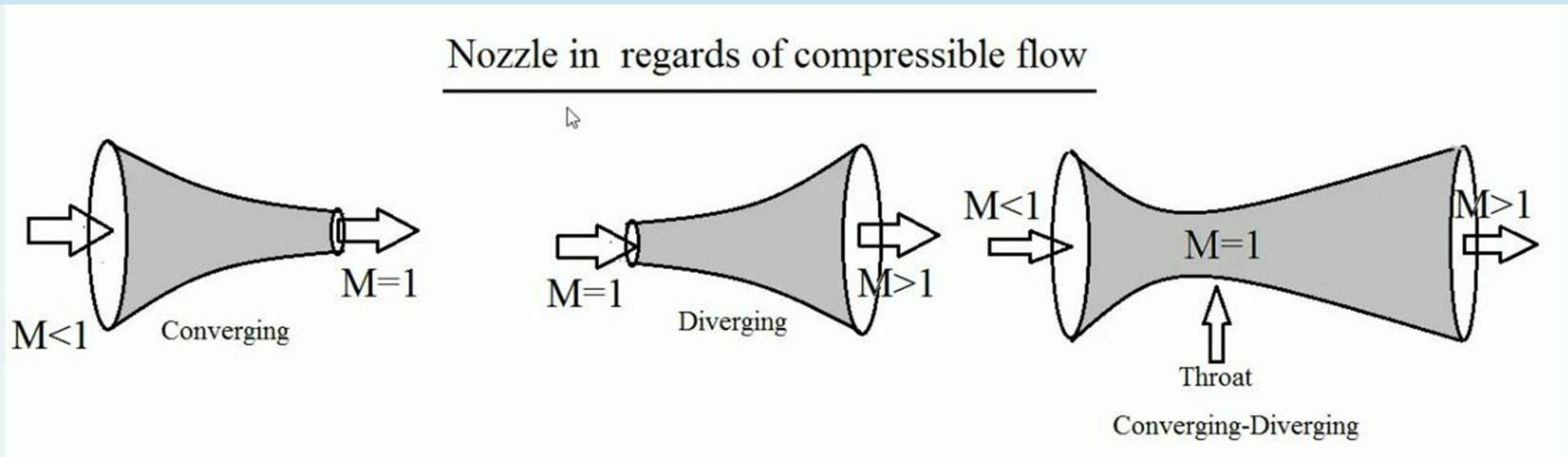


# Mach Number


MATERI VIII

# Aliran Isentropik

- Jika suatu aliran molekul gas semakin lama semakin termampatkan (area tube mengecil) dan lalu secara spontan semakin lama semakin terekspansi (area tube membesar), maka kecepatan molekul gas tersebut berubah-ubah (mach number)





# Mach Number

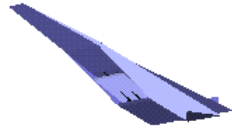
 **Mach Number** Glenn  
Research  
Center

---

ratio =  $\frac{\text{Object Speed}}{\text{Speed of Sound}} = \text{Mach Number}$

