



ฟิสิกส์วิทยา

ตอน

ไฮโดรสแตติกส์

และ

สมบัติของสสาร

530

ส 362 พ

บรรยายโดย

ศาสตราจารย์การบรรจง

อาจารย์

โรงเรียนนายทหารเสนารักษ์ ฤๅบุรี

พ. ศ. ๒๔๗๓





เลขห้อง 214

เลขหมู่ 530 อธิบาย.

เลขทะเบียน



ฟิสิกส์วิทย์

กอน

ไฮโดรสแตติกส์

และ

สมบัติของสสาร

บรรยายโดย

พระยาสุเมธดิการบรรจง

อาจารย์

โรงเรียนนายทหารเสนารักษ์ ดพบุรี

พ. ศ. ๒๔๗๓



มหาวิทยาลัย

วิชา

ศิลปกรรมศาสตร์

สาขา

ศิลปกรรมศาสตร์

วิชา

ศิลปกรรมศาสตร์

สาขา

ศิลปกรรมศาสตร์

วิชา

ฐานคือแรงไ้ (Shearing forces) วัตถุเหลว
เหนียว เช่นน้ำอ้อยอยู่ได้นานกว่าจะเปลี่ยนฐาน แต่
ถ้ามีแรงใดแม้เล็กน้อยพยายามเปลี่ยนฐาน วัตถุ
เหลวเหนียวนั้นก็เปลี่ยนฐานในที่สุด วัตถุบางสิ่ง
คล้ายของแข็ง แต่จริงๆเป็นวัตถุเหลวเหนียวมาก
เช่น ยางแระ (Pitch) ถ้าได้ยางแระก้อนหนึ่งในกรวย
ไว้นาน ๆ จะปรากฏว่ายางแระนั้นไหลลงกรวยอย่างช้าๆ
ธาตุ โซเดียม (Sodium) นับว่าเป็นวัตถุแข็ง แม้
อ่อนกว่ายางแระก็ไม่ไหล.

๕๒. ความแน่นและความถ่วงจำเพาะ (Density and Specific Gravity) ^{หนัก} มวลของวัตถุหนึ่งหน่วย
ปริมาตรเรียกว่าความแน่นของวัตถุนั้น ซึ่งด้วยกรมคือ
หนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตรหรือกราด่วนของมวลวัตถุใด คือ
มวลหา อนุอนหภูมิ & เซ็นติเกรด ปริมาตรเท่ากัน
เรียกว่า ความถ่วงจำเพาะหรือความแน่นเทียบกับน้ำ
สำหรับวัตถุนั้น โดยเหตุที่ความถ่วงจำเพาะเป็นอัตรา
ถ่วน จึงไม่วัดด้วยหน่วย และไม่จำเป็นต้องใช้มาตราใด

ตอน ๒

ไฮโดรสแตติกส์ และสมบัติของสสาร (Hydrostatics and Properties of Matter)

บท ๑๐ Pressure, density & Specific

๕๑. ความแตกต่างระหว่างวัตถุแข็ง วัตถุเหลว gravity.
และไอ (Distinction between Solids, Liquids Floating
and Gases) ภาวะของสสาร อาจแสดงด้วยข้อความ Bodies
ต่อไปนี้

× วัตถุแข็ง ก้อนหนึ่งทรงไว้ซึ่งขนาดและพื้นฐาน

× วัตถุเหลว มีปริมาตร แต่อาศัยสถานะที่ได้สำหรับ
พื้นฐาน

× ไอ โดยตัวทั้งไม่จำกัดปริมาตร หรือพื้นฐาน แต่จุ
สถานะใด ๆ ที่ตั้งไว้ไม่ว่าขนาดใด หรือพื้นฐานใด

วัตถุเหลว และไอ มีลักษณะร่วมกันอย่างหนึ่ง คือไหล
ได้ในภาษาอังกฤษเรียกว่า ฟลูอิดส์ (Fluids) วัตถุแข็ง
วัตถุเหลว และไอ ด้านทานการยึด แต่วัตถุเหลวและไอ
ไม่สามารถต้านทานได้เรื่อยไปต่อแรง ซึ่งพยายามเปลี่ยน

เมื่อกล่าวว่ ๓๓.๖ เป็นความถ่วงจำเพาะของปรอท หมายถึง
 ความว่าปรอท ปริมาตรใดหนึ่ง ๓๓.๖ เท่า น้ำ ปริมาตร
 เท่ากัน ณ อุณหภูมิ ๔° ซ. โดยเหตุที่น้ำ ๓ ลูกบาศก์เซนติ
 เมตร ณ อุณหภูมิ ๔° ซ.หนัก ๓ กรัม ความแน่นของปรอท
 เท่ากับ ๓๓.๖ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า
 เลขที่แสดงความถ่วงจำเพาะของวัตถุสิ่งหนึ่ง เป็นความ
 แน่นของสิ่งนั้นจำนวนกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรด้วย.

๕๓. ความดันในวัตถุเหลว (Pressure in a Liquid)

วัตถุเหลวดันข้างและกันภายในภาชนะที่ได้ด้วยแรงได้มุน
 ฉากกับพนทภายในภาชนะนั้น แรงทั้งหมดที่ไดมุนฉาก
กับพนทกำหนดให้เรียกว่าความดันทั้งหมด (Whole
 pressure or thrust) คือพนทนั้น ส่วนแรงที่ไดมุน
ฉากกับพนทหนึ่งตารางหน่วย เรียกว่า ความดันที่จุดหนึ่ง
 (Pressure at a point) ในพนทตารางนั้น ถ้าความ
 ดันเปลี่ยนจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง ความดันที่จุดใด
 โดยละเพาะให้เข้าใจเขาว่าเป็นแรง F ที่ไดมุนฉากกับพน

ที่เล็กที่สุด A และค่าของ F/A ในที่สุด เมื่อ A
ใกล้เคียง แรงขับ (thrust) วัดด้วยคายน และความดัน
วัดด้วยคายนต่อตารางเซนติเมตร

ความดันที่จุดหนึ่งในวัตถุเหลวสิ่งหนึ่ง โดยน้ำหนัก
ของมันเอง ปรากฏกับความแน่นของวัตถุนั้น และความ
ลึกของจุดไ้ระดับ

(รูปที่ ๕๘) ให้จุดหนึ่งอยู่ h ซม. ต่ำกว่าระดับ
ของวัตถุเหลวซึ่งมีความแน่น P กรัม
ต่อลูกบาศก์ ซม. พิจารณาพื้นที่ตอนนอย A บริเวณ
รอบนอกของจุดนั้น พื้นที่รอบนอกของวัตถุข้างบน
แรงบนพื้นที่ $A = A h P g$ คายน

$$\therefore \text{แรงค้ำหน่วยพื้นที่} = g P h \text{ คายน./ซม.}^2$$

$$\therefore \text{ความดันลึก } h = g P h \text{ คายน./ซม.}^2$$

ความดันที่จุดหนึ่งในวัตถุเหลว อาจทดลองให้เห็น
จริงได้ดังต่อไปนี้

(รูปที่ ๖๐) กระบอกกดวง เช่นหลอดแก้ว บิดกัน
ได้ถูกปลายตะกั่วกดวงให้ลอยตงปากขึ้น

ในวัตถุเหลว ซึ่งมีความแน่น P วัตถุความถี่ของมัน
หลุดได้ระดับของวัตถุเหลวนั้น แล้วเขาหลุดกับดก
ปรายออกจากวัตถุเหลวมาซึ่งน้ำหนัก ถ้า m เป็น
มวลของหลุดกับดกปราย $m g$ เป็นน้ำหนักซึ่งแรง
ขึ้นจากวัตถุเหลวต่อพื้นที่ A ของมันหลุดต่อต้านไว้
ฉะนั้นความดันที่จุดหนึ่งลึก h เท่ากับ $m g / A$ ที่ลดลง
หลายหนด้วยจำนวนดกปรายต่าง ๆ กัน เพื่อให้มัน
หลุดลึก h ต่าง ๆ กัน จะปรากฏว่า h ปฏิภา
กับ $m g / A$ คือ $\frac{h A}{m g}$ เป็นนิจคงที่หรือโดยเหตุ
ที่ A และ g ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง $\frac{h}{m}$
เป็นนิจคงที่

(รูปที่ ๖๓) เมื่อเขียนเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
 h กับ m บนกระดาษตาราง จะได้
เส้นตรง

แล้วดอยหลุดแกวกับดกปรายในวัตถุเหลวอีกสิ่ง
หนึ่งซึ่งมีความแน่น P' ถ้า m' เป็นมวลของหลุดแกว
 P'

กับดูปรายในการทดลองใหม่จะปรากฏว่า $\frac{m'}{P'} = \frac{m}{P}$
 เมื่อความลึก h เท่ากันในวัตถุเหลวทั้งสอง ฉะนั้น
 ความดันที่ตกกำหนดให้ปรากฏกับความแน่นของวัตถุ
 เหลวนั้น

ตัวอย่าง คำนวณความดันของน้ำที่จุดหนึ่งลึก ๓
 กิโลเมตรใต้ระดับทะเล (ความถ่วงจำเพาะของน้ำทะเล
 = 1.03)

$$1 \text{ กิโลเมตร} = 100,000 \text{ ซม.} = 10^5 \text{ ซม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ความดัน} &= g P h = 981 \times 1.03 \times 10^5 \\ &= 1.01 \times 10^8 \text{ ดายน์/ซม.}^2 \end{aligned}$$

ถ้าพื้นที่ของวัตถุเหลวถูกดัน ความดันจะแพร่ไปทั่ว
 วัตถุเหลวนั้นเท่ากันหมด ข้ออ้างนี้พิสูจน์ได้ด้วยการ
 ทดลอง

(รูปที่ ๖๒) ถังใบหนึ่งมีตมคิรีต เว้นแค่ช่องกระบอก
 สับจำนวนหนึ่งอยู่ต่างแห่งกันและถูกสับ
 เกิดลมเข้าออกได้สนิทกระบอกสับจะอัน ภายในถัง

และกระบอกสูบเดิมไปด้วยน้ำ เพื่อลดความยุ่งยาก ให้พื้นที่
และระดับของลูกสูบเท่ากันหมด ความดันเนื่องจากน้ำ
หนักของน้ำจะได้เท่ากัน ถ้าใช้แรงจำนวนหนึ่งดันลูกสูบ
ขึ้นหนึ่ง ก็ต้องใช้แรงเท่ากันดันลูกสูบอื่น ๆ ทั้งหมดไว้
จึงจะไม่เคลื่อนออกมา ถ้าถึงนั้นบรรจุน้ำแทนวัตถุเหลว
ก็จะได้ผล เช่นเดียวกัน

