บทที่ 1

หน่วย การวัด และเวกเตอร์

วิชาฟิสิกส์คือการทำความเข้าใจธรรมชาติในเชิงปริมาณ โดยการสังเกตธรรมชาติ การตั้งสมมติฐาน และทำการทดลอง มีการบันทึกผลและวิเคราะห์ผลที่ได้ด้วยคณิตศาสตร์ มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาทฤษฎีที่อาจนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

1.1 มาตราวัดและหน่วยมาตรฐาน

มาตราชั่ง ตวง วัดของไทย

ในอดีตมนุษย์เริ่มรู้จักนับวัตถุสิ่งของ สัตว์เลี้ยงด้วยการนับนิ้วมือ ต่อมาพัฒนาไปเป็นนับด้วยก้อนดิน การขีดหรือแกะสลักบนต้นไม้ หรือผนังถ้ำ ผลจากการติดต่อค้าขาย ทำให้ต้องมีการเปรียบเทียบขนาด น้ำหนัก ฯลฯ เพื่อการแลกเปลี่ยนซื้อขายสินค้า จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดการนับ ให้รู้และใช้ร่วมกันในสังคม

สังคมและชุมชนหนึ่งๆมีการกำหนดใช้การนับและการวัด สืบทอดต่อกันมาเป็นประเพณี เรียกว่าเป็น *หน่วยตามประเพณี* (*Customary units*) ซึ่งเป็นหน่วยที่วัดหรือนับจากจากร่างกายมนุษย์ หรือสิ่งของที่หาได้ง่ายใกล้ตัว ผูกพันกับวิถีชีวิตในยุคเกษตรกรรมอย่างแน่นแฟ้น สังเกตได้อย่างดีกับสังคมเกษตรของไทย ดังมาตราชั่ง ตวง วัดของไทยในอดีตบางมาตรา ตามตารางที่ 1.1 ซึ่งจะเห็นอย่างชัดเจนว่าระบบการนับยังไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ยังมีการนับจำนวนครบ 2, 4, 5, 8, 12 เป็นต้น ทำให้ยากต่อการจดจำและใช้เป็นมาตรฐานในวงกว้าง

ต่อมามีการพัฒนาเทคนิคการวัดให้เพียงพอต่อความจำเป็นในวิถีชีวิต โดยอาจมีการหยิบยืมความคิดและแลกเปลี่ยนกันระหว่างอารยธรรม เมื่อมีการติดต่อค้าขายระหว่างชุมชน หรือเมื่ออารยธรรมใดขยายตัวมีอิทธิพลครอบครองอาณาบริเวณมากขึ้น ความจำเป็นในการหาหน่วยที่สามารถนำมาใช้เป็นมาตรฐานก็เพิ่มมากขึ้น

ระบบเมตริกและหน่วยมาตรฐาน

เมื่อมนุษย์มีความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์มากขึ้น สามารถพัฒนาความละเอียดแม่นยำของการวัดไปพร้อมๆ กับการปรับเปลี่ยนความหมายของหน่วยให้ลงร่องอยู่ในระบบเดียวกันและเป็นสากลมากขึ้น

มาตราวัดระยะ	มาตราตวง	มาตราชั่งน้ำหนัก
8 ปรมาณู เป็น 1 อณู	150 เมล็ดข้าว เป็น 1 ใจมือ	2 กล่อม เป็น 1 กุเล่า
5 อณู เป็น 1 ธุลี	4 ใจมือ เป็น 1 กำมือ	2 กุเล่า เป็น 1 ไพ
8 ธุลี เป็น 1 เส้นผม	8 กำมือ เป็น 1 จังวอน	4 ไพ เป็น 1 เฟื้อง
8 เส้นผม เป็น 1 ไข่เหา	2 จังวอน เป็น 1 แล่ง	2 เฟื้อง เป็น 1 สลึง
8 ไข่เหา เป็น 1 ตัวเหา	2 แล่ง เป็น 1 ทะนาน	4 สลึง เป็น 1 บาท
8 ตัวเหา เป็น 1 เม็ดข้าว	20 ทะนาน เป็น 1 ถัง	4 บาท เป็น 1 ตำลึง
8 เม็ดข้าว เป็น 1 นิ้ว	50 ถัง เป็น 1 บั้น	20 ตำลึง เป็น 1 ชั่ง
12 นิ้ว เป็น 1 คืบ	2 บั้น เป็น 1 เกวียน	20 ชั่ง เป็น 1 ดุน (ตุล, ดุล)
2 คืบ เป็น 1 ศอก		20 ดุน เป็น 1 ภารา
4 ศอก เป็น 1 วา		
20 วา เป็น 1 เส้น		
400 เส้น เป็น 1 โยชน์		

ตารางที่ 1.1 มาตราชั่ง ตวง วัด ของไทยในอดีต [1]

ในปี พ.ศ. 2334 (ค.ศ. 1791) นักวิทยาศาสตร์ได้คิดพัฒนาระบบเมตริก (metric system) ขึ้นระบบเมตริก เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้ง่าย เป็นระบบของเลขฐานสิบ หน่วยที่ได้รับการนิยามขึ้นในระบบเมตริกนี้ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ ให้เป็น *หน่วยมาตรฐาน (Standard Units)* และเรียกระบบหน่วยมาตรฐานนี้ว่า ระบบหน่วย SI (Système International d'Unites)

หน่วยมาตรฐานนี้ยังแบ่งออกเป็น *หน่วยพื้นฐาน (Basic Units)* และ*หน่วยอนุพัทธ์ (Derived Units)* โดยในระบบเมตริกมี 7 หน่วยพื้นฐาน ขณะที่หน่วยตามประเพณีอาจมีมากกว่า 20 หน่วยพื้นฐาน สังเกตได้จากตารางที่ 1.1

สำหรับประเทศไทย ได้ยอมรับและใช้หน่วย SI ในระบบเมตริกนี้ เมื่อมีพระราชบัญญัติ มาตรา ชั่ง ตวง วัด พุทธศักราช 2466 ขึ้นในสมัยรัชกาลที่หก โดยบันทึกเหตุไว้ในคำปรารภว่า [1]