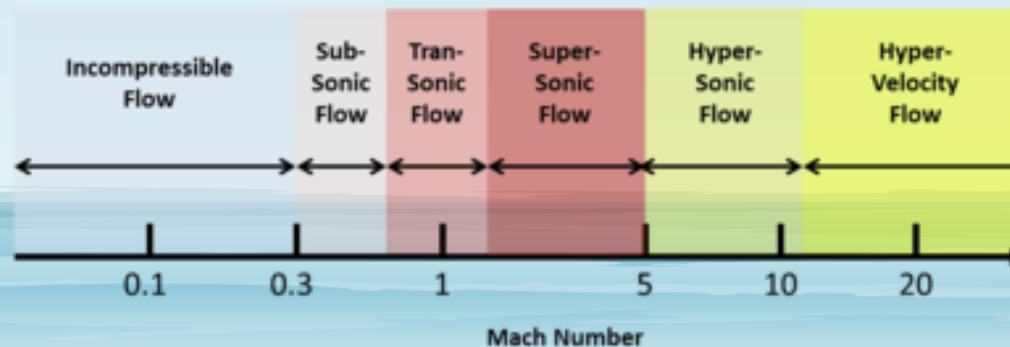
 **Subsonic**  
Mach < 1.0

 **Transonic**  
Mach = 1.0

 **Supersonic**  
Mach > 1.0

**Hypersonic**  
Mach > 5.0

Mach Number Flow Regimes



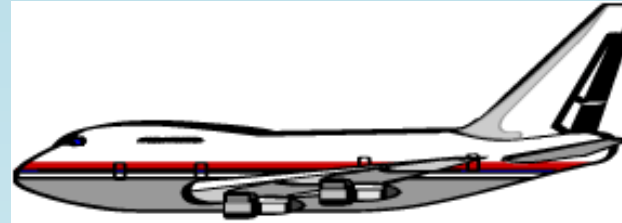
# Contoh Pesawat Terbang (Mach Number)



Seaplane

## General Aviation (100-350 MPH).

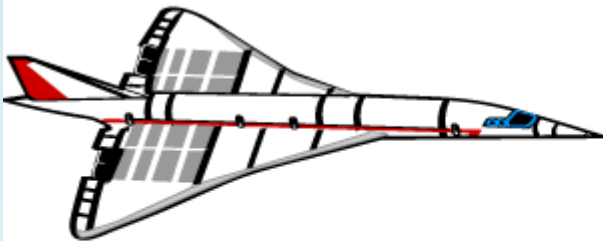
Most of the early planes were only able to fly at this speed level. Early engines were not as powerful as they are today. However, this regime is still used today by smaller planes. Examples of this regime are the small crop dusters used by farmers for their fields, two and four seater passenger planes, and seaplanes that can land on water.



Boeing 747

## Subsonic (350-750 MPH).

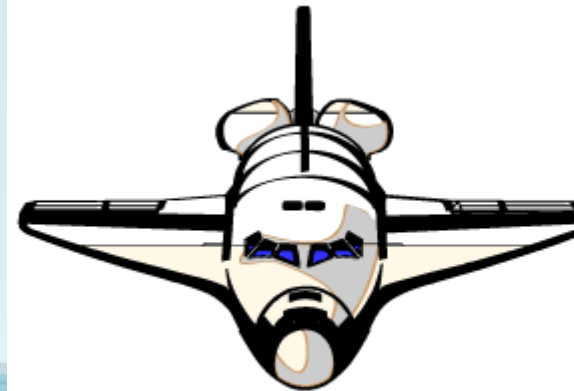
This category contains most of the commercial jets that are used today to move passengers and cargo. The speed is just below the speed of sound. Engines today are lighter and more powerful and can travel quickly with large loads of people or goods.



Concorde

## Supersonic (760-3500 MPH - Mach 1 - Mach 5).

760 MPH is the speed of sound. It is also called MACH 1. These planes can fly up to 5 times the speed of sound. Planes in this regime have specially designed high performance engines. They are also designed with lightweight materials to provide less drag. The Concorde is an example of this regime of flight.