ความดันในวัตถุเหลวและน้ำมันทุกทิศ

เพื่อพิสูจน์ข้อหานี้ เปลี่ยนกระบอกสูบของอุปกรณ์
ที่เดิมมาเป็นท่ออ่อนขนาดเดียวกัน ใช้ลูกสูบค้ำน้ำภายใน
จะปรากฏว่า การเปลี่ยนทิศค้ำน้ำในท่ออ่อน ไม่เปลี่ยน
แปลงแรงดันลูกสูบอื่น ๆ จากเดิม

พบบนของวัตถุเหลวนอนนิ่งในภาชนะเปิดอยู่ในระดับ
เดียวกัน

(รูปที่ ๒๓) สมมติว่า พบบนของวัตถุเหลวเช่นไป
ข้างหนึ่ง พิจารณาจุด A และ B ใน
วัตถุเหลวนั้นระดับเดียวกันข้างต่าง ถ้า h_1 เป็นความ

ถ้า a_1 และ b_2 เป็นความดังที่พบใน B ความ
 ดันที่ A เท่ากับ $g P b_1$ และความดันที่ B เท่ากับ
 $g P b_2$ วัตถุเหลวที่มีความหนาแน่น P ความดันทั้งสองต้อง
 เท่ากัน มิฉะนั้นวัตถุเหลวจะไหลจาก B ไปยัง A เพราะ
 ฉะนั้น $g P b_1 = g P b_2$ หรือ $b_1 = b_2$ เพราะ
 ฉะนั้น CD บนวัตถุเหลว ต้องอยู่ในระดับเดียวกัน

ถ้าภาชนะ เปิดจำนวนหนึ่งต่อกันด้วยท่อคอนดาง.
แล้ววัตถุเหลวลงในภาชนะหนึ่ง สูงกว่าระดับท่อ วัตถุ
เหลวนั้นจะไหลไปยังภาชนะอื่น ๆ ที่ต่อกันด้วยท่อ จน
ระดับเท่ากันทุกภาชนะ

(รูปที่ ๖๔) ข้ออย่างนี้ทดลองให้เห็นจริงได้ดังนี้
 เนื่องมาจากข้อที่ว่าความดันที่จุดหนึ่ง

ในวัตถุเหลว ปฏิภาคกับความดัง.

๕๕. หลักของ อารคิเมเดส (Archimedes'
Principle) ปรากฏขึ้นเป็นครั้งแรกแก่อารคิเมเดสว่า
เมื่อวัตถุแข็งแช่อยู่ในวัตถุเหลวมีดหรือใต้วงส่วนหนึ่งที่

สื่ออัดกึ่งในอุทก ๑๐๐ ที่พื้นที่ ๑๗๑๖.๖๖
 ๕๓.๑๐๐ ๕๓.๑๐๖๕

๕

น้ำหนักน้อยไปส่วนหนึ่ง เท่ากับน้ำหนักของวัตถุเหลว
 ที่วัตถุแขวนแช่แทนที่ น้ำหนักน้อยไปเนื่องจากแรง
 ที่วัตถุเหลวพยุงวัตถุแขวน

(รูปที่ ๖๕ ก.) ชั้นแรก พิจารณาวัตถุกลมท่อนหนึ่ง
 ยาว 1 เซนติเมตรในวัตถุเหลวแน่น P

วัตถุกลมหนึ่งตรงตั้ง ข้างบนลึก h ได้ระดับ แรงดันข้าง
 บนวัตถุกลมเท่ากับ $g P h A$ และแรงดันข้างล่างวัตถุ
 กลมเท่ากับ $g P (h+1) A$ A เป็นพื้นที่หน้าตัด
 ของวัตถุท่อนกลม แรงดันข้างบนกับข้างล่างต่างกัน
 $g P A$ แต่ A เป็นปริมาตรของวัตถุท่อนกลม $P A$
 เป็นมวลของวัตถุเหลวแทนที่โดยวัตถุท่อนกลม และ
 $g P A$ เป็นน้ำหนักของวัตถุเหลวนั้น

ฉะนั้น หลักของอาร์คิเมเดสใช้ได้ สำหรับวัตถุ
 ฐานฐานกระบอกตั้งตรงตั้ง

(รูปที่ ๖๕ ข.) ผลของการทดลองอาจใช้ได้สำหรับวัตถุ
 ฐานฐานใดก็ได้ เพราะเราอาจสมมุติว่า

วัตถุนั้นประกอบด้วยก้อนกลม มีพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุด
ตั้งตรงตั้งแน่นชิดกัน

หลักของอาร์คิเมเดสทดลองได้ง่าย ซึ่งทองเหลือง
ตั้งฐานกะบอกกลมตันในอากาศ แล้วซึ่งทองเหลือง
ในน้ำจมนิดให้น้ำหนักต่างกัน m กรัม วัดความยาว l
และเส้นผ่านศูนย์กลาง d ของก้อนทองเหลืองโดยปราณีต
แล้วคำนวณปริมาตรจากสูตร $\pi d^3 l / 4$ ถ้าปริมาตร
เท่ากับ m ลูกบาศก์เซนติเมตร ก็ถูกต้องตามหลักของ
อาร์คิเมเดส โดยเหตุที่ว่า ๑ ลูกบาศก์เซนติเมตร
หนัก ๑ กรัม

หลักของ อาร์คิเมเดส ใช้ได้สำหรับโลหะ การซึ่ง
วัตถุในอากาศควรเพิ่มน้ำหนักด้วยแรงขึ้นวัตถุใน
อากาศ ความแน่นของอากาศน้อยนักจึงไม่จำเป็นแก้ไข
เว้นแต่การซึ่งอย่างปราณีต จำต้องเพิ่มน้ำหนักซึ่งใดใน
อากาศด้วยแรงขึ้นขึ้นโดยอากาศ.

๕๕. วัตถุลอย (Floating Bodies) ถ้าวัตถุ
ก้อนหนึ่งจมลึกอยู่ในวัตถุเหลว แรงที่วัตถุขึ้นได้แก่

$$\text{หรือ } \frac{v}{V} = \frac{P_3}{P_1}$$

ตัวอย่าง เหล็กกลมท่อนหนึ่ง ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ ๗.๘๖ และปริมาตร ๓๐๐ ลูกบาศก์เซนติเมตร ลอยอยู่บนปรอท ปริมาตรของปรอทเท่าใดที่เหล็กได้แทนที่
 เติมน้ำข้างบนปรอทจนมีค้ำเหล็ก บัดนี้ปริมาตรของปรอทซึ่งเหล็กแทนที่เป็เท่าใด (ความถ่วงจำเพาะของปรอท = ๑๓.๖) ในสถานแรก ให้ v เป็นปริมาตรของปรอทซึ่งเหล็กแทนที่

$$v \times 13.6 = 100 \times 7.86$$

$$\therefore v = 57.7 \text{ ซม.}^3$$

ในสถานที่สอง ให้ v_1 เป็นปริมาตรของปรอท ซึ่งเหล็กแทนที่ได้น้ำ $100 - v_1$ เป็นปริมาตรของน้ำซึ่งเหล็กเห็นระดับปรอทแทนที่

$$\text{มวลของเหล็ก} = 100 \times 7.86 \text{ กรัม}$$

$$\text{มวลของปรอทที่ถัก} = v_1 \times 13.6 \text{ กรัม}$$

(๑) น้ำหนักของวัตถุถ่วงลงตรงติ่ง และ (๒) แรงเท่ากับ น้ำหนักของวัตถุเหลว ซึ่งวัตถุแข็งแทนที่มันตรงติ่ง ถ้า (๑) มากกว่า (๒) วัตถุแข็งจะจมในวัตถุเหลวลงนอน ก้นภาชนะ แต่ถ้า (๑) และ (๒) เท่ากันพอดีวัตถุแข็งจะอยู่ในสภาวะลอย เช่น เรือคานามิตดำในทะเล ในเมื่อ (๒) มากกว่า (๑) วัตถุแข็งจะลอยขึ้นระดับวัตถุเหลวส่วนหนึ่ง อยู่ในวัตถุเหลว ในอาการที่น้ำหนักของวัตถุแข็งเท่ากับ น้ำหนักของวัตถุเหลว ซึ่งวัตถุแข็งส่วนหนึ่งเข้าแทนที่ ให้ $\frac{P_1}{V}$ เป็นความแน่นของวัตถุเหลว / $\frac{P_2}{V}$ เป็นความแน่นของวัตถุแข็ง / และ V เป็นปริมาตรของวัตถุแข็ง เมื่อวัตถุแข็งจม $\frac{P_1}{V}$ เป็นมวลของวัตถุเหลว ซึ่ง วัตถุแข็งแทนที่ $\frac{P_2}{V}$ เป็นมวลของวัตถุ วัตถุนั้นจะจม ถ้า $\frac{P_2}{V}$ มากกว่า $\frac{P_1}{V}$ หรือ $\frac{P_2}{V}$ มากกว่า $\frac{P_1}{V}$ วัตถุแข็งจะเคื่องอยู่ในวัตถุเหลว ถ้า $\frac{P_2}{V}$ เท่ากับ $\frac{P_1}{V}$ และ วัตถุแข็งจะลอยพ้นระดับวัตถุเหลวส่วนหนึ่ง ถ้า $\frac{P_2}{V}$ น้อยกว่า $\frac{P_1}{V}$ ในอาการที่ขยับ ถ้า V เป็นปริมาตรของวัตถุเหลว / ซึ่งส่วนหนึ่งของวัตถุแข็งเข้าแทนที่ $\frac{P_1}{V} = \frac{P_2}{V}$

$$\text{มวลของน้ำที่ตก} = (100 - v_1) \times 1 \text{ กรัม}$$

$$\text{ฉะนั้น } v_1 \times 13.6 + (100 - v_1) = 100 \times 7.86$$

$$\therefore 12.6v_1 = 100 \times 6.86$$

$$v_1 = 54.4 \text{ ซม.}^3$$

๕๖. ลูกโป่ง และ โฟยม นาวา (Balloons

and Airships) ลูกโป่ง หรือ โฟยม นาวา สามารถลอยขึ้นจากพื้นดินได้ก็เพราะน้ำหนักของมันน้อยกว่าอากาศ ซึ่งมันแทนที่ให้ P เป็นความแน่นของอากาศ และ n เป็นความแน่นของไฮโดรเจนในลูกโป่ง ถ้า V เป็นปริมาตรของไฮโดรเจน และ V_1 เป็นปริมาตรของลูกโป่งภายนอก แรงยกลูกโป่ง เท่ากับ $V_1 P - V n$. ในการปฏิบัติ V_1 เกือบเท่ากับ V /ฉะนั้น แรงยกเกือบเท่ากับ $V (P - n)$ ส่วนหนึ่งของแรงนี้ยกน้ำหนักของลูกโป่งเอง นอกนั้นยกผู้โดยสารและสัมภาระ:

สำหรับลูกโป่ง บรรจุไฮโดรเจน (Hydrogen)

$$n = 0.00009 \text{ } P \text{ และแรงยก} = V (P - 0.00009 \text{ } P)$$

หรือ $(1.0694) \frac{P}{0.00006} V$ สำหรับดุกโป่งบรรจุเฮเลียม (Helium) $n = 0.00006$ และแรงยกเท่ากับ $0.00006 V$ อัตราส่วนของแรงยกด้วยเฮเลียมเท่ากับ 0.00006 ของแรงยกด้วยไฮโดรเจน แม้ว่าความแน่นของเฮเลียมสองเท่า ความแน่นของไฮโดรเจน แรงยกของดุกโป่งบรรจุเฮเลียมก็เท่ากับ 0.00006 ใน 1000 แรงยกของดุกโป่งบรรจุไฮโดรเจน.

