

## Chương I

### CƠ SỞ CỦA VẬT LÝ HỌC

*“Không tồn tại các tính chất,  
chỉ tồn tại những sự vật có các tính chất...”*

*Phidric Anggel*

#### 1.1. Các phạm trù cơ bản

**1. Vật chất** – là phạm trù cơ bản rộng nhất để chỉ tất cả những gì tồn tại.

Bản thân "tồn tại" là khái niệm đa nghĩa, nhưng ở đây chúng ta chỉ sử dụng một nghĩa mang tính triết học theo Anggel: “Không tồn tại các tính chất, chỉ tồn tại những sự vật có các tính chất...”. Sự hiện hữu của sự vật khác với sự hiện hữu các tính chất của chúng: tính chất là cái mà các vật hay sự vật "sở hữu", chúng không thể "tồn tại" nếu không tồn tại các sự vật. Ví dụ anh A cao 1m80, nặng 70kg. Ở đây, "cao" và "nặng" chỉ là các tính chất của anh A; chúng có hiện hữu không? - Có! Nhưng không có anh A chúng không có nghĩa - chúng là các tính chất mà anh A có - không có khái niệm "nặng" hay "cao" chung chung mà không gắn với một vật cụ thể nào. Một ví dụ khác: giấc mơ là hiện hữu với một cô B nào đó, nhưng không có cô B đó sẽ chẳng có cái giấc mơ ấy. Anh A, cô B, hoặc các chủ thể khác tương tự có thể "tồn tại", còn "nặng", "cao", "giấc mơ"... chỉ là những hiện hữu gắn với các chủ thể đó; chúng không tồn tại. Trong ngôn ngữ bình dân, hay văn học người ta vẫn dùng chữ "tồn tại" này như khái niệm đồng nghĩa với "có", "hiện hữu", chẳng hạn: "Trong văn học cận đại tồn tại khái niệm thơ mới". Sau này, ở mục 1.4. chúng ta còn được biết tới một thuộc tính của khái niệm "tồn tại" đó là "tương tác" lẫn nhau. Một vật không tương tác với bất kỳ một vật nào khác đồng nghĩa với "không tồn tại". "Tương tác" là nguyên nhân, hay là bằng chứng của "sự tồn tại".

Vật chất không tự nhiên sinh ra, không tự nhiên mất đi, tồn tại vĩnh viễn, vô cùng, vô tận. Vật chất tồn tại ở vô số các dạng khác nhau, tuy nhiên, có hai dạng cơ bản đó là thực thể vật lý và thực thể ý thức. Thực thể vật lý là dạng tồn tại của vật chất có cấu trúc, còn những gì tồn tại không có cấu trúc gọi là thực thể phi vật lý hay nói ngắn gọn là ý thức.

Thực thể vật lý bao gồm 2 bộ phận cấu thành đó là *vật thể* và *trường* sẽ được xem xét chi tiết ở mục 1.3.1. Thực thể vật lý có thể tồn tại khách quan hoặc tồn tại chủ quan. Thực thể vật lý khách quan là dạng vật chất tồn tại không bị ảnh hưởng bởi ý thức, có thể gọi là *tồn tại khách quan*. Ví dụ như nguyên tử, phân tử của các hợp chất thiên nhiên, các vật thể của Tự nhiên... Thực thể vật lý chủ quan là dạng vật chất tồn tại phụ thuộc vào ý thức, có thể gọi là *tồn tại chủ quan*. Ví dụ như các hợp chất, các công trình nhân tạo; các thiết bị, máy móc do con người sáng chế ra... như tivi, tủ lạnh, ô tô v.v.. là những thứ mà nếu không có con người thì chẳng bao giờ chúng có thể tồn tại trong Vũ trụ này. Như vậy, không phải mọi hiện tượng và sự vật đều tồn tại khách quan, độc lập với ý thức của con người, trái lại, sự có mặt của ý thức con người cũng giống như với sự có mặt của bất kỳ một thực thể vật lý nào khác sẽ có sự ảnh hưởng qua lại lẫn nhau một cách biện chứng. Trong các thí nghiệm đối với các hạt cơ bản, khi thao tác “quan sát” của con người có thể so sánh được với tác dụng của chính các sự vật và hiện tượng cần nghiên cứu thì sự ảnh hưởng của chủ quan là rất rõ rệt, đôi khi có thể làm thay đổi hẳn bản chất của sự vật và hiện tượng cần nghiên cứu.

Ý thức có thể tồn tại cùng với thực thể vật lý (ở dạng động vật và con người) hoặc phi vật thể (ở dạng linh hồn). Vì nhận thức là phạm trù lịch sử gắn với sự tồn tại của con người – một dạng động vật cao cấp – có sinh, có tử, trong khi đó, vật chất là phạm trù vĩnh cửu – không sinh, không diệt cho nên về nguyên tắc, vật chất chỉ có thể nhận thức được đến một chừng mực nào đó, một giới hạn nào đó,

nhưng cũng có thể không nhận thức được. Chính vì thế, không thể có một lý thuyết nào là “tối hậu” mô tả được thế giới vật chất. Nhận thức dù dưới bất cứ dạng nào cũng chỉ là quá trình tiệm cận đến chân lý mà không bao giờ đến được chân lý đó. Nhưng nói như vậy không có nghĩa là phủ nhận khả năng nhận thức thực tại của con người theo quan điểm “bất khả tri luận”, mà trái lại, việc phân định rõ giới hạn của nhận thức cũng đồng nghĩa với khả năng có thể nhận thức được một phần của thực tại mà nó đã, đang và sẽ tồn tại trong đó. Theo quan điểm của phép biện chứng duy vật, cái tổng thể không thể nào tách rời khỏi những cái bộ phận và trong những cái bộ phận cũng vẫn bao hàm cả cái tổng thể. Phần 1 của CDM này sẽ chỉ nghiên cứu các thực thể vật lý tồn tại khách quan hay nói ngắn gọn là tồn tại khách quan.

**2. Không gian** – là một thuộc tính của vật chất thể hiện ở độ lớn của nó từ vô cùng bé tới vô cùng lớn, và là hình thức tồn tại của tất cả những dạng vật chất.

Bên cạnh khái niệm “độ lớn” (lớn, bé) – còn có khái niệm đồng nghĩa là “khoảng cách” (xa, gần). Mọi dạng tồn tại của vật chất đều có không gian của mình từ “vô cùng bé” (nhưng không bao giờ bằng không) tới “vô cùng lớn” và bao gồm *không gian nội vi* – từ vô cùng bé tới kích thước hiện hữu của nó và *không gian ngoại vi* – từ kích thước hiện hữu của nó tới vô cùng lớn. Tuy nhiên, việc phân định giữa không gian nội vi và không gian ngoại vi của một thực thể vật lý chỉ có tính chất tương đối, không có một ranh giới nghiêm ngặt, tùy thuộc vào từng điều kiện cụ thể. Ví dụ một nguyên tử hydrozen có không gian nội vi từ vô cùng bé tới “kích thước” hiện hữu của nó là  $0,53 \times 10^{-10} \text{m}$ , tuy nhiên, tùy thuộc vào trạng thái năng lượng mà “kích thước” này có thể bị thay đổi, thậm chí trong phạm vi rất rộng – lớn hơn vài chục lần.

Vì không gian chỉ là một thuộc tính của vật chất nên, về nguyên tắc, nó phải phụ thuộc vào chính vật chất mà không thể tồn tại độc lập. Sự phụ thuộc này thể

hiện trước hết là qua ảnh hưởng của các dạng tồn tại cụ thể của vật chất lên các không gian đó – “nhân nào, quả ấy”, nên ta có thể gọi những không gian như vậy là *không gian vật chất*. Nhưng vật chất lại vô cùng, vô tận nên không gian vật chất không khi nào có thể “trống rỗng”. Thay vì khái niệm “không gian trống rỗng” hay “chân không”, ta sẽ sử dụng khái niệm *không gian thuần* – đó là *vùng không gian không chứa bất cứ một vật thể nào* (khái niệm “vật thể” xem ở mục 1.3.1). Tuy nhiên, như sau này sẽ thấy ở Chương III, mục 3.2c, một không gian như vậy hầu như không tồn tại vì không thể loại bỏ được các loại bức xạ với đủ loại tần số từ photon tới tia  $\gamma$  và neutrino. Khái niệm “ở đây” hay “ở kia” chỉ có nghĩa đối với phần không gian nội vi của một vật thể này so với không gian nội vi của một vật thể khác. Như thế, không gian vật chất, xét cho cùng, luôn là chồng chập vô số các không gian của vô số các dạng tồn tại khác nhau của vật chất – nó không bao giờ là độc lập, và cũng chính vì vậy, mọi dạng tồn tại của vật chất cũng không bao giờ là độc lập, trái lại, luôn tương tác với nhau, quy định lẫn nhau... Khái niệm “vật thể cô lập” không những không có ý nghĩa triết học mà về mặt vật lý cũng vô nghĩa. Khái niệm “hệ cô lập” chỉ có thể được hiểu với nghĩa tương đối khi bỏ qua ảnh hưởng của những dạng vật chất khác lên những dạng vật chất đang xét trong cái gọi là “hệ cô lập” đó.

Việc nhận biết không gian vật chất phải nhờ đến các cơ quan thụ cảm cảm nhận những tác động của vật mang thông tin về không gian đó. Thông thường, không gian này được nhận biết bằng thị giác, mà thị giác thì cảm nhận ánh sáng – vật mang thông tin. Tuy nhiên, nếu vật mang thông tin không phải là ánh sáng mà là một dạng thực thể vật lý nào đó khác, như “siêu âm” đối với loài dơi chẳng hạn, thì nó có thể cho “thông tin” về một không gian hoàn toàn khác – không màu, hữu hạn, chẳng có hệ mặt trời, chẳng có những ngôi sao... Nói chung, *tất cả những dạng không gian nhận thức được thông qua các thực thể vật lý – vật mang thông*

*tin như vậy – gọi là “không gian vật lý”.* Điểm khác biệt của “không gian vật lý” với “không gian vật chất” chính là ở tính chủ quan của nó – phụ thuộc vào cách mà ta nhận được nó. Cho đến nay, sự nhầm lẫn giữa không gian vật lý với không gian vật chất đã làm sai lệch về căn bản nhận thức của chúng ta về thế giới vật chất.

