

LÊ THANH PHONG  
**PHẦN II: SỨC BỀN VẬT LIỆU**

**CHƯƠNG 3:**

**CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN TRONG SỨC BỀN VẬT LIỆU**

**I. Đối tượng, nhiệm vụ nghiên cứu.**

*Đối tượng:* Là phần nằm trong ngành cơ học vật rắn biến dạng. Khác với cơ học lý thuyết, khảo sát sự cân bằng và chuyển động của vật rắn tuyệt đối. Môn SBVL khảo sát vật thể thực, tức là vật rắn có biến dạng.

*Nhiệm vụ:* Tính toán, thiết kế các kết cấu, chi tiết... đảm bảo:

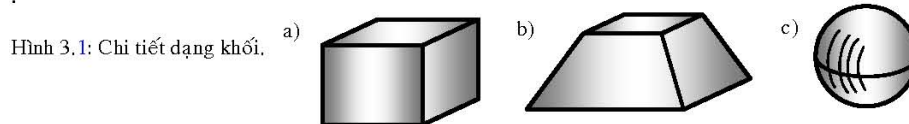
- *Đủ độ bền:* đảm bảo khả năng chống lại sự phá hoại do gãy, vỡ, nứt.
- *Đủ độ cứng:* đảm bảo khả năng chống lại sự biến dạng lớn gây trở ngại cho việc sử dụng bình thường của vật thể chịu lực.
- *Đủ độ ổn định:* đảm bảo khả năng không bị biến dạng hình học làm thay đổi sơ đồ tính ban đầu.
- *Đảm bảo độ chịu mỏi:* đảm bảo khả năng không bị phá hoại do mỏi.

Lý thuyết về SBVL là môn khoa học thực nghiệm với phương pháp quan sát thực tế, từ đó đề ra các giả thuyết và tính toán, sau đó tiến hành thí nghiệm để kiểm tra.

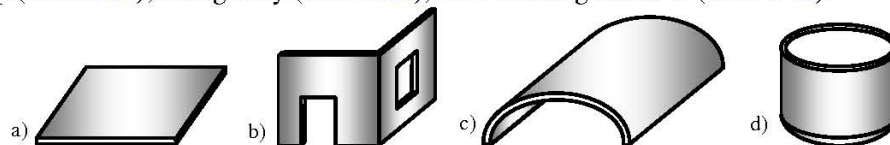
SBVL là môn học kỹ thuật cơ sở nhằm kết nối những kiến thức cơ bản như toán, vật lý, cơ lý thuyết ... với các môn chuyên ngành khác như chi tiết máy, cơ kết cấu, phần tử hữu hạn ... do đó, nghiên cứu về SBVL để làm nền tảng quan trọng đối với các kỹ sư cơ khí, xây dựng ...

**II. Phân loại các chi tiết, công trình theo dạng hình học.**

Tùy theo quan hệ kích thước giữa các phương của chi tiết, vật thể mà chi tiết được chia làm nhiều loại.

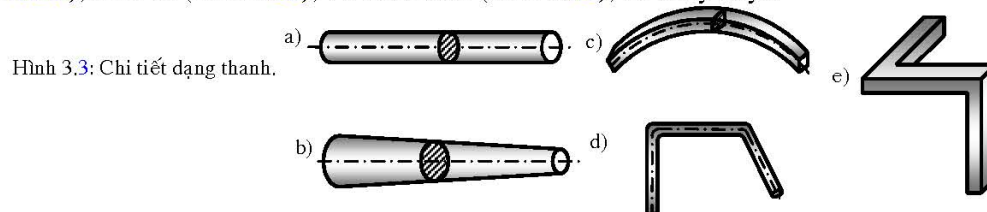


*Chi tiết dạng khối:* là những vật thể có kích thước theo ba phương gần như nhau. Nền đất có dạng hộp (hình 3.1a), móng máy (hình 3.1b), viên bi trong các ổ bi (hình 3.1c).



