

กลศาสตร์ของไหล



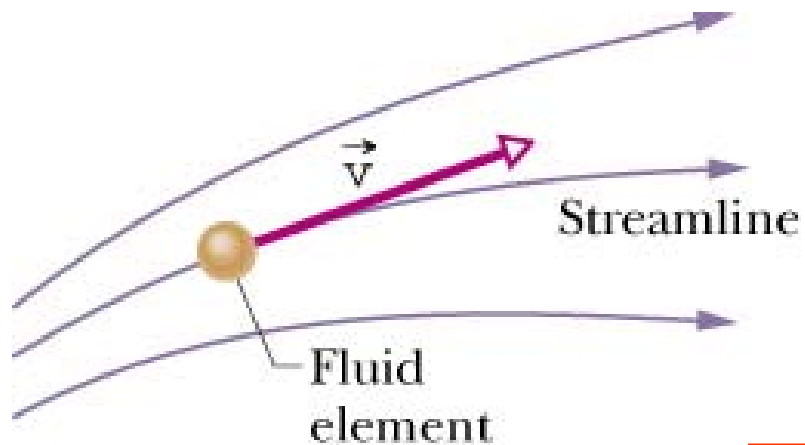
อุทกพลศาสตร์

อุทกพลศาสตร์ เป็นวิชาที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของของไหล

เราจะพิจารณาของไหลที่เป็นอุดมคติ หรือ Ideal fluid ซึ่งมีคุณสมบัติสามอย่างคือ

1. ต้องมีการไหลแบบคงตัว (Steady flow)
2. การไหลต้องเป็นแบบไม่หมุน (Irrotational flow)
3. การไหลเป็นแบบที่อัดไม่ได้ (Incompressible flow)
4. ไม่มีแรงเสียดทานภายในหรือไม่มี ความหนืด (Nonviscous flow)

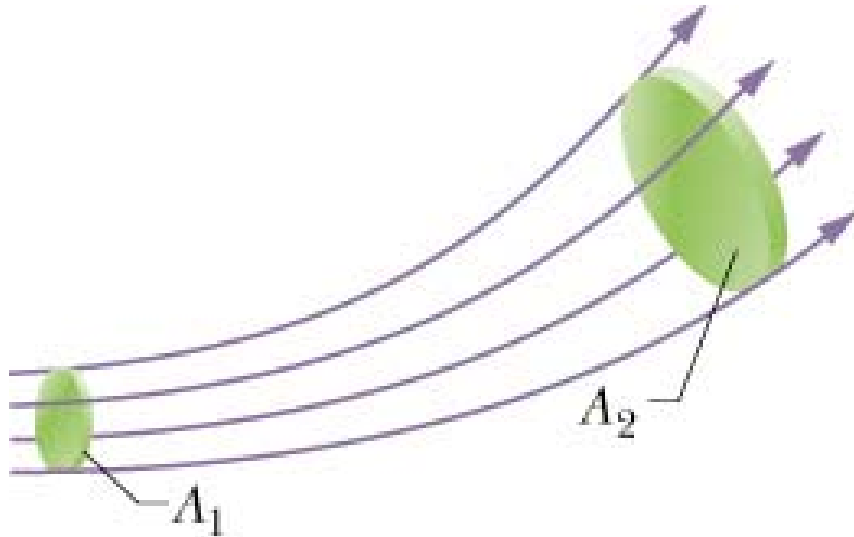
สายกระแส



สำหรับการไหลที่เป็นการไหลแบบคงตัว เราจะนิยามสายกระแส หรือ Stream line ซึ่งมวลเล็กๆของๆไหลที่อยู่บนเส้นนี้จะเคลื่อนที่ตามสายกระแส โดยมีทิศทางสัมผัสกับสายกระแส

สำหรับการไหลแบบคงตัวสายกระแสจะไม่ตัดกัน

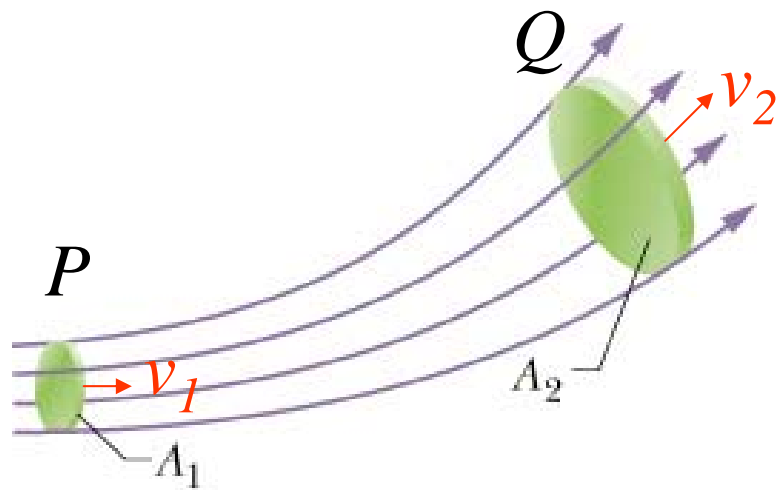
หลอดของการไหล



ในของไหลที่กำลังเคลื่อนที่ เราสามารถ
ลากสายกระแสได้จำนวนมาก ในกรณีการ
ไหลแบบคงตัว เราสามารถเลือกสาย
กระแสจำนวนหนึ่งหรือมัดหนึ่งซึ่ง
ประกอบกันเป็นท่อหรือหลอดคงรูป เรา
เรียกท่อหรือหลอดนี้ว่า **หลอดของการไหล**
หรือ **tube of flow**

สมการต่อเนื่อง

พิจารณาหลอดการไหลดั่งรูป ให้อนุภาคที่ตำแหน่ง P และ Q มีความเร็ว v_1 และ v_2 ตามลำดับ ให้ A_1 และ A_2 เป็นพื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับสายกระแสที่ตำแหน่ง P และ Q



ในช่วงเวลา Δt ส่วนของไหลเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากับ $v\Delta t$ ดังนั้นมวลของไหลที่ผ่านพื้นที่ A_1 คือ

$$\Delta m_1 = \rho_1 \Delta V_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t$$

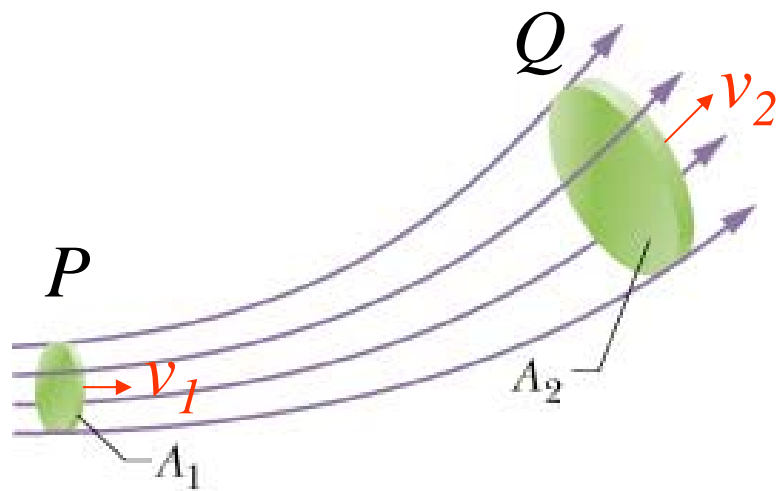
เมื่อ ρ_1 คือความเข้มข้นที่ตำแหน่ง P ซึ่ง Δt จะต้องมิก่าน้อยมากจนถือได้ว่า A_1 และ v_1 มีค่าคงที่