Tuy nhiên, những gì liên quan tới khái niệm không gian không chỉ dừng lại ở đây. Đi xa hơn nữa, bằng cách bỏ qua tất cả các yếu tố vật chất liên quan tới cả đối tượng lẫn vật mang thông tin, người ta tạo nên một không gian hoàn toàn khác về chất, đó là “không gian hình học”. Đối tượng của không gian hình học bây giờ là điểm, đường, mặt... – những khái niệm thuần túy toán học. Như vậy, *không gian hình học là sự trừu tượng hóa không gian vật lý bằng cách tách rời thuộc tính không gian ra khỏi vật chất.* Ta có các không gian hình học Euclid, Lobatrevsky, Riemann... các không gian hình học khác nhau luôn phải độc lập nhau mà không thể chồng chập với nhau như không gian vật chất. Khi chúng ta nói “trong một không gian nào đó... có một cái gì đó...”, chúng ta đã ngầm cho phép sự tồn tại của cái gọi là một “không gian nào đó” một cách độc lập và một “cái gì đó” cũng độc lập, và nếu không có một “cái gì đó” thì có nghĩa là chỉ còn lại một không gian “trống rỗng”. Điều này chỉ đúng đối với không gian vật lý và “hậu duệ” của nó là không gian hình học – kết quả của tư duy trừu tượng.

Ở đây, cần phải phân biệt các khái niệm “vô cùng bé” và “vô cùng lớn” của không gian vật chất với cũng những khái niệm đó của không gian hình học. Đối với không gian vật chất, “vô cùng bé” không đồng nhất với “không có kích thước” hay là “điểm” đối với không gian hình học; “vô cùng lớn” không đồng nghĩa với những khoảng cách không bao giờ kết thúc; giữa vô cùng bé và vô cùng lớn – hai mặt đối lập nhau luôn luôn thống nhất với nhau một cách biện chứng chứ không độc lập nhau như đối với không gian hình học – điều này cực kỳ quan trọng.

Vấn đề mấu chốt ở đây cần phải được hiểu thấu đáo là không gian vật chất chỉ là một cách hiểu khác đi, đơn giản hóa đi về chính vật chất, khi tạm “quên” đi những tính chất khác chỉ giữ lại một thuộc tính của nó mà thôi, kiểu như một đứa trẻ chỉ cần nghe “giọng nói” đã xác định ngay đó là “mẹ”, nhưng “giọng nói” không thể tồn tại độc lập với người mà được nó gọi là “mẹ”. Trong khi đó, không gian hình học là do ta trừu tượng hóa không gian vật lý và có thể là cả không gian vật chất lên nhờ các khái niệm toán học như điểm, đường, mặt... – kết quả của quá trình thuần túy tư duy lôgic thoát khỏi sự ràng buộc với các dạng tồn tại của vật chất. Chính vì vậy, khi quay từ hình học trở về với vật lý, với các dạng vật chất cụ thể cần phải tính đến sự sai khác này.

Để có thể xác định được khoảng cách, hay khái quát hơn là vị trí tương đối của mọi vật so với một vật nào đó, ta cần tiến hành “đo đạc”. Thực tế cho thấy, trong trường hợp tổng quát, cần phải có tối thiểu 3 “số đo” mới có thể xác định được vị trí một cách đơn trị. Mỗi một “số đo” như vậy tương ứng với một “chiều” không gian của vật thể đó. Không gian vật chất và không gian vật lý có 3 chiều, và cũng chỉ cần có 3 chiều mà thôi. Tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách trong các tương tác hấp dẫn và tương tác Coulomb được thực nghiệm xác nhận với độ chính xác cao đã nói lên điều đó. Không gian toán học có thể có số “chiều” lớn hơn 3, không hạn chế, nhất là đối với các dạng hình học phi Euclid kiểu Hilbert hay Riemann với các đối tượng của nó lúc này không đơn thuần chỉ là điểm, đường, mặt... theo đúng nghĩa đen của những từ này nữa, mà có thể là bất cứ một tập hợp nào, không quan trọng là cái gì, miễn là có cùng một tính chất xác định. Những hình học loại này hoàn toàn không còn sử dụng để làm *công cụ mô phỏng* không gian vật chất được nữa, mà khả quan nhất cũng chỉ có thể đóng vai trò làm *công cụ tính toán* những thông số nào đó của không gian vật chất trong một giới hạn nhất định nào đó mà thôi. Thuyết tương đối, lý thuyết trường lượng

tử và các lý thuyết thống nhất M, siêu dây, lượng tử vòng v.v.. đã sử dụng 2 loại hình học này làm cơ sở, trong khi không phân biệt được những sai khác kể trên với không gian vật chất, nên kết cục đã làm sai lệch nhận thức của chúng ta về thế giới tự nhiên.

*Chiều của không gian được đặc trưng bởi một đại lượng gọi là chiều dài với mẫu đo là một vật thể hoặc hệ vật thể nào đó được lựa chọn – gọi là thước đo.*

Như vậy, thước đo có thể là không gian nội vi của một vật thể hoặc một phần không gian ngoại vi của nó, và vì vậy, chiều dài mỗi chiều của không gian hoàn toàn phụ thuộc vào thước đo này.

*Đơn vị chiều dài trong hệ SI được chọn là mét (m). Độ đo hai chiều không gian được gọi là diện tích với mẫu đo là vật hình vuông. Đơn vị diện tích trong hệ SI là mét vuông ( $m^2$ ). Độ đo ba chiều không gian gọi là thể tích với mẫu đo là vật hình lập phương. Đơn vị thể tích là mét khối ( $m^3$ ). Nhờ có thước đo mà có thể đo được kích thước của vật thể cũng như khoảng cách giữa các vật thể với nhau.*

Đặc tính quan trọng nữa của không gian là tính đồng nhất – như nhau ở mọi nơi và đẳng hướng – như nhau ở mọi hướng. Các không gian hình học là đồng nhất và đẳng hướng trong khi không gian vật chất và không gian vật lý không thể đẳng hướng và không thể đồng nhất vì các dạng vật chất không đồng nhất, không phân bố đồng đều ở khắp mọi nơi và khắp mọi hướng. Hơn thế nữa, khái niệm “hướng” trong không gian hình học thường được chỉ ra bởi một “tia” bất kỳ xuất phát từ một điểm bất kỳ trong không gian đó, trong khi đó, “hướng” của không gian vật chất lại không thể tùy tiện mà do chính dạng vật chất có không gian đó quy định mà chúng ta sẽ đề cập đến sâu hơn ở mục 1.3.5. “*Lực, lực trường thế và hiện tượng quán tính*”.

Tóm lại, từ những phân tích ở trên với 3 loại không gian, chỉ có “không gian vật chất” mới đúng là thuộc tính cố hữu của vật chất, còn 2 dạng không gian khác được hình thành là do nhận thức chủ quan của con người mà thôi.

**3. Vận động** – là một thuộc tính của vật chất thể hiện ở sự thay đổi về lượng thuộc tính không gian của các dạng tồn tại của nó.

Vì không gian của bất kỳ một dạng tồn tại nào của vật chất cũng đều là vô cùng, vô tận nên sự thay đổi này chỉ có thể xảy ra một cách tương đối giữa không gian nội vi và không gian ngoại vi của cùng một thực thể vật lý, hoặc giữa không gian nội vi của các thực thể vật lý với nhau – độ lớn tương đối của các không gian nội vi đó, hoặc khoảng cách giữa chúng.

Mỗi một dạng tồn tại cụ thể của vật chất có thể có những dạng vận động khác nhau từ đơn giản đến phức tạp. Dạng vận động đơn giản nhất là chuyển động cơ học của các vật thể. Một dạng vận động phức tạp không chỉ đơn thuần là phép cộng các dạng vận động giản đơn mà là một phép tổ hợp hữu cơ các dạng vận động giản đơn đó theo quy luật lượng đổi-chất đổi. Các tổ hợp này hoàn toàn khác về chất với các dạng vận động cấu thành. Một electron và một proton độc lập chỉ là hai hạt có điện tích bằng nhau nhưng trái dấu, bị lệch theo hai hướng khác nhau trong điện trường nhưng khi kết hợp với nhau thành nguyên tử hydrozen – hoàn toàn không bị lệch hướng trong điện trường, không những thế, còn có những tính chất hóa lý hoàn toàn khác; tương tự như vậy, hai electron và hai proton thành helium, v.v.. cho đến các chất hữu cơ phức tạp cấu tạo nên bộ não của con người với các trạng thái tâm sinh lý chẳng liên quan gì tới hành vi của các electron và proton cấu thành nên nó. Ngay cả những dạng vận động khá trừu tượng như vận động xã hội cũng chỉ là hệ quả của tập hợp vô số các dạng vận động thành phần mà vốn dĩ cũng được hình thành từ những vận động giản đơn ban đầu v.v.. Tuy nhiên như đã nói, theo quy luật lượng đổi-chất đổi, mỗi một dạng vận động ở mức



tổ hợp cao hơn sẽ có những quy luật vận động riêng, những nguyên lý riêng nhưng luôn luôn thống nhất với các quy luật vận động chung nhất của vật chất, không nằm ngoài chúng – điều này khác hẳn với quan niệm cơ học tầm thường khi quy tất cả các dạng vận động về chuyển động cơ học thuần túy, nhưng cũng loại bỏ cả quan niệm trừu tượng về các dạng vận động không gắn với sự thay đổi thuộc tính không gian mà về thực chất chỉ là biểu hiện của siêu hình.

Dù ở bất cứ dạng nào thì vật chất cũng luôn vận động – không có gì khác hơn ngoài vật chất vận động. Chính vì thế, *không bao giờ và không ở đâu có thể có một hiện tượng hay sự vật nào xuất hiện hơn một lần* và cũng không bao giờ có thể tồn tại được một hiện thực “tối hậu”, trái lại, bản thân cái gọi là “hiện thực” cũng luôn luôn biến đổi. Cái duy nhất có được tính ổn định hay bất biến chỉ là các quy luật vận động của vật chất (hay của hiện thực) chứ không phải chính bản thân hiện thực đó. Chính vì vậy, *đứng yên* chỉ là một khái niệm tương đối khi so sánh các hiện tượng cá biệt còn *vận động* là tuyệt đối.