Hình 3.2: Chi tiết dạng tấm, vỏ.

*Tấm và vỏ:* là những vật thể mỏng có kích thước theo một phương rất nhỏ so với hai phương còn lại. Tấm có dạng phẳng, vỏ có dạng cong, sàn nhà trên (hình 3.2a), tường nhà (hình 3.2b), mái vỏ (hình 3.2c), vỏ bồn chứa (hình 3.2d), vỏ máy bay...



## LÊ THANH PHONG

**Thanh:** là những vật thể hình dạng dài có kích thước theo một phương rất lớn so với hai phương còn lại. Đây là vật thể được nghiên cứu chủ yếu trong SBVL. Thanh được biểu diễn bằng trục của nó. Trục thanh là đường nối trọng tâm các tiết diện cắt ngang. Thanh có thể có tiết diện mặt cắt ngang không đổi như trên hình 3.3a, hoặc cũng có thể có tiết diện mặt cắt ngang thay đổi như trên hình 3.3b.

Tùy theo hình dáng của đường trục của thanh là thẳng, cong, gãy khúc, phẳng hay không gian mà thanh được chia thành các loại tương ứng, như thanh cong hình 3.3c, thanh gãy khúc hình 3.3d, thanh không gian hay khung hình 3.3e.

### III. Phân loại ngoại lực.

**Định nghĩa:** ngoại lực là tác dụng của môi trường bên ngoài hay của các vật thể khác lên vật thể khảo sát.

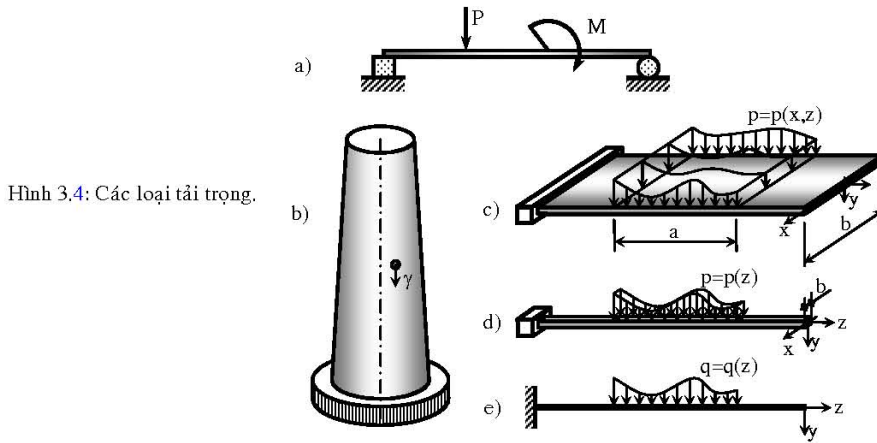
Ngoại lực bao gồm tải trọng và phản lực liên kết.

**Tải trọng:** là những lực chủ động tác dụng lên vật thể trong đó vị trí, tính chất và trị số đã được cho trước.

**Phản lực liên kết:** là những lực thụ động, phát sinh tại nơi tiếp giáp giữa vật thể khảo sát và vật thể xung quanh khi có tác dụng của tải trọng.

Theo hình thức tác dụng tải trọng được phân thành các loại:

**Lực tập trung hoặc mô men tập trung:** là loại tải trọng tác dụng lên vật khảo sát thông qua diện tích rất nhỏ so với kích thước của vật thể, coi như tác dụng lên vật thể tại một điểm. Thứ nguyên là  $[lực]$  hoặc  $[lực] \times [chiều dài]$ . Theo hệ thống đo lường quốc tế (CI) lực có đơn vị là Niuton (N), chiều dài có đơn vị đo là mét (m). Trên hình 3.4a có lực tập trung  $P$  và mômen tập trung là  $M$ .