เมื่อ $\Delta t \rightarrow 0$ ที่ตำแหน่ง P เราจะได้ว่า

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \rho_1 A_1 v_1 \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} \frac{dm_1}{dt} = \rho_1 A_1 v_1$$

และที่ตำแหน่ง Q เราจะได้ว่า

$$\frac{dm_2}{dt} = \rho_2 A_2 v_2$$



ปริมาณ dm_1/dt และ dm_2/dt
เรียกว่า

ฟลักซ์มวล (Mass flux)

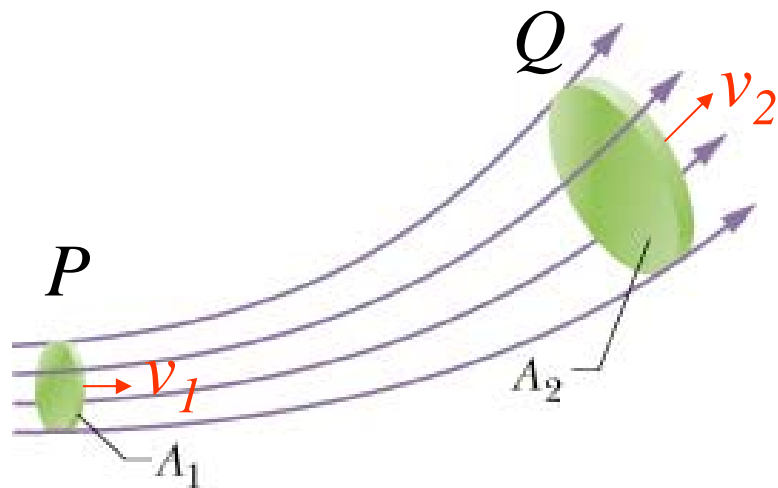
คือ มวลที่ผ่านพื้นที่ A_1 และ A_2 ต่อเวลา 1 วินาที

เนื่องจากเป็นของไหลซึ่งอัดไม่ได้ $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

และเนื่องจากไม่มีของไหลเข้าหรือออกจากหลอดของการไหล มวลของไหลที่ผ่านภาคตัดขวางใดๆต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือ ฟลักซ์มวลจะมีค่าคงที่เสมอ

นั่นคือ

$$\frac{dm_1}{dt} = \frac{dm_2}{dt}$$



หรือ

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2$$

นั่นคือ

$$\rho A v = \text{ค่าคงที่}$$

และ

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

ฟลักซ์มวล และ ฟลักซ์ของปริมาตร

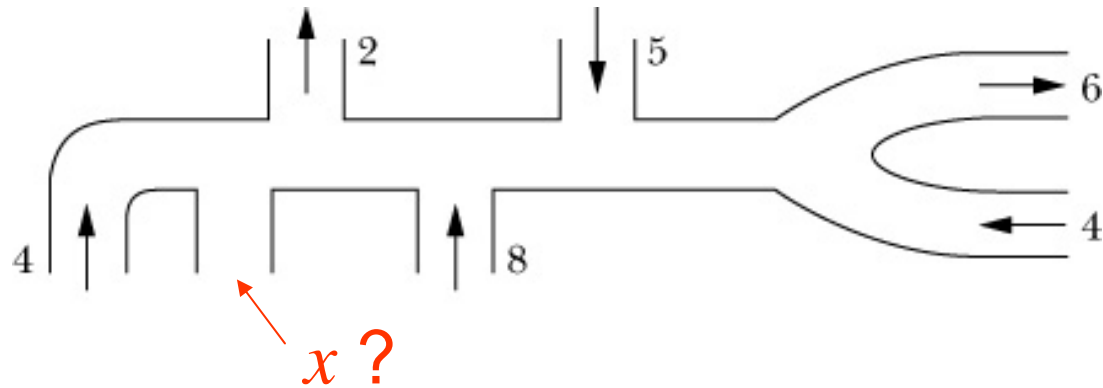
เราได้นิยาม ฟลักซ์มวล (Mass flux) คือ มวลที่ผ่านพื้นที่ ต่อเวลา 1 วินาที

$$R_m = \frac{dm}{dt} = \rho Av$$

เราอาจนิยามฟลักซ์ของปริมาตรที่ไหลผ่านหรือ Volume flow rate ได้จาก

$$R_v = \frac{dV}{dt} = Av$$

ทดสอบความเข้าใจ



จากรูป แสดงระบบท่อส่งน้ำ พร้อมทิศทางและขนาดของอัตราการไหลเข้าและไหลออกของปริมาตรของน้ำไหลที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในหน่วย (cm^3/s) จงหาขนาดและทิศทางของ จงหาขนาดและทิศทางของ x

การไหลมีลักษณะคงตัวไม่มีการสะสมของของไหลในท่อ

$$(x + 4 + 8 + 4 + 5) - (2 + 6) = 0$$

$$x + 21 - 8 = 0 \rightarrow x = -13$$

ไหลออกด้วยอัตรา $13 \text{ cm}^3/\text{s}$

Daneil Bernoulli



เดเนียล แบร์นูลลี

ค.ศ. 1700 - 1782

ดาเนียล แบร์นูลลี นักคณิตศาสตร์ซึ่งเกิดในฮอลแลนด์ แต่ไปทำงานอยู่ในสวิสเซอร์แลนด์ ได้คิดค้นสมการที่ชื่อเดียวกับตัวเขา คือ สมการแบร์นูลลี



หนังสือ Hydrodynamica
ซึ่งแต่งโดย แบร์นูลลี
ตีพิมพ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1738

จากทฤษฎีบทของงานและพลังงาน ผลทางของพลังงาน (จลน์และศักย์) จะเท่ากับงานที่ทำแรงที่กระทำต่อด้านซ้ายและด้านขวามีค่าเท่ากับ $p_1 A_1$ และ $p_2 A_2$ ตามลำดับ เมื่อของไหลเคลื่อนตัว จากรูป (a) ไปยัง รูป (b) งานที่ทำทางด้านซ้ายและด้านขวาคือ