*Độ đo sự vận động của vật chất được gọi là thời gian với mẫu đo là các kiểu vận động nào đó, thường là có chu kỳ, của một dạng vật chất được lựa chọn gọi là đồng hồ.*

Khái niệm “có chu kỳ” tức là lặp đi, lặp lại trong một điều kiện nhất định chứ không có nghĩa là lặp đi, lặp lại đúng trạng thái trước đó xét trên tổng thể vì tính phụ thuộc lẫn nhau của tất cả các dạng vật chất. Tùy thuộc vào kiểu vận động của một dạng vật chất cụ thể được lựa chọn làm đồng hồ mà “thời gian” nó chỉ ra có thể phụ thuộc nhiều hay ít vào chuyển động tương đối của chính đồng hồ đó. Ví dụ, nếu dùng đồng hồ quả lắc trên đoàn tàu cao tốc thì thời gian mà nó chỉ ra dường như sẽ “chậm dần” khi tốc độ của đoàn tàu tăng dần lên vì lúc này, trọng lượng của quả lắc giảm đi do lực ly tâm tăng lên (bề mặt Trái đất hình cầu mà). Nếu tốc độ đoàn tàu có thể đạt đến được 7,9 km/s thì đồng hồ sẽ ngừng không

chạy nữa - ở trạng thái không trọng lượng, “con lắc” không thể lắc được! Trong khi đó, nếu dùng đồng hồ lên dây cót, sử dụng độ căng của lò so thì sẽ bị ảnh hưởng ít hơn nhiều, nhưng nếu đặt nó trong một từ trường, dây cót lại có thể bị nhiễm từ và thời gian nó chỉ ra sẽ khác.

Như vậy, thời gian không tồn tại khách quan mà trái lại, chỉ là một khái niệm chủ quan của con người với mục đích so sánh sự diễn biến các quá trình xảy ra trong thế giới vật chất xung quanh trong đó có chính bản thân mình. Sự so sánh đó là một dạng của nhận thức không ngoài mục đích sinh tồn. Ở một nơi nào đó trong vũ trụ không có con người, chẳng có “đồng hồ”, chẳng cần “so sánh nhanh chậm”, và do đó cũng chẳng cần đến thời gian, mọi quá trình vật lý vẫn cứ diễn ra, ảnh hưởng lẫn nhau, quy định lẫn nhau... chính vì thế, không thể có thời gian tuyệt đối, như nhau ở mọi nơi, không phụ thuộc vào vận động của vật chất và tồn tại khách quan không phụ thuộc vào ý thức của con người, và do vậy, lại càng không thể nói đến thời gian như một “chiều” của thực tại vật lý được vì, nói một cách nôm na, nó đơn giản chỉ là sự thay đổi của thực tại vật lý, tức là một tính chất của thực tại mà không phải là chính thực tại đó. “Không-thời gian 4 chiều” chỉ thuần túy là một trong vô vàn dạng không gian hình học theo nghĩa là đa tạp  $n$  chiều, không những thế, nó không còn có thể đóng vai trò “mô phỏng” không gian vật chất, thậm chí là cả không gian vật lý được nữa. Tuy nhiên, các phương trình dựa trên continuum “không-thời gian 4 chiều” có thể đóng vai trò là công cụ tính toán các chuyển động của một số dạng vật chất cụ thể nào đó giống như không-thời gian 2 chiều  $(x, t)$  để tính toán chuyển động của một vật theo đường thẳng; các đại lượng phức như dòng điện phức và điện áp phức trong tính toán mạch điện hình sin ở lý thuyết mạch điện v.v..

Người ta thường nói tới “mũi tên thời gian” với nghĩa là nó “trôi” từ quá khứ tới tương lai. Thật ra ở đây chẳng có cái gì “trôi” cả mà đơn giản chỉ là cách ví

von “dân dã” và sự quy ước trình tự các sự kiện để dễ hơn cho việc nhận thức chúng chứ hoàn toàn không mang một ý nghĩa vật lý nào. Như trên chúng ta vừa nói tới tính vô cùng, vô tận của vật chất và sự vận động không ngừng nghỉ của nó đã khiến cho “không bao giờ và không ở đâu có thể có một hiện tượng nào xuất hiện hơn một lần”. Bất kể một sự lặp lại nào, nếu có, cũng đều mang tính cục bộ, và điều này cũng có nghĩa là “mũi tên thời gian” đương nhiên chỉ có một chiều mà không cần phải viện dẫn tới định luật 2 của nhiệt động lực học. Hơn thế nữa, khái niệm *thời điểm* cũng hoàn toàn mang tính quy ước một cách tương đối giống như “điểm” của không gian vật chất, vì nó không bao hàm ý nghĩa là một “điểm” không có “kích thước” trên trục thời gian như với điểm trên trục không gian hình học. “Kích thước” của thời điểm hoàn toàn phụ thuộc vào độ phân giải của đồng hồ mà ta sử dụng. Nếu sử dụng đồng hồ cơ khí đeo tay thông thường thì thời điểm có kích thước lớn hơn nhiều so với thời điểm của đồng hồ nguyên tử. Tuy nhiên, không thể tồn tại được về nguyên tắc một loại đồng hồ nào để kích thước của thời điểm có thể tiến tới 0. Như vậy, nhận thức của chúng ta về thế giới vật chất còn bị giới hạn bởi chính loại đồng hồ mà chúng ta sử dụng. Trong toán giải tích, chúng ta có khái niệm đạo hàm và vi phân, nếu đem áp dụng vào vật lý với biến số thời gian sẽ cho chúng ta những khái niệm thuần túy toán học chứ không có ý nghĩa vật lý như chúng ta vẫn tưởng, ví dụ như vận tốc tức thời là đạo hàm bậc nhất theo thời gian:  $V(t)=dS(t)/dt$ , ở đây  $dt=(\Delta t \rightarrow 0)$  không có ý nghĩa vật lý vì nó mâu thuẫn với “nguyên lý tác động tối thiểu” sẽ được biết tới ở mục 1.3.6. và khi đó, đồng nghĩa với *không vận động*. Chỉ có vận tốc trung bình xác định bằng tỷ số giữa quãng đường vật đi được trong một khoảng thời gian:  $V_{tb}=\Delta S(t)/\Delta t$  trong đó mới có ý nghĩa vật lý. Ngoài ra, còn một số khái niệm khác nữa trong vật lý liên quan tới thời điểm này cũng bị lạm dụng như gia tốc tức thời, tần số tức thời... (xem

Phụ lục 24). Giới hạn áp dụng những khái niệm này cần phải được tính đến trong nhiều trường hợp.

*Đơn vị thời gian trong hệ SI được chọn là giây (s).* Nhờ có đồng hồ mà có thể đo được sự vận động của vật thể và so sánh sự vận động của hai vật thể khác nhau: nhanh hơn hay chậm hơn.

#### **4. Nhận xét**

Như vậy, ý thức được coi là một dạng tồn tại của vật chất mà không phải là một phạm trù đối lập với vật chất như trước đây vẫn quan niệm – đây cũng là ý kiến của khá nhiều nhà khoa học trong những năm gần đây. Tuy nhiên, cũng phải thừa nhận một điều là quan niệm này tuy không mới nhưng vẫn chỉ dừng lại ở dạng khái niệm có tính “giả thuyết” hơn là một “khẳng định có tính khoa học” – tạm coi như vấn đề vẫn còn bỏ ngỏ cho Phần II của CDM. Thêm nữa, trình tự các phạm trù cơ bản của triết học cũng được thay đổi tương ứng với trật tự logic về nội dung của chúng. Đặc biệt là phạm trù “không gian” đã được phân tích một cách tỷ mỉ và tách bạch thành 3 dạng: “không gian vật chất”, “không gian vật lý” và “không gian hình học” trong đó ở cấp “phạm trù” chỉ có không gian vật chất – nó mới đúng là thuộc tính cố hữu của vật chất. Cuối cùng, trong các phạm trù cơ bản của triết học, chúng ta thấy thiếu vắng “thời gian” với vai trò “ngang hàng” với các phạm trù vật chất, không gian và vận động. Thời gian ở đây chỉ là “độ đo sự vận động” nên chẳng có lý do gì để nó tồn tại như một thuộc tính của vật chất cả – thuộc tính đó vốn đã là vận động rồi. Điều này cũng giống như “chiều dài” đã là “độ đo của không gian”, “lực” là “độ đo của tương tác” rồi thì hà tất gì phải khoác cho chúng thêm cái “mác” nào khác nữa?

Để có thể dễ dàng hình dung toàn bộ bức tranh thế giới vật chất, ta đưa ra một sơ đồ liên hệ giữa các phạm trù triết học và các khái niệm cơ bản của vật lý học như trên Hình 1.14 ở cuối Chương I này.

## 1.2. Các quy luật vận động cơ bản của vật chất.

### 1. Quy luật đấu tranh và thống nhất giữa các mặt đối lập.

Bất kể một dạng tồn tại nào của vật chất cũng đều do những nguyên nhân nào đó quy định bởi nếu không, nó đã không tồn tại ở dạng đó. Nhưng tồn tại cũng chính là vận động mà nguyên nhân và động lực của sự vận động đó là *sự đấu tranh và thống nhất giữa các mặt đối lập* – đây là quy luật vận động thứ nhất của vật chất. Không thể có một dạng tồn tại nào của vật chất mà không hàm chứa trong mình các mặt đối lập nhau. Nếu tất cả đều như nhau, giống nhau thì chỉ là một tập hợp những “xác chết”. Vấn đề là cần phải nhận thức cho được, đâu là các mặt đối lập tạo nên sự thống nhất, còn đâu chỉ là các mặt khác nhau của sự vật mà việc kết hợp của chúng chỉ tạo ra những “hỗn hợp” nhất thời, không bền vững, thậm chí chỉ là những “món hẩu lốn”. Trong vật lý đó là sự thống nhất giữa vô cùng bé và vô cùng lớn của không gian vật chất; giữa không gian nội vi và không gian ngoại vi, giữa nội năng và ngoại năng của một thực thể vật lý; giữa tính chủ động và tính bị động của các tương tác, giữa cho và nhận năng lượng v.v.. Nếu không có các mặt đối lập này sẽ không thể có bất cứ sự vận động nào nhưng nếu không có sự thống nhất giữa chúng thì cái gọi là “dạng vật chất” không thể được hình thành và do đó khái niệm vận động cũng không còn có nghĩa nữa.

