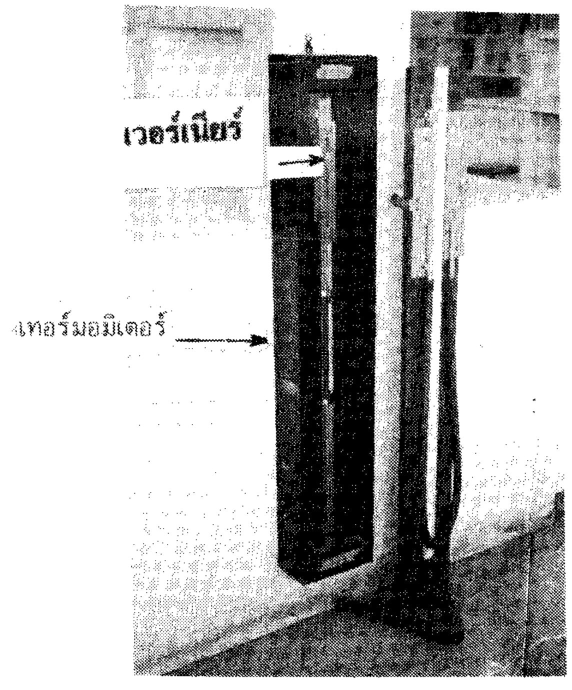
เครื่องใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองกฎของบอยล์
2. บารอมิเตอร์

ชุดทดลองกฎของบอยล์ประกอบด้วยหลอดแก้ว 2 หลอด สามารถเลื่อนขึ้น/ลงได้ หลอดแก้วด้านขวาเป็นหลอดปลายเปิด ส่วนด้ายซ้ายมีจุกแก้วสำหรับปิด/เปิดได้ ปลายล่างของหลอดทั้งสองนั้นถูกต่อเชื่อมด้วยสายยางบรรจุปรอท บนหลอดแก้วมีสเกลแสดงความสูงของปรอทซึ่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร ตามรูปที่ 9.1 ส่วนบารอมิเตอร์แสดงในรูปที่ 9.2 ใช้อ่านค่าความดันของบรรยากาศขณะทำการทดลอง



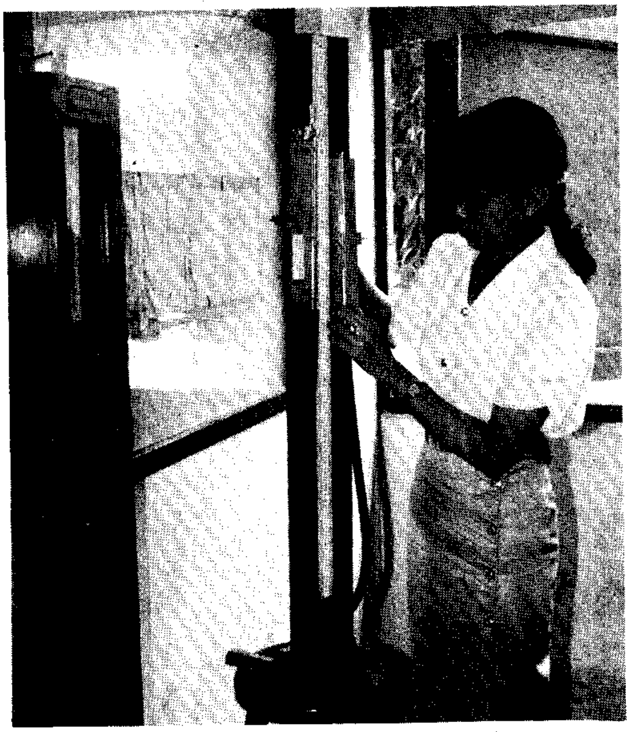
รูปที่ 8.1 ชุดทดลองกฎของบอยล์



รูปที่ 8.2 บารอมิเตอร์ปรอท

การอ่านบารอมิเตอร์

1. เลื่อนให้ตำแหน่งศูนย์บนเวอร์เนียร์อยู่ที่ผิวบนของปรอท
2. อ่านความสูงของปรอทในหน่วยเซนติเมตร เศษของเซนติเมตรให้อ่านบนเวอร์เนียร์
3. อ่านอุณหภูมิขณะทำการทดลอง
4. นำค่าที่อ่านได้จากข้อ 2 และ 3 ไปคำนวณหาค่าแท้จริงตามวิธีการแก้ความคลาดเคลื่อนของความดัน บรรยากาศ ซึ่งค่าดังกล่าวคือความดันบรรยากาศขณะทำการทดลอง (P_a)