``พระราชอาณาจักรไทยในเวลานี้ ไม่มีวิธี ชั่ง ตวง วัด เป็นสมานรูป ซึ่งกำหนดเป็นมาตรา และบัญญัติเป็นกฎหมาย สมควรจะมีวิธี เช่นที่กล่าวนี้ขึ้น"

``อนึ่งวิธี ชั่ง ตวง วัด ของประเทศไทยนั้น ควรอนุโลมตาม วิธีแห่งนานาประเทศ สุดแต่จะสมกับความประสงค์ภายใน พระราชอาณาจักร และวิธีเมตริกนั้นปรากฏว่าได้ใช้กันไพศาลแล้ว"

``จึงให้ใช้วิธี ชั่ง ตวง วัด ของประเทศไทยให้เป็นวิธีเมตริก กับให้รวมจำนวนหน่วยที่เป็นประเพณีบางอย่าง ซึ่งได้ดัดแปลงเข้าหาวิธีเมตริกแล้วนั้น" ``หากผู้ใดไม่ปฏิบัติตามย่อมมีความผิดตามกฎหมาย"

ต่อมาได้มีการปรับปรุงพระราชบัญญัติฉบับดังกล่าวให้มีความทันสมัยขึ้นตามยุคสมัย ดังเห็นได้จากพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ.2542 ในรัชกาลปัจจุบัน

หน่วยในระบบเมตริกนี้ถือเป็นสากลดังที่กล่าวมาแล้ว มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในด้านการติดต่อค้าขาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการศึกษาวิทยาการ ดังนั้นการศึกษาและความเข้าใจเรื่องหน่วยของการวัดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาวิชาฟิสิกส์

หน่วยพื้นฐาน (Basic Units)

หน่วยพื้นฐานเป็นหน่วยที่ถูกสร้างขึ้นจากการนิยาม และการตกลงยอมรับทั่วไปเพื่อบ่งชี้ขนาดของปริมาณที่ถูกวัด แต่เมื่อความละเอียดในการวัดสูงขึ้น นิยามของหน่วยเหล่านี้ก็เปลี่ยนไปตามแต่เทคนิคที่ใช้วัด ตารางที่ 1.2 แสดงถึงหน่วยพื้นฐานในระบบ SI ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวัดในระบบเมตริก

ปริมาณ	หน่วย
ความยาว (Length)	เมตร (metre), m
มวล (Mass)	กิโลกรัม (kilogram), kg
เวลา (Time)	วินาที (second), s
กระแสไฟฟ้า (Electric current)	แอมแปร์ (ampere), A
อุณหภูมิ (Thermodynamic temperature)	เคลวิน (kelvin), K
ปริมาณทางเคมี (Amount of substance)	โมล (mole), mol
ความเข้มแสง (Luminous intensity)	แคนเดลลา (candela), cd

ตารางที่ 1.2 หน่วยพื้นฐานในระบบ SI

นอกจากนี้ ได้มีการกำหนดมาตรฐานของความยาว มวล และเวลา ให้เป็นสากล ดังนี้

<u>ความยาว: เมตร (Length: metre, m)</u>

ความยาวมาตรฐาน 1 เมตรคือความยาวของแท่งโลหะอัลลอยแพลตตินัม-อิริเดียม แท่งที่ถูกรักษาที่ *International Bureau of Weights and Measures* ประเทศฝรั่งเศษ โดยที่นิยามของความยาว 1 เมตร คือระยะทางที่แสงเดินทางในสูญญกาศ ในช่วงเวลา 1/299,792,458 วินาที

<u>มวล: กิโลกรัม (Mass: kilogram, kg)</u>

มวล 1 กิโลกรัมคือมวลของโลหะอัลลอยแพลตตินัม-อิริเดียม ก้อนที่ถูกเก็บรักษาที่ *International Bureau of Weights and Measures* ประเทศฝรั่งเศษ

<u>เวลา: วินาที (Time: second, s)</u>

เวลา 1 วินาทีคือค่า 9,192,631,770 เท่าของคาบเวลาของคลื่นไมโครเวฟที่แผ่รังสีออกมาจากอะตอม Cesium-133 ซึ่งถูกใช้เป็นมาตรฐานเวลาของ *นาฬิการเชิงอะตอม (atomic clock)*

หน่วยอนุพัทธ์ (Derived Units)

หน่วยอนุพัทธ์คือหน่วยที่มีสืบทอดจากการหน่วยพื้นฐานหลายหน่วย เช่น ปริมาตร ความหนาแน่น น้ำหนัก อัตราเร็ว ฯลฯ ตัวอย่างการสืบทอดหน่วยของหน่วยอนุพัทธ์จากหน่วยพื้นฐานของปริมาณต่างๆ แสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

<u>ปริมาตร</u> มีการสืบทอดจากหน่วยความยาวเป็น *ลูกบากศ์เมตร* (m^3)

<u>อัตราเร็วและความเร็ว</u> มีการสืบทอดจากหน่วยความยาวและเวลาเป็น *เมตรต่อวินาที* (m/s)

<u>ความหนาแน่น</u> มีการสืบทอดหน่วยมวลและความยาวเป็น *กิโลกรัมต่อลูกบากศ์เมตร* (kg/m^3)

<u>น้ำหนัก</u> มีการสืบทอดจากหน่วยมวล ความยาวและเวลาเป็น *นิวตัน* (N หรือ $kg \cdot m/s^2$)

1.2 ตัวพหุคูณและคำอุปสรรค

ตัวพหุคูณ

มีการใช้ตัวพหุคูณ (เลขสิบยกกำลัง) เพื่อลดความยุ่งยากในการเขียนเลขที่มีขนาดมากๆ หรือน้อยๆ ของปริมาณต่างๆ ตัวอย่างการใช้ตัวพหุคูณเป็นดังนี้