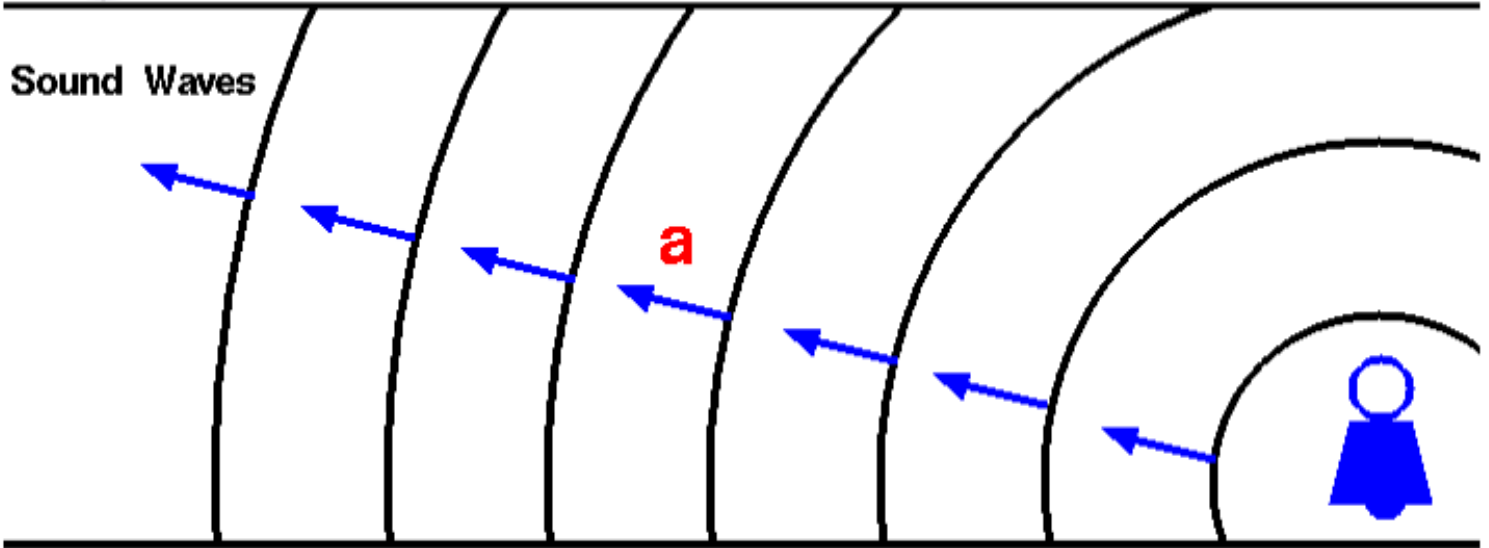
Space Shuttle

## Hypersonic (3500-7000 MPH - Mach 5 to Mach 10).

Rockets travel at speeds 5 to 10 times the speed of sound as they go into orbit. An example of a hypersonic vehicle is the X-15, which is rocket powered. The space shuttle is also an example of this regime. New materials and very powerful engines were developed to handle this rate of speed.

# Mach Number

 **Speed of Sound** Glenn  
Research  
Center



Sound Waves

Bell

Speed of sound (**a**) depends on the type of medium and the temperature of the medium.

$$a = \text{sqrt}(\gamma R T) \qquad a = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}$$

$\gamma$  = ratio of specific heats (1.4 for air at STP)  
 $R$  = gas constant (286 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>/K for air)  
 $T$  = absolute temperature (273.15 + °C)

# Rasio Kalor Spesifik

Heat capacity ratio for various gases <sup>[1][2]</sup>								
Temp.	Gas	$\gamma$	Temp.	Gas	$\gamma$	Temp.	Gas	$\gamma$
-181 °C	H <sub>2</sub>	1.597	200 °C	Dry air	1.398	20 °C	NO	1.400
-76 °C		1.453	400 °C		1.393	20 °C	N <sub>2</sub> O	1.310
20 °C		1.410	1000 °C		1.365	-181 °C	N <sub>2</sub>	1.470
100 °C		1.404	2000 °C		1.088	15 °C		1.404
400 °C		1.387	0 °C	CO <sub>2</sub>	1.310	20 °C	Cl <sub>2</sub>	1.340
1000 °C		1.358	20 °C		1.300	-115 °C	CH <sub>4</sub>	1.410
2000 °C		1.318	100 °C		1.281	-74 °C		1.350
20 °C	He	1.660	400 °C		1.235	20 °C		1.320
20 °C	H <sub>2</sub> O	1.330	1000 °C		1.195	15 °C	NH <sub>3</sub>	1.310
100 °C		1.324	20 °C	CO	1.400	19 °C	Ne	1.640
200 °C		1.310	-181 °C	O <sub>2</sub>	1.450	19 °C	Xe	1.660
-180 °C	Ar	1.760	-76 °C		1.415	19 °C	Kr	1.680
20 °C		1.670	20 °C		1.400	15 °C	SO <sub>2</sub>	1.290
0 °C	Dry air	1.403	100 °C		1.399	360 °C	Hg	1.670
20 °C		1.400	200 °C		1.397	15 °C	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.220
100 °C		1.401	400 °C		1.394	16 °C	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.130

# Tabel Kecepatan Suara

<b>Medium</b>	<b>Cepat Rambat Bunyi ( m/s )</b>
<b>Udara ( 0° C )</b>	<b>331</b>
<b>Udara ( 15° C )</b>	<b>340</b>
<b>Air ( 25° C )</b>	<b>1490</b>
<b>Air Laut ( 25° C )</b>	<b>1530</b>
<b>Aluminium ( 20° C )</b>	<b>5100</b>
<b>Tembaga ( 20° C )</b>	<b>3560</b>
<b>Besi ( 20° C )</b>	<b>5130</b>