**Tải trọng phân bố:** là loại tải trọng bao gồm những hệ lực tác dụng lên vật khảo sát trên một không gian của vật thể. Nếu hệ lực phân bố này cùng phương thì sẽ có hợp lực là trị đại số giữa chúng, điểm đặt tại trọng tâm của trường lực.

- Tải trọng phân bố theo thể tích:** khi xét đến trọng lượng riêng của cột  $\gamma$  trong hình 3.4b, hoặc kể đến lực quán tính trong các chuyển động có gia tốc thì các loại tải trọng này phân bố theo thể tích. Hợp lực của chúng  $Q = \int_V \gamma dV$ , nếu  $\gamma = const$  trên thể tích  $V$  thì

$$Q = \gamma V, \text{ thứ nguyên } \frac{[lực]}{[chiều dài]^3}.$$

- Tải trọng phân bố theo bề mặt:** khi hệ lực  $p = p(x, z)$  tác dụng lên vật thể trên bề mặt  $a \times b$  như hình 3.4c, tấm sàn kể đến trọng lượng riêng, áp lực của nước lên đập... là các

## LÊ THANH PHONG

tải trọng phân bố theo bề mặt. Hợp lực của chúng  $Q = \int_S p dS$ , nếu  $p = const$  trên bề mặt  $S$

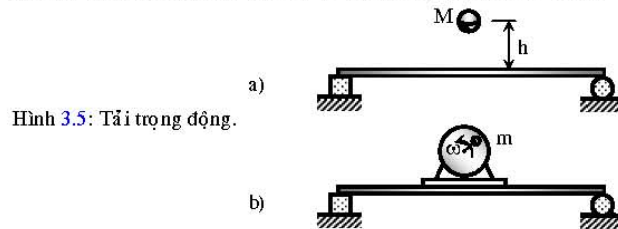
thì  $Q = p \times S$ , thứ nguyên  $\frac{[lực]}{[chiều dài]^2}$ .

- **Tải trọng phân bố theo đường:** trường hợp tải phân bố theo mặt ở hình 3.4c, nếu bề rộng  $b$  rất nhỏ so với chiều dài của dầm như hình 3.4d, ta có thể coi  $p$  là hằng số theo phương  $x$ . Tải trọng phân bố theo diện tích được biểu diễn thông qua tải trọng phân bố theo chiều dài  $q = p \times b$  (hình 3.4e). Hợp lực của chúng  $Q = \int_L q dL$ , nếu  $q = const$  trên chiều dài  $L$

thì  $Q = q \times L$ , thứ nguyên  $\frac{[lực]}{[chiều dài]}$ .

Theo tính chất tác dụng tải trọng được phân loại:

**Tải trọng tĩnh:** là tải trọng tăng chậm theo thời gian cho đến khi đạt trị số cuối cùng, lực quán tính không đáng kể, có thể bỏ qua. Các dạng tải trọng tĩnh như áp lực của nước lên đập, các trọng lượng đặt tĩnh tại trên kết cấu, trọng lượng bản thân các kết cấu...



Hình 3.5: Tải trọng động.

**Tải trọng động:** là tải trọng gây ra gia tốc biến dạng lớn, lực quán tính là đáng kể, không thể bỏ qua. Tùy theo gia tốc phát sinh trong hệ, tải trọng động được chia thành những dạng chính sau.

- **Va chạm:** là loại tải trọng có gia tốc thay đổi đột ngột, lực tác dụng tăng nhanh, như trường hợp vật nặng  $M$  va chạm lên dầm trên hình 3.5a.
- **Dao động:** khi gia tốc của tải tác dụng là hàm tuần hoàn theo thời gian, hình 3.5b khối lượng  $m$  đặt lệch tâm quay với vận tốc  $\omega$  sẽ làm cho dầm dao động.
- **Vật chuyển động có gia tốc  $a = const$ :** ngoài các ngoại lực tác dụng lên hệ, còn kể đến lực quán tính  $F = m \times a$ .