3,000,000 เขียนในรูปพหุคูณเป็น 3×10^{6}

3,000 เขียนในรูปพหุคูณเป็น 3×10^{3}

0.03 เขียนในรูปพหุคูณเป็น 3×10^{-2}

ค่าประมาณของความยาว มวลและเวลาในช่วงกว้างที่น่าสนใจ ที่ถูกระบุด้วยตัวพหุคูณ แสดงดังตารางที่ 1.3, 1.4 และ 1.5

	ความยาว (m)
ระยะทางจากโลกถึงกาแลคซีขนาดใหญ่ที่ใกล้สุด	2×10^{22}
ระยะทางหนึ่งปีแสง	9×10^{15}
รัศมีวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	2×10^{11}
ระยะเฉลี่ยจากโลกถึงดวงจันทร์	4×10^{8}
รัศมีเฉลี่ยของโลก	6×10^{6}
ความสูงเฉลี่ยของดาวเทียมไทพัฒวัดจากผิวโลก	8×10^{5}
ความยาวสนามฟุตบอล	9×10^{1}
ความยาวของแมลงวัน	5×10^{-3}
เซลล์ของสิ่งมีชีวิต	1×10^{-5}
เส้นผ่านศูนย์กลางของอะตอมไฮโดรเจน	1×10^{-10}
เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคโปรตอน	1×10^{-15}

ตารางที่ 1.3 การประมาณค่าความยาวในช่วงกว้าง

	มวล (kg)
กาแลคซีทางช้างเผือก	10^{42}
ดวงอาทิตย์	2×10^{30}
โลก	6×10^{24}
ดวงจันทร์	7×10^{22}
รถเก๋ง	1×10^{3}
มนุษย์	7×10^{1}
อึ่งอ่าง	2×10^{-1}
ยุง	1×10^{-5}
แบคทีเรีย	1×10^{-15}
อะตอมไฮโดรเจน	2×10^{-27}
อิเล็กตรอน	9×10^{-31}

ตารางที่ 1.4 การประมาณค่ามวลของวัตถุในช่วงกว้าง

	ช่วงเวลา (s)
อายุของจักรวาล	5×10^{17}
อายุของโลก	1×10^{17}
อายุเฉลี่ยของนักศึกษา	6×10^{8}
หนึ่งปี	3×10^{7}
หนึ่งวัน	9×10^{4}
เวลาของการเต้นหัวใจแต่ละครั้ง	8×10^{-1}
คาบการสั่นของอะตอมในของแข็ง	1×10^{-13}
คาบของคลื่นแสงที่ตามองเห็น	2×10^{-15}

ตารางที่ 1.5 การประมาณค่าเวลาในช่วงกว้าง

คำอุปสรรค (Prefixes)

คำอุปสรรคคือคำหรือสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวพหุคูณ (เลขสิบยกกำลัง) เพื่อลดความยุ่งยากในการเขียนเลขที่มีขนาดมากๆ หรือน้อยๆ คำอุปสรรคที่ใช้ทั่วไปแสดงดังตาราง 1.6

พหุคูณ	คำอุปสรรค	สัญลักษณ์	พหุคูณ	คำอุปสรรค	สัญลักษณ์
10^{-18}	atto-	a	10^{18}	exa-	E
10^{-15}	femto-	f	10^{15}	peta-	P
10^{-12}	pico-	p	10^{12}	terra-	T
10^{-9}	nano-	n	10^{9}	giga-	G
10^{-6}	micro-	μ	10^{6}	mega-	M
10^{-3}	milli-	m	10^{3}	kilo-	k
10^{-2}	centi-	c	10^{2}	hecto-	h
10^{-1}	deci-	d	10^{-1}	deka-	da

ตารางที่ 1.6 คำอุปสรรคที่ใช้แทนพหุคูณ

การใช้คำอุปสรรค

1. เมื่อใช้คำอุปสรรคแทนตัวพหุคูณ จะต้องเขียนคำอุปสรรคไว้ข้างหน้าหน่วยเสมอ
2. เมื่อปริมาณใดๆมีค่ามากหรือน้อยเกินไป ควรเขียนในรูปของคำอุปสรรค เช่น กระแสไฟฟ้า 0.000008 A ให้เขียนเป็น 8 μA เป็นต้น
3. ไม่เขียนคำอุปสรรคซ้อนกัน เช่น ความยาว 7×10^{-9} m ไม่ควรเขียน 7 μmm แต่ให้เขียนเป็น 7 nm

กรณีที่หน่วยมีเลขยกกำลัง เช่นหน่วยของพื้นที่หรือปริมาตร ต้องไม่เขียนเลขยกกำลังที่คำอุปสรรคซึ่งอยู่หน้าหน่วย เช่น พื้นที่ 5 ตารางมิลลิเมตร ให้เขียนเป็น 5 mm^2

1.3 ความแม่นยำในการวัด

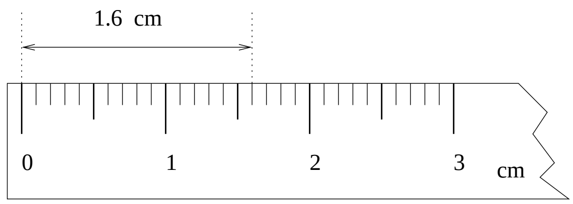
ผลจากการนับ เช่น การนับจำนวนผู้เข้าร่วมประชุม จำนวนผลส้มในตะกร้า จำนวนหนังสือบนชั้น ฯลฯ จะมีความแน่นอนและเป็นจำนวนเต็มเสมอ ซึ่งแตกต่างจากการวัด โดยที่การวัดแต่ละครั้งจะมีขีดจำกัดของความแม่นยำในการวัด ขึ้นกับความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้วัด เช่นการใช้ไม้บรรทัดในการวัดความกว้างยาวของหนังสือ การใช้ไมโครมิเตอร์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด เป็นต้น

ขีดจำกัดของความแม่นยำในการวัดหรือขีดจำกัดของเครื่องมือวัด เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ว่าแม้ผู้วัดจะพยายามเพียงไร และไม่มีความผิดพลาดใดๆเกิดขึ้นในขั้นตอนการวัด จะเกิดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัดเสมอ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดจะมีค่าได้น้อยสุดเป็นค่าโดยตรงกับสเกลที่ละเอียดสุดของเครื่องมือวัดนั้น หรือ