$$W_1 = p_1 A_1 \Delta l_1, \quad W_2 = -p_2 A_2 \Delta l_2$$

งานลัพธ์ของการเคลื่อนที่คือ

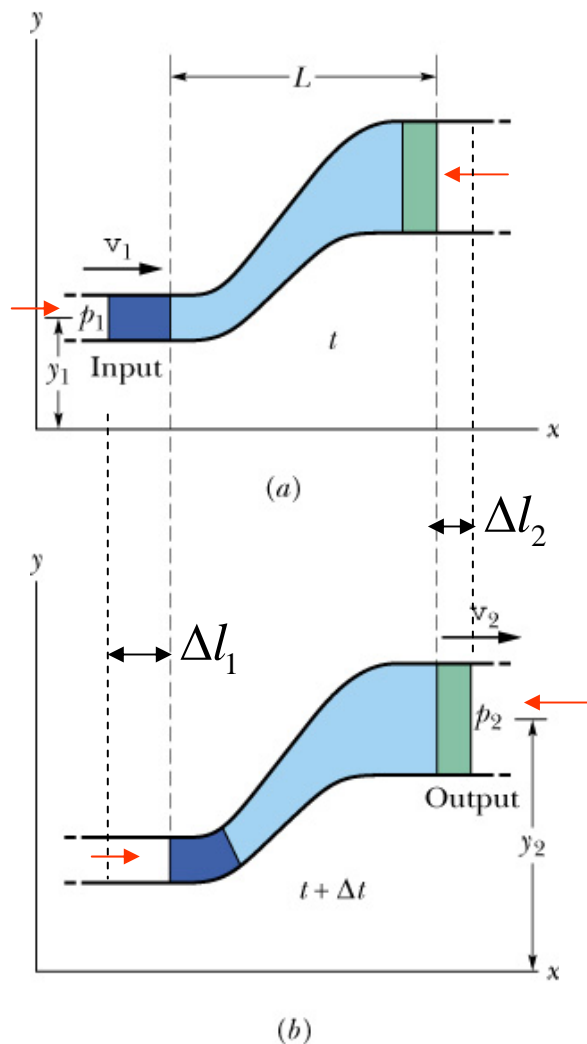
$$W = W_1 + W_2 = p_1 A_1 \Delta l_1 + (-p_2 A_2 \Delta l_2)$$

ให้

$$\Delta V = A_1 \Delta l_1 = A_2 \Delta l_2$$

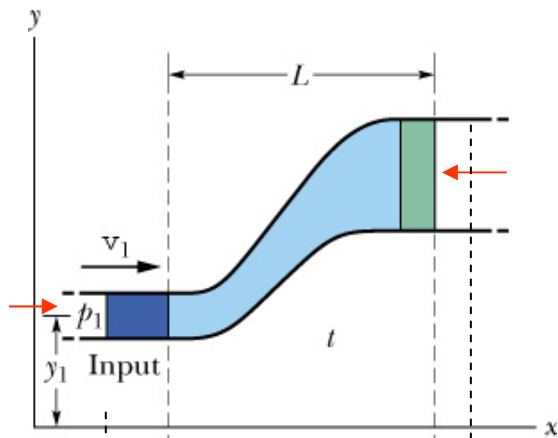
คือปริมาตรของของไหลที่พิจารณา ทางด้านซ้ายและขวาตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูปของความหนาแน่นของของไหล ρ

$$\Delta V = \frac{m}{\rho}$$

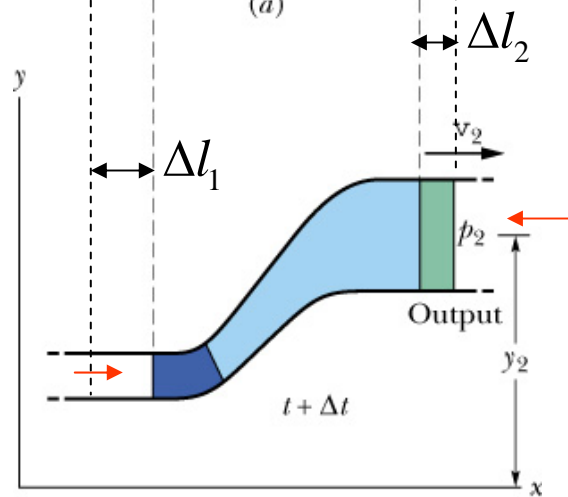


จากทฤษฎีบทของงานและพลังงาน

$$p_1 A_1 \Delta l_1 + (-p_2 A_2 \Delta l_2) = \left(\frac{1}{2} m v_2^2 + m g y_2 \right) - \left(\frac{1}{2} m v_1^2 + m g y_1 \right)$$



(a)



(b)

จะได้

$$(p_1 - p_2) \frac{m}{\rho} - m g (y_2 - y_1) = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

หรือ

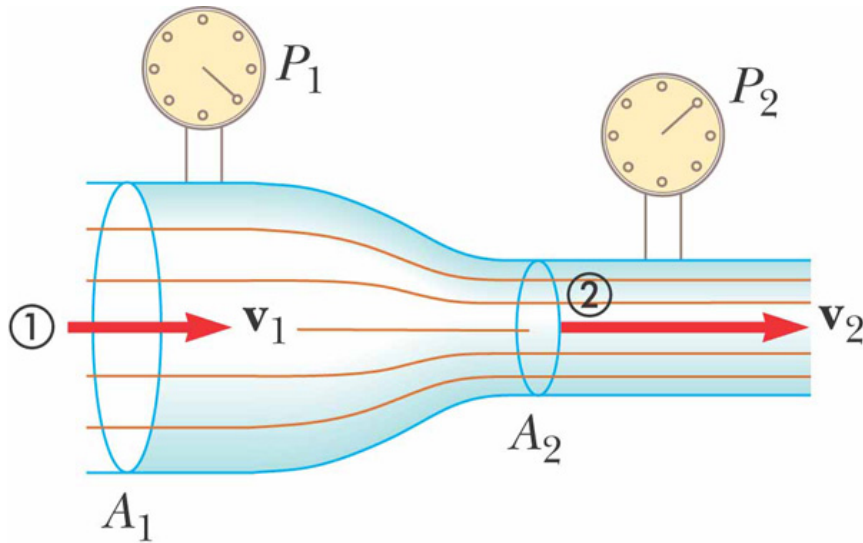
$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

หรือ

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{คงที่}$$

สมการแบร์นูลี

สรุปหลักการสำคัญ



พื้นที่น้อย (หรือ สายกระแสนิ่งกัน)