๕๗. การหาความถ่วงจำเพาะ หรือความแน่นของวัตถุเหลว (Determination of the Specific Gravity or Density of a Liquid) ตามวิธีต่อไปนี้

(ก) ขวดหาความถ่วงจำเพาะ (The Specific gravity bottle) มีขีดกำหนดขนาดที่บอก หรือมีจุกแก้วซึ่งมีรูเล็ก เมื่อกรอกขวดเต็มด้วยวัตถุเหลว และปิดจุกเข้าที่ วัตถุเหลวจะดันออกทางรูเล็ก เหลือวัตถุเหลวภายในขวดพอดีกับปริมาตรที่กำหนดไว้ เมื่ออุณหภูมิคงที่

ตัวอย่าง

× มวลของขวดเปล่า	๓๖.๓๒	กรัม
× มวลของขวดใส่น้ำเต็ม	๖๕.๒๓	,,
× มวลของขวดใส่เหล้าเต็ม	๕๕.๓๓	,,
∴ มวลของน้ำในขวด	๕๘.๓๓	,,
และ มวลของเหล้าในขวด	๓๘.๓๘	,,

$$\therefore \text{ความถ่วงจำเพาะของเหล้า} = \frac{๓๘.๓๘}{๕๘.๓๓} = ๐.๖๘๔$$

(๒) เครื่องชั่งวัตถุในน้ำ (The Hydrostatic

Balance) วิธีนี้ใช้หลักของอาร์คิมิดีสซึ่งวัตถุหนัก

เช่นก้อนทองเหลือง หรือจุกแก้ว (๑) ในอากาศ (๒)

แขวนในน้ำ (๓) แลวนในวัตถุเหลว ซึ่งต้องการหาความ

ถ่วงจำเพาะหรือความแน่น สำหรับซึ่ง (๒) และ (๓)

วางสะพานข้ามกะทะเครื่องชั่ง และวางถ้วยแก้วใส่น้ำ

หรือวัตถุเหลว ซึ่งต้องการหาความถ่วงจำเพาะหรือ

ความแน่น แลวนก้อนทองเหลืองหรือ

(รูปที่ ๖๗) จุกแก้วด้วยเชือกจากหัวด้าแหวก ให้

เรามีตัวอย่างในวัตถุเหลวในถ้วยแก้ว

ตัวอย่าง การคำนวณ

น้ำหนักของวัตถุแข็งในอากาศ	๘๓.๗๒ กรัม $\times g$
น้ำหนักของวัตถุแข็งในน้ำ	๕๓.๔๕ ,, $\times g$
น้ำหนักของวัตถุแข็งในน้ำมัน	๕๕.๓๓ ,, $\times g$
น้ำหนักของน้ำปริมาตรเท่าวัตถุแข็ง	๓๐.๒๗ ,, $\times g$
และน้ำหนักของน้ำมันปริมาตรเท่ากัน	๒๖.๔๓ ,, $\times g$
$\therefore$ ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน = $\frac{๒๖.๔๓}{๓๐.๒๗} = ๐.๘๗๓$	

(ค) วิธีถ่วงความดันของวัตถุเหลวด้วยอุปกรณ์

ของแฮร์ (Method of Balancing Columns with Hare's Apparatus)

(รูปที่ ๖๘) อุปกรณ์ประกอบด้วยหลอดแก้วเปิด ตั้งตรงตั้งขนานกันหยั่งลงในถ้วย A ได้น้ำข้างหนึ่ง และในถ้วย B ได้วัตถุเหลว ซึ่งต้องการหาความ

ถ่วงจำเพาะอีกข้างหนึ่ง ส่วนบนของหลอดตรงต่อกัน
ด้วยหลอดโค้ง ซึ่งมีหลอดแยกและจุกบิตหรือท่ออย่างกับ
เกลียวกับท่ออย่าง ต่อดอากาศออกจากหลอดแยกเดี่ยวบ้าง
แล้วปิดแน่น นำและวัตถุเหลวจะขึ้นมาจากถ้วย A
และ B ในหลอดแฝด ให้ h_1 เป็นความสูงของน้ำ
เหนือระดับในถ้วย A และ h_2 เป็นความสูงของวัตถุ
เหลวเหนือระดับในถ้วย B ความดันเนื่องจากความสูง
ของน้ำในหลอดเท่ากับ $g n_1 h_1$ และความดันเนื่องจาก
ความสูงของวัตถุเหลวในหลอดเท่ากับ $g n_2 h_2$ เมื่อ
 n_1 และ n_2 เป็นความแน่นของน้ำและวัตถุเหลวนั้น แต่
ความดันต้องเท่ากัน เพราะต่างก็เท่ากับแรงกดในหลอด
โค้ง คือความดันของอากาศภายในต่ำกว่าความดันของ
อากาศภายนอก เพราะฉะนั้น $G n_1 h_1 = G n_2 H_2$

$$\text{หรือ} \quad \frac{h_1}{h_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

แต่ n_2 / n_1 เป็นอัตราส่วนของความแน่นของวัตถุ
เหลวเทียบกับน้ำ

∴ ความถ่วงจำเพาะของวัตถุเหลว $\frac{h_f}{h_{ca}}$

(ง) ท่นวัดความถ่วงจำเพาะของวัตถุเหลว (The Common Hydrometer)

(รูปที่ ๖๘) ประกอบด้วยหลอดแก้ว ตอนล่างได้
 ปรีดที่ E เพื่อถ่วงให้ลอยคงตรึงคง เหนือ
 ปรีดที่อากาศ D ตอนบนเป็นด้ายเล็กเท่ากันตลอด น้ำ
 หนักของวัตถุเหลว ซึ่งหลอดหยั่งตรงเท่ากันกับน้ำหนัก
 ของหลอดและปรีดภายในซึ่งคงที่ ฉะนั้นปริมาตรของ
 วัตถุเหลว ซึ่งหลอดแทนที่เพิ่มขึ้น เมื่อความแน่นของวัตถุ
 เหลวน้อยลง ฉะนั้นหลอดโผล่มากเมื่อความแน่นมาก
 จึงสามารถวัดหลอดตอนบนแสดงความถ่วงจำเพาะของ
 วัตถุเหลวตามที่หลอดโผล่เหนือระดับวัตถุเหลวนั้น

ให้ A เป็นขีดหลอดโผล่เหนือระดับน้ำ และ B เป็น
 ขีดหลอดโผล่เหนือระดับวัตถุเหลว ซึ่งมีความแน่น n
 ให้ V เป็นปริมาตรของหลอดใต้ขีด A และ v เป็นปริ
 มาตรของหลอดยาว ๑ เซนติเมตร ปริมาตรของน้ำซึ่ง

หลอดแทนที่เท่ากับ V และปริมาตรของวัตถุเหลวซึ่ง
 หลอดแทนที่เท่ากับ $V - vx$ เมื่อ x เป็นความยาวของ
 AB น้ำหนักของปริมาตรน้ำ และปริมาตรวัตถุเหลว
 เท่ากัน เพราะต่างก็เท่ากับน้ำหนักของหลอด ฉะนั้น

$$\frac{V}{V - vx} = \frac{V}{V - vx} \Rightarrow V = V - vx \rightarrow$$

$$\frac{\text{ความแน่นของวัตถุเหลว}}{\text{ความแน่นของน้ำ}} = 1$$

$$\therefore \frac{V}{u} = V - vx$$

$$\text{หรือ } x = \frac{V}{v} \left[1 - \frac{1}{u} \right] \quad (26)$$

ซึ่งให้ความสัมพันธ์ระหว่าง x กับ u

บัดนี้ให้ B' เป็นขีดซึ่งหลอดโผล่ เมื่อลอยในวัตถุ
 เหลวอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งมีความแน่น u' และให้ $AB' = x'$

$$x' = \frac{V}{v} \left[1 - \frac{1}{u'} \right] \quad (27)$$

โดยการลบ (26) จาก (27)

$$x' - x = \frac{V}{v} \left[\frac{1}{n} - \frac{1}{n'} \right]$$

$$\text{หรือ } BB' = \frac{V}{v} \left[\frac{n' - n}{n n'} \right] \quad (28)$$

จะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ต่างกัน (n' - n) BB' ยังขึ้นเมื่อ n และ n' เพิ่มขึ้น ฉะนั้นขีดตอนต่างชิดกันกว่าขีดตอนบน

เพื่อมิให้ขุ่นมัวเกินไป จึงมีขนาดต่างๆ ขนาดหนึ่งสำหรับความถี่จำเพาะ ๐.๗ ถึง ๓.๐ อีกขนาดหนึ่งสำหรับ ๓.๐ ถึง ๓.๒ และขนาดอื่นๆ ขีดบนจำกัดความถี่จำเพาะน้อยที่สุดสำหรับขนาดนั้น