### 2. Quy luật lượng đổi - chất đổi.

Chất là quy định vốn có, là tổng hợp nhiều thuộc tính của một dạng tồn tại nào đó của vật chất. Lượng là quy định vốn có về quy mô, độ lớn, mức độ... của những tính chất, thuộc tính hay là chính bản thân một chất nào đó. Để quá trình đấu tranh giữa các mặt đối lập có thể hình thành nên một dạng tồn tại nào đó của vật chất tức là tạo nên một sự thống nhất, hoặc chuyển hóa từ dạng này sang một

dạng khác tức là thay đổi về chất thì sự đấu tranh hay thống nhất đó cần phải đạt tới một sự thay đổi nhất định về lượng.

*Sự thay đổi về lượng đến một mức độ nào đó (chứ không phải là bất cứ mức độ nào) sẽ dẫn đến sự thay đổi về chất.*

Ví dụ như than và kim cương là hai chất khác hẳn nhau nhưng do cùng nguyên tố Các bon cấu tạo nên. Sự thay đổi về lượng ở đây là *mức độ tương tác* giữa các nguyên tố Các bon trong *cấu trúc* tinh thể. Cũng có thể nói rằng chính sự thay đổi về *cấu trúc* tinh thể này đã dẫn đến sự thay đổi về *mức độ tương tác* giữa các nguyên tố Các bon và rồi dẫn đến sự thay đổi về *chất*: than hay kim cương.

Bản thân *cấu trúc* vốn lại là cấu thành của *chất* nên cũng có thể nói rằng *sự thay đổi về chất đến một mức độ nào đó sẽ dẫn đến sự thay đổi về “lượng”*, ở thí dụ trên, là *mức độ của tương tác*. Quy luật lượng đổi – chất đổi là quy luật vận động thứ hai quy định *phương thức* vận động của vật chất. Nó được thể hiện cụ thể trong vận tốc tối hạn của mọi chuyển động ở mục 1.3.3, sự tồn tại của các hạt cơ bản ở mục 1.3.1, nguyên lý tác động tối thiểu ở mục 1.3.5 và trong rất nhiều tình huống khác.

### 1.3. Các khái niệm cơ bản của vật lý học

#### 1. Vật thể, trường và hạt cơ bản.

*Vật thể* là phần thực thể vật lý tương ứng với không gian nội vi của thực thể vật lý đó, còn phần tương ứng với không gian ngoại vi của nó – quy ước gọi là *trường*. Đó là hai mặt đối lập của cùng một thực thể vật lý thống nhất, chúng phụ thuộc lẫn nhau, quy định lẫn nhau một cách biện chứng; nói cụ thể hơn, mỗi vật thể đều quy định cho mình một trường bao quanh, trường của mỗi vật thể lại quy định cho nó một vật thể để nó hướng tới, chúng hỗ trợ cho nhau, phụ thuộc lẫn nhau, chuyển hóa qua lại lẫn nhau theo 2 quy luật vận động cơ bản của vật chất. Nhờ sự hiện hữu của không gian nội vi mà có thể phân biệt thực thể vật lý này (có

không gian nội vi này) với thực thể vật lý khác (có không gian nội vi khác). Như vậy, về tổng thể, bất cứ vật thể nào cũng đều tồn tại trong không gian ngoại vi (trường) của các thực thể vật lý khác, và đến lượt mình, tất cả các vật thể khác đều tồn tại trong không gian ngoại vi (trường) của chính vật thể đó vì thế nên mới nói “không gian vật chất luôn là chòng chập vô số các không gian của vô số các dạng vật chất khác nhau”.

Mặt khác, theo quy luật vận động thứ nhất, đối với một thực thể vật lý, không gian nội vi và không gian ngoại vi là hai mặt đối lập nhau, và vì chúng luôn thống nhất với nhau nên không gian nội vi càng lớn bao nhiêu thì không gian ngoại vi lại càng nhỏ bấy nhiêu. Nếu cả Vũ trụ được coi là một thực thể vật lý duy nhất, tức là không gian nội vi của nó tiến tới vô cùng và do đó không gian ngoại vi sẽ phải tiến tới không – điều này hoàn toàn phù hợp với giả thiết ban đầu về một “thực thể vật lý duy nhất” – đã duy nhất thì không thể còn có “cái gì đó” ở bên ngoài nó nên khái niệm không gian ngoại vi là vô nghĩa.

Như vậy, khái niệm quả táo như một thực thể vật lý phải được hiểu là bao gồm phần “vật thể” – có hình dạng “quả táo” hiện hữu với kích thước hữu hạn và phần “trường” mở rộng ra đến một mức độ nào đó nhưng không phải là vô cùng lớn. Bản thân “quả táo” do vậy sẽ “cảm nhận” được các dạng vật chất khác đang tồn tại thông qua “trường” của nó. Trong khi đó, nếu nhận biết bằng ánh sáng, chúng ta chỉ có thể thấy những vật thể phân bố đó đây, rời rạc và giữa chúng là những khoảng không – “không gian trống rỗng”; và rồi để có thoát khỏi “sự trống rỗng”, ta cho nó “chứa” một loại “chất” đặc biệt – ether. Sự xuất hiện điện động lực học Maxwell thoạt đầu là dựa vào chính ether này, nhưng về sau, đã đưa được vào khái niệm trường điện từ thay cho không gian tuyệt đối với ether là một bước tiến quan trọng trong nhận thức: trường điện từ có thể được xem tương đương như một dạng không gian vật chất trong hệ thống các phạm trù cơ bản của chúng ta.

Tuy nhiên, việc cho phép tồn tại khái niệm “chân không” (vacuum) đã làm “hông” mọi chuyện – nó dường như nhắc nhở tới không gian tuyệt đối đã vừa mới được vứt bỏ đi. Hơn thế nữa, do không phân biệt được sự khác nhau giữa không gian vật chất với không gian hình học thành ra trong “ngôn ngữ” của trường điện từ chúng ta vẫn thấy xuất hiện những khái niệm của không gian thuần túy hình học khiến cho các phương trình Maxwell mang nặng màu sắc của một công cụ tính toán thay vì công cụ mô phỏng không gian vật chất. Như vậy, tuy ở đây tác giả vẫn sử dụng thuật ngữ “trường” (field) nhưng nội dung của nó đã thay đổi, về thực chất nó chỉ là một bộ phận cấu thành nên cái gọi là thực thể vật lý hoặc hệ thực thể vật lý trong mối tương tác với các thực thể vật lý khác – không tồn tại cái gọi là “một trường độc lập” của một thực thể vật lý nhất định như trong lý thuyết trường mà luôn phải là chồng chập của các trường khác nhau của các thực thể vật lý khác nhau mà chỉ ít ra cũng phải là của 2 thực thể vật lý đang xem xét, nếu ảnh hưởng của các thực thể vật lý khác không đáng kể có thể bỏ qua được. Các “đường sức” và “đường đẳng thế” của trường giờ đây đóng vai trò là “hướng” của không gian vật chất, trong đó các đường “đẳng thế” mới thật sự là các “đường thẳng” của không gian này. Sau này chúng ta sẽ có dịp đi sâu hơn vào những tính toán với không gian vật chất – trường kiểu mới này.

Một thực thể vật lý bất kỳ có thể được cấu tạo từ các thực thể vật lý thành phần. Các thực thể vật lý thành phần này, đến lượt mình, lại có thể được cấu tạo từ các thực thể vật lý thành phần khác, v.v.. cho tới các thực thể vật lý được gọi là “hạt cơ bản”. Vì vật chất là vô cùng, vô tận nên không thể tồn tại một loại hạt nào thật sự là “cơ bản” cả. Khái niệm “cơ bản” ở đây chỉ với nghĩa là giới hạn của nhận thức mà thôi.

***Hạt cơ bản** – là thực thể vật lý có không gian nội vi nhỏ nhất, là cấu thành cơ bản tạo nên các dạng thực thể vật lý khác nhau theo lý thuyết hiện hành.*

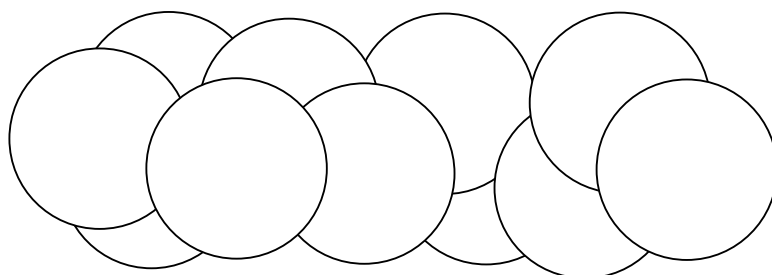


Có thể có những lý thuyết tốt hơn đẩy lùi giới hạn này xuống những vùng không gian nội vi ngày càng nhỏ hơn nữa nhưng không bao giờ có thể nhỏ đến không. Như trên vừa nói, việc chấp nhận có “hạt cơ bản” – một giới hạn không gian nội vi nhỏ nhất cũng đồng nghĩa với việc thừa nhận một giới hạn lớn nhất của không gian ngoại vi mà lý thuyết hiện tại có thể đạt đến, ký hiệu là  $R_m$  – có thể gọi là *bán kính tương tác* (xem ở mục 1.3.6). Điều này cũng hoàn toàn phù hợp với tính hữu hạn năng lượng của các vật thể sẽ nói tới ở mục 1.3.4. Còn hơn thế nữa, mọi quá trình vật lý xảy ra có liên quan tới các hạt “cơ bản” này cũng sẽ bị giới hạn bởi bán kính tương tác đó.