ความเร็วจะมาก

ความดันจะน้อย

จากสมการต่อเนื่อง $A_1 v_1 = A_2 v_2$

จะได้ว่า $v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 > v_1$

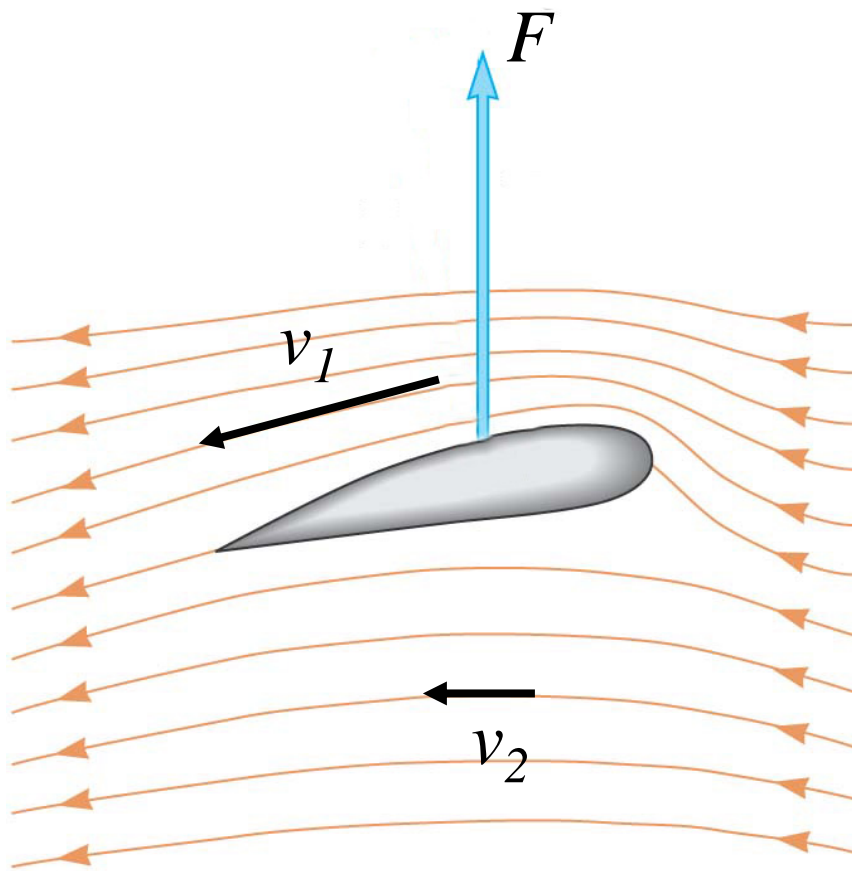
จากสมการแบร์นูลี

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

จะได้ว่า

$$p_2 = p_1 - \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) < p_1$$

แรงยกของปีกเครื่องบิน



ในการออกแบบปีกเครื่องบินเราต้องการให้เกิดแรงยกที่ปีก จากรูปจะเห็นว่าสายกระแสด้านบนปีกเครื่องบินจะอยู่ชิดกันมากกว่าสายกระแสด้านล่างปีก ซึ่งหมายความว่าความเร็วลมเหนือปีกสูงกว่าความเร็วลมใต้ปีก

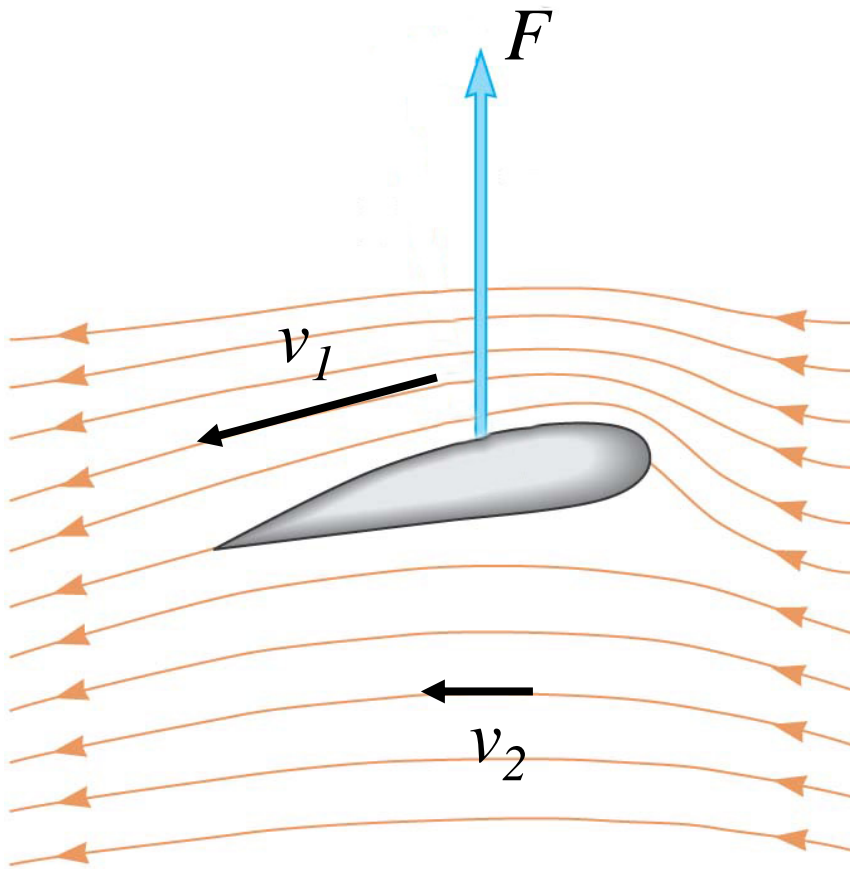
จากหลักของแบร์นูลลี แสดงว่าความดันของอากาศใต้ปีก จะสูงกว่าความดันอากาศเหนือปีก นั่นคือมีแรงยกของปีกเครื่องบินนั่นเอง

สมมุติให้ v_1 p_1 และ v_2 p_2 เป็นความเร็วและแรงดันของอากาศเหนือ และใต้ ปีก เครื่องบิน ตามลำดับ จากสมการของแบร์นูลี และ อนุโลมว่าปีกเครื่องบินบางมากเราจะได้

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

หรือ

$$p_2 - p_1 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) > 0$$



นั่นคือแรงดันใต้ปีกเครื่องบินมีค่ามากกว่าเหนือปีกเครื่องบิน ถ้าปีกเครื่องบินมีพื้นที่ใต้ปีกเท่ากับ A จะได้ขนาดแรงยกขึ้นที่ปีกของเครื่องบินคือ

$$F = (p_2 - p_1) A = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2)$$

โศกนาฏกรรมของยอดนักแข่งรถ ไอตัน เซนา

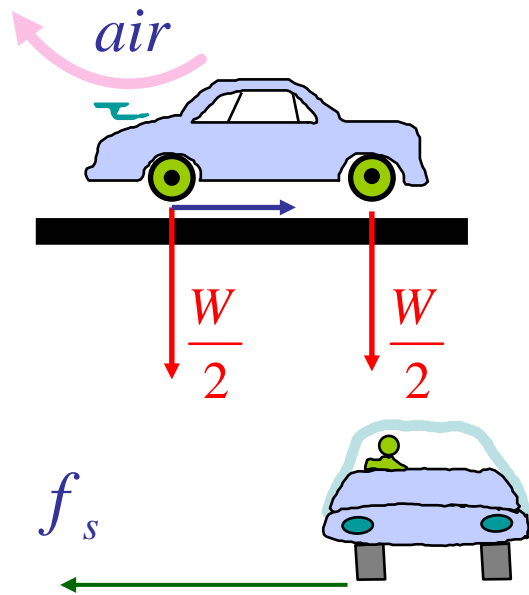


วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2537 ยอดนักแข่งรถชาวบราซิล ไอตัน เซน่า ประสบอุบัติเหตุเสียชีวิต ระหว่างการแข่งขัน ซานมาริโนกรังปรี ฌ. ประเทศอิตาลี

อุบัติเหตุ หรือ การฆ่าตัวตาย ? เราจะใช้ฟิสิกส์มาทำความเข้าใจเหตุการณ์ครั้งนั้น

Down force กับรถยนต์

แรงกดหรือ Down force คือเคล็ดลับของรถแข่งความเร็วสูง มันจะกดตัวรถและยางรถยนต์เข้ากับพื้นถนน ทำให้รถแข่งสามารถที่จะเลี้ยวเข้าโค้งได้ด้วยความเร็วสูง ถ้าสามารถออกแบบรถ ที่มีแรงกดลงได้ มากถึง 4 เท่าของน้ำหนักรถ จะสามารถเข้าโค้งได้ด้วยความเร็วที่มากกว่าถึง 2 เท่าตัว