ค่าความคลาดเคลื่อน $= \pm$ สเกลที่เล็กที่สุดของเครื่องมือวัด

จากการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนนี้ ถ้าการวัดครั้งหนึ่งใช้ไม้บรรทัดที่มีสเกลละเอียดสุด 1 มิลลิเมตร จะเกิดความคลาดเคลื่อน ± 1 mm และอ่านค่าจากสเกลบนไม้บรรทัดได้ค่า 52 mm ค่าความยาวที่ได้จากการวัดครั้งนี้จะบันทึกได้เป็น 52.0 ± 1 mm หรือมีค่าอยู่ในช่วง 51 ถึง 53 mm เป็นต้น

ตัวอย่าง 1.1 ให้ระบุค่าที่ได้จากการใช้ไม้บรรทัดวัดระยะห่างระหว่างเส้นไข่ปลาทั้งสอง



คำตอบ ไม้บรรทัดมีความขีดจำกัดของความแม่นยำในการวัดหรือความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 0.1 cm ดังนั้นค่าระยะที่วัดได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.5 cm ถึง 1.7 cm หรือเขียนได้ในรูป 1.6 ± 0.1 cm

---

1.4 เลขนัยสำคัญ

เมื่อมีการวัดปริมาณใดในการทดลองครั้งหนึ่ง ปริมาณที่ถูกวัดจะมีค่าอยู่ในช่วงของความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในการทดลอง เช่น คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้วัด ความชำนาญของผู้ทำการทดลอง และจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

สมมติการทดลองในห้องปฏิบัติการ มีการวัดพื้นที่ของกระดาษสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยไม้เมตร โดยมีการกำหนดความแม่นยำของไม้เมตรอันนี้ในการวัดความยาวในแต่ละด้านมีค่า ± 0.1 cm ถ้าวัดด้านยาวของกระดาษได้ค่า 14.7 cm เราจะสามารถระบุได้เพียงว่าด้านยาวมีความยาวอยู่ระหว่าง 14.6 cm และ 14.8 cm ในกรณีนี้ค่าที่วัดได้มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 3 ทำนองเดียวกันถ้าวัดด้านกว้างของกระดาษได้ 5.2 cm ค่าที่แท้จริงจะอยู่ระหว่าง 5.1 cm และ 5.3 cm ค่าที่วัดได้นี้มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 2 ดังนั้นค่าความกว้างและความยาวของกระดาษ จะถูกเขียนได้เป็น 14.7 ± 0.1 cm และ 5.2 ± 0.1 cm

เมื่อต้องการหาพื้นที่ของกระดาษดังกล่าวโดยการคูณตัวเลขที่ได้จากการวัดทั้งสอง ถ้าเราระบุว่าพื้นที่มีค่าเท่ากับ (14.7 cm)(5.2 cm)= 76.44 cm^2 คำตอบนี้จะไม่ถูกต้องเมื่อเราพิจารณาถึงเลขนัยสำคัญของค่าที่

วัดได้ทั้งสอง เนื่องจากคำตอบที่ได้มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 ซึ่งมากกว่าเลขนัยสำคัญของค่าที่วัดได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้

ถ้าจะให้ได้ค่าที่ถูกต้องนั้นจะต้องคำนวณตามหลักนี้ **เมื่อมีการคูณหลายปริมาณเข้าด้วยกัน เลขนัยสำคัญของคำตอบสุดท้ายจะต้องเท่ากับเลขนัยสำคัญของปริมาณที่คูณที่มีค่าความแม่นยำน้อยที่สุด โดยปริมาณที่มีค่าความแม่นยำน้อยสุดหมายถึงมีเลขนัยสำคัญต่ำที่สุด กฎนี้ใช้ได้กับการหารด้วย**

ใช้หลักนี้กับตัวอย่างการวัดพื้นที่ของกระดาษข้างต้น ค่าพื้นที่ควรจะมีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 2 เพราะว่าด้าน 5.2 cm มีเลขนัยสำคัญเป็น 2 ดังนั้นคำตอบควรจะมีค่า 76 cm^2 ซึ่งตรงกับความเป็นจริงที่ค่าพื้นที่นี้ก็ควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง (14.6 cm)(5.1 cm)= 74 cm^2 และ (14.8 cm)(5.3 cm)= 78 cm^2

เลขศูนย์ในตัวเลขบางชุดอาจถูกระบุเป็นเลขนัยสำคัญหรือไม่ก็ได้แล้วแต่กรณี เช่น กรณี 0.01 หรือ 0.00054 เลขศูนย์ที่ปรากฏหลังจุดทศนิยม ไม่ถือว่ามีผลต่อนัยสำคัญของค่าที่ระบุ ดังนั้นตัวเลขชุดนี้มีเลขนัยสำคัญคือ 1 และ 2 ตามลำดับ แต่เมื่อเลขศูนย์ตามหลังเลขหลักอื่นๆ อาจทำให้มีการตีความหมายหรือนัยสำคัญของค่าดังกล่าวผิดไปได้ เช่นว่า ถ้ากำหนดมวลของวัตถุเป็น 1,800 kg จะทำให้การระบุค่าที่แน่นอนนั้นคลุมเครือ เพราะเราไม่อาจทราบได้ว่าเลขศูนย์ถูกนำมาใช้เพื่อการกำหนดหลักของตัวเลข หรือว่านำมาใช้กำหนดเลขนัยสำคัญในการวัด เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการระบุตัวเลขดังกล่าว จึงนิยมใช้ตัวพหุคูณเพื่อแสดงของเลขนัยสำคัญ เช่นดังตัวอย่างนี้ เราระบุค่ามวลเป็น 1.8×10^3 kg ถ้าการวัดให้เลขนัยสำคัญเป็น 2 และ 1.8×10^3 kg มีเลขนัยสำคัญเป็น 3 และ 1.80×10^3 kg มีเลขนัยสำคัญเป็น 4 เป็นต้น