รูป 8.3 แสดงการจัดตำแหน่งเพื่ออ่านบารอมิเตอร์

การแก้ความคลาดเคลื่อนของความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์

1. แก้การขยายตัวของสเกลที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ให้นำเลขจำนวนนี้ไปลบค่าความสูงที่อ่านได้จากสเกลเหล็กกล้าไร้สนิมของบารอมิเตอร์ (ตาราง 8.1)
2. แก้ความคลาดเคลื่อนของระดับปรอท เนื่องจากปรอทอยู่ในหลอดแก้วเล็กและแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปรอทมีผิวโค้ง (ตาราง 8.2)

3. แก้ความคลาดเคลื่อนจากส่วนสูงของปรอท เนื่องจากมิได้อ่านที่เส้นรุ้ง 45 องศา ถ้าอ่านในกรุงเทพฯ ซึ่งอยู่ในระดับเส้นรุ้ง 13° 45′ ตัวเลขสำหรับแก้ความคลาดเคลื่อนนี้ให้อ่านจากกราฟในรูป 8.4 จากนั้นนำค่าไปลบออกจากส่วนสูงที่ได้แก้ในข้อ 1 และ 2 แล้ว

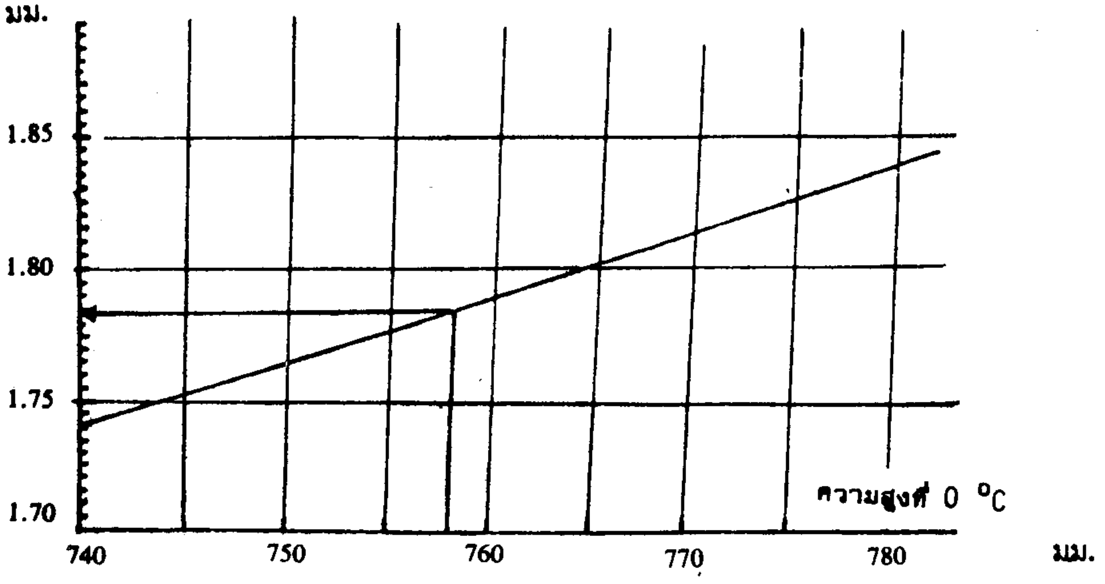
4. แก้ความคลาดเคลื่อนในส่วนสูงของปรอทเนื่องจากมิได้อ่านที่ระดับน้ำทะเล ถ้าตำแหน่งที่อ่านมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1 เมตรจะอ่านค่าความสูงของปรอทมากเกินไป 0.0002 มม. กรณีอ่านบารอมีเตอร์ในกรุงเทพฯ นั้นไม่จำเป็นต้องแก้

ตาราง 8.1 ค่าแก้ความดันของบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมีเตอร์สเกลทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม

อุณหภูมิ	ความสูงของปรอท (มิลลิเมตร)													
°C	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	1.96	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	4.45
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 8.2 แสดงความเคลื่อนคลาดที่ต้องแก้ เมื่อเปรียบเทียบบารอมิเตอร์เครื่องนี้กับบารอมิเตอร์มาตรฐานเนื่องจากความเคลื่อนคลาดของระดับปรอท ซึ่งมีผิวโค้ง

ส่วนสูง (มิลลิเมตร)	ความเคลื่อนคลาดที่อุณหภูมิ 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



รูป 8.4 แสดงค่าที่ต้องแก้เนื่องจากมิได้อ่านที่เส้นรุ้ง 45°

ตัวอย่าง อ่านความดันอากาศจากบารอมิเตอร์เป็น 762.8 มิลลิเมตรของปรอท ขณะที่อุณหภูมิ 34.3°C ต้องแก้ค่าตามลำดับดังนี้

1. แก้เนื่องจากการขยายตัวของสเกลเหล็กกล้าไร้สนิม

ใช้ตาราง 8.1 ที่ค่าอุณหภูมิ 34°C อ่านความดันระหว่าง 760 - 770 mmHg (เนื่องจากค่าที่สมมติคือ 762.8 นั้นเกิน 760 แต่น้อยกว่า 770) ค่าที่ปรากฏในตารางคือ 4.39 และ 4.45 ตามลำดับ ดังนั้น

ความดันต่างไป (770 - 760) = 10 mmHg ทำให้ความดันต่างไป (4.45 - 4.39) = 0.06 mmHg
ถ้าความดันต่างไป (762.8 - 760) = 2.8 mmHg ความดันต่างไป (0.06 x 2.8) / 10 = 0.0168 mmHg
∴ ความดันที่ต้องนำไปหักออกจากค่าที่อ่านได้ = 4.39 + 0.0168 = 4.4068 mmHg

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

อุณหภูมิต่าง (35 - 34) = 1°C อ่านความดันสูงเกินไป (4.52 - 4.39)		= 0.13	mmHg
ถ้าต่างกัน (34.3 - 34.0) = 0.3°C ความดันอ่านเกินคือ 0.13 x 0.3		= 0.039	mmHg
∴ ค่าแก้จากกรณีนี้คือ	4.4068 + 0.039	= 4.4458	mmHg
ความดันที่ถูกต้องเมื่อแก้ในกรณีนี้คือ	762.8 - 4.44	= 758.36	mmHg

2. แก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระดับปรอท

ปรอทมีผิวโค้ง สำหรับค่าความดัน 760 - 780 mmHg ให้แก้โดยค่า + 0.10 mmHg
∴ ค่าความดันที่ถูกต้องคือ 758.36 + 0.10 = 758.46 mmHg

3. แก้ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านส่วนสูงของปรอทเนื่องจากไม่ได้อ่านที่เส้นรุ้ง 45°

ใช้รูป 8.4 บนแกนนอนที่ค่า 758.46 จะสอดคล้องกับค่าบนแกนตั้งคือ 1.784 mmHg
∴ ความดันที่ถูกต้องคือ 758.46 - 1.784 = 756.676 mmHg
= 75.67 cmHg } P_a

วิธีทดลอง

1. อ่านบารอมิเตอร์โดยอ่านความดันจากระดับความสูงของปรอท เป็นหน่วยของเซนติเมตร และอุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์เป็นองศาเซลเซียส แล้วนำค่าที่อ่านได้มาแก้ให้ถูกต้องซึ่งจะเป็นความดันบรรยากาศขณะทดลอง (P_a)

2. เปิดจุกแก้วทางซ้ายและจัดหลอดแก้วทั้งสองให้มีระดับปรอทสูงเท่ากัน ความดันขณะนี้ คือ ความดันอากาศขณะทดลอง

3. ปิดจุกแก้วเพื่อให้ปริมาณของก๊าซ (อากาศ) ในหลอดทางซ้ายคงที่ตลอดการทดลอง ระดับปรอทในหลอดแก้วทั้งสองยังคงอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้นความดันของก๊าซในหลอดแก้วปลายปิด คือ ความดันของอากาศขณะนั้น ซึ่งมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ อ่านขีดบนของหลอดแก้วปลายปิด (H) ตลอดเวลาทำการทดลองห้ามเลื่อนหลอดแก้วปลายปิด