Tuy nhiên, khác với thuyết Big Bang, sự tồn tại bán kính tương tác không có nghĩa là vũ trụ của chúng ta bị giới hạn trong phạm vi bán kính đó mà chỉ có nghĩa là nếu một thực thể vật lý được cấu tạo từ các hạt “cơ bản” thì tương tác của nó với các vật thể khác chỉ có thể có tác dụng trong phạm vi thiên cầu có bán kính đó mà thôi. Còn tất nhiên, vì vũ trụ vẫn là vô cùng, vô tận nên hoàn toàn có thể có những vật thể cũng được cấu tạo từ đúng những “hạt cơ bản” như chúng ta nhưng ở ngoài “thiên cầu” của chúng ta thì chúng cũng sẽ tương tác trong phạm vi thiên cầu riêng của chúng chỉ với bán kính  $R_m$ , và cứ như thế... thiên cầu này lại nối tiếp thiên cầu khác, chúng vẫn “đánh với nhau” không trực tiếp được thì gián tiếp qua những thiên cầu trung gian khác (xem Hình 1.1) giống như những mắt xích trong một sợi dây xích vậy – vũ trụ chẳng bị giới hạn ở đâu cả trong khi tất cả mọi vật thể của nó đều tương tác với nhau cho dù chúng có ở xa nhau đến mấy chăng nữa.

Mặt khác, vì mọi vận động (cũng tức là mọi tồn tại) đều tuân theo quy luật đấu tranh và thống nhất giữa các mặt đối lập nên ngay cả dạng tồn tại “cơ bản” này cũng không thể ngoại trừ, chí ít ra cũng phải có hai mặt đối lập nhau tương ứng với hai loại hạt “cơ bản” đối lập nhau. Các mặt đối lập nhau đã được xét đến là: vô cùng bé (không gian nội vi) – vô cùng lớn (không gian ngoại vi), hút nhau

(năng lượng  $<0$ ) – đẩy nhau (năng lượng  $>0$ ) như vậy chỉ còn lại một cặp đối lập khả dĩ nữa là “chủ động – thụ động” hay tương đương với nó là “điện tích dương – điện tích âm”. Tính *chủ động* trong tương tác được hiểu là khả năng tác động trước lên các thực thể vật lý khác, là xuất phát điểm của tác động, còn tính *bị động* – là sự phản ứng lại khi bị tác động, là điểm kết thúc của tác động. Tuy nhiên, giữa chủ động và bị động lại liên hệ với nhau một cách biện chứng như 2 mặt đối lập của cùng một thể thống nhất chứ không đơn thuần chỉ như tác động và phản tác động hay nguyên nhân và kết quả trong quan hệ nhân quả. Nói như vậy có nghĩa là tính bị động cũng gây ảnh hưởng tới tính chủ động nhưng ảnh hưởng đó bao giờ cũng theo chiều hướng ngược lại.



Hình 1.1. Thiên cầu này lại nối tiếp thiên cầu khác, chúng vẫn “đính” với nhau không trực tiếp được thì gián tiếp.

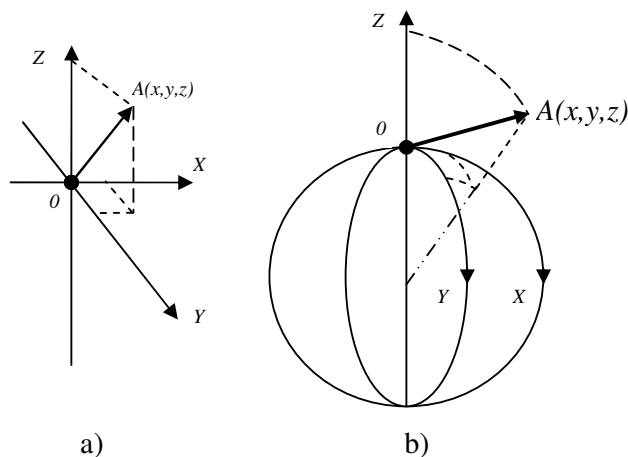
Bên cạnh đó, có các thực thể vật lý có kích thước rất nhỏ được cấu tạo nên từ các hạt cơ bản  $e^-$  và  $e^+$ , ví dụ như hạt nhân, proton, neutron, photon v.v.. ta gọi chung là *hạt sơ cấp* sẽ được xem xét tới ở Chương III và Chương IV. Tuy nhiên trong cơ học, đôi khi kích thước của các vật thể quá nhỏ so với khoảng cách giữa chúng nên có thể không cần quan tâm đến kích thước của chúng nữa, và do đó để thuận tiện, các vật thể này có thể được coi là “chất điểm” nhưng “chất điểm” này không hề liên quan gì tới “hạt cơ bản” hay “hạt sơ cấp” cả, ví dụ như các vệ tinh

nhân tạo trên quỹ đạo của Trái đất, các hành tinh của Hệ Mặt trời trên quỹ đạo v.v.. khi không quan tâm tới sự tự quay của chúng.

## 2. *Chuyển động cơ học và hệ quy chiếu.*

*Chuyển động cơ học (sau này gọi tắt là chuyển động) là sự thay đổi khoảng cách tương đối giữa vật thể này với vật thể khác.* Như vậy, chuyển động cơ học của vật thể là một khái niệm tương đối – cần phải có một “cái gì đó” làm mốc để so sánh. “Cái gì đó” ấy có thể là một vật thể thật sự nào đó hoặc một thực thể giả định nào đó. Trên “cái gì đó” ấy dùng làm mốc này, chúng ta cần tạo ra số đo tương ứng với số chiều của không gian mà ta sẽ gọi là hệ tọa độ (HTĐ). Tương ứng với không gian vật chất, không gian vật lý và không gian hình học ta có HTĐ vật chất, HTĐ vật lý và HTĐ hình học với lưu ý rằng HTĐ vật chất và HTĐ vật lý chỉ có 3 chiều trong khi HTĐ hình học có thể có số chiều  $>3$ , không hạn chế.

*Kết hợp hệ HTĐ và đồng hồ đo thời gian ta có được cái gọi là hệ quy chiếu (HQC) – tương ứng với các HTĐ được sử dụng mà ta có HQC vật chất, HQC vật lý và HQC hình học.* Nếu HQC được đặt trên một vật thể thật sự nào đó, ta có *HQC thực*, nếu nó không được đặt trên một vật thể thật sự nào thì ta có *HQC ảo*. Các HQC thực có thể sử dụng 3 loại HTĐ vừa nói. Nếu HQC thực sử dụng HTĐ vật chất tương ứng với không gian vật chất của chính vật thể làm mốc gồm gốc tọa độ lẫn các trục tọa độ thực (xem ví dụ trên Hình 1.2b) thì được gọi là *HQC thật* theo đó ta có hệ tọa độ cầu với 2 trục  $OY$  và  $OX$  hướng theo 2 hướng khác nhau ứng với trạng thái năng lượng không đổi và trục  $OZ$  hướng theo chiều giảm của lực trường thế; nếu nó sử dụng HTĐ vật lý hay HTĐ hình học thì chỉ được gọi là *HQC nhân tạo*.

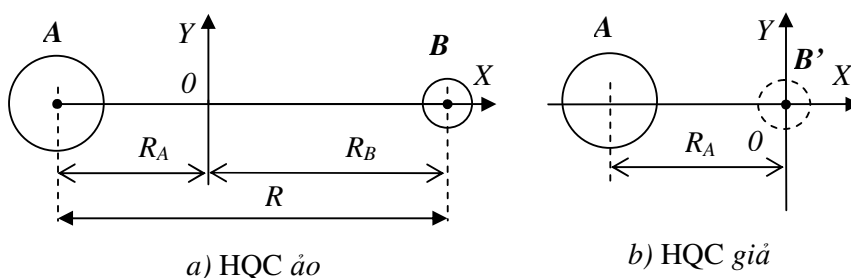


Hình 1.2. Hệ tọa độ hình học và Hệ tọa độ vật chất.

Trong HQC nhân tạo, việc mô tả chuyển động của vật thể không giống như trong HQC vật chất, nó cho ta các kết quả sai lệch so với thực sự những gì đang xảy ra. Chính vì vậy, nên lựa chọn HQC vật chất và hơn nữa, phải trên các vật thể mà trường lực thế của nó đóng vai trò quyết định tới chuyển động của vật thể tại điểm đang xem xét. Trong trường hợp ngược lại, phương trình chuyển động sẽ phản ánh không đúng sự thật những gì đang thực sự diễn ra.

HQC ảo dùng để nghiên cứu chuyển động của các vật thể trong trường hợp không thể chọn được một vật thể thích hợp để đặt HQC, tỷ dụ như trong “bài toán chuyển động của 2 vật trong trường xuyên tâm”, giá như có thể đặt một HQC tại khối tâm của hệ thì phương trình chuyển động sẽ đơn giản hơn, nhưng khối tâm của hệ có thể không thuộc về một vật thể nào cả mà chỉ thuần túy là một điểm trong không gian nội vi của hệ vật thể thỏa mãn một số điều kiện nào đó (xem mục 1.3.7). Khi đó, tại khối tâm hay tâm quán tính của hệ các thực thể vật lý, cần chọn một trục tọa độ trùng với một đường nối khối tâm của 2 vật thể nào đó còn 2 trục còn lại vuông góc với đường này. Như vậy, đối với HQC khối tâm này, chỉ có duy nhất một trục tọa độ là thực, còn 2 trục tọa độ khác cùng với gốc tọa độ là ảo