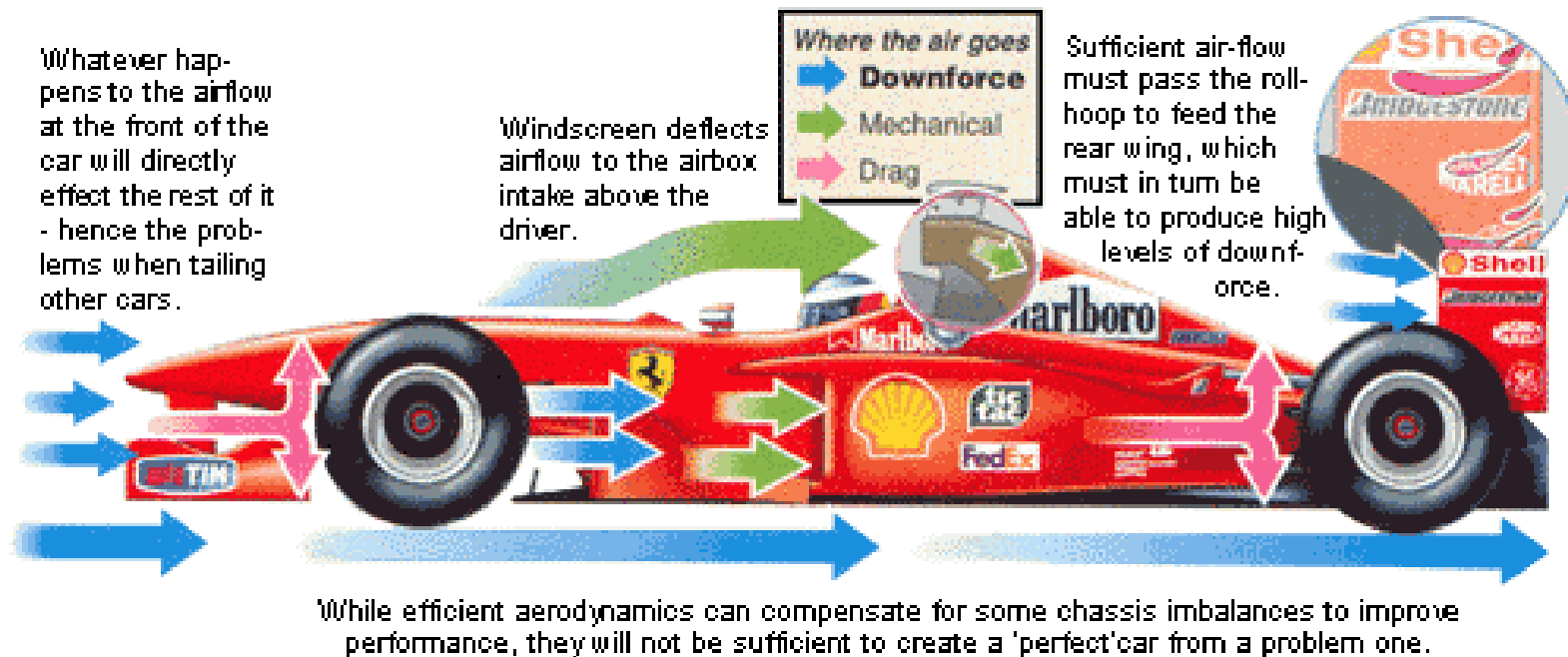


Spoiler ผลักอากาศขึ้นข้างบน และอากาศก็จะผลักรถให้ติดถนน ทำให้แรง N มีค่ามากขึ้น

เช่นกรณีที่รถจะเลี้ยวซ้าย

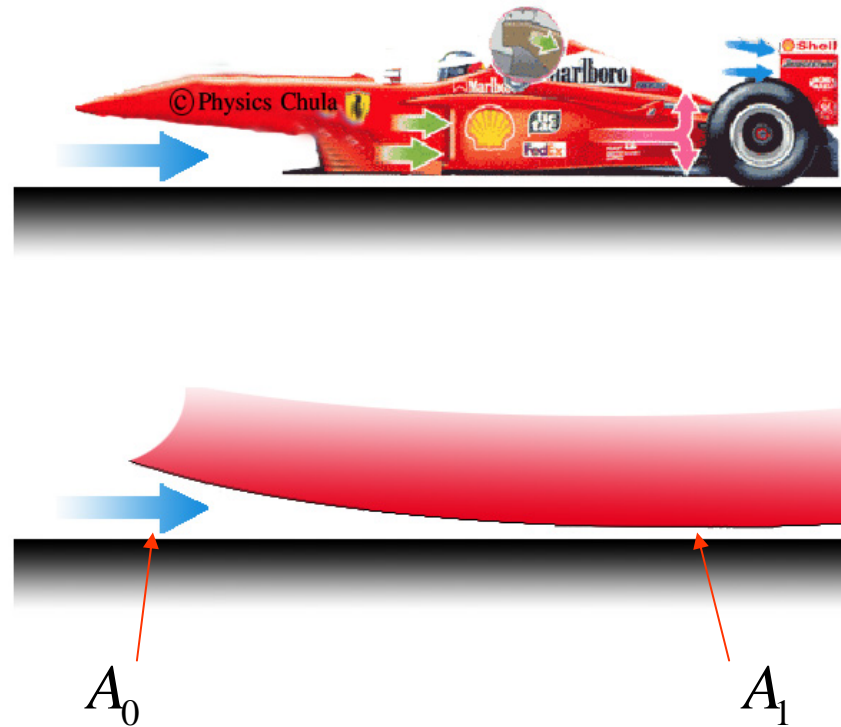
แรงเข้าสู่ ศ.ก. $f_s = \frac{mv^2}{r} = \mu_s N$ แรงกด

Aerodynamics ของรถแข่ง F1



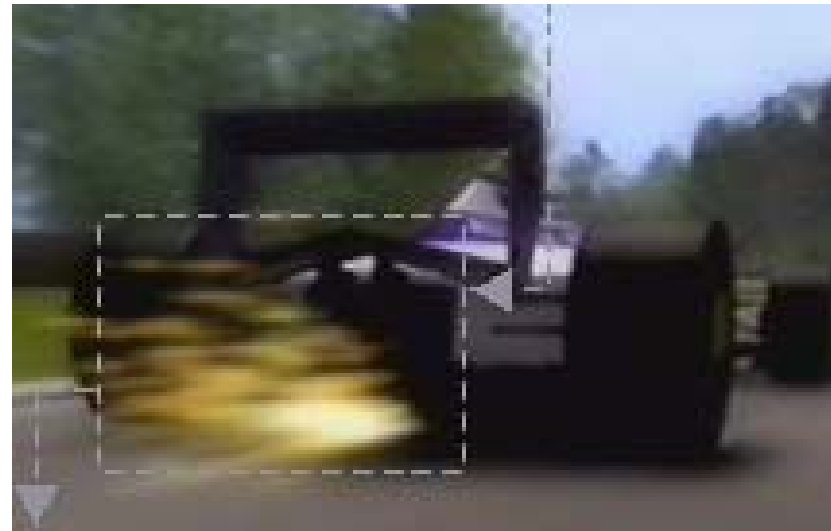
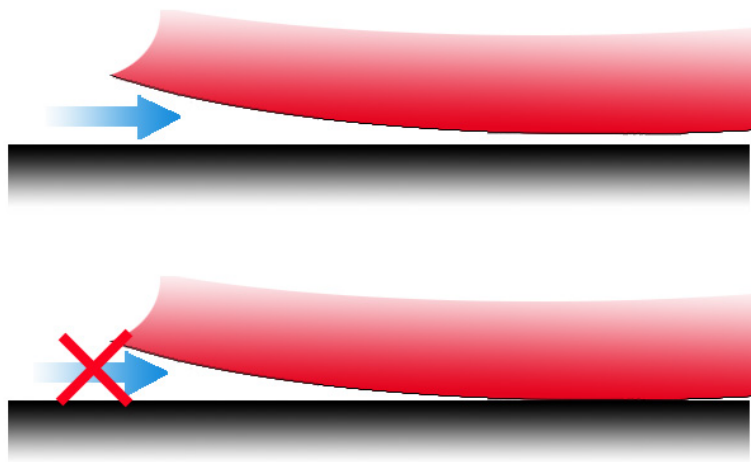
เพื่อที่จะสร้างแรงกด Downforce ให้กับรถแข่ง F1 วิศวกรออกแบบให้ได้ที่องรถ อยู่ชิดกับพื้นถนนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งอาจจะสูงกว่าพื้นถนนเพียงไม่กี่มิลลิเมตร