4. เลื่อนหรือยกหลอดแก้วทางขวา (หลอดเปิด) ให้สูงกว่าระดับปรอทในหลอดทางซ้าย (หลอดปิด) ครั้งละ 3 เซนติเมตร รวม 5 ครั้ง ให้อ่านตำแหน่งของระดับปรอทในหลอดเปิด (h') และหลอดปิด (h'') ความดันของอากาศในหลอดปิดจะมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศ ดังนั้น ความดันของอากาศในหลอดปิดขณะนี้เท่ากับความดันบรรยากาศบวกด้วยผลต่างของระดับปรอททั้งสอง

$$p = P_a + h \qquad \text{........(9.2)}$$

5. เลื่อนหลอดเปิดลงให้มีระดับปรอทเท่ากับระดับปรอทของหลอดปิดแล้วเลื่อนหลอดเปิดให้ต่ำลงครั้งละ 3 เซนติเมตร รวม 5 ครั้ง อ่านตำแหน่งของระดับปรอทในหลอดเปิดและหลอดปิด ความดันของอากาศในหลอดปิดขณะนี้เท่ากับความดันบรรยากาศลบด้วยผลต่างของระดับปรอททั้งสอง

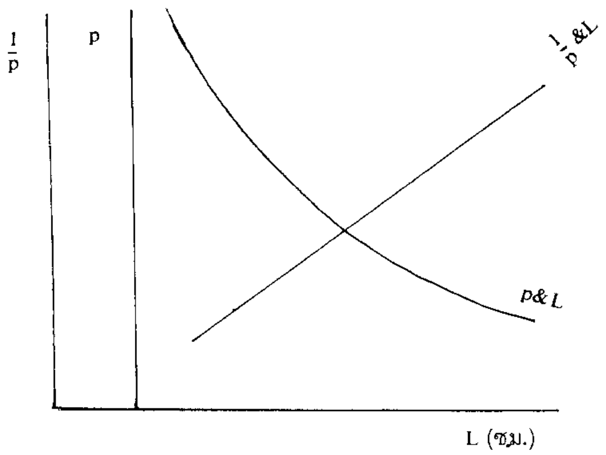
$$p = P_a - h \qquad \text{........(9.3)}$$

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

7. เขียนกราฟระหว่าง p กับ L และ $\frac{1}{p}$ กับ L บนกระดาษกราฟแผ่นเดียวกัน กำหนดให้ p และ $\frac{1}{p}$ อยู่บนแกน y ส่วน L อยู่บนแกน x จากกราฟให้หา $pV = K$ และเปรียบ-

เทียบกับค่า pV (โดยเฉลี่ย) ที่ได้จากการคำนวณ และแสดงข้อบกพร่องที่ได้จากการทดลอง (ดูรูปที่ 8.5)

p	=	ความดันของอากาศในหลอดปิด	ซ.ม.
p_a	=	ความดันบรรยากาศ	ซ.ม.
h	=	$h' - h''$	ซ.ม.
h'	=	ระดับปรอทในหลอดเปิด	ซ.ม.
h''	=	ระดับปรอทในหลอดปิด	ซ.ม.
L	=	$H - h''$	ซ.ม.
H	=	ขีดบนของหลอดปิด	ซ.ม.



รูปที่ 8.5 *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

การเปลี่ยนปริมาตรของก๊าซทำให้ความดันของก๊าซที่บรรจุภายในภาชนะมิดชิดเปลี่ยนไปในทางที่กลับกันตามกฎของบอยล์ โดยที่ปริมาตรเป็นปฏิภาคกลับกับความดัน

กิจกรรม

1. จัดระดับปรอทในหลอดแก้วรูปตัวยู ให้อากาศเหนือระดับปรอทในหลอดปลายปิดมีปริมาตรเปลี่ยนไป 10 ครั้ง
2. บันทึกผลการทดลองลงในตารางและกราฟให้ถูกต้องและชัดเจน

บันทึกผลการทดลอง

เรื่อง กฎของบอยล์

ผู้รายงาน ชื่อ..เลขรหัส...

ผู้ร่วมงาน 1. ชื่อ.....................................   เลขรหัส.....................................

2. ....

3. ....

4. ....

ทำการทดลองวันที่..................เดือน..........................พ.ศ.........................Section............กลุ่ม............