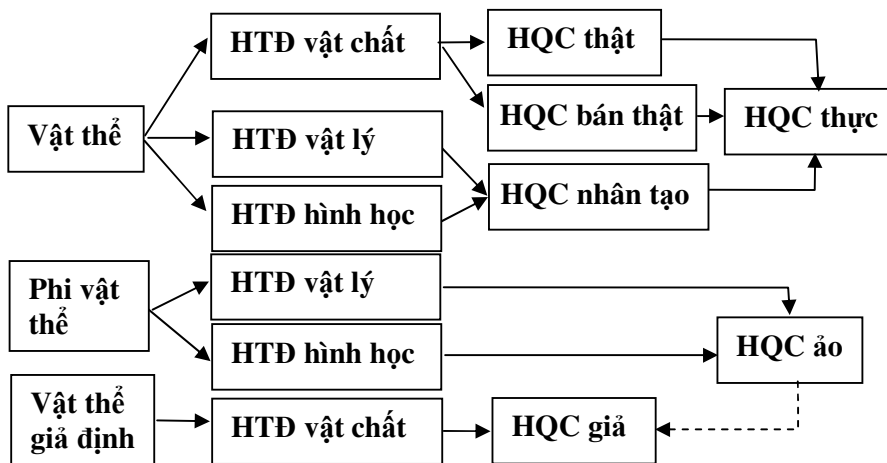
và đó cũng là cách lựa chọn duy nhất. Song, vì HQC ảo không được gắn với một thực thể vật lý nào nên, về nguyên tắc, nó chỉ có thể mô phỏng được các thông số động học như vận tốc, gia tốc chuyển động và quỹ đạo và cùng lắm là một phần động năng của chuyển động; nó không thể cho ta các thông số liên quan trực tiếp tới trường lực thế như thế năng chẳng hạn. Vì vậy, để khắc phục phần nào tình trạng này, có một cách khác để sử dụng HQC ảo đó là chọn một vật thể giả định đặt ngay tại gốc của HTĐ sao cho nó có thể đại diện được cho toàn bộ phần các thực thể vật lý còn lại trong quan hệ tương tác với thực thể vật lý cần nghiên cứu tại thời điểm đó. Khi đó, ta có được một *HQC giả*, tức là gần giống như một HQC vật chất thực thụ. Ví dụ trong “bài toán 2 vật” *A* và *B*, HQC ảo được chọn là HQC đặt tại khối tâm *O* của 2 vật thể đó (xem trên Hình 1.3a) còn đối với HQC giả, tại tâm *O* này ta đặt một vật thể giả định đại diện cho tác động của một trong 2 vật thể đó, ví dụ là vật thể *B'*, để nghiên cứu vật thể còn lại, ví dụ vật thể *A*, như trên Hình 1.3b. Khi đó, đối với vật thể *A* chỉ tồn tại vật thể giả định *B'* ngay tại gốc HTĐ nhưng mọi chuyển động của nó không thay đổi gì so với trước.



Hình 1.3. HQC khối tâm của 2 vật thể.

Bên cạnh đó, đối với thế giới hạt cơ bản hoặc các thiên thể khác trong Vũ trụ ngoài Trái đất, như Mặt trời chẳng hạn, các cái gọi là HQC gắn với chúng chỉ có thể mang tính quy ước mà hoàn toàn không có tính thực tiễn với nghĩa chỉ có một cách duy nhất là buộc phải tưởng tượng ra chúng mà thôi. Chính vì thế, có thể gọi

những HQC kiểu đó là HQC *bán thật* để phân biệt với HQC *thật* luôn đặt được trên các vật thể nhất định (Trái đất, các vệ tinh nhân tạo...), trong đó con người có thể tiến hành các phép đo đạc cần thiết. Ngoài HQC thật ra, các HQC còn lại, do không thể thực hiện được các phép đo hay các thí nghiệm thật nên phải hoàn toàn dựa vào những kết quả thí nghiệm và đo đạc trong HQC thật và nhờ vào những lý thuyết khả dĩ mà chúng ta xây dựng nên để suy ra những hệ quả có thể áp dụng vào những HQC đó. Tuy nhiên cũng chính vì vậy, có thể có sự sai lệch kết quả tính toán so với thực tế những gì thật sự xảy ra khi quay trở về với HQC thật từ các HQC khác. Để dễ phân biệt các khái niệm mới này ta biểu diễn chúng theo sơ đồ trên Hình 1.4.



Hình 1.4. Phân biệt các loại HQC.

Cuối cùng, cần phải nhấn mạnh một điểm nữa là *trong các HQC thật và bán thật đã được lựa chọn, hướng của chuyển động phải được so sánh với hướng của lực trường thế chứ không phải so với “hướng” mà ta quy ước đối với không gian vật lý hay không gian hình học. Một vật chuyển động có hướng luôn luôn không đổi so với hướng của lực trường thế tại điểm mà nó đang ở đó được gọi là chuyển*

động thẳng, ví dụ như “rơi tự do” trong trường lực thế hay chuyển động “tròn” có tâm trùng với tâm của trường lực thế. Chuyển động thứ hai này không những không thay đổi về hướng so với hướng của lực trường thế (luôn vuông góc hướng của lực trường thế) mà còn không thay đổi cả về tốc độ nữa nên hoàn toàn có thể gọi là chuyển động “thẳng đều”, ví dụ như chuyển động của các vệ tinh xung quanh Trái đất, của các điện tử xung quanh hạt nhân nguyên tử... Ta nói tới khái niệm “tròn” chỉ là bởi vì chúng ta “nhìn thấy” quỹ đạo chuyển động của các vật thể đó trong không gian vật lý mà ánh sáng tạo nên cho chúng ta. Đối với nhà du hành vũ trụ, khi không nhìn ra ô cửa sổ của trạm không gian, anh ta chắc chắn sẽ tuyên bố là mình đang “đứng yên hay cùng lắm là chuyển động thẳng đều” vì tất cả các dụng cụ đo gia tốc của anh ta đều chỉ bằng không. Như vậy, khái niệm “thẳng” hoàn toàn có tính tương đối, phụ thuộc vào loại tương tác. Chẳng hạn, đối với tương tác của Mặt trời thì chuyển động của vệ tinh Trái đất là tròn, nhưng đối với tương tác của Trái đất thì chuyển động này lại là “thẳng”; đối với tương tác của Trái đất thì chuyển động của các điện tử trong nguyên tử là “tròn”, nhưng với tương tác của hạt nhân nguyên tử thì chuyển động đó lại là “thẳng”, thậm chí hơn thế nữa – là “thẳng đều”. Vấn đề ở chỗ “tròn” hay “thẳng” chỉ là các khái niệm của không gian vật lý (được mô phỏng bởi hình học Euclid) trong đó ánh sáng được xem như tiêu chuẩn của “thẳng” mà không thể áp dụng được đối với một dạng không gian vật chất có các tương tác cụ thể. Cũng chính vì lý do này mà khi xây dựng hình học như một công cụ toán học tách rời khỏi vật thể, người ta không thể định nghĩa được đường thẳng mà phải nhờ đến một hệ thống các tiên đề và hậu quả là đề ra các loại hình học khác nhau như đã nhắc tới ở mục 1.1.2 Chính vì vậy, sau này, chúng ta sẽ hạn chế đề cập đến “thẳng” hay “tròn” mà đối với chuyển động, chúng ta cần khái niệm khác tổng quát hơn, đúng cho mọi không gian vật chất, đó là *chuyển động theo quán tính*.

*Nếu trạng thái năng lượng của vật thể không thay đổi trong suốt quá trình chuyển động thì chuyển động đó được gọi là “chuyển động theo quán tính”.* Chúng ta sẽ sử dụng khái niệm “chuyển động theo quán tính” này thay vì “chuyển động thẳng đều”. Chuyển động thẳng đều trong vật lý cổ điển khi không có lực tác động tuy cũng là một dạng chuyển động theo quán tính, nhưng chuyển động đó không tồn tại trên thực tế. Những chuyển động của vệ tinh quanh Trái đất, của các điện tử trong nguyên tử... như vừa nhắc tới trong các ví dụ ở trên đều là những “chuyển động theo quán tính”. Tuy nhiên, khác với cơ học cổ điển cho rằng mọi chuyển động theo quán tính là như nhau, từ đó mới xuất hiện nguyên lý tương đối Galileo, chúng ta lại có thể chứng minh được rằng với chuyển động trong trường lực thế thì chuyển động theo quán tính nhưng ở hai trạng thái năng lượng khác nhau sẽ tương ứng với hai lực trường thế khác nhau và do đó chúng không thể như nhau. Ví dụ 2 vệ tinh nhân tạo trên 2 quỹ đạo “tròn” khác nhau đối với Trái đất sẽ tương ứng với 2 trạng thái năng lượng khác nhau mà chỉ bằng các thí nghiệm xác định nội năng của mình, các nhà du hành vũ trụ sẽ phát hiện ra được chuyển động (xem mục 2.2.2).

Mặt khác, không như Aristotle cho rằng đứng yên là trạng thái mặc định đối với mọi thực thể vật lý và cũng không phải như Newton xem chuyển động thẳng đều là mặc định, trái lại, chúng ta cho rằng trạng thái mặc định của mọi thực thể vật lý phải là chuyển động với trạng thái năng lượng không thay đổi – còn gọi là chuyển động theo “quán tính”. Xét từ góc độ không gian hình học hay không gian vật lý thì quan niệm của Galileo về tính mặc định của chuyển động tròn đều của các thiên thể có phần nào trùng với quan niệm này. Vấn đề là ở chỗ, nếu như chỉ có 2 thực thể vật lý hình thành một hệ cô lập khi có thể bỏ qua tác động của các thực thể vật lý khác thì chúng sẽ phải rơi tự do lên nhau theo đường nối tâm của 2 trường lực thế mà không thể chuyển động theo quán tính được. Nếu có nhiều vật



thể ở cách xa nhau, nhưng tương tác giữa chúng lan truyền tức thời (với vận tốc bằng vô cùng lớn) thì chúng sẽ phải co cụm lại về khối tâm của chúng. Mở rộng ra đối với không gian vật chất là hữu hạn thì dưới tác dụng của lực hấp dẫn, toàn bộ các vật thể sẽ phải co cụm lại thành một thực thể duy nhất. Tuy nhiên, do vận tốc lan truyền tương tác hữu hạn nên sự ảnh hưởng của các vật thể ở những khoảng cách khác nhau sẽ không như nhau từ góc độ hướng tác động theo những thời điểm khác nhau như được chỉ ra trên Hình 1.8 ở mục 1.3.6. Nói cách khác, khối tâm của hệ các vật thể không phải là một điểm cố định mà bị dịch chuyển và xoay theo một góc nào đó – điều này tương đương với việc cả hệ bị xoay quanh khối tâm nếu trên đó ta đặt một HQC, tức là xuất hiện mô men động lượng trong HQC đó. Chúng ta sẽ có dịp trở lại vấn đề này trong mục 1.3.7 ngay sau đây, khi làm quen với khái niệm khối tâm của hệ các vật thể.