ทำนองเดียวกันค่า 0.0018 ควรจะแสดงด้วย 1.80×10^{-3} มีเลขนัยสำคัญเป็น 2 และ 1.80×10^{-3} มีเลขนัยสำคัญเป็น 3 โดยที่เลขศูนย์สองตัวหลังจุดทศนิยมและอยู่หน้าเลข 1 ใน 0.0018 ไม่มีผลต่อเลขนัยสำคัญ เพราะถูกนำมาใช้เพียงเพื่อแสดงตำแหน่งของทศนิยม สำหรับการบวกและลบ เราจะใช้จำนวนหลักของตัวเลขในการพิจารณาเลขนัยสำคัญที่จะระบุในคำตอบ **เมื่อมีการบวกหรือลบ จำนวนหลักของตัวเลขที่เป็นคำตอบควรจะตรงกับจำนวนหลักที่น้อยที่สุดของตัวเลขที่ทำการบวกหรือลบนั้น** เช่น การบวก $149+3.24$ คำตอบคือ 152 ไม่ใช่ 152.24 และการบวก $1.002+0.009=1.011$ คำตอบที่ได้ ให้จำนวนหลักของตัวเลขที่ถูกต้อง และมีเลขนัยสำคัญคือ 4 แม้ว่าเลขนัยสำคัญของ 0.009 จะเท่ากับ 1 ก็ตาม ทำนองเดียวกัน ถ้าเราทำการลบ $1.01-0.96=0.05$ คำตอบที่ได้มีเลขนัยสำคัญ 1 แม้ว่าเทอมที่ลบกันจะมีเลขนัยสำคัญ 3 และ 2

ตัวอย่าง 1.2 วัดพื้นที่ของสนามแห่งหนึ่งเพื่อปูหญ้า วัดความยาวได้ 11.96 m และความกว้างได้ 4.12 m ให้ระบุค่าพื้นที่ที่ได้จากการวัดนี้

คำตอบ ถ้าเราคูณตัวเลข 11.96 m และ 4.12 m โดยตรงโดยใช้เครื่องคิดเลข คำตอบที่ได้มีค่าเท่ากับ 49.2720 m^2 แต่จากหลักการพิจารณาเลขนัยสำคัญสำหรับการคูณที่ผ่านมา คำตอบที่ได้จะมีเลขนัยสำคัญได้เพียงเท่ากับจำนวนที่มีความแม่นยำต่ำสุดหรือมีเลขนัยสำคัญน้อยสุดนั่นเอง ซึ่งได้แก่ค่าที่ระบุในด้านกว้าง คือ 4.12 ดังนั้นคำตอบที่ได้ควรมีค่า **49.3** m^2 จากคำตอบนี้ น่าสังเกตว่าเราใช้การปัดเศษกับเลขทศนิยม กล่าวคือ ถ้าค่าตัวเลขที่อยู่หลังตำแหน่งที่ต้องการ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 ให้ปัดค่าที่ตำแหน่งก่อนหน้าขึ้น 1

1.5 ระบบพิกัด

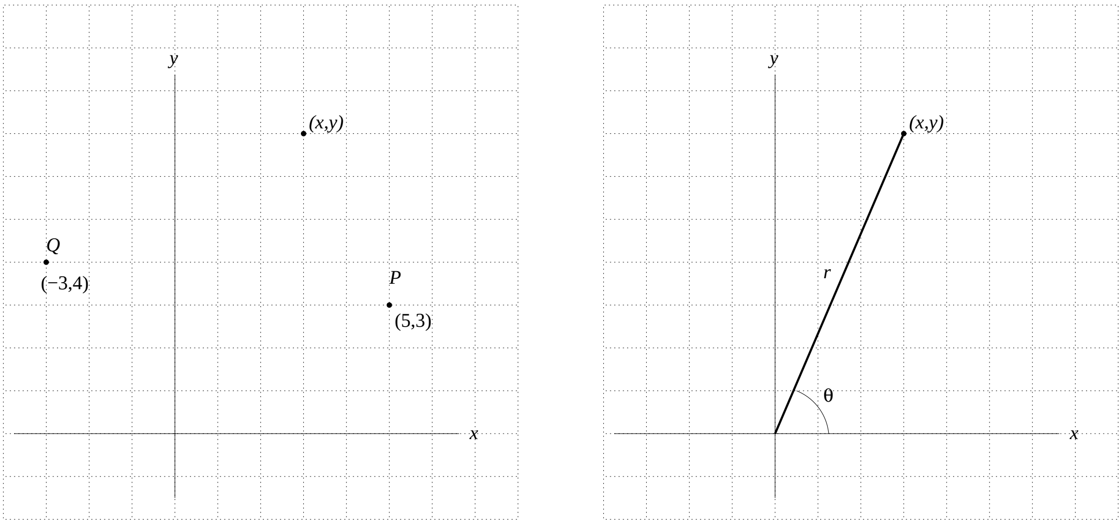
ระบบพิกัด

ในการศึกษาวิชาฟิสิกส์ ระบบพิกัดถูกนำมาใช้เพื่อการกำหนดตำแหน่งของวัตถุ อนุภาค หรือสิ่งที่สนใจเป็นจุดในอวกาศ ระบบพิกัดที่นิยมใช้ได้แก่ ระบบพิกัดฉากหรือระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (rectangular or cartesian coordiante system) และระบบพิกัดเชิงขั้ว (polar coordiante system)

การระบุตำแหน่งของจุดในระบบพิกัดฉากจะเป็น (x, y) ค่าบวก x จะอยู่ทางขวาของจุดกำเนิด และค่าบวก y จะอยู่ด้านบนของจุดกำเนิด ตัวอย่างการระบุตำแหน่ง เช่นจุดตำแหน่ง (-3,4), (5,3) ตามรูปที่ 1.1