### IV. Khái niệm về biến dạng và nội lực.

#### 1. Định nghĩa chuyển vị và biến dạng.

Sự thay đổi vị trí của một điểm của vật thể được gọi là chuyển vị. Trên hình 3.6, điểm  $A$  ban đầu dịch chuyển sang vị trí  $A_1$  do đó  $\overline{AA_1}$  là véc tơ chuyển vị của điểm  $A$ .

Sự thay đổi các yếu tố hình học của vật thể như: điểm, đoạn thẳng, góc hợp giữa các phương, thể tích được gọi chung là biến dạng.

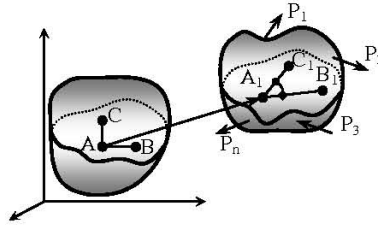
**Biến dạng dài tuyệt đối:** là lượng thay đổi chiều dài của một đoạn thẳng.

**Biến dạng dài tỷ đối:** nếu chiều dài ban đầu của đoạn thẳng bằng một đơn vị thì lượng thay đổi chiều dài của đoạn thẳng này được gọi là biến dạng dài tỷ đối và được ký hiệu  $\varepsilon_L$ , chỉ số kèm theo để biểu thị phương của biến dạng là  $L$ . Trên hình 3.6 biến dạng dài tỷ đối theo

phương  $AB$  sẽ là:  $\varepsilon_{AB} = \frac{\overline{AB} - \overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$ .



Hình 3.6: Chuyển vị và biến dạng.



Biến dạng dài tuyệt đối của đoạn thẳng có chiều dài  $L$  là:

$$\Delta L = \int_L \varepsilon_L dL \quad (3.1).$$

Biến dạng góc: là lượng thay đổi góc vuông được ký hiệu  $\gamma_{xy}$ , hai chỉ số kèm theo biểu thị mặt phẳng chứa góc vuông. Trên hình 3.6 biến dạng góc tại điểm A:

$$\gamma_{BAC} = \frac{\pi}{2} - \angle(B_1 A_1 C_1)$$

Biến dạng thể tích tỷ đối: là lượng thay đổi của một đơn vị thể tích - ký hiệu  $\theta$ .

Lượng thay đổi thể tích của một thể tích  $V$  là: 
$$\Delta V = \int_V \theta dV \quad (3.2).$$

Các biến dạng  $\varepsilon, \gamma, \theta$  là những đại lượng không thứ nguyên.

## 2. Biến dạng và chuyển vị của thanh.

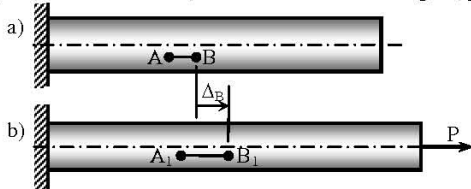
Thanh được mô tả bằng trục và tiết diện.

Chuyển vị của thanh là sự thay đổi vị trí của tiết diện trước và sau khi thanh bị biến dạng.

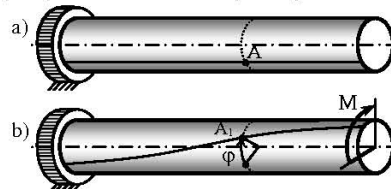
Chuyển vị tịnh tiến: là chuyển vị thẳng của trọng tâm tiết diện.

Chuyển vị xoay: là chuyển vị xoay của mặt phẳng tiết diện quanh trọng tâm.

Biến dạng của thanh là sự thay đổi kích thước, hình dáng của tiết diện, sự thay đổi chiều dài, độ cong, độ xoắn của trục thanh. Các trường hợp chịu lực cơ bản lần lượt được xét như sau:

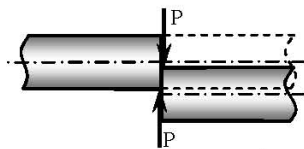


Hình 3.7: Thanh chịu kéo.