Mở rộng ra toàn Vũ trụ, chính nhờ có sự tương tác giữa các thực thể vật lý khác nhau với vận tốc lan truyền tương tác là hữu hạn, cùng với quan niệm về không gian vật chất vô cùng, vô tận đã khiến cho chuyển động của các vật thể bị lệch khỏi hướng rơi tự do, nhờ đó “sinh ra” mô men động lượng và kết quả là có thể hình thành nên các “quỹ đạo” chuyển động khác nhau, trong đó quỹ đạo chuyển động có trạng thái năng lượng không thay đổi, do hoàn toàn không tiêu tốn năng lượng, sẽ được duy trì bền vững nhất và đó cũng chính là trạng thái *chuyển động theo quán tính* đã nói. Các dạng quỹ đạo chuyển động khác, sớm hay muộn cũng sẽ kết thúc hoặc ở trạng thái này, hoặc rơi tự do khiến cho các vật thể chập lại với nhau, tức là trạng thái đứng yên – một dạng của chuyển động theo quán tính.

Từ đây có thể thấy rất rõ là nếu như có thể bằng cách nào đó loại bỏ được hoàn toàn lực tương tác giữa các vật thể thì khi đó mới có được chuyển động thẳng đều như nguyên lý quán tính của Galileo hay định luật quán tính của

Newton. Cũng chính vì lý do này, các yếu tố động lực học đã không có mặt trong các biến đổi Galileo hay biến đổi Lorenz; các biến đổi này chỉ liên quan tới các yếu tố động học thuần túy như quỹ đạo ( $x, y, z$ ), thời gian  $t$  và vận tốc  $V$  mà thôi. Chính vì vậy hệ thống cơ học cổ điển đã không thể phân biệt được các HQC “quán tính” với nghĩa là đứng yên hay chuyển động thẳng đều, nên đã cho rằng các HQC đó là tương đương nhau. Khi xuất hiện các yếu tố động lực như lực trường thế, gia tốc và khối lượng quán tính, hệ thống cơ học này đã không còn có thể áp dụng được nữa nên việc nảy sinh nghịch lý, ví dụ như *hiệu ứng con muỗi, nghịch lý động năng* (xem ở Phụ lục 5 và 10) là một hậu quả tất yếu.

Như vậy, HQC đặt trên vật thể chuyển động theo quán tính gọi là *HQC quán tính*. Tuy nhiên, các HQC quán tính không thể tương đương nhau vì trạng thái năng lượng của chúng có thể rất khác nhau (xem mục 2.5b). Điều này cho thấy nguyên lý tương đối Galileo và cả nguyên lý tương đối Einstein đều không còn đúng nữa. Do trường lực thế của các thực thể vật lý rất khác nhau về quy mô, ví dụ như Trái đất và con muỗi ở ví dụ trên, nên HQC đặt trên các vật thể có quy mô càng lớn thì phạm vi các hiện tượng có thể nghiên cứu được càng rộng, chính vì vậy khi xem xét từng trường hợp cụ thể, cần có những lựa chọn thích hợp mà không thể tùy tiện. Bên cạnh đó, do HQC vật chất trong nhiều trường hợp không cho phép chúng ta “nhìn tận mắt” những gì thật sự đang xảy ra, trong khi HQC hình học có tính trực quan hơn, dễ tiếp cận hơn nên tùy từng trường hợp cụ thể mà lựa chọn HQC thích hợp, song khi đó cần phải tính đến sự sai khác giữa các HQC mà đưa vào những điều chỉnh thích hợp.

### **3. Đại lượng vô hướng và đại lượng véc tơ**

Để nhận thức thế giới, con người có nhiều cách tiếp cận khác nhau trong đó phải kể đến cách truy tìm bản chất của các hiện tượng và sự vật thông qua những tính chất được biểu hiện ra của chúng; những tính chất này tuy chỉ riêng về chất,

đặc trưng cho một mặt nhất định nào đó của chúng, nhưng lại có vô số mức độ về lượng và được gọi là *đại lượng*. Nếu một tính chất chung về chất cho nhiều đối tượng vật lý nhưng lại riêng về lượng cho mỗi đối tượng trong chúng thì gọi là *đại lượng vật lý*. Các đại lượng vật lý cho phép chúng ta đo đạc được và do vậy, trên thực tế, chúng ta sẽ chỉ đề cập tới loại đại lượng này mà thôi – để đơn giản, sau này chúng ta sẽ nói tới đại lượng nhưng chỉ được hiểu là các đại lượng vật lý.

Người ta phân biệt *đại lượng vô hướng* và *đại lượng véc tơ*.

*Đại lượng vô hướng* là loại đại lượng vật lý mà giá trị của nó như nhau ở mọi hướng trong không gian. Nó chỉ cần một đặc trưng duy nhất là độ lớn tương ứng. Có thể lấy ví dụ như khối lượng, nhiệt độ, hằng số hấp dẫn v.v..

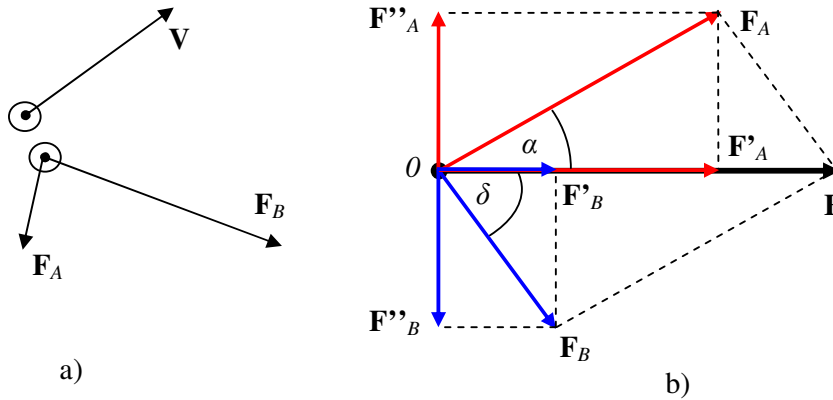
*Đại lượng véc tơ* là loại đại lượng vật lý chỉ có giá trị theo một hướng nhất định trong không gian, còn ở những hướng khác, giá trị của nó bằng không. Chúng được đặc trưng bởi ba yếu tố: điểm đặt, chiều dài và hướng; điểm đặt của véc tơ chỉ ra đối tượng “sở hữu” véc tơ đó tại một thời điểm xác định; chiều dài véc tơ mô phỏng độ lớn của đại lượng tương ứng; hướng của véc tơ chỉ ra hướng của đại lượng tương ứng. Ví dụ như vận tốc hay gia tốc chuyển động của một vật thể, lực tác động của vật thể này lên vật thể khác v.v.. Đại lượng véc tơ được biểu diễn bởi một đoạn thẳng có mũi tên với gốc là điểm đặt của đại lượng, chiều dài đoạn thẳng biểu diễn độ lớn của đại lượng, còn hướng của mũi tên biểu diễn hướng của đại lượng đó như được chỉ ra trên Hình 1.5a.

Bên cạnh sự khác nhau về tính định hướng của 2 đại lượng: vô hướng và véc tơ, giữa chúng còn có sự khác biệt đối với phép toán áp đặt lên chúng. Với các đại lượng vô hướng, phép toán được thực hiện như đối với các biến số thông thường, trong khi đó, với các đại lượng véc tơ, cần phải sử dụng giải tích véc tơ như đã biết. Tuy nhiên, khi áp dụng giải tích véc tơ đối với một số đại lượng vật lý trong cơ học chất điểm như từ trước tới nay vẫn làm thực ra là không đầy đủ,

xét từ quan điểm của CDM. Có thể lấy ví dụ về phép cộng 2 véc tơ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$  theo quy tắc hình bình hành như trên Hình 1.5b, theo đó:

$$|\mathbf{F}| = |\mathbf{F}_A + \mathbf{F}_B| = \sqrt{F_A^2 + 2F_A F_B \cos\varphi + F_B^2} \quad (1.1)$$

ở đây  $\varphi$  là góc giữa 2 véc tơ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$ . Có thể thấy ngay rằng véc tơ tổng hợp  $\mathbf{F}$  thật ra chỉ mới là tổng của 2 véc tơ  $\mathbf{F}'_A$  và  $\mathbf{F}'_B$  – là các hình chiếu của các véc tơ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$  tương ứng lên hướng của véc tơ  $\mathbf{F}$  mà thôi:



Hình 1.5. Các đại lượng véc tơ

$$\mathbf{F}'_A = \mathbf{e}_F F_A \cos\alpha, \quad \mathbf{F}'_B = \mathbf{e}_F F_B \cos\delta \quad (1.2)$$

gọi là các véc tơ hướng ngoại, với  $\mathbf{e}_F$  là véc tơ đơn vị trùng với hướng của véc tơ hướng ngoại tổng  $\mathbf{F}$ . Bản thân các véc tơ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$  còn có 2 hình chiếu  $\mathbf{F}''_A$  và  $\mathbf{F}''_B$  tương ứng lên phương vuông góc với véc tơ  $\mathbf{F}$  nữa:

$$\mathbf{F}''_A = \mathbf{e}_{F_A^-} F_A \sin\alpha, \quad \mathbf{F}''_B = \mathbf{e}_{F_B^-} F_B \sin\delta \quad (1.3)$$

gọi là các véc tơ hướng nội, với  $\mathbf{e}_{F_A^-}$  và  $\mathbf{e}_{F_B^-}$  là các véc tơ đơn vị lập với hướng của véc tơ hướng ngoại tổng  $\mathbf{F}$  một góc tương ứng bằng  $+\pi/2$  và  $-\pi/2$ . Song, vì các

véc tơ này bằng nhau về độ lớn nhưng ngược nhau về hướng nên, theo giải tích véc tơ, tổng của chúng phải bằng không:

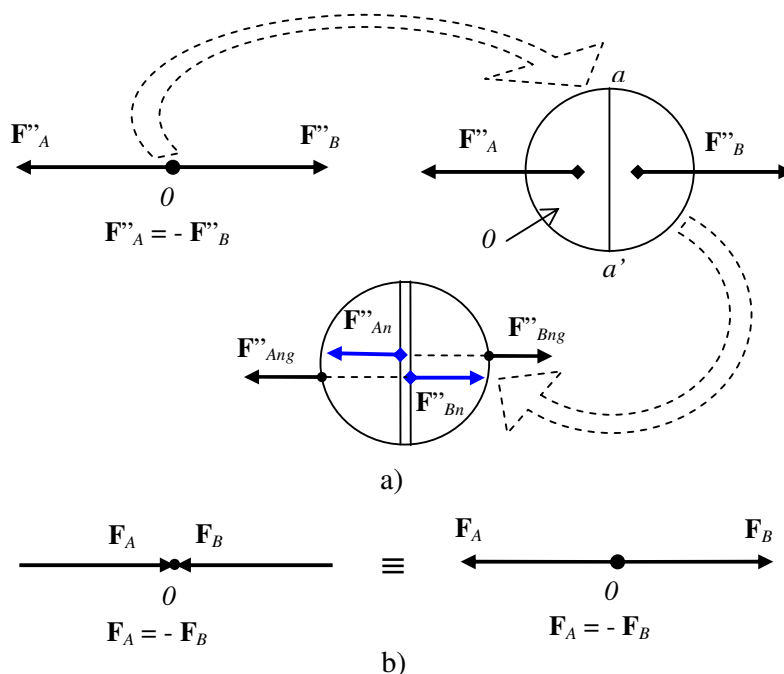
$$\mathbf{F}_A'' + \mathbf{F}_B'' = 0 \quad (1.4)$$

và kết quả là người ta chỉ quan tâm tới 2 thành phần  $\mathbf{F}_A'$ ,  $\mathbf{F}_B'$  mà thôi.