ตัวอย่าง ทึ่วัดความแน่นดอยในน้ำแคระดับ A ดอยในวัตถุเหลว ซึ่งมีความถี่จำเพาะ ๓.๓๐ แคระดับ B และดอยในวัตถุเหลวซึ่งมีความถี่จำเพาะ ๓.๕๐ แคระดับ B' ถ้า AB ยาว ๓๒.๖ ซม. BB' ยาวเท่าใด

$$x' = \frac{V}{v_1} \left(1 - \frac{1}{1.2} \right) \text{ และ } 12.6 = \frac{V}{v} \left(1 - \frac{1}{1.1} \right)$$

$$\text{หารกัน } \frac{x'}{12.6} = \frac{1 - 1/r \cdot 2}{1 - 1/r \cdot 1} = \frac{11}{6}$$

$$\therefore x' = 11 \times \frac{12.6}{6} = 23.1$$

$$\therefore BB' = x' - AB = 10.5 \text{ ซม.}$$

๕๘. การหาความถ่วงจำเพาะหรือความแน่น
ของวัตถุแข็ง (Determination of the Specific
 Gravity or Density of a Solid)

(ก) การวัดโดยตรง (Direct Measurement) ถ้าวัตถุแข็งมีพื้นฐานวัดได้ง่าย เช่น ลูกกลม หรือกระบอกกลมก็คำนวณปริมาณจากขนาดที่วัด ซึ่งหาพื้นที่ผิวของพื้น ความแน่นเท่ากับน้ำหนักหารด้วยปริมาณ เพื่อเป็นตัวอย่าง ถ้าวัตถุแข็งมีพื้นฐานเป็นท่อนกลมรัศมี r ยาว l และมวล m ปริมาตร $= \pi r^2 l$
 และความแน่น $= \frac{m}{\pi r^2 l}$

(๖) การชั่งในน้ำ (Hydrostatic Balance)

ประการที่ ๑ วัดถ่วงซึ่งจมในน้ำ และไม่ละลายน้ำ ซึ่ง
วัตถุในอากาศ แล้วจึงชั่งในน้ำ ดัง ตัวอย่าง

น้ำหนักของวัตถุซึ่งในอากาศ 81.72 กรัม_g

น้ำหนักของวัตถุซึ่งในน้ำ 51.45 กรัม_g

∴ น้ำหนักของน้ำซึ่งวัตถุซึ่งแทนที่ 30.27 กรัม_g

∴ ความถ่วงจำเพาะของวัตถุซึ่ง $= \frac{81.72}{30.27} = 2.70$

ประการที่ ๒ วัดถ่วงซึ่งละลายน้ำ เช่น ผลึกหินด่าง

(ทองแดง กับ กำมะถัน และซัลเฟตหิน CaSO4)

น้ำหนักของผลึกในอากาศ 10.27 กรัม_g

น้ำหนักของผลึกในเหล้า 6.71 กรัม_g

∴ น้ำหนักของเหล้าซึ่งผลึกแทนที่ 3.56 กรัม_g

โดยเหตุที่ความถ่วงจำเพาะของเหล้า 0.794

ปริมาตรของเหล้าซึ่งผลึกแทนที่ $= \frac{3.56}{0.794}$ ซม.^๓

$$D = \frac{m}{V}$$

$$.794 = \frac{3.56}{V}$$

$$V = \frac{3.56}{.794}$$

$$\rho = \frac{D_1}{D_2} = \frac{M}{M} = \frac{W}{W} = \frac{\text{น้ำหนักของทองในน้ำ}}{\text{น้ำหนักของเงินในน้ำ}}$$

๒๓

∴ ความถ่วงจำเพาะของ ผักกาดขี้เหล็ก

$$= \frac{10.27 \times 0.794}{3.56} = 2.29$$

ประการที่ ๓ วัตถุแข็งซึ่งลอยน้ำ เช่น ไขนํ้ามันแร่

(Paraffin wax) ต้องใช้วัตถุหนักถ่วงกันไขให้จม
อาจใช้ก้อนทองเหลืองหรือตะกั่ว ซึ่งก้อนไขในอากาศ
ซึ่งก้อนถ่วงในน้ำ แล้วซึ่งก้อนไขกับก้อนถ่วงผูกติดกันในน้ำ

น้ำหนักของก้อนไขในอากาศ 19.11 กรัม × g

น้ำหนักของก้อนถ่วงในน้ำ 7.86 กรัม × g

∴ น้ำหนักของก้อนไขในอากาศ

+ ก้อนถ่วงในน้ำ 26.97 กรัม × g

น้ำหนักของก้อนไขและก้อนถ่วงในน้ำ 6.44 กรัม × g

∴ น้ำหนักของน้ำซึ่งก้อนไขแทนที่ = 20.53 กรัม × g

∴ ความถ่วงจำเพาะของก้อนไข = $\frac{19.11g}{20.53g} = 0.931$

(ค) การใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Bottle) วิธีนี้เหมาะสำหรับวัตถุแข็งเป็นก้อน



๒๔

$$2-1 = V_H$$

$$3-1 = mg = W$$

$$4-3 = V_{Hx}$$

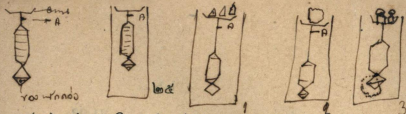
$$V_H - V_{Hx} = V_{mcg}$$

$$D_g = \frac{M}{V_{mg}}$$

เล็กๆ เช่นทรายหรือลูกตะกั่ว ซึ่งขวดเปล่า แล้วใส่วัตถุ
แข็งประมาณครึ่งขวดและชั่งอีก ตรอกน้ำหนักอากาศ
ในขวดทั้งหมดควรจ้องอย่าให้อากาศแทรกอยู่เป็นฟองในขวด
ได้ ซึ่งวัตถุแข็งกับน้ำในขวด เทวัตถุแข็งออกจากขวด
ตรอกน้ำหนักเดิมขวด แล้วชั่งอีก

ตัวอย่าง ค่อยไปนี้แสดงการคำนวณ :-

* มวลของขวดเปล่า	16.12 กรัม
* มวลของขวด + ทราย	74.37 กรัม
* ∴ มวลของทราย	58.25 กรัม
* มวลของขวด + ทราย + น้ำเต็ม	100.34 กรัม
∴ มวลของน้ำเต็ม	25.97 กรัม
* มวลของขวดน้ำเต็ม	64.23 กรัม
∴ มวลของน้ำเต็มขวด	48.11 กรัม
* ∴ มวลของน้ำแทนที่ทราย	22.14 กรัม
∴ ปริมาตรของทราย	= 22.14 ซม. ^๓
∴ ความแน่นของทราย	= $\frac{58.25}{22.14} = 2.63 \text{ กรัม/ซม.}^๓$



(ง) ท่อนแบบนิคอดซ์ (Nicholson's Hydro-meter)

$$2-1 = \frac{M_{\text{air}}}{V}$$

(รูปที่ ๗๐) ประกอบด้วยหม้อโลหะเปล่า A ตะกั่ว B และกระต๋านหนัก C และ D

เมื่อลอยในน้ำทันทันตรงคังและกินน้ำส่วนหนึ่ง ได้น้ำหนักในกระต๋ C จนทันทันน้ำถึงขีด E เอาน้ำหนักออก แล้วใส่วัตถุแข็งที่จะหาความแน่นในกระต๋ C เพิ่มน้ำหนักในกระต๋ C จนทันทันน้ำถึงขีด E อีก ย้ายวัตถุแข็งไปในกระต๋ D และเพิ่มน้ำหนักจนทันทันน้ำถึงขีด E

$$3-1 = M_{\text{air}} \times \frac{V_{\text{air}}}{V_{\text{water}}}$$

$$S_{\text{D.G.}} = \frac{M_{\text{air}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}$$

ตัวอย่าง ต่อไปนี้แสดงการคำนวณ:-

น้ำหนักทำให้ทันทันน้ำถึงขีด	28.45 กรัม < g
น้ำหนักเพิ่มเมื่อวัตถุอยู่ในกระต๋บน	7.22 กรัม < g
น้ำหนักเพิ่มเมื่อวัตถุอยู่ในกระต๋ล่าง	9.94 กรัม < g
น้ำหนักของวัตถุแข็งในอากาศ	21.23 กรัม < g
และ น้ำหนักของวัตถุแข็งในน้ำ	18.51 กรัม < g
น้ำหนักของน้ำที่วัตถุแข็งแทนที่	

$$= 21.23 \text{ g} - 18.51 \text{ g} = 2.72 \text{ กรัม}$$

$$\therefore \text{ความถ่วงจำเพาะของวัตถุแข็ง} = \frac{21.23}{2.72} = 7.81$$

จะเห็นได้ว่าวัตถุแข็งหนักของอาร์คิเมเดส ถ้าวัตถุ
แข็งลอยน้ำวัตถุแข็งนั้นกับกระต๋างด้วยเชือก

บท ๑๑

Pressure of Gases

๕๕. บรรยากาศ (The Atmosphere) อากาศ
คลุมโลกทำให้มีความดันประมาณ ๓๐๓๕ กรัมต่อตาราง
เซนติเมตร

ความดันนี้แสดงได้ว่ามีอยู่ ถ้าสูบล้ออากาศออกเสีย
ให้หมดจากลูกแก้วบาง ความดันของอากาศภายนอกกด
ลงบนลูกแก้วจนแตก อีกอย่างหนึ่งถ้ากระดามะพร้าวสอง
ซีกประกบกันสนิท และสูบล้ออากาศออกจากภายใน ก็ยาก
ที่จะแยกกระดามะพร้าวออกจากกัน เว้นแต่จะผ่อนให้อากาศ
เข้าภายใน.