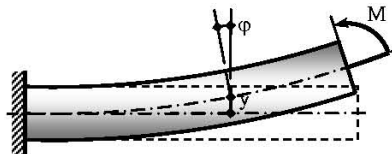


Hình 3.8: Thanh chịu xoắn.

- Thanh chịu kéo hoặc nén (hình 3.7), trường hợp này thanh có biến dạng dài dọc trục, đó chính là lượng thay đổi về chiều dài của thanh. Chuyển vị được khảo sát là sự dịch chuyển của trọng tâm tiết diện dọc theo trục thanh.
- Thanh chịu xoắn (hình 3.8), dưới tác dụng của mô men gây xoắn làm cho các tiết diện phát sinh những chuyển vị xoay quanh trục của thanh và biến dạng trong trường hợp này là sự trượt tương đối giữa các tiết diện lân cận với nhau.



Hình 3.9: Thanh chịu cắt.



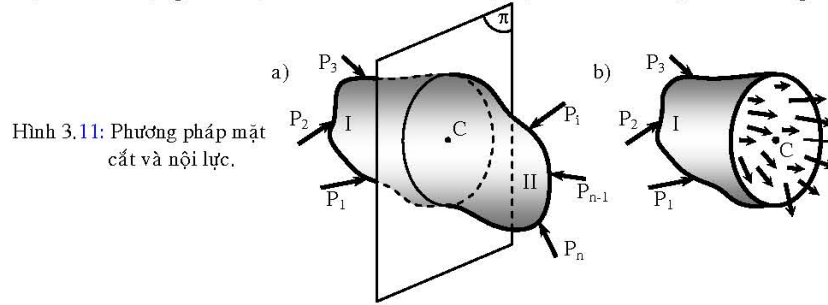
Hình 3.10: Thanh chịu uốn.

- Thanh chịu cắt (hình 3.9), với ảnh hưởng của lực vuông góc với trục thanh gây ra cắt, tại những nơi này các tiết diện lân cận sẽ có sự trượt tương đối và trục thanh bị gián đoạn.
- Thanh chịu uốn (hình 3.10), trường hợp này chiều dài của trục thanh không thay đổi (thay đổi không đáng kể, có thể bỏ qua) nhưng sẽ thay đổi về độ cong, trọng tâm của tiết diện có chuyển vị thẳng  $y$  đồng thời có cả chuyển vị xoay của tiết diện  $\varphi$ .

### 3. Nội lực, phương pháp mặt cắt, ứng suất.

**Nội lực:** Dưới tác dụng của ngoại lực, lực tương tác giữa các phân tử của vật thể sẽ thay đổi để chống lại sự dịch chuyển bên trong vật thể. Sự thay đổi của lực tương tác giữa các phân tử trong vật thể đó được gọi là nội lực.

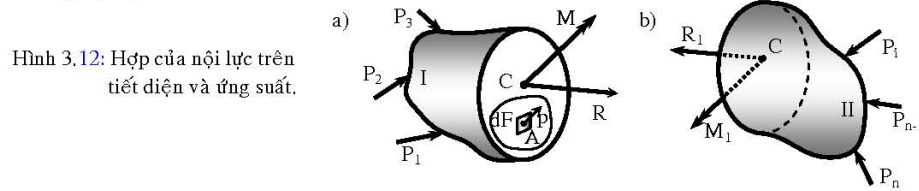
Một vật thể không chịu tác động nào từ bên ngoài như ngoại lực, sự thay đổi nhiệt độ... thì được gọi là vật thể ở trạng thái tự nhiên và lúc đó nội lực của nó được coi bằng không.



Hình 3.11: Phương pháp mặt cắt và nội lực.