เมื่อรถแข่งวิ่งด้วยความเร็ว อากาศจะไหลผ่านรถทั้งด้านบนและด้านล่าง
อากาศที่ไหลผ่านใต้ท้องรถจะเทียบได้กับอากาศที่ไหลในท่อซึ่งพื้นที่หน้าตัดลดลง



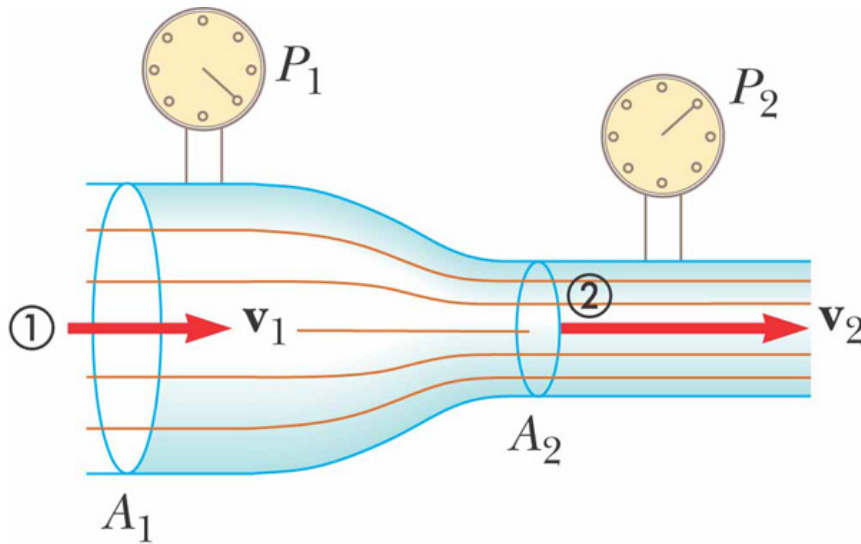
ความเร็วของอากาศซึ่งไหลผ่านใต้ท้องรถ (พื้นที่หน้าตัด A_1) จะมีค่ามากกว่าที่หน้ารถแข่ง
ซึ่งจากสมการแบร์นูลลี เราจะพบว่าความดันที่ใต้ท้องรถจะมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ
ทำให้มีแรงกด down force เพิ่มขึ้น

แม้ว่าการทำให้ท้องรถเตี้ยลงใกล้พื้นถนนจะทำให้รถวิ่งเร็วขึ้น
แต่มันก็สามารถทำให้รถเสียการทรงตัวได้เช่นกัน ในกรณีที่ใต้ท้องรถเตี้ยเกินไป
จนมันไปแตะพื้นถนนเข้า ...



ผู้เชี่ยวชาญในวงการแข่งรถ Formula 1 ต่างเชื่อว่า สาเหตุที่ทำให้รถของเซนาเสียการทรงตัว น่าจะมาจากการที่ใต้ท้องรถยนต์ต่ำกว่าระยะปกติจนติดพื้นถนน ทำให้สูญเสียแรงกดขณะที่เข้าโค้งด้วยความเร็วสูง

ทบทวนหลักการสำคัญ



พื้นที่น้อย (หรือ สายกระแสน้ำแคบ)