๖๐. ปรอทถ่วงบรรยากาศ (The Mercury
Barometer) โดยปกติ ความดันของบรรยากาศวัด

ด้วยความสูงของปรอทในหลอดแก้ว เห็นระดับที่รับ
ความดันของบรรยากาศ

(รูปที่ ๗๓ ก.) หลอดแก้ว ปลายข้างหนึ่งตัน ยาว
ประมาณ ๘๐ เซนติเมตร ใส่ปรอท
เต็มแก้ว ค่อยๆ ปากลงในอ่างปรอทให้หลอดตั้งตรงตั้ง
ปรอทในหลอดจะลดลงจากปลายตัน จนระดับบน
ของปรอทในหลอดสูงกว่าระดับปรอทในอ่างประมาณ
๗๖ เซนติเมตร พื้นที่เหนือระดับปรอทในหลอดว่าง
อากาศเว้นแต่ไอปรอทเรียกว่า สุญญากาศทอริเชลลี
(Toricellian Vacuum) ปรอทในหลอดว่างด้วย
ความดันของบรรยากาศบนพื้นของปรอทในอ่าง

(รูปที่ ๗๓ ข.) หลอดแก้วอีกแบบหนึ่งโค้งงอเขาปาก
ขึ้น เรียกว่า ปรอทถ่วงบรรยากาศ
แบบฉลักน้ำ (Siphon Barometer) ความดัน
ของบรรยากาศวัดด้วยความสูงของปรอท ระหว่างระดับ
ในหลอดข้างบนกับระดับในปากหลอดข้างล่าง

(รูปที่ ๗๒) ปรอท ถ่วง บรรยา กาศ แบบฟอร์ติน (Fortin's Barometer) ประกอบ ด้วยถ่วงหนัก A กันด้วยปรอทใต้หลอดแก้ว ใต้ถ่วงปรอท มีเกลียว B ขันหรือคล้ายกำหนดระดับปรอทในถ่วง และ มาตรฐาน Vernier C สำหรับอ่านระยะสูงของ ปรอทในหลอด ให้ละเอียดกว่าระยะระหว่างขีดอีก ๑ ใน ๑๐ ได้สะดวก ใช้เกลียว B กำหนดระดับปรอทในถ่วงให้ สัมผัสกับขีด D แล้วเลื่อนมาตรฐาน Vernier C ให้ได้ระดับ กับปรอทในหลอด ซึ่งแสดงค่าความสูงของปรอทถ่วง ด้วยความดันของบรรยากาศ

เมื่อความสูงของปรอทในหลอดเท่ากับ H เซนติเมตร และ ρ เป็นความแน่นของปรอท ๑๓.๖ กรัม ต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{ความดันของบรรยากาศ} &= \rho \times H \text{ ตายัน / ซม.}^2 \\ &= 981 \times 13.6 H = 13,342 H \text{ ตายัน / ซม.}^2 \end{aligned}$$

ความสูง H ไม่เกี่ยวข้องกับขนาดของหลอดใดเท่าใด ความสูงของปรอทในหลอดถ่วงบรรยากาศเปลี่ยนได้

จากเวลาหนึ่งถึงเวลาหนึ่ง ตกเมื่ออากาศชั้น H เหนือเมฆ
 อากาศแห้ง เพราะไอน้ำเบากว่าอากาศ ฉะนั้นความสูง
 ของปรอทตก จึงแสดงว่าฝนจะตก ถ้าน้ำหยดปรอท
 ขนุกเขา ความสูงของปรอทก็ลดเนื่องจากความดันของ
 บรรยากาศ ยิ่งสูง ยิ่งน้อย เมื่อรู้ความดันพื้นผิวระวาง
 ความดันของบรรยากาศกับความสูงแล้ว ก็ใช้ปรอทใน
 หอดวัดความสูงได้ ณะระดับทะเล ความดันของบรรยากาศ
 เท่ากับปรอทสูง ๗๖ เซนติเมตรเป็นมาตรฐานเท่ากับ
 $76 \times 13.6 \times 981$ หรือ 1.013×10^6 ดายน์ต่อตาราง
 เซนติเมตร ความดันหนึ่งล้านดายน์ต่อตารางเซนติเมตร
 เรียกว่า ๑ เมกาบาร์ (Megabar) ซึ่งต่ำกว่า ๓ บรรยากาศ
 มาตรฐานเล็กน้อย

หอดอากาศบรรจุวัตถุเหลวอย่างอื่นแทนปรอท แต่
 วัตถุเหลวอื่น ๆ ล้วนแต่มีความแน่นน้อยกว่าปรอท

ความสูงของวัตถุเหลวอย่างอื่นในหอดจะยิ่งกว่า
 ปรอท จะใช้วัตถุเหลวชนิดใด g ใน H ต้องเท่ากับ
 ความดันของบรรยากาศ และความสูง H ปฏิภาคกลับกันกับ

ความแน่น น ของวัตถุเหลว ถ้าใช้น้ำในหลอดวัดความ
ดันของบรรยากาศ หลอดจะสูงประมาณ ๑๐ เมตร ซึ่ง
ไม่สะดวก นอกจากนั้นการใช้น้ำไม่เหมาะเพราะไอน้ำ
มีความดันมาก.

๖๑. กลองวัดบรรยากาศ (The Aneroid
Barometer) ปรัชญ์ของบรรยากาศไม่สะดวกที่จะนำ
ไปใช้ในที่ต่าง ๆ เนื่องจากหลอดยาวทะทะทะทะทะทะทะทะทะ
เมื่อกำลังเคลื่อนที่ต่ำคึกกว่าความเที่ยงตรงหรือความ
ละเอียดในการวัดก็ใช้กลองวัดบรรยากาศแทน อุปกรณ์
นี้ประกอบด้วยกระบอกสี่เหลี่ยม ทำด้วยโลหะบางสูบเอา
อากาศออกบ้างแล้วผนึกแน่น ความดันของบรรยากาศ
ดันหน้ากลองทั้งสองข้างบุเข้าไปมากน้อยตามส่วน
ในทางปฏิบัติ ใช้กลองหลายลูกซ้อนกันมีแกนต่อระหว่าง
หน้ากลอง ให้ระยะที่หน้ากลองบุทุกลูกรวมกันเคลื่อน
ปลาย A ของก้าน A B รอบเพลาหมุน C DEF เป็น
(รูปที่ ๗๓) ก้านลาก หมุนรอบ E DB เป็นข้อต่อ
ปลาย B ของก้าน A B และปลาย D

ของคันฉาก DEF ด้วยดัดกลมุน เมื่อความดันของ
 บรรยากาศเพิ่มขึ้น A เคลื่อนลง และ B เคลื่อนขึ้น
 เหนือ EF ไปทางขวา เมื่อความดันของบรรยากาศ
 ลดลง A เคลื่อนขึ้น และ B เคลื่อนลง หนีเหนือ EF
 ไปทางซ้ายของถ่วงบรรยากาศ อาจทำให้ได้ก้านนาฬิกา
 พก ใช้ในการชั่งเขาเพื่อหาความสูงเห็นระดับทะเล.

๖๒. หลอดวัดความดัน (Manometers) มัก
 มีความจำเป็นที่จะต้องวัดความดันของไออยู่ในหม้อปัดได้
 อุปกรณ์ใช้ ในการวัดความดันนี้เรียกว่าหลอดวัดความ
 ดัน มีต้นฐานคล้ายสระขอ เป็นหลอดแก้วได้วัตถุเหลว
 เช่นน้ำหรือปรอทคอกับหม้อ C ซึ่งต้องการวัดความดัน
 (รูปที่ ๗๔) ของไภายใน ปลายเปิดให้อากาศเข้า
 ออกได้ เว้นแต่ความดันของไภายในหม้อ
 จะเท่ากับความดันของบรรยากาศ ระดับวัตถุเหลวใน
 หลอด A และ B ต่างกันด้วยระยะ h ถ้า n เป็นความ
 แน่นของวัตถุเหลว ความดันของไอในหม้อ C กับบรรยากาศ
 ต่างกัน $g n h$ ความดันทั้งหมดของไคำนวณได้

เมื่อรู้ความดันของบรรยากาศ ถ้าระดับของวัตถุเหลว
ในหลอดเปิด A สูงกว่าระดับในหลอดอีกข้างหนึ่ง B
ความดันของไอในหม้อสูงกว่าบรรยากาศ ถ้า A ต่ำกว่า
B ความดันของไอในหม้อน้อยกว่าบรรยากาศ

สำหรับความดันน้อยกว่าบรรยากาศ มีปลายหลอด
A และได้ปรอทให้เต็ม

เมื่อความดันในหม้อ C ต่ำพอ ปรอทในหลอดคดง
จากปลาย A ซึ่งเป็นสุญญากาศทอริริเชลล์ และความ
ดันทั้งหมดของไอในหม้อ C เท่ากับ $g \cdot h$ เมื่อ h เป็น
ระยะระหว่างระดับปรอทใน A และ B ต่างกัน สำหรับ
หลอดแบบนี้ไม่จำเป็นรู้ความดันของบรรยากาศ.

๖๓. ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตร
ของไอ (Relation between the Pressure and
the Volume of a Gas) กฎของบอยล์ (Boyle's
Law) ปริมาตรของไอของหนึ่งปฏิกภาคกลับกับความดัน
ถ้ารักษาอุณหภูมิให้คงที่ เพื่อบันทึกอย่าง ถ้าปริมาตร
ของไอของหนึ่งวัตได้ 100 ซม.^๓ เมื่อความดันเท่ากับ

๑ บรรยากาศ ปริมาตรจะวัดได้ 50 ซม.^๓ เมื่อความดันเท่ากับ ๒ บรรยากาศ และปริมาตร 200 ซม.^๓ เมื่อความดันครึ่งบรรยากาศ ถ้าอุณหภูมิเหมือนกัน ให้ p เป็นความดัน และ v เป็นปริมาตรของไอมวลหนึ่ง p ปฏิภาคกับ $\frac{1}{v}$ เมื่ออุณหภูมิคงที่

$$\therefore p v = K \quad (29)$$

K เป็นจำนวนคงที่ เมื่ออุณหภูมิคงที่ การทดลองกฎของบอยล์ (Verification of Boyle's Law) (รูปที่ ๘๕) ใช้อุปกรณ์ประกอบด้วยหลอดแก้วโค้งเท่ากันตลอดภายใน AB ปลายข้างบนปิด ปลายข้างล่างส่วนที่เอียง ไต่ที่จะใช้ทดลองอยู่ในหลอด AB เหนือปรอท ด้วยปรอท C ยกขึ้นลงได้เพื่อให้ปรอทไหลตามท่ออย่างจากกันด้วยไปดันไอในหลอด AB มากและน้อยตามต้องการ ถ้าระดับปรอทที่ C เท่ากับ B ความดันของไอเท่ากับ ๑ บรรยากาศ แต่ถ้า C สูงกว่า B h ซม. ความดันทั้งหมดเท่ากับ $H + h$ ซม.