# Hubungan Reynold dan Mach



## Similarity Parameters

Glenn  
Research  
Center

	Viscosity	Compressibility
Characteristic	"Stickiness"	"Springiness"
Parameter	Reynolds (Re)	Mach (M)
Definition	$\frac{\text{density} \times \text{velocity} \times \text{length}}{\text{viscosity coefficient}}$	$\frac{\text{flow velocity}}{\text{speed of sound}}$
Equation	$\frac{\rho \times V \times L}{\mu}$	$\frac{V}{a}$


**Aerodynamic Forces depend on Re and M**

For a valid experiment, Reynolds Number and Mach Number must match flight conditions.



# Mach Angle

- Sudut yang terbentuk dari kecepatan mach number

 **Mach Angle** Glenn  
Research  
Center

Mach =  $M > 1.0$

Speed of Sound =  $a$

Velocity =  $v$

$\mu$  Mach Angle

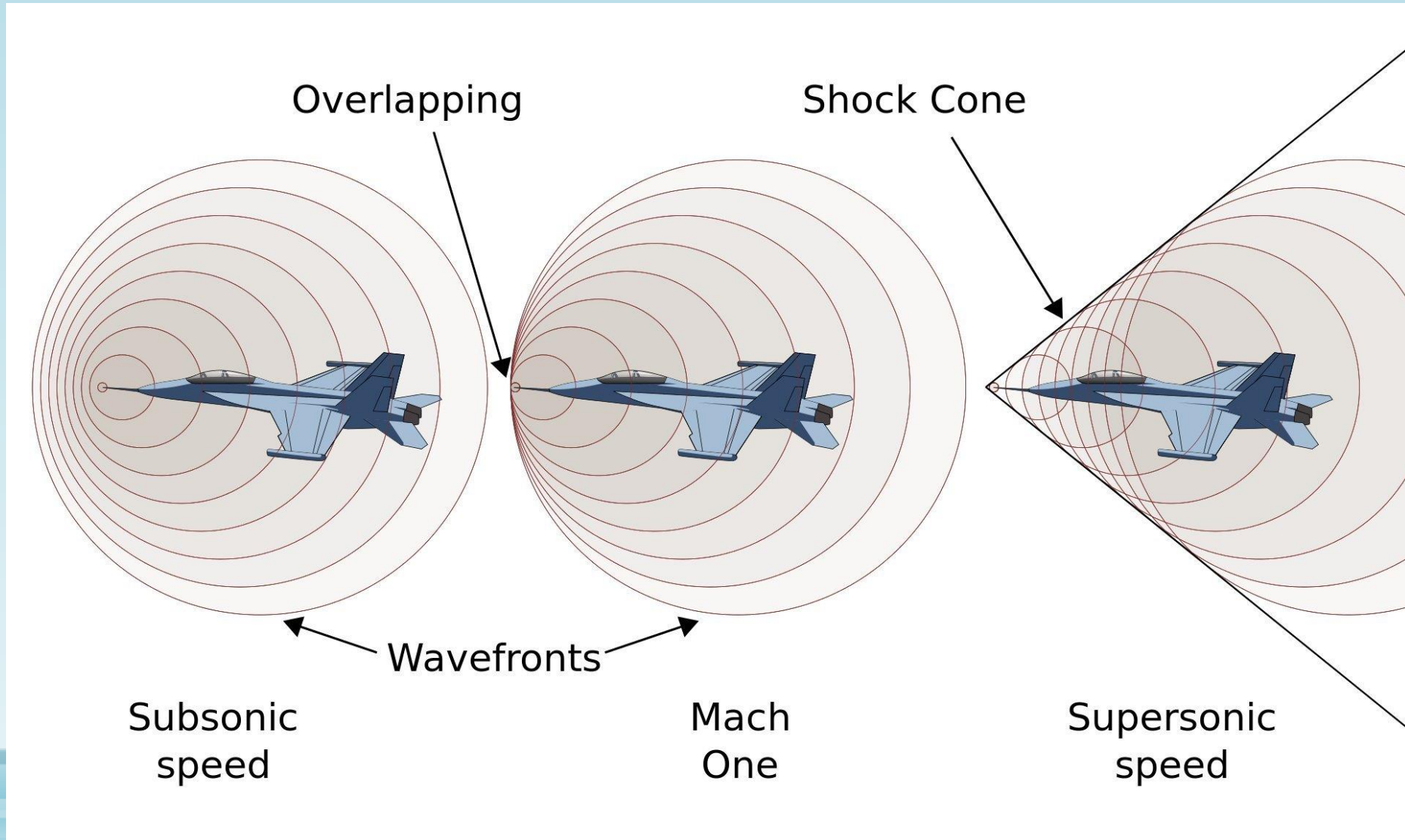
Mach Wave

---

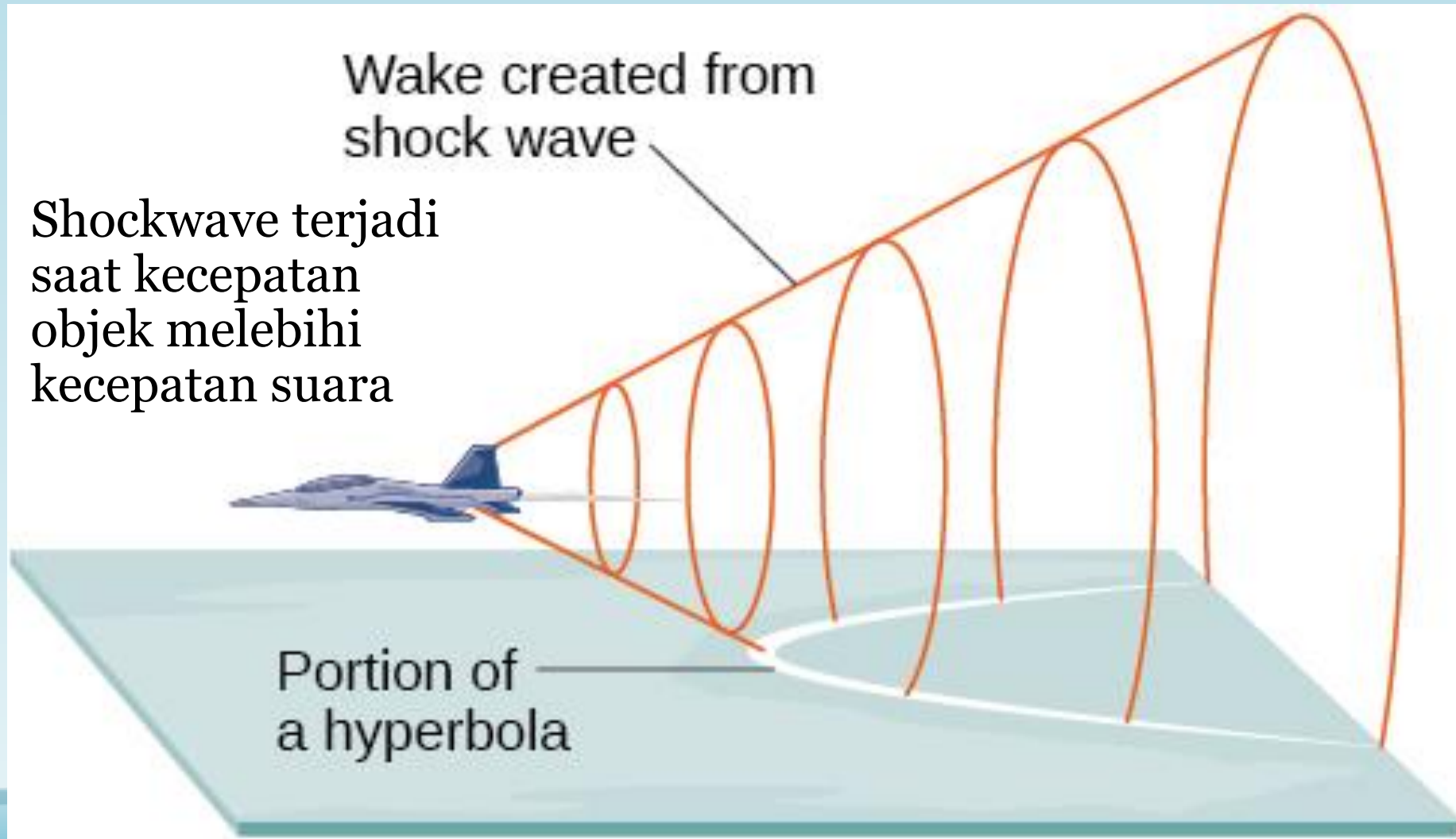
$$\sin \mu = \frac{a}{v}$$
$$\sin \mu = \frac{1}{M}$$