ความเร็วจะมาก

ความดันจะน้อย

จากสมการต่อเนื่อง $A_1 v_1 = A_2 v_2$

จะได้ว่า $v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 > v_1$

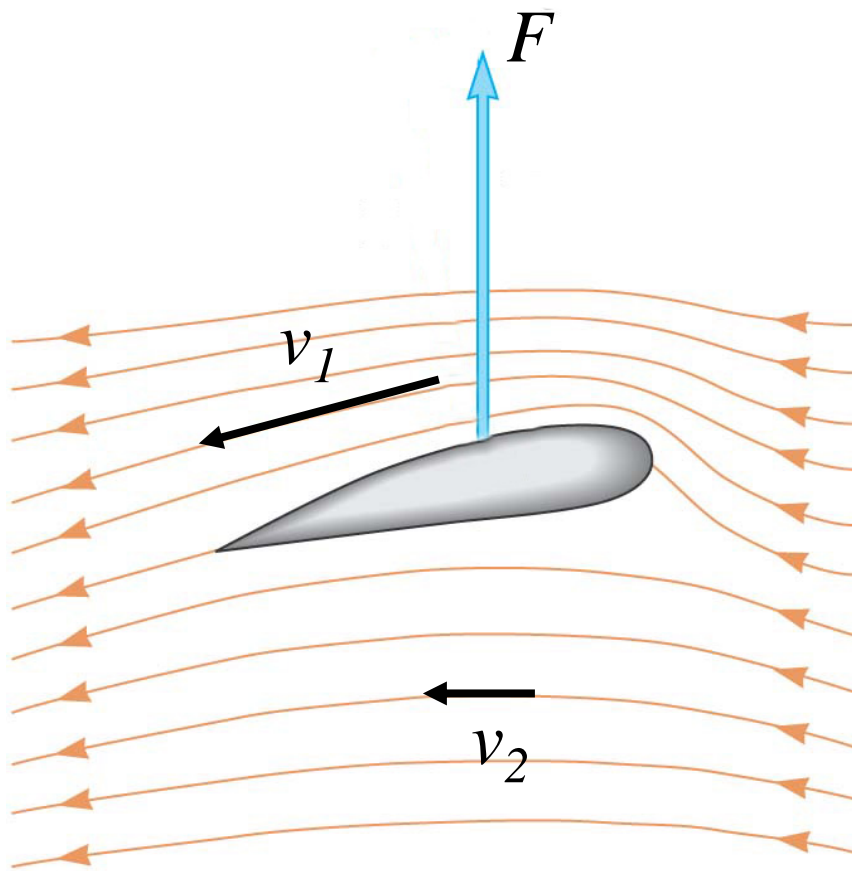
จากสมการแบร์นูลี

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

จะได้ว่า

$$p_2 = p_1 - \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) < p_1$$

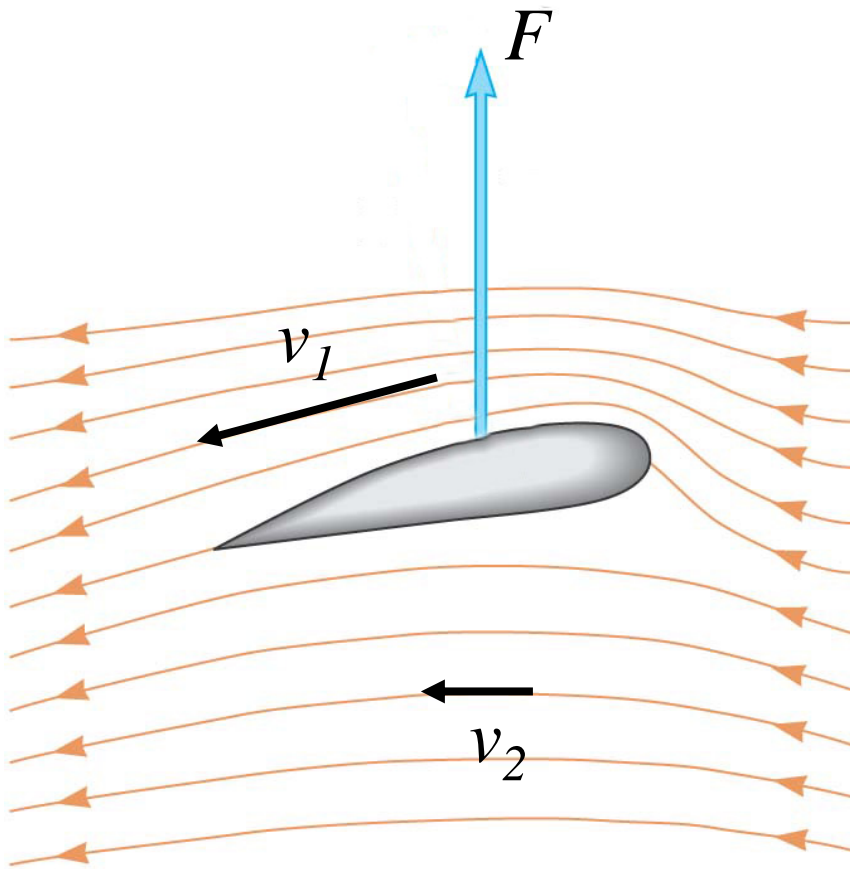
แรงยกของปีกเครื่องบิน



ในการออกแบบปีกเครื่องบินเราต้องการให้เกิดแรงยกที่ปีก จากรูปจะเห็นว่าสายกระแสด้านบนปีกเครื่องบินจะอยู่ชิดกันมากกว่าสายกระแสด้านล่างปีก ซึ่งหมายความว่าความเร็วลมเหนือปีกสูงกว่าความเร็วลมใต้ปีก

จากหลักของแบร์นูลลี แสดงว่าความดันของอากาศใต้ปีก จะสูงกว่าความดันอากาศเหนือปีก นั่นคือมีแรงยกของปีกเครื่องบินนั่นเอง

สมมุติให้ v_1 p_1 และ v_2 p_2 เป็นความเร็วและแรงดันของอากาศเหนือ และใต้ ปีก เครื่องบิน ตามลำดับ จากสมการของแบร์นูลี และ อนุโลมว่าปีกเครื่องบินบางมากเราจะได้



$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

หรือ

$$p_2 - p_1 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) > 0$$

นั่นคือแรงดันใต้ปีกเครื่องบินมีค่ามากกว่าเหนือปีกเครื่องบิน ถ้าปีกเครื่องบินมีพื้นที่ใต้ปีกเท่ากับ A จะได้ขนาดแรงยกขึ้นที่ปีกของเครื่องบินคือ

$$F = (p_2 - p_1) A = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) A$$

ตัวอย่าง

เครื่องบินมีมวล 6,000 กิโลกรัม และมีพื้นที่ใต้ปีก 60 ตารางเมตร ถ้าความดันใต้ปีกเท่ากับ 0.60×10^5 Pa ขณะบินในแนวระดับที่ความสูง 4,000 เมตร จงหาความดันเหนือปีกเครื่องบิน

วิธีทำ แรงยกจากปีกเครื่องบินหนึ่งปีกมีค่าเท่ากับ

$$F = (p_2 - p_1) A$$

แรงยกของปีกเครื่องบินทั้งสองข้างจะรับน้ำหนักของเครื่องบิน

$$2F = 2(p_2 - p_1) A = mg$$

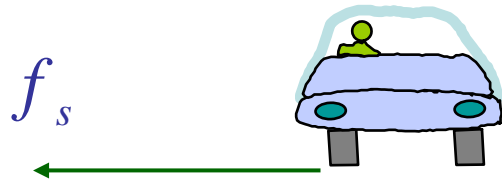
$$2 \times (0.60 \times 10^5 - p_1) \times 60 = 6,000 \times 9.8$$

$$p_1 = 5.95 \times 10^4 \text{ Pa}$$

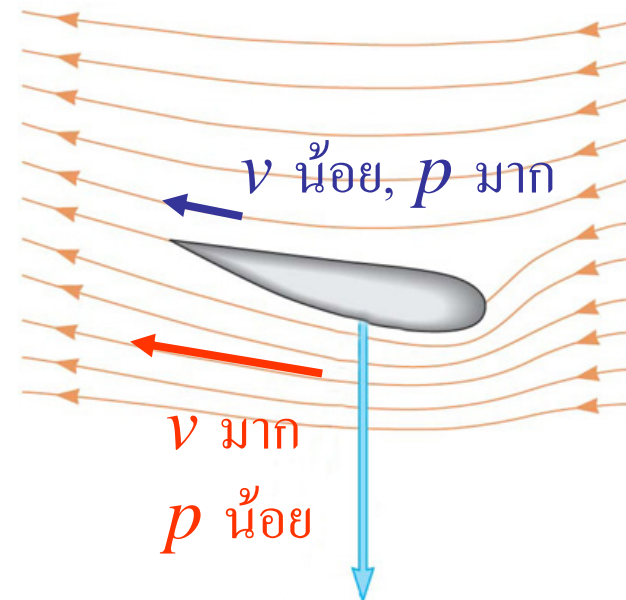
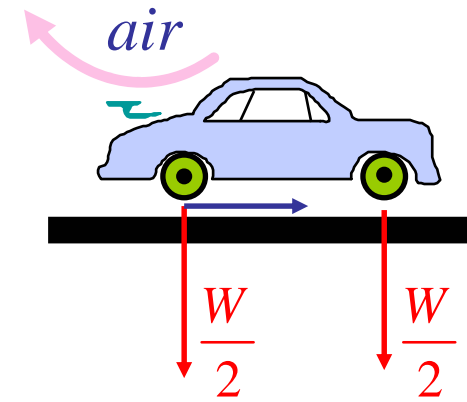
ตอบ