ของปรอท เมื่อ H เป็นระยะของปรอทในบรรยากาศ
 ปริมาตรของไอในหลอด AB ปฏิภาคกับระยะ AB ให้
 AB เท่ากับ l ซม. การทดลองแสดงว่า $(H + h) l$
 เป็นจำนวนคงที่ ซึ่งพิสูจน์กฎของบอยล์

การเขียนเส้นแสดงกฎของบอยล์บนกระดาษตาราง

(รูปที่ ๗๖) หาค่าของ p และ v ซึ่งสัมพันธ์กันหลาย
 จำนวน แล้วเขียนเส้นแสดงความสัมพันธ์

(รูปที่ ๗๗) พหุคูณบนกระดาษตาราง ถ้าเขียนเส้น
 แสดงความสัมพันธ์ของ p กับ $\frac{1}{v}$ จะ
 ได้เส้นตรง (ถ้าเพนสีของ ๕ แดง ๑๖ เพนสีจากด้าย
 ก็น่า)

๖๔. กฎของบอยล์และทฤษฎีความไหวของไอ

(Boyle's Law and the Kinetic Theory of Gases)

ไอประกอบด้วยอนุภาคเคลื่อนที่ภายในภาชนะที่ได้ใส่ได้สะดวก
 เมื่ออนุภาคกระทบผนังภายในภาชนะเปลี่ยนแรงขึ้น โดยกฎ
 ข้อ ๒ ของนิวตัน แรงกระทบผนังภาชนะเท่ากับอัตรา

เปลี่ยนแรงชน ถ้าอัดไฮโดรเจนปริมาณเดิม จำนวน
อนุภาค ๑ ลูกบาศก์เซนติเมตร เพิ่มขึ้นสองเท่าเดิม แรง
กระทบผนังภาชนะคือตารางเซนติเมตรก็ ๒ เท่า ฉะนั้น
ความดันของไฮโดรเจน ๒ เท่าเดิม เหตุนี้ทฤษฎีความไหวของ
ไอพิดจันกฎของบอยล์

อนุของไอกระทบกันเองด้วยมีกำลังงานต่าง ๆ กัน
แต่เมื่อเฉลี่ยแล้วเท่ากัน ถ้า m_1 และ m_2 เป็นมวลของอนุ
และ V_1 และ V_2 เป็นอัตราเร็วของอนุ กำลังงานเคลื่อนที่

$$\frac{1}{2} m_1 V_1^2 = \frac{1}{2} m_2 V_2^2$$

$$\therefore \frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{n_2}{n_1}} \quad (30)$$

๖๕. การฟุ้งของไอ (Diffusion of Gases)

ไอสื่อแพร่จากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่งโดยเร็ว เช่นปลดปล่อย
แอมโมเนียเล็กน้อยในห้องข้างหนึ่ง ไม่ช้าจะได้กลิ่น
แอมโมเนียในห้องอีกข้างหนึ่ง ทั้งนี้ตามทฤษฎีความไหว

ของไฮ อัตราเร็วของอนุแฮมโมเนียเฉลี่ยได้ ๖๐ กิโลเมตรต่อวินาที สำหรับอนุหมี ๑๕ ช. ความเร็วจริงน้อยกว่านี้ เพราะอนุกระทบกันและเปลี่ยนทิศอยู่เสมอ อัตราการฟุ้งปรุภาคกับอัตราเร็วของอนุเฉลี่ย

$$\frac{\text{อัตราการฟุ้งของไฮ A}}{\text{อัตราการฟุ้งของไฮ B}} = \sqrt{\frac{\text{ความแน่นของ B}}{\text{ความแน่นของ A}}}$$

นี่คือกฎของเกรแฮมเกี่ยวกับการฟุ้ง (Graham's law of diffusion) อัตราการฟุ้งของไฮโดรเจนในสภาพอย่างเดียวกันปรุภาคกับจำนวนโมเลกุลของไฮโดรเจนเองแล้วจะเท่ากับความแน่นของไออื่น โดยเหตุที่ออกซิเจนแน่น ๑๖ เท่าไฮโดรเจน เมื่ออนุหมีและความดันเท่ากัน ไฮโดรเจนจะฟุ้งเร็ว ๔ เท่ากับออกซิเจน หลักการใช้ในการหาความแน่นของไฮ เช่น ตัวอย่าง

อัตราการฟุ้งของ ออกซิเจน และ ไฮโดรเจนประมาณ ๕ ต่อ ๔ เพราะฉะนั้นความแน่นต้องเป็น ๑๖ ต่อ ๒๕ ถ้าอนุออกซิเจนมีสองปริมาณ อนุไฮโดรเจนต้องประกอบด้วยสามปริมาณ คือ O_2 และ O_3

๖๖. เครื่องอัดน้ำแบบบราม่า (The Hydraulic

Press, Bramah Press) ถ้าสูบใหญ่ B กับสูบเล็ก C

(รูปที่ ๗๘) ต่อกันด้วยท่อมีวาล์วเคล็ดอยู่ภายใน
ถ้าสูบเล็ก C จะทำให้สูบใหญ่ B

เกิดอนขึ้น ให้ A เป็นพื้นที่ของสูบใหญ่ และ a

เป็นพื้นที่ของสูบเล็ก และให้ P เป็นแรงกดสูบเล็ก

ความดันในวาล์วเคล็ดต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ $\frac{P}{a}$ ซึ่งแพร่

ไปทุกส่วนของวาล์วเคล็ด และแรงดันสูบใหญ่เท่ากับ

$\frac{PA}{a}$ ฉะนั้นถ้า W เป็นความต้านทาน $W = \frac{PA}{a}$ หรือ

$$\frac{W}{P} = \frac{A}{a} \quad (31)$$

ถ้าไม่มีความขัดข้อง อุปการ = $\frac{A}{a}$ ในทางปฏิบัติ สูบ

เล็กมีต้นปีด เมื่อสูบเล็กเกิดอนลงต้นวาล์วเคล็ด ต้นปีด

ให้วาล์วเคล็ดเข้าเพิ่มเติม เมื่อสูบเล็กเกิดอนขึ้น ส่วน

วัตถุเหลวที่มีความดันอยู่แล้ว ก็ถูกดันกันไว้ วัตถุเหลว
ที่ไหลมาเป็นนาหรือน้ำมัน

เครื่องชักน้ำแบบนี้ใช้ทำประโยชน์หลายอย่าง เช่นใน
การชักน้ำขึ้น ยกน้ำหนักมาก ๆ ทำการห้ามล้อของ
รถยนต์ ๑๓ ๆ บันจัน (Crane) และเลื่อนตึง (lift)
ที่ใช้เครื่องชักน้ำเป็นแรงได้ พืชของเลื่อนตึงติดกับปลาย
ก้านดกสูบใหญ่เกิดบนขนดงภายในกระบอดสูบ เมื่อน้ำ
ซึ่งมีความดันเข้าได้ดกสูบ ๆ ก็เกิดบนขน พืชของเลื่อน
ตึงกลดอยขึ้น เมื่อระบายน้ำออกจากกระบอดสูบ ดกสูบ
ก็เกิดบนดง พืชของเลื่อนตึงกาดง.

๖๗. ภาตักน้ำ (The Siphon) หดอดง ABC
(รูปที่ ๗๗) ใส่น้ำเต็ม แล้วกดทับให้ปลาย A จุ่มลง
ในน้ำ ขณะกดทับหดอดงบีบปลาย C ไว้
เมื่อเบ็ด C น้ำไหลออกตลอดเวลาที่ C ต่ำกว่าระดับน้ำ
ที่ D ให้ h เป็นระยะระหว่างระดับ D กับ C เมื่อ C บีบ
อยู่ ความดันของน้ำที่ C เท่ากับความดันของบรรยากาศ

กับน้ำสูง h ฉะนั้นเมื่อเปิด C น้ำไหลและไหลเรื่อยต่อไป ส่วนบนของหลอด B ต้องไม่สูงกว่าระดับ D เกินความสูงของน้ำถ่วงบรรยากาศ (ประมาณ ๓๐ เมตร) มิฉะนั้นกระแสน้ำจะขาดตอนและเกิดสุญญากาศที่ B วัตถุเหลวอย่างอื่นก็อาจใช้กักตุนน้ำคั่นออกเช่นเดียวกัน.

๖๘. เครื่องสูบน้ำสามัญ (The Common

Pump) ประกอบด้วยลูกสูบเคลื่อนขึ้นลงในกระบอกสูบที่ต่อกันด้วยท่อยาวในบ่อ มีดิน ๒ ชั้น (รูปที่ ๘๐) เบื้องหน้า A และ B สมมุติว่าลูกสูบอยู่ที่ก้นสูบ เมื่อยกลูกสูบขึ้น เกิดความคดในกระบอกสูบอากาศในท่อที่ยกดิน A ขึ้น และขยายตัวในกระบอกสูบ จึงดูดน้ำเข้าในท่อ เมื่อยกลูกสูบลงดิน B เบียดให้อากาศในกระบอกสูบออกทางปาก ภายหลังลูกสูบขึ้นลงหลายหน น้ำขึ้นมาเข้ากระบอกสูบ และลูกสูบยกน้ำขึ้นจนดันออกทางพวย C โดยเหตุที่เครื่องสูบน้ำชนิดนี้มีความคดจะเห็นได้ว่าดิน A ต้องไม่สูงกว่าระดับน้ำในบ่อเกินความ

สูงของน้ำด้วงบรรยากาศ (ประมาณ ๓๐ เมตร) ในทางปฏิบัติความสูงไม่เกิน ๘ เมตร เพราะอากาศย่อมรั่วผ่านดินและรอบลูกสูบ

ถ้าปากกระบอกสูบมีฝาปิด ถัดลงมีช่องต่อค้ำกันลูกสูบ อัดไม่ให้น้ำวิ่งผ่านได้ และมีท่อต่อทางน้ำออกสู่ระดับสูง พร้อมกับตัวต้นที่ปากทางออกกันน้ำไม่ให้ไหลกลับเข้ากระบอกสูบ เครื่องสูบยกน้ำ (Lifting pump) ต้องต้านทานความดันของน้ำในท่อทางออกด้วย ยิ่งสูงยิ่งมาก.