$$\mu = \sin^{-1} \frac{1}{M}$$

# Mach Angle



# Shockwave



# Shockwave



# Efek Doppler



- Efek Doppler ditemukan oleh Christian Johan Doppler yang menyatakan bahwa bunyi akan meningkat bila mendekat dan berkurang bila menjauh.
- Namun teori ini tergantung pada sumber dan pengamat, misalnya seperti suara kereta api yang terdengar nyaring bila mendekat dan melemah bila menjauh.

# Efek Doppler



Perhatikan tanda  $\pm$  dalam kurung. Sebagai patokan utama, S (sumber) mendekati P (pendengar) adalah arah kecepatan bertanda positif baik sumber maupun pendengaran

# Efek Doppler

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$$

Keterangan :

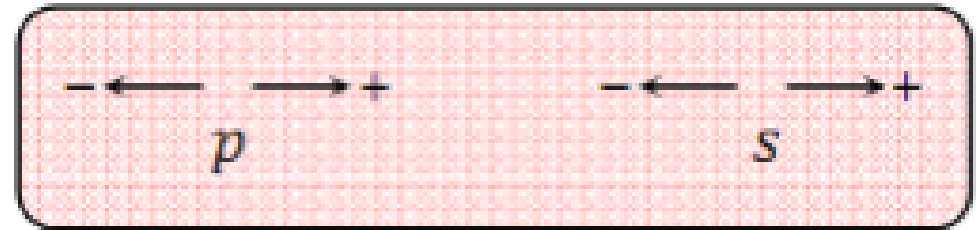
$f_p$  = frekuensi diterima pendengar (Hz)

$f_s$  = frekuensi dipancarkan sumber (Hz)

$v$  = cepat rambat bunyi di udara (m/s)

$v_p$  = kecepatan pendengar (m/s)

$v_s$  = kecepatan sumber bunyi (m/s)



Penjelasan tanda :

$v_s$  { (+) jika sumber bunyi menjauhi pendengar  
(-) jika sumber bunyi mendekati pendengar

$v_p$  { (+) jika pendengar mendekati sumber bunyi  
(-) jika pendengar menjauhi sumber bunyi