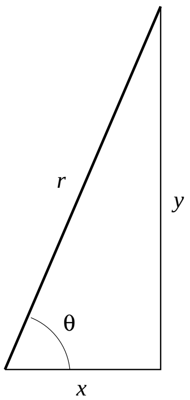
ในบางกรณี ระบบพิกัดเชิงขั้วจะสะดวกกับการระบุตำแหน่งมากกว่าระบบฉาก โดย r คือความยาวของเส้นตรงจากจุดกำเนิดถึงจุดที่ถูกระบุตำแหน่ง และ θ คือมุมที่เส้นตรงทำกับแกน x บวก โดย θ วัดตามเข็มนาฬิกาจากแกน x ตามรูปที่ 1.1ข

พิจารณาด้าน r ในระบบพิกัดเชิงขั้ว เชื่อมโยงกับตำแหน่งของจุดปลาย (x, y) เกิดเป็นสามเหลี่ยมมุมฉากในรูปที่ 1.2 และได้ว่า $\sin\theta = y/r$ และ $\cos\theta = x/r$ ระบบพิกัดเชิงขั้วจึงถูกเขียนในรูประบบพิกัดฉาก หรือเพื่อเชื่อมโยงพิกัด (x, y) ไปสู่พิกัด (r,θ) ได้ว่า



(ก) ระบบพิกัดฉาก (ข) ระบบพิกัดเชิงขั้ว

รูปที่ 1.1 ระบบพิกัดฉากและเชิงขั้ว



$$\sin\theta = \frac{y}{r}$$

$$\cos\theta = \frac{x}{r}$$

$$\tan\theta = \frac{y}{x}$$

รูปที่ 1.2 สามเหลี่ยมมุมฉากเพื่อเชื่อมโยงพิกัดเชิงขั้วกับพิกัดฉาก

$$x = r\cos\theta \text{ และ } y = r\sin\theta$$

และความยาว r หาได้จาก

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

1.6 เวกเตอร์

เวกเตอร์เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง เช่น การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง แรง น้ำหนัก เป็นต้น เวกเตอร์สองอันจะเท่ากันก็ต่อเมื่อเวกเตอร์ทั้งสองต้องมีขนาดเท่ากัน และมีทิศทางเหมือนกัน

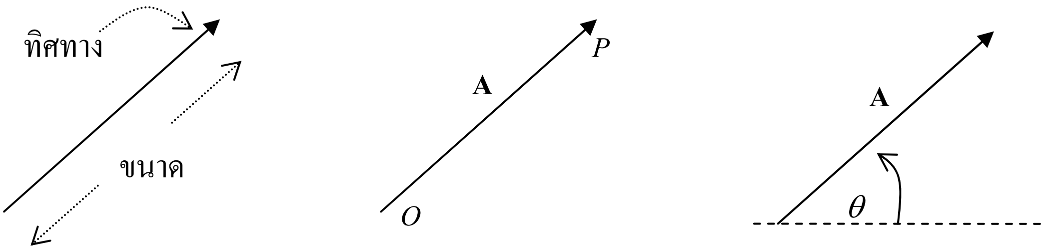
สเกลาร์เป็นปริมาณที่มีแต่เพียงขนาดเท่านั้น เช่น เวลา ระยะทาง อัตราเร็ว อัตราเร่ง มวล ความหนาแน่น เป็นต้น

(ก) จำนวนช็อกโกแลตในกล่องเป็นตัวอย่างของปริมาณ สเกลาร์

(ข) ป้ายบอกทางในอังกฤษ แสดงทิศทางและระยะทาง แสดงให้เห็นว่าปริมาณเวกเตอร์ต้องมีขนาดและทิศทาง

รูปที่ 1.3 แสดงการใช้ปริมาณสเกลาร์และเวกเตอร์

ขนาดของเวกเตอร์ ย่อมเป็นปริมาณสเกลาร์ จึงนิยมใช้คำว่า “ขนาด" หรือ “ค่า" นำหน้าปริมาณเวกเตอร์เมื่อต้องการกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็นสเกลาร์ เช่น ขนาดความเร็ว ขนาดความเร่ง ค่าการกระจัด เป็นต้น ในการระบุเวกเตอร์ด้วยรูปภาพ จะใช้เส้นตรงแทนขนาดและลูกศรแทนทิศทางของเวกเตอร์ ดังรูปที่1.4



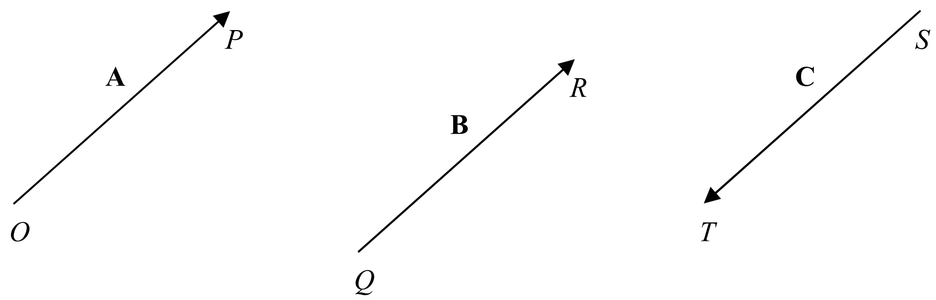
รูปที่ 1.4 เวกเตอร์ **A** หรือ เวกเตอร์ **OP**

ในการใช้สัญลักษณ์เพื่อแทนปริมาณเวกเตอร์ ถ้าเป็นการเขียนด้วยมือเราอาจใช้อักษรที่มีลูกศรกำกับด้านบน $\vec{A}$ ในหนังสือเล่มนี้เราจะใช้เป็นอักษรตัวหนาแทนปริมาณเวกเตอร์ เช่น เวกเตอร์ **A** หรือ **OP** ตามรูปที่ 1.4 โดยเราจะเรียกตำแหน่ง O ว่าส่วนหางของเวกเตอร์ และตำแหน่ง P ว่าส่วนหัวของเวกเตอร์ และเราจะใช้ตัวอักษรเอนแทนค่าหรือขนาดของเวกเตอร์นั้น เช่นเวกเตอร์ **A** มีขนาด A และเวกเตอร์ **A** มีทำมุม θ องศากับแนวราบ