๖๕. เครื่องสูบน้ำ (The Force Pump)

(รูปที่ ๘๑) ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเครื่องสูบยกน้ำ แต่ประสิทธิภาพดีกว่า เพราะฉนวนเพียงสองแฉะไม่อุดกันลูกสูบ ลูกสูบทั้งและทางน้ำออกจากกระบอกสูบอยู่ต่ำกว่าลูกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนขึ้น สูบน้ำขึ้นมาจากบ่อ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนลง คั้นน้ำออกไปตามท่อ เครื่องสูบน้ำต้องไม่สูงกว่า ๘ เมตร จากระดับน้ำในบ่อ (๖๘ ก. ดูด้วยหน้า ๕๕.-) 56

๗๐. เครื่องสูบอากาศ (Air Pumps) มีสอง

ประเภท อัดอากาศและดูดอากาศ คือสูบอากาศเข้า และสูบ
 อากาศออก เครื่องสูบอากาศเข้าอย่างรถจักรยาน มีลูก
 สูบลวดมประกอบด้วยแหวนหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นฉนวนด้วย
 เมื่อต้นดูดสูบลูกสูบยกขึ้น อากาศเข้าในยางรถ
 จักรยาน เมื่อตั้งลูกสูบอากาศภายนอกผ่านแหวนหนึ่ง
 เข้ากระบอกลูกสูบ และดันลงดังอย่างรถจักรยาน ก็นำอากาศ
 ในยางไม่ให้ออก

เครื่องสูบอากาศออก คล้ายกับเครื่องสูบน้ำสามัญ
 ดันเข้ากระบอกลูกสูบ ถ้าให้เบ็ดเองมักไม่ทำหน้าที่แน่นอน
 ระหว่างกันกระบอกลูกสูบกับลูกสูบ เมื่อเคลื่อนเข้าสุดทางแล้ว
 ยังมีที่ซึ่งอากาศค้างอยู่ได้ไม่ออกไปหมด ประสิทธิภาพ
 จึงหย่อน เครื่องสูบอากาศออกแบบใหม่ มีไกเบ็ดบีบติด
 ลูกสูบหรือกับลูกสูบ และใช้น้ำมันฉนวนแทนที่อากาศกัน
 กระบอกลูกสูบและเห็นลูกสูบลูกสูบนำอากาศวิ่งผ่านรอบลูกสูบ
 กับพนักกระบอกลูกสูบ.

๗๐. ก. กรวยน้ำดีกักอากาศ (The Filter Pump)

(รูปที่ ๘๒) น้ำไหลลงกรวย A โดยเร็ว และออกทาง B หลอด C ค่อยกับหม้อที่ตื้นของการสูบอากาศออก เมื่อน้ำไหลลงของแคบ D ความเร็วเพิ่มขึ้น และความดันลดลง ดูอากาศเป็นฟองตามกระแสน้ำไปออกทาง B ทำให้ความดันภายในอุปกรณ์ลดลง เหลือเกือบเท่าความดันของไอน้ำ พรอทล่องสูง ๑.๕-๒ เซนติเมตร.

๗๑. อุปกรณ์สูญญากาศ (High Vacuum

Pumps) เครื่องสูบน้ำอากาศที่ใช้ลูกสูบน้อยเครื่องลดความดันในหม้อต่ำกว่าความดันของพรอทสูง ๐.๑ มิลลิเมตร เพื่อให้ใกล้เคียงสูญญากาศต้องใช้พรอทในเครื่องสูบน้ำอากาศแบบเทอเปอ (Töpler Pump)

(รูปที่ ๘๓) มีหม้อแก้ว A ข้างบนค้อยกับหลอดหนา รัดแกว่งยาวประมาณ ๑ เมตร B ปลายเปิดขึ้นเล็กน้อยในถ้วยใส่พรอท E ข้างล่างของ

A ต่อกับหลอดใหญ่ C ยาวประมาณ ๘๐ เซนติเมตร
 แล้วค้ำด้วยท่ออย่างกับหม้อไอน้ำปรอท D หม้อที่จะให้สับ
 อากาศออกจาก F เมื่อยก D ขึ้น ปรอทไหลในหลอด
 C ได้ อากาศออกจาก A ทางหลอด B ถูกกลอนที่ G
 บดกันปรอทไม่ให้ออกทาง F แล้วลด D ลง ปรอท
 ใน A ก็ลดลงเหลือแต่สุญญากาศที่วัดได้ใน A พอ
 ปรอทลดจากหลอดสามทาง H หม้อที่ต่อกับ F ก็ถึง
 กันกับ A และ อากาศบางส่วนก็ผ่าน F มาเข้าใน A ยก
 D ขึ้นอีก อุปกรณ์ที่ทำงานเช่นเดียวกัน ยกขึ้นและลด
 ลงหลายครั้ง จนความดันภายในหม้อเหลือเท่ากับความ
 ดันของปรอทสูง ๐.๐๐๐๓ มิลลิเมตร การใช้ยัดยาดไม่
 สะดวกจึงไม่ใคร่ใช้ นอกจากเมื่อต้องการสูบไอที่หา
 ยาก (Rare Gases) เพราะไอที่ออกมาทางหลอด B
 เก็บเอาได้โดยปรอท E ใช้วิธีนี้สูบไอเรเดียม สุญญา
 ภาคนี้อาจจากการใช้ปรอทที่มีไอปรอทเจืออยู่ด้วย และ
 ความดันของไอปรอทเท่ากับความดันของ ปรอทสูง
 ๐.๐๐๐๓ มิลลิเมตรสำหรับอุณหภูมิในห้องธรรมดา

ไอปรอทจะกำจัดได้โดยทำให้แข็งด้วยความเย็นของ
อากาศเหลว (Liquid Air)

บท ๑๓

สมบัติทั่วไปของสสาร

(General Properties of Matter)

๑๒. ความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อแรงหนึ่งใดทำให้วัตถุเปลี่ยนฐานหรือขนาด และเมื่อวัตถุพ้นจากการกระทำของแรงมักพยายามคืนฐานหรือขนาดเดิม สมบัติของวัตถุในการคืนตัวนี้เรียกว่าความยืดหยุ่น วัตถุเหลวและไอต้านทานการเปลี่ยนปริมาตรและมีความยืดหยุ่นปริมาตร (Volume Elasticity) เท่านั้น ไม่ต้านทานการเปลี่ยนฐานวัตถุแข็งต้านทานการเปลี่ยนทั้งฐานและปริมาตร และมีความยืดหยุ่นฐาน (Rigidity, Shear Elasticity) และความยืดหยุ่นปริมาตรด้วย จำนวนที่

$$\text{ความเครียด} = \frac{l}{L}$$

$$\text{ความเร็ว} = \frac{v}{V}$$

$$\text{ความเค้น} = \frac{F}{A}$$

วิธีการเปลี่ยนขนาดหรือต้นฐานเรียกว่าความเครียด (Strain) และแสดงด้วยอัตราส่วน เช่นตัวอย่าง ถ้าดึงวัตถุให้ยืดออก ความเครียดวัดด้วยอัตราความยาวที่ยืดออกคือความยาวเดิม และถ้าอัดกดจนให้เล็กลง ความเครียดคืออัตราปริมาณที่เปลี่ยนต่อปริมาณเดิม ความเครียดเกิดขึ้นโดยแรงหนึ่ง และแรงต่อหน่วยพื้นที่เรียกว่าความเค้น (Stress) ความเค้นในแนวมุมฉากกับพื้นที่ถูกเค้นเรียกว่าความเค้นตรงหน้า (Normal Stress) ความเค้นในแนวขนานกับพื้นที่เรียกว่าความเค้นเฉียด (Tangential Stress) ความเค้นในจุดใดจุดหนึ่งเป็นตัวอย่างของความเค้นตรงหน้า ความเค้นวัดเป็นคานยูนคือตารางเซนติเมตร

✗ กฎของฮุก (Hooke's Law):— “ความเครียด ปรากฏกับความเค้นซึ่งทำให้เกิดความเครียด ในขณะที่ความเครียดไม่มากเกินไป” สำหรับความเครียดมากเกินไป กฎของฮุกใช้ไม่ได้ และปรากฏว่าต้นฐาน

$$\frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = k = \text{Modulus}$$

เปลี่ยนไปเลย วัตถุไม่คืนขนาดและตั้งฐานเดิม เมื่อ
 คลายความเค้นแล้ว ความเครียดได้เกินขีดยืดหยุ่น
 (Elastic Limit)

ธรรมชาติของสสารยังใช้ได้ อัตราของความเค้นต่อ
 ความเครียดเป็นนิจคงที่ และเรียกว่าอัตราความยืด
 หุ่น (Modulus of Elasticity) มียุทธ์สองอัตรา
 เป็นมุต เมื่อความเค้นเป็นความดันหรือความตึงใน
 วัตถุเหลว ความเครียดเป็นปริมาณที่เปลี่ยนต่อหน่วย
 ปริมาตร และมีอัตราความยืดหยุ่นปริมาตร (Bulk
 Modulus, Volume Elasticity) ความเครียดของ
 วัตถุแข็งอย่างนี้เปลี่ยนปริมาตร โดยไม่เปลี่ยนตั้งฐาน
 เมื่อความเครียดเปลี่ยนตั้งฐานของวัตถุโดยไม่เปลี่ยน
 ปริมาตร อัตราของความเค้นต่อความเครียดเรียกว่า
 อัตราความเกร็ง (Modulus of Rigidity, Shear)
 เมื่อบิดวัตถุยาวหรือดัดความเครียดอยู่ในอัตราความ
 เกร็ง ยังมีอัตราความยืดหยุ่นที่ต่างอีกอย่างหนึ่งซึ่งใช้

$$\text{ความเค้น} = \frac{F}{A} = \frac{mg}{\pi r^2}$$



$$\Delta L = \frac{F L}{A E} = \frac{mg L}{\pi r^2 E}$$

$$\Delta L = \frac{L}{E} \frac{mg}{\pi r^2}$$

เมื่อใส่น้ำหนักในกระโถนเครื่องชั่ง ดัดเส้นนิยด

ออก และวัดด้วยแผ่นวัดส่วนดัดเทียบกับแผ่นวัดระยะ
ให้ l เป็นความยาวที่เพิ่มขึ้น และ L เป็นความยาวเดิม
ของถวดกระวาง A กับ C ฉะนั้น $\frac{1}{L}$ เป็นความเครียด
ถ้า M เป็นมวลในกระโถน และ r เป็นรัศมีหน้าตัด ของ
ถวดกดม ความเค้นเท่ากับ $Mg / \pi r^2$

$$\text{และอัตราของยังคือ } E = \frac{MgL}{\pi r^2 l} \quad (32)$$

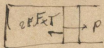
ในการปฏิบัติ M เป็นจำนวนหลายกิโลกรัม L ยาว
สองหรือสามเมตรและพื้นที่หน้าตัดของถวด πr^2 ประ
มาณครึ่งตารางมิลลิเมตร ถวดจะยืดหนึ่งหรือสอง
มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า E ต้องเป็นจำนวนใหญ่ สำหรับ
ทองเหลือง อัตราของยังประมาณ 10^{12} ดายน์ต่อตาราง
เซ็นติเมตร

เพื่อแสดงว่ากฎของฮุกใช้ไม่ได้ สำหรับความเครียด
มาก ดังถวดทองแดงที่ตะนอยจนกระทั่งขาด ผลของ
การทดลองเห็นได้จากเส้นแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความ
เค้นกับความเครียดบนกระดาษตาราง

(รูปที่ ๗๕) ธรรมชาติของยูกยังใช้ได้ OA เป็นเส้นตรง และถวดคั่นด้วยยาวเท่าเดิม เมื่อเด็กดึง สำหรับความตึงมากขึ้น AB โค้งงอ และถ้าเด็กดึงต่อนั้น จะได้เส้นตรง BC OC เป็นความเค้นยืดถาวร คือ ถวดไม่คั่นด้วยยาวเท่าเดิม เมื่อดึงอีกความตึงเพิ่มจะช้าร่อยตามเส้น CB แล้วโค้งออกไปทาง D ที่จุดหนึ่ง เช่น D ถวดขาด ความเค้นที่ D เรียกว่าความเค้นขาด (Breaking stress) หรือความเหนียว (Tenacity) ของถวด.