**Phương pháp mặt cắt:**

Để khảo sát nội lực trong một vật thể ta tưởng tượng cắt qua vật thể tại điểm điểm cần khảo sát bằng mặt phẳng  $\pi$  và chia vật thể thành hai phần I và II (hình 3.11a), hai phần này sẽ tác dụng lẫn nhau bằng hệ lực phân bố trên diện tích mặt tiếp xúc theo tiên đề tác dụng và phản tác dụng. Nếu ta tách riêng phần I để khảo sát thì hệ lực tác dụng từ phần II vào nó phải cân bằng với ngoại lực ban đầu như trên hình 3.11b.



Hình 3.12: Hợp của nội lực trên tiết diện và ứng suất.

Hợp của hệ nội lực trên mặt cắt (hình 3.11b) khi thu về trọng tâm của tiết diện sẽ được một véc tơ chính  $\vec{R}$  và mômen chính  $\vec{M}$  (hình 3.12a). Đối với phần II, trên mặt cắt của nó cũng xuất hiện hệ nội lực do phần I tác dụng lên và khi thu về trọng tâm cũng nhận được hợp lực là véc tơ chính  $\vec{R}_1$ , mômen chính  $\vec{M}_1$  trực đối với cặp véc tơ chính  $\vec{R}$  và mômen chính  $\vec{M}$  của phần I (hình 3.12b).

Xét một phân tố diện tích  $dF$  bao quanh điểm khảo sát A trên mặt cắt  $\pi$  có phương pháp tuyến  $n$  (hình 3.12a), Gọi  $\Delta \vec{p}$  là véc tơ nội lực tác dụng trên diện tích  $\Delta F$ .

Ứng suất toàn phần tại điểm khảo sát là:

$$\vec{p} = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta F} = \frac{d\vec{p}}{dF} \quad (3.3).$$

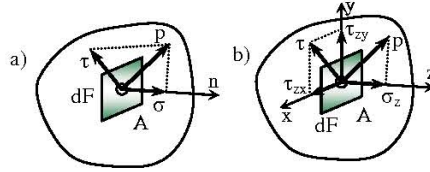
Vậy ứng suất tại một điểm trên mặt cắt là cường độ của nội lực trên một đơn vị diện tích tại điểm đó, nó là đại lượng véc tơ.

Thứ nguyên của ứng suất là  $\frac{[lực]}{[chiều dài]^2}$ .

Có thể phân ứng suất  $\vec{p}$  thành hai thành phần: một trên phương pháp tuyến  $n$  của mặt cắt gọi là ứng suất pháp tuyến ký hiệu  $\sigma$ , một nằm trong mặt cắt gọi là ứng suất tiếp tuyến ký hiệu  $\tau$  (hình 3.13a). Ta có hệ thức:

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2 \quad (3.4).$$

Hình 3.13: Ứng suất toàn phần và các hình chiếu.



Nếu ta gắn một hệ trục tọa độ  $Axyz$  sao cho  $Az$  trùng với phương pháp tuyến ngoài của mặt cắt lúc này ứng suất  $\vec{p}$  sẽ được phân làm ba thành phần: thành phần ứng suất pháp là hình chiếu của  $\vec{p}$  lên trục  $z$  ký hiệu  $\sigma_z$ , với  $\tau$  là hình chiếu của  $\vec{p}$  lên mặt cắt, lại tiếp tục chiếu  $\tau$  lên hai trục  $x, y$  nhận được hai thành phần  $\tau_{zx}$  và  $\tau_{zy}$ , trong đó hai chỉ số được ký hiệu bao gồm chỉ số thứ nhất cho biết phương pháp tuyến của mặt cắt và chỉ số thứ hai cho biết phương của ứng suất tiếp đó (hình 3.13b).

Ứng suất đặc trưng cho mức độ chịu đựng của vật liệu tại một điểm.

Nếu ứng suất vượt quá một giới hạn nào đó thì vật liệu bị phá hoại, việc xác định ứng suất là cơ sở để đánh giá mức độ an toàn của vật liệu, và xác định ứng suất là mục tiêu quan trọng của môn học SBVL.