เวกเตอร์เท่ากันและเวกเตอร์ตรงข้าม

เวกเตอร์สองอันจะเท่ากันก็ต่อเมื่อ เวกเตอร์ทั้งสองมีขนาดเท่ากัน มีทิศทางเดียวเหมือนกัน โดยไม่ขึ้นกับตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้าย และต้องเป็นเวกเตอร์ชนิดเดียวกัน ส่วนเวกเตอร์ตรงข้ามคือ

เวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามโดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเดียวกัน เช่น เวกเตอร์ **A** เท่ากับเวกเตอร์ **B** แต่ตรงข้ามกับเวกเตอร์ **C** ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 เวกเตอร์เท่ากันและเวกเตอร์ตรงข้าม

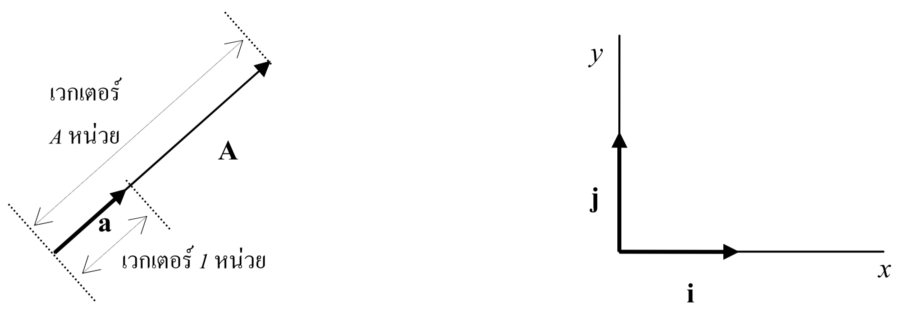
จากรูปเราเขียนเป็นสมการได้ว่า $\mathbf{A}=\mathbf{B}=-\mathbf{C}$ จะเห็นว่าเราเขียนเวกเตอร์อีกอันหนึ่ง $-\mathbf{C}$ ซึ่งก็คือเวกเตอร์ **C** นั่นเองเพียงแต่กลับทิศกัน เวกเตอร์ $-\mathbf{C}$ จึงเท่ากับเวกเตอร์ **A** และ **B** นั่นเอง

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย

เมื่อทิศทางของเวกเตอร์อันหนึ่งคงเดิม แต่ขนาดไม่เท่าเดิม เวกเตอร์นั้นเปลี่ยนแปลง มีการเลือกใช้เวกเตอร์ชนิดหนึ่งเพื่อเป็นหลักสำหรับการระบุเวกเตอร์ในทิศทางเฉพาะใดๆ เป็นเวกเตอร์ขนาดหนึ่งหน่วยในทิศทางนั้น (ดูรูป 1.6ก ประกอบ) เช่นถ้า **A** เป็นเวกเตอร์มีขนาดเท่ากับ *A* และถ้า **a** แทนเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของ **A** ดังนั้น

$$\mathbf{a}=\frac{\mathbf{A}}{A} \qquad \text{หรือ} \qquad \mathbf{A}=A\mathbf{a}$$

มีการใช้เวกเตอร์หนึ่งหน่วยให้สอดคล้องกับระบบพิกัด เช่นใช้ **i** และ **j** แทนเวกเตอร์ขนาดหนึ่งหน่วยที่มีทิศทางตามแกน x และ y ของระบบพิกัดฉาก 2 มิติ ตามลำดับ (ดูรูป 1.6ข)



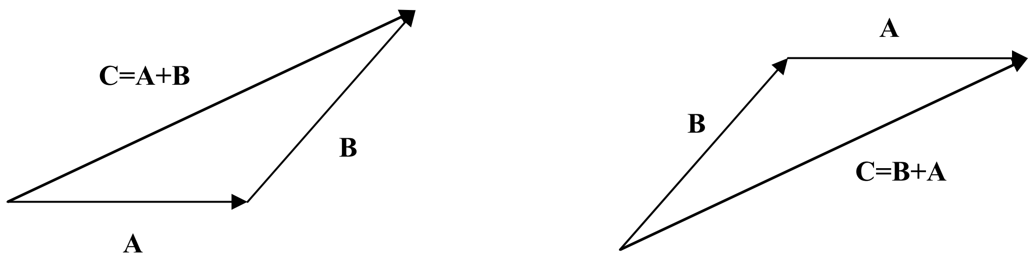
(ก) เวกเตอร์หนึ่งหน่วย (ข) เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน *x*, *y*, *z*

รูปที่ 1.6 เวกเตอร์หนึ่งหน่วยและเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน

การบวกเวกเตอร์

เวกเตอร์สองเวกเตอร์จะบวกกันได้ ต้องเป็นเวกเตอร์ชนิดเดียวกัน เช่นเราสามารถบวกเวกเตอร์การกระจัดเข้าด้วยกัน แต่เราจะบวกเวกเตอร์ความเร็วเข้ากับเวกเตอร์การกระจัดไม่ได้ เพราะเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับปริมาณสเกลาร์ ที่เราคงจะไม่บวกค่าอุณหภูมิเข้ากับพื้นที่

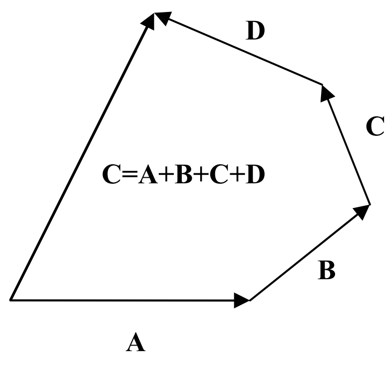
ในการบวกเวกเตอร์เราจะใช้พื้นฐานทางเรขาคณิตและพีชคณิต เมื่อต้องการบวกเวกเตอร์ **B** เข้ากับเวกเตอร์ **A** ขั้นแรกวาดเวกเตอร์ **A** ด้วยมาตราส่วนหนึ่ง เช่น 1 cm บนหน้ากระดาษแทนระยะทางจริง 1 m และมีทิศทางสัมพันธ์กับระบบพิกัด (เช่นระบบพิกัดฉาก) แล้ววาดเวกเตอร์ **B** ด้วยมาตาราส่วนเดิม โดยวาดให้หางของเวกเตอร์ **B** เริ่มจากส่วนหัวของเวกเตอร์ **A** ตามรูป 1.7 ทำให้เวกเตอร์ผลบวกเป็นเวกเตอร์ที่เริ่มวาดจากส่วนหางของ **A** และไปจรดที่ส่วนหัวของ **B** จะได้เวกเตอร์ผลบวกเป็น $\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$ เป็นการบวก*แบบหางต่อหัว*