ความดันของอากาศที่อ่านจากบารอมิเตอร์ ซ.ม.ของปรอท

อุณหภูมิห้อง °C

ขีดบนของหลอดปิด (H) ซ.ม.

การคำนวณ แสดงวิธีหาความดันของอากาศที่แก้ คือ P_a

P_a = ซ.ม.ของปรอท

H = ซ.ม.

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

สรุปผลการทดลอง (แนบกระดาษกราฟที่ใช้หา pV จากกราฟเพื่อเปรียบเทียบกับ pV จากการคำนวณมาด้วย)

แบบทดสอบการทดลองที่ 8

1. ความดันของอากาศในหลอดปลายปิดเท่ากับความดันของบรรยากาศขณะทำการทดลองเมื่อ
   1. ปิดจุกแก้วทางหลอดด้านซ้าย ยกหลอดด้านขวาให้สูงขึ้น 3 ซม.
   2. ปิดจุกแก้วทางหลอดด้านซ้าย อ่านระดับปรอทด้านขวาทันที
   3. เปิดจุกแก้วทาะหลอดด้านซ้าย ระดับปรอททางด้านซ้ายและทางหลอดด้านขวาจะอยู่ในระดับเดียวกัน ปิดจุกแก้วทางหลอดด้านซ้ายทันที
   4. ความดันของบรรยากาศขณะทำการทดลองต้องมีค่าคงที่
2. ขณะทำการทดลองเรื่องกฎของบอยล์ ปริมาณที่ต้องคงที่คือ
   1. อุณหภูมิของอากาศ
   2. ความดันของบรรยากาศที่ได้แก้จนเป็นค่าถูกต้องแล้ว
   3. มวลของอากาศในหลอดปลายปิด
   4. ถูกทุกข้อ
3. ในการทดลองเรื่องกฎของบอยล์ ข้อที่ไม่ถูกต้องคือ
   1. ความดันของอากาศในหลอดปลายปิดจะแปรผกผันกับปริมาตรของอากาศภายในหลอดปลายปิดเมื่ออุณหภูมิคงที่
   2. ปริมาตรของมวลอากาศในหลอดปลายปิดมีค่าคงที่
   3. ความดันของบรรยากาศซึ่งอ่านจากบารอมีเตอร์แล้วนำมาแก้เพื่อถือเป็นค่าความดันแท้จริงของบรรยากาศขณะนั้น
   4. หลอดแก้วปลายปิดจะต้องปิดจุกแก้วให้แน่นเพื่อกันอากาศรั่ว
4. ในทางปฏิบัติ การทดลองเรื่องกฎของบอยล์ใช้ความยาวแทนปริมาตรของอากาศในหลอดปลายปิดเพราะ
   1. หลอดแก้วทั้งสองมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเท่ากันตลอด
   2. หลอดแก้วทั้งสองมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 1 ตารางหน่วย
   3. ความดันขึ้นกับความสูง
   4. ความดันที่ระดับเดียวกัน มีค่าเท่ากัน
5. ข้อผิดพลาดในการทดลองเรื่องกฎของบอยล์นั้นสาเหตุคือ
   1. การอ่านค่าความดันบรรยากาศจากบารอมีเตอร์และนำไปคำนวณเพื่อถือเป็นความดันที่ถูกต้อง
   2. จุกแก้วสำหรับปิดหรือเปิดในด้านหลอดปลายปิดนั้นปิดไม่สนิทจึงเกิดการรั่วซึมของอากาศในหลอดด้านนี้
   3. ใช้ความยาวแทนปริมาตรของอากาศในหลอดปลายปิด
   4. ถูกทุกข้อ

6. เมื่อยกหลอดปลายปิดให้สูงขึ้นจากจุดเริ่มต้น ค่าความดันของอากาศในหลอดปลายปิดคือ

   1. P = Pa + H   2. P = Pa + h

   3. P = Pa - H   4. P = Pa ± h

7. เมื่อยกหลอดปลายเปิดให้ต่ำกว่าจุดเริ่มต้น ค่าความดันอากาศในหลอดปลายปิดคือ

   1. P = Pa - H   2. P = Pa + H

   3. P = Pa - h   4. P = Pa ± h

8. เมื่อยกหลอดปลายเปิดให้สูง/ต่ำจากระดับปรอทเริ่มต้น PV 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. ไฮเปอร์โบลา   4. เส้นโค้ง

แนวตอบ

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