Spoiler

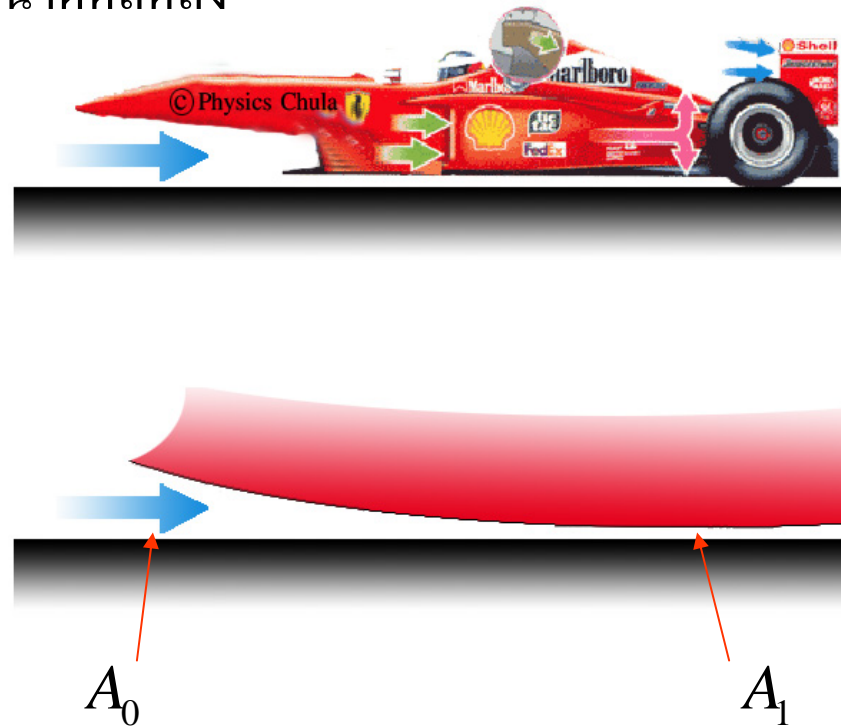
Spoiler ทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับปีกเครื่องบิน (ปีกเครื่องบินกลับหัว) ผลักรถให้ติดถนน ทำให้แรง N มีค่ามากขึ้น



$$f_s = \frac{mv^2}{r} = \mu_s N$$

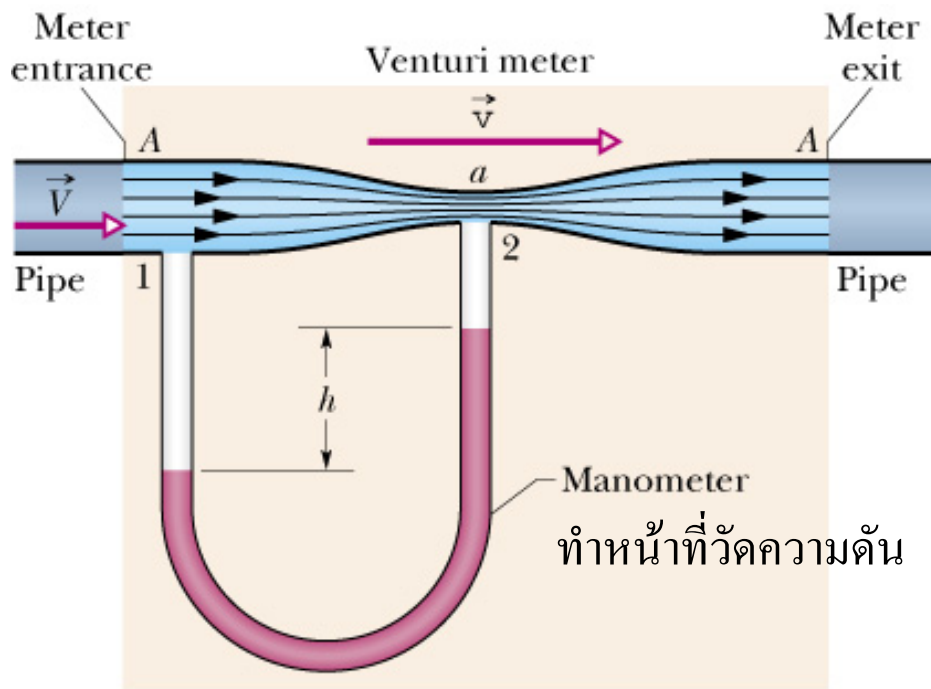


สำหรับรถแข่งอาจจะเพิ่ม Down force ได้โดยให้ใต้ท้องรถอยู่ใกล้พื้นมากๆ อากาศจะไหลผ่านรถทั้งด้านบนและด้านล่าง อากาศที่ไหลผ่านใต้ท้องรถจะเทียบได้กับอากาศที่ไหลในท่อซึ่งพื้นที่หน้าตัดลดลง



ความเร็วของอากาศซึ่งไหลผ่านใต้ท้องรถ (พื้นที่หน้าตัด A_1) จะมีค่ามากกว่าที่หน้ารถแข่ง ซึ่งจากสมการแบร์นูลลี เราจะพบว่าความดันที่ใต้ท้องรถจะมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้มีแรงกด down force เพิ่มขึ้น

Venturi meter



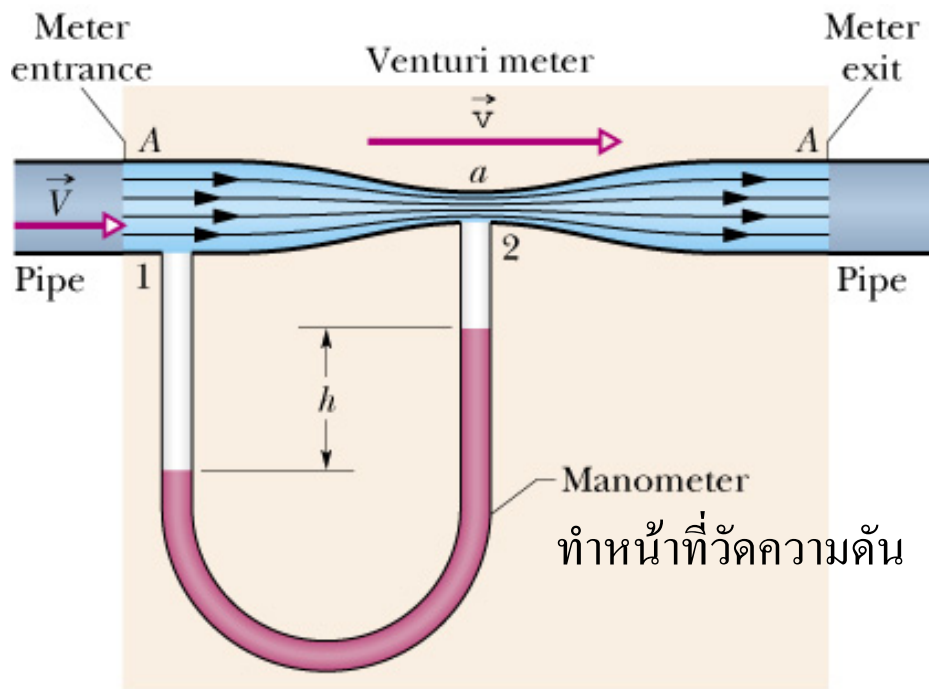
มาตรเวนทูรี ดังที่แสดงในรูป เป็น
เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราเร็วของๆเหลว
ในท่อ ถ้าของเหลวมีความหนาแน่น
 ρ ไหลผ่านท่อซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A
และที่คอคอดมีพื้นที่หน้าตัด a มีมา
โนมิเตอร์ รูปตัวยูติดกับท่อ

จากสมการแบร์นูลลี ที่จุด 1 และ 2 จะได้

ดังนั้นผลต่างของความดันจะได้

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \rho (v^2 - V^2)$$



จากสมการต่อเนื่องเราสามารถหา
เขียน v ในรูป V ได้

$$AV = av$$

หรือ


$$v = \frac{A}{a} V$$

ความดันที่ต่างกันระหว่างจุด 2 และ 1 คือ

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho V^2 \left(\frac{A^2}{a^2} - 1 \right)$$

นิติตุรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในหนังสือฟิสิกส์ ๑

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ)ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