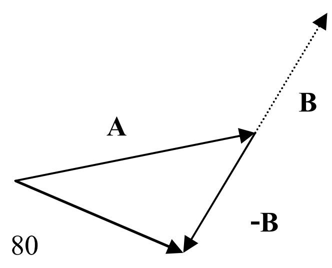
(ก) เวกเตอร์ **B** บวกเข้ากับเวกเตอร์ **A** (ข) เวกเตอร์ **A** บวกเข้ากับเวกเตอร์ B

รูปที่ 1.7 แสดงการบวกเวกเตอร์ ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นว่า $\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{C}$

จากรูปจะเห็นว่าการบวกเวกเตอร์ **B** บวกเข้ากับเวกเตอร์ **A** หรือการบวกเวกเตอร์ **A** บวกเข้ากับเวกเตอร์ **B** จะให้ผลเท่ากัน กล่าวคือ $\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$



รูปที่ 1.8 แสดงการบวกเวกเตอร์มากกว่า 2 เวกเตอร์



รูปที่ 1.9 แสดงการลบเวกเตอร์

เราสามารถใช้หลักการบวกเวกเตอร์แบบหัวต่อหางนี้ ในการหาผลบวกของเวกเตอร์มากกว่าสองเวกเตอร์ได้ รูป 1.8 แสดงการบวก 4 เวกเตอร์เข้าด้วยกัน กล่าวคือนำเวกเตอร์ทั้งสี่มาต่อกันแบบหางต่อหัว โดยที่ เป็นเวกเตอร์ที่วาดจากการต่อหางของเวกเตอร์แรกสุดไปหาหัวของเวกเตอร์อันสุดท้าย ลำดับการต่อหางต่อหัวนั้นไม่มีผลต่อเวกเตอร์ผลบวกแต่อย่างใด

เวกเตอร์ลบ

เวกเตอร์ลบของ **A** คือเวกเตอร์ที่เมื่อบวกกับ **A** แล้วจะได้ผลบวกเวกเตอร์เป็นศูนย์นั่นหมายความว่า **A** และ $-\mathbf{A}$ มีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม

การลบเวกเตอร์

ในการลบเวกเตอร์ เราจะใช้ความเข้าใจเกี่ยวกับเวกเตอร์ลบ โดยเราจะกำหนดการลบเวกเตอร์เป็น $\mathbf{A}-\mathbf{B}$ ให้มีความหมายว่าเราต้องการบวกเวกเตอร์ $-\mathbf{B}$ เข้ากับเวกเตอร์ **A** หรือ

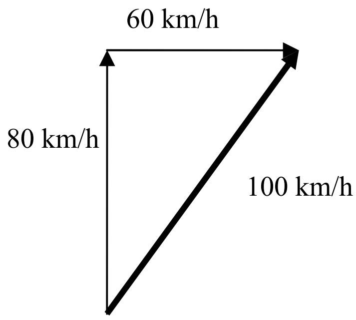
$$\mathbf{A}-\mathbf{B}=\mathbf{A}+(-\mathbf{B})$$

ดังนั้นการลบเวกเตอร์แท้ที่จริงก็เป็นการบวกเวกเตอร์แบบหนึ่งนั่นเอง ดูรูป 1.9

ตัวอย่าง 1.3 เรือลำหนึ่งเคลื่อนที่ในน้ำนิ่งได้ด้วยความเร็ว 10 km/h ถ้าเรือลำนี้เดินทางในแม่น้ำที่มีอัตราการไหลของน้ำ 10 km/h ไปด้วยอัตราเร็วเท่าเดิม อยากทราบความเร็วของเรือที่สัมพัทธ์กับบนฝั่ง เมื่อเรือเคลื่อนที่ในทิศทางสวนกระแสน้ำ และเมื่อเรือเคลื่อนที่ตามกระแสน้ำ

คำตอบ เมื่อเรือเคลื่อนที่สวนกระแสน้ำ ความเร็วของเรือจะเป็นศูนย์เมื่อเทียบกับคนที่ยืนบนฝั่ง (ความเร็ว +10 บวกเข้ากับความเร็ว -10 เท่ากับศูนย์) เมื่อเรือเคลื่อนที่ตามกระแสน้ำ เรือจะมีความเร็ว 20 km/h ไปในทิศทางของกระแสน้ำ เมื่อมองจากฝั่ง (ความเร็ว +10 บวกเข้ากับความเร็ว +10 เท่ากับ +20 ในทิศทางเดิม)

ตัวอย่าง 1.4 เครื่องบินลำหนึ่งบินไปทางทิศเหนืออย่างช้าๆด้วยความเร็ว 80 km/h ถ้ามีลมข้างตีเข้าเครื่องบินไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็วลม 60 km/h อยากทราบความเร็วของเครื่องบินเมื่อเทียบกับพื้นดิน



คำตอบ เครื่องบินมีความเร็ว 100 km/h ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารอ้างอิง

[1] ประมวล เพ็งจันทร์ และ ชัชวาล ปุญปัน, “สังขยาปกาสกฎีกา อุปกรณ์แห่งการหยั่งถึงความจริงจากโลกวิทยาศาสตร์พุทธศาสนา”, มหาวิทยาลัยเที่ยงคืน, http://www.midnightuniv.org/midnight2545/newpage8.html