## V. Giả thuyết về vật liệu trong SBVL.

### 1. Vật liệu có cấu tạo vật chất liên tục, đồng nhất và đẳng hướng.

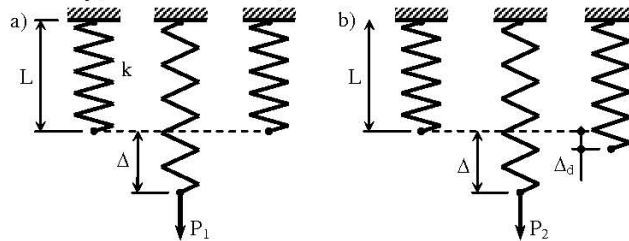
Vật liệu liên tục nghĩa là có cấu trúc liên tục, không bị gián đoạn bởi các lỗ rỗng. Với giả thiết này thì tọa độ của các điểm vật chất trong vật thể cũng như các liên hệ giữa chúng với các đại lượng khác như nội lực, biến dạng ... là liên tục. Điều này cho phép thực hiện các phép tính vi phân, tích phân khi nghiên cứu. Trên thực tế, trong không gian của vật liệu luôn tồn tại những khoảng trống giữa các hạt. Tuy nhiên kích thước của các khoảng trống này là vi mô so với kích thước vĩ mô của các chi tiết nghiên cứu, do đó giả thiết này có thể chấp nhận được.

Vật liệu đồng nhất có nghĩa là tại mọi điểm trong vật thể đều có tính chất cơ học giống nhau.

Vật liệu đẳng hướng có nghĩa là tại một điểm bất kỳ trong vật thể, tính chất cơ học theo mọi phương là như nhau.

### 2. Biến dạng của vật thể là đàn hồi tuyệt đối và có trị số bé.

Hình 3.14: Đàn hồi tuyệt đối và đàn dẻo.



Biến dạng là đàn hồi tuyệt đối (hình 3.14a) có nghĩa là lò xo ban đầu có chiều dài  $L$ , tác dụng lên lò xo bởi một lực  $P_l$  làm cho nó giãn ra một đoạn  $\Delta$ , khi thôi tác dụng lực  $P_l$  thì lò xo trở về lại với chiều dài ban đầu. Trên hình 3.14b, khi thôi tác dụng lực  $P_2$  thì lò xo không trở lại đúng với chiều dài ban đầu, trường hợp này ngoài phần biến dạng đàn hồi còn có thêm phần biến dạng dẻo  $\Delta_d$ .

Biến dạng được coi là bé khi các trị số biến dạng tỷ đối  $\varepsilon, \gamma, \theta$  nhỏ hơn nhiều so với đơn vị, chúng là những đại lượng vô cùng bé  $|\varepsilon|, |\gamma|, |\theta| \ll 1$  nên trong các biểu thức chứa biến dạng ta có thể bỏ qua tích của những biến dạng là vô cùng bé bậc cao, chỉ giữ lại những số hạng bậc nhất của biến dạng, dẫn đến ta nhận được các biểu thức tuyến tính của biến dạng làm cho việc tính toán đơn giản hơn nhiều.



### 3. Vật liệu làm việc tuân theo định luật Hooke.

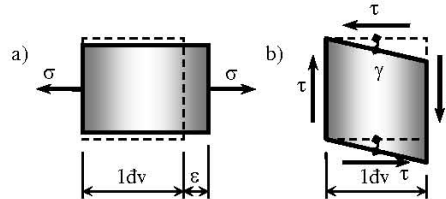
Độ giãn dài của lò xo tỷ lệ bậc nhất với lực tác dụng (hình 3.14a).

$$P = k \times \Delta \quad (3.5).$$

Phát biểu định luật dưới dạng tổng quát: biến dạng của vật thể tỷ lệ thuận với lực tác dụng, quan hệ giữa biến dạng và nội lực là quan hệ bậc nhất thuần nhất.