# Fungsi Efek Doppler

- Radar Cuaca Doppler
- Doppler Echocardiogram
- Penghilang Sonic Boom



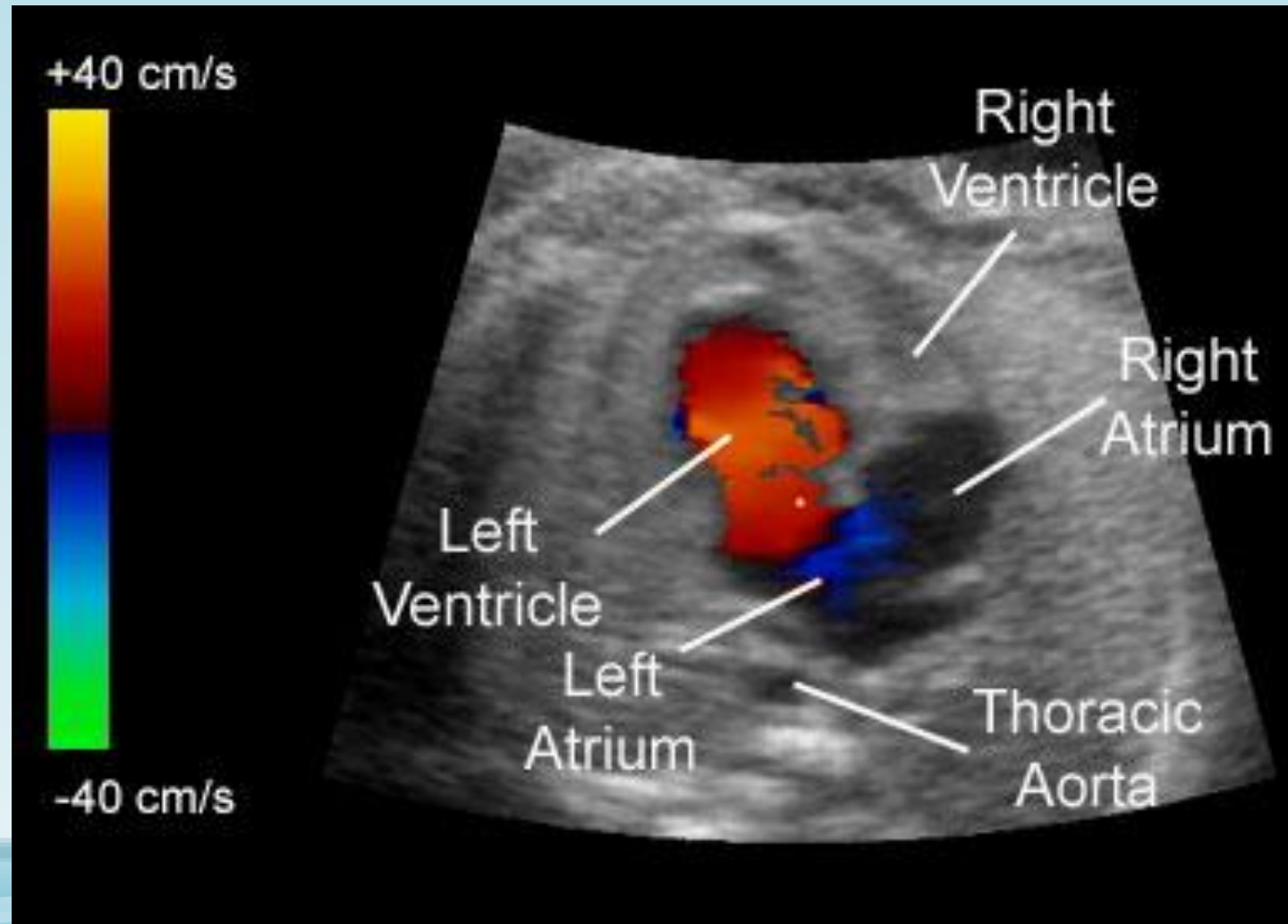
# Radars Cuaca Doppler



# Radar Cuaca Doppler

- Badan meteorologi menggunakan prinsip efek Doppler untuk memprediksi cuaca.
  - Gelombang radio dipancarkan dari stasiun cuaca pada frekuensi tertentu
  - Gelombang tersebut berinteraksi dengan awan dan benda atmosfer lainnya lalu memantul kembali ke stasiun cuaca
  - Jika awan yg mengandung hujan bergerak jauh dari stasiun, frekuensi gelombang yang dipantulkan menurun.
  - Jika awan yg mengandung hujan bergerak menuju stasiun, frekuensi gelombang yang dipantulkan meningkat
  - Komputer pada stasiun cuaca tersebut mengkonversi data tersebut menjadi kecepatan dan arah angin

# Doppler Echocardiogram



# Doppler Echocardiogram

- Sebuah alat untuk memeriksa irama jantung manusia
  - Gelombang dengan frekuensi tertentu diteruskan ke jantung
  - Gelombang tersebut terpantul oleh sel darah yang bergerak di sekitar jantung
  - Data tersebut dikonversikan di EKG yang hasilnya adalah kecepatan dan arah aliran darah dalam jantung

# Spike Sonic Boom



# Spike Sonic Boom

- Angkatan Udara Amerika dan NASA sedang bereksperimen dengan beberapa penemuan yang mengurangi sonic boom
- Salah satu penemuannya adalah spike yang memanjang dari hidung pesawat
- Spike ini dasarnya memperpanjang pesawat dan mendistribusikan lebih banyak sonic boom dari jarak gelombang yang lebih besar
- Hal ini mengurangi sonic boom yang dialami oleh seorang pengamat di tanah