๗๓. ความตึงของผิว (Surface Tension)

ผิวของวัตถุเหลวในบางประการคล้ายพังผืดที่ขึงไว้พยายามหดและลดพื้นที่ลงให้น้อยที่สุด โดยเหตุที่พื้นที่ของตุลกลดน้อยที่สุดสำหรับปริมาตรเท่ากัน เช่นในอากาศจึงตกเป็นเม็ดกลม โดยเหตุเดียวกันปรอทแต้น้อยบนโต๊ะ และฟองอากาศในน้ำจึงเกือบเป็นเม็ดกลม น้ำหนักของมันเองทำให้เม็ดกลมแบน มิฉะนั้นจะเป็นเม็ด



$$F + bC = 2EF \text{ ซม}$$

$$\text{moment on line} = 2Et \times t$$

๕๐

$P = 2PE \times t$ กดมติก พลาโต (Plateau) แสดงให้เห็นเมื่อน้ำมัน

ในหลอดระดม น้ำ ซึ่งมีความแน่นเท่ากับน้ำมัน ในสภาพ
นี้ แรงดันของวัตถุเหลวคือหลอดระดม น้ำถูกกับน้ำหนัก
ของเมื่อน้ำมันพอด ซึ่งมีฐานฐานกดมทุกด้าน

ความดันของผิววัตถุเหลวเห็นได้จากฟองน้ำระดับ ให้

(รูปที่ ๔๖) ABCD เป็นดวดดงอเป็นมุมฉาก และให้
EF เป็นดวดท่อนหนึ่งเคลื่อนที่พาดบน

AB และ CD ถ้าจุ่มอุปกรณ์ในน้ำระดับด้วยขึ้นมา
ผิวฟองน้ำระดับจะกางจับรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก EBCF
ผิวฟองน้ำระดับพยายามหดตัว และถาก EF เข้าหา BC
และเพื่อบังคับ EF เคลื่อนที่ ต้องใช้แรง P จากซ้าย
ไปขวา ถ้า $P = 2T \times EF$ T เรียกว่าความดัน
ของผิวฟองน้ำระดับ เป็นแรงดันคือเซ็นติเมตร เนื่องจาก
ผิวข้างหนึ่งของฟอง เพราะ EF เป็นความยาวของดวด
และ $2EF$ เป็นความยาวของผิวสัมผัสกับดวด โดย
เหตุที่ฟองมีผิวสองข้าง ความดันของผิววัตถุเป็นคายนคู่

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_{\text{น้ำ}} \\ \rho &= 2 \text{ ๐๖ } \text{ T} \\ \rho_{\text{น้ำ}} &= 2 \text{ ๐๖ } \text{ T} \\ T &= \frac{\rho_{\text{น้ำ}}}{2 \text{ ๐๖ }} \end{aligned}$$

๕๑

เส้นตึเมตร และความตึงของผิวพองน้ำระบู่ประมาณ ๒๗
 ค่ายันต่อเส้นตึเมตร

ความตึงของพองน้ำระบู่อาจจ้งได้โดยตรง ห้อย
 (รูปที่ ๘๗) ถวดรูปสี่เหลี่ยมมมฉาก ABCD
 จากคณตราช้างหนึ่งและห้อยอนดงให้
 มิตบางส่วนในน้ำระบู่ได้ภาชนะ ซึ่งวางคร่อมกระทะตรา
 เช่นเดียวกับการข้งวัตถุข้งในน้ำ ซึ่งโครงถวดได้เท่าใด
 จดไว้ แล้วให้พองน้ำระบู่ข้งระวาง AB กับเส้นระดับ
 น้ำระบู่ EF เพื่อดวงความตึงของผิวพองน้ำระบู่ ต้อง
 เพิ่มมวดในกระทะอีกข้างหนึ่ง ให้ m กรั้มเป็นมวดที่เพิ่ม
 ข้น ความตึงของพองน้ำระบู่เท่ากับ $m g$ ค่ายัน $2 A B$
 เส้นตึเมตรเป็นความยาวของพอง ฉะนั้น $m g / 2 A B$
 ค่ายันต่อเส้นตึเมตร เป็นความตึงของผิว

๗๔. การลามข้นของวัตถุเหลวในหลอดรูปเล็ก

(Rise of Liquid in a Capillary Tube) เราได้
 เรียนแล้วว่าผิวพื้นบหนวัตถุเหลวในภาชนะเบ็ดนี้รพบได้

$$h = \frac{2 \times 75}{981 \times 0.01} \text{ หรือประมาณ } ๓๕ \text{ เซนติเมตร}$$

การวัดวัตถุเหลวของกระตาศซี่บ, ทราบละเอียดและดิน
เผาไม่เกิดข้อสงสัยการตามของวัตถุเหลวชั้นรูเล็กๆ ใน
วัตถุแข็งนั้น ได้ตะเกียงกเป็นตัวอย่างอีกอันหนึ่ง เมื่อ
มุมตะข ใหญ่กว่า ๙๐° เช่น สำหรับปรอท $\cos \theta$ เป็น
จำนวนลบ และ h จึงเป็นจำนวนลบ คือวัตถุเหลวใน
(รูปที่ ๘๘ ข) หลุดตกกตกลงต่ำกว่าระดับของวัตถุ
เหลวภายนอก เพราะเหตุนี้วัตถุพรม
เช่น กระตาศซี่บจึงไม่คุดปรอท.

๘๕. ความหนืด (Viscosity) เมื่อเทน้ำลงใน
กรวยน้ำไหลออกโดยเร็ว กติเชอรันหรือน้ำมันข้นไหล
ผ่านกรวยเดียวกันช้ากว่า และแตงเมี่ยงไหลช้ากว่ามาก
วัตถุเหลวเหล่านี้ต่างกันในความหนืด ถ้าอุณหภูมิของ
วัตถุเหนียว เช่น น้ำมันข้นสูงขึ้นความหนืดลดลง คือวัตถุ
เหลวเมื่อร้อนขึ้นไหลสะดวกกว่าเมื่อเย็นอยู่

ปริมาตรของวัตถุเมื่อผ่านท่อที่มี α ของท่อของเหลวที่ 100 m/s

$$\sqrt{\alpha} \frac{(P_1 - P_2) \rho}{2 \gamma}$$

๕๕

$$\begin{array}{cc} \alpha & \frac{1}{2} \\ \alpha & \frac{1}{8} \end{array}$$

เมื่อวัตถุเหลวไหลเรื่อยในหลอด ปริมาตรของวัตถุ
เหลวผ่านคือวินาทีที่ปรากฏกับความดันของวัตถุเหลวที่
ปลายหลอดต้องต่างกัน และรัศมีของหลอดกำลังดี
ปรากฏกลับกับความยาวของหลอด และจำนวนที่เรียก
ว่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของวัตถุเหลว

โดยเหตุที่อัตราไหลของวัตถุเหลว ปรากฏกับรัศมี
ของหลอดกำลังดี การเพิ่มรัศมีของหลอดเล็กน้อยทำ
ให้วัตถุเหลวผ่านมากขึ้นมาก เพื่อเป็นตัวอย่าง ถ้าเปลี่ยน
ท่อขนาดโต ๒๕ เซนติเมตร ด้วยขนาดโต ๓๐ เซนติ
เมตร ตามเส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนที่จ่ายในระยะ
เวลาเท่ากัน มากกว่าสองเท่า เพราะกำลังดีของ $\frac{30}{25}$
ประมาณ ๒.๓ โดยเหตุเดียวกัน การลดขนาดท่อจะ
เล็กน้อยจากจำนวนน้ำไหลลง.

๖๕ ก. งานต้านความดันของวัตถุเหลวหรือไอ

(Work Done Against Fluid Pressure) สมมติว่า
พื้นที่ A ของลูกสูบดันวัตถุเหลวออกจากกระบอกสูบด้วย

ความดัน p ซึ่งเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ ฉะนั้นแรงทั้งหมดเท่ากับ $p A$ และงานที่ได้ทำเมื่อลูกสูบเคลื่อนระยะ x เท่ากับ $p A x$ แต่ $A x$ เป็นปริมาตร v ของวัตถุเหลวที่ออกมาจากกระบอกสูบ เพราะฉะนั้นงานที่ได้ทำเท่ากับ $p v$ ถ้า p วัดเป็นดายน์ต่อตารางเซนติเมตร และ v เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร งานที่ได้ทำจะเป็นจำนวนเออร์ก

ตัวอย่าง หัวใจแบ่งโลหิต ๘๐ ลูกบาศก์เซนติเมตร ทุกจังหวะ ด้วยความดันเท่ากับปรอทถ่วงสูง ๑๐ เซนติเมตร ชพจรเต้น ๗๒ ครั้งต่อนาที คำนวณอัตราที่หัวใจทำงานเป็นวัตต์ (ความแน่นของปรอท = ๑๓.๖ กรัมต่อตารางเซนติเมตร) $g = 981$ ซม./วินาที^๒ ความดัน

$$= 10 \times 13.6 \times 981 = 1.335 \times 10^5 \text{ ดายน์/ซม.}^2$$

$$\therefore \text{งานทำต่อจังหวะ} = 80 \times 1.335 \times 10^5 \text{ เออร์ก}$$

$$\therefore \text{งานทำต่อวินาที} = \frac{72 \times 80 \times 1.335 \times 10^5}{60} \text{ เออร์ก/วินาที}$$

$$= \frac{72 \times 80 \times 1.335 \times 10^5}{60 \times 10^7} \text{ วัตต์} = 1.28 \text{ วัตต์}$$





พิมพ์ที่โรงพิมพ์ กรุงเทพบรรณาการ ถนนเจริญกรุง พระนคร
ขุนวาท์บุรารักษ์ ผู้พิมพ์โฆษณา

พ. ศ. ๒๔๘๓