Ta sẽ xét định luật Hooke trong hai trường hợp đơn giản của một phân tử tách ra từ vật thể, có các cạnh bằng một đơn vị dài (hình 3.15).

Hình 3.15: Ứng suất và biến dạng trên phân tử.



Phân tử chỉ chịu ứng suất pháp theo một phương (hình 3.15a): biến dạng dài  $\varepsilon$  theo phương ứng suất tỷ lệ thuận với ứng suất pháp:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ hoặc: } \sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.6).$$

Với E – hằng số tỷ lệ gọi là môđun đàn hồi của vật liệu (môđun đàn hồi Young). E phụ

thuộc vào vật liệu có thứ nguyên  $\left[ \frac{\text{lực}}{(\text{chiều dài})^2} \right]$ , được xác định bằng thực nghiệm.

Bảng 1.1.

Vật liệu	$E (KN / cm^2)$
Thép (0,15% C ÷ 0,20% C)	$2.10^4$
Thép lò xo	$2,2.10^4$
Thép Niken	$1,9.10^4$
Gang xám	$1,15.10^4$
Đồng	$1,2.10^4$
Đồng thau	$(1 \div 1,2).10^4$
Nhôm	$(0,7 \div 0,8).10^4$
Gỗ thớ dọc	$(0,08 \div 1,2).10^4$

Phân tử chỉ chịu ứng suất tiếp (hình 3.15b): biến dạng góc  $\gamma$  tỷ lệ thuận với ứng suất tiếp:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \text{ hoặc: } \tau = G \cdot \gamma \quad (3.7).$$

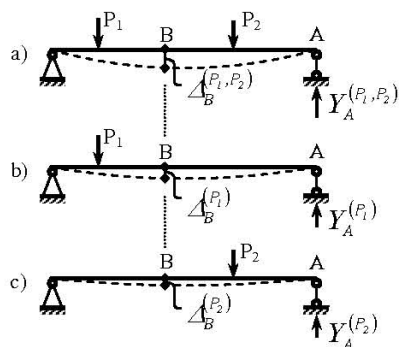
Với G – hằng số tỷ lệ gọi là môđun đàn hồi trượt của vật liệu (môđun đàn hồi cắt). G phụ

thuộc vào vật liệu có thứ nguyên  $\left[ \frac{\text{lực}}{(\text{chiều dài})^2} \right]$ , được xác định bằng thực nghiệm.

### VI. Nguyên lý cộng tác dụng.

Nếu các mối quan hệ là tuyến tính thuần nhất thì: Một đại lượng (nội lực, biến dạng, chuyển vị, ứng suất, phản lực liên kết...) do nhiều nguyên nhân gây ra sẽ bằng tổng đại lượng đó do từng nguyên nhân riêng lẻ gây ra.

Hình 3.16: Nguyên lý cộng tác dụng cho đại lượng chuyển vị và phản lực liên kết.



Nguyên lý được minh họa bởi dầm chịu uốn như trên hình 3.16. phản lực tại gối  $A$  hay chuyển vị tại điểm  $B$  do lực  $P_1$  và  $P_2$  gây ra trên hình 3.16a sẽ bằng tổng của các phản lực tại gối  $A$  hay chuyển vị tại điểm  $B$  do lực  $P_1$  gây ra trên hình 3.16b và do lực  $P_2$  gây ra trên hình 3.16c.

$$Y_A^{(P_1, P_2)} = Y_A^{(P_1)} + Y_A^{(P_2)};$$

$$\Delta_B^{(P_1, P_2)} = \Delta_B^{(P_1)} + \Delta_B^{(P_2)}.$$

Nguyên lý cộng tác dụng cho phép thay việc tính toán bài toán phức tạp bằng cách đi giải các bài toán đơn giản nên dễ giải quyết hơn. Vì vậy, nó thường được sử dụng trong SBVL.