Nếu xét từ góc độ toán học thuần túy thì chắc sẽ không có gì để nói. Đối tượng của giải tích véc tơ là bản thân véc tơ với 3 đặc trưng vừa liệt kê ở trên trong đó điểm đặt của véc tơ cũng chỉ là một đối tượng hình học không kèm theo bất cứ một đặc tính vật chất nào, độc lập với các đối tượng khác và với không gian xung quanh nó. Tuy nhiên, nếu xem xét một cách kỹ lưỡng từ góc độ vật lý, ta sẽ thấy ngay có sự khác biệt rất lớn giữa việc không có bất cứ một véc tơ nào đặt lên vật thể và tổng các véc tơ đặt lên nó bằng không nhưng mỗi véc tơ thành phần lại khác không và thậm chí có thể rất lớn. Trong trường hợp thứ nhất, trạng thái của vật thể không có gì xáo động, nhưng trong trường hợp thứ hai, sự biến động xảy ra bên trong nó chắc chắn không thể nào tránh khỏi. Khi xem xét các véc tơ động học như vận tốc hay gia tốc, các biến động đó có thể không cần tính đến, nhưng đối với các véc tơ động lực học như lực, năng lượng ... thì dù muốn không tính đến cũng không thể được.

Sự biến động này cho đến nay không được cơ học quan tâm đến vì không nhìn thấy mối tương quan biện chứng giữa không gian nội vi với không gian ngoại vi, giữa nội năng và ngoại năng (xem mục 1.3.4 dưới đây), giữa nội lực và ngoại lực (xem mục 1.3.5) của cùng một thực thể vật lý. Bên cạnh đó là việc thay thế 2 véc tơ có chung một điểm đặt nhưng khác nhau về hướng (ví dụ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$ ) bằng chỉ một véc tơ ( $\mathbf{F}$ ) theo quy tắc hình bình hành là không tương đương như được rút ra từ các biểu thức (1.1) – (1.3). Ở đây, thành phần  $\mathbf{F}''_A$  và  $\mathbf{F}''_B$  xác định theo (1.3) về thực chất đã bị loại ra khỏi phạm vi xem xét trong khi nó vẫn tiếp tục tồn tại và có tác dụng (xem *tác dụng* ở mục 1.3.6). Chỉ có một tình huống duy

nhất có được sự tương đương là khi  $\varphi = 0$ , các véc tơ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$  có cùng một hướng và cùng với hướng của véc tơ thay thế  $\mathbf{F}$ , ngoài ra chúng còn có cùng điểm đặt và cùng độ lớn:  $F = F_A + F_B$  – tức là cả 3 đặc tính của một véc tơ đều như nhau – 2 véc tơ như vậy mới có thể được coi là hoàn toàn tương đương. Chính vì vậy, việc sử dụng giải tích véc tơ như một mô hình của thế giới vật chất phụ thuộc lẫn nhau dẫn đến sự sai lệch là điều không thể tránh khỏi.



Hình 1.6. Mô hình nội véc tơ và ngoại véc tơ tại điểm đặt  $O$

Vấn đề là cần phải tính đến được những sai lệch và loại bỏ chúng để đến được với bản chất đích thực của sự vật và hiện tượng. Để làm được việc này, việc đầu tiên là cần phải tính đến được ảnh hưởng của các véc tơ  $\mathbf{F}''_A$  và  $\mathbf{F}''_B$  cho dù tổng của chúng  $=0$  theo (1.4) bằng cách “phóng đại” điểm đặt  $O$  của chúng như

trên Hình 1.6a, vì khái niệm “điểm” đối với không gian vật chất không đồng nghĩa với không có kích thước như đã được đề cập đến ở mục 1.1.2.

Và để mô phỏng tác động của 2 véc tơ này, hãy hình dung chúng tác động riêng rẽ lên 2 “nửa của điểm”  $O$  được chia tách bởi đường phân cách  $aa'$  với ngụ ý rằng chúng có xu hướng “tách rời” điểm  $O$  đó làm 2 phần. Để thấy được sự chia tách và phân bố lại các véc tơ này vào “bên trong” điểm đặt  $O$  đó, và để dễ phân biệt, ta gọi những véc tơ nằm “bên ngoài” điểm đặt là *ngoại véc tơ*, còn những véc tơ nằm “bên trong” điểm đặt là *nội véc tơ*. Trong trường hợp này, ngoại véc tơ là  $\mathbf{F}''_{Ang}$  và  $\mathbf{F}''_{Bng}$ , còn nội véc tơ là  $\mathbf{F}''_{An}$  và  $\mathbf{F}''_{Bn}$ , tất cả các véc tơ này đều có giá trị như nhau và từng cặp một triệt tiêu nhau vì ngược nhau về hướng. Như vậy, việc cộng 2 véc tơ không chỉ nhận được đơn thuần 1 véc tơ tổng hợp theo quy tắc hình bình hành như giải tích véc tơ vẫn làm – đó mới chỉ là véc tơ hướng ngoại, mà còn cần tính đến ảnh hưởng của nó đồng thời đến không gian nội vi như vừa xét – véc tơ hướng nội – mới cho ta kết quả đầy đủ của cái gọi là *tác động tổng hợp của 2 véc tơ*. Ngoài ra, còn cần phải lưu ý tới bản chất vật lý mà các véc tơ biểu thị trong quá trình thực hiện các phép toán đối với chúng. Sau này chúng ta sẽ đánh giá chi tiết và đầy đủ trong các mục 1.3.4 và 1.3.5 đối với năng lượng và lực tác động.

Bên cạnh đó, có lẽ còn một chi tiết nữa trong giải tích véc tơ cũng đã bị đơn giản hóa đó là véc tơ hướng tới 1 điểm được coi như tương đương với véc tơ có cùng độ lớn và cùng một hướng, nhưng có điểm đặt tại chính điểm đó như được chỉ ra trên Hình 1.6b. Xét từ góc độ vật lý, 2 trường hợp này không hề tương đương nhau; trong trường hợp đầu, điểm  $O$  chịu “sức nén” của 2 véc tơ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$  làm tăng liên kết bên trong của “điểm”  $O$  đó, dẫn đến tăng năng lượng liên kết bên trong của “điểm”  $O$ ; còn trong trường hợp sau, điểm  $O$  lại chịu “sức kéo” của 2 véc tơ  $\mathbf{F}_A$  và  $\mathbf{F}_B$  làm giảm liên kết bên trong của “điểm”  $O$  đó, dẫn đến giảm năng

lượng liên kết bên trong của “điểm”  $O$ . Điều này đặc biệt quan trọng khi xem xét trạng thái năng lượng tới hạn trong chuyển động theo quán tính ở mục 2.2.2.

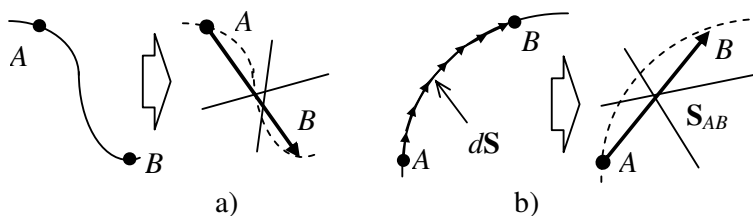
Cuối cùng, còn một chi tiết cần phải được thay đổi đó là quan niệm *quãng đường cũng là một đại lượng véc tơ*. Xem xét kỹ lại, ta nhận thấy rằng quãng đường là một đại lượng hết sức đặc biệt, nó vừa là tính chất của hiện tượng vật lý – chuyển động của vật thể trong không gian vật chất, vừa là bộ phận cấu thành nên chính không gian (cho dù là vật chất, vật lý hay toán học) và do đó, việc gán cho nó đặc tính véc tơ biểu diễn chỉ bởi một đoạn thẳng, để mô tả nó trong cái gọi là “không gian véc tơ” là vô hình chung đã tước đi vai trò chủ đạo của nó trong chính không gian đó, trong khi nó có thể cong queo với bất kỳ dạng nào có thể có như được biểu diễn trên Hình 1.7. Bên cạnh đó, vì bản thân khái niệm “quãng đường” – một bộ phận của không gian vật chất có thể thay đổi hướng liên tục suốt quá trình chuyển dịch của vật thể từ một điểm này đến một điểm khác như được biểu diễn trên Hình 1.7a nên không thể gán cái gọi là “hướng” của “quãng đường” đó vào bất kỳ điểm nào trong số các điểm đó giống như đối với vận tốc, gia tốc hay lực tác động được, khi mà các đại lượng sau này còn có ý nghĩa tại một thời điểm. Thậm chí khi chia nhỏ ra thành các cái gọi là “số gia quãng đường”  $dS$  như trong cơ học vẫn làm (xem Hình 1.7b), thì véc tơ tổng hợp  $S_{AB}$  cũng sẽ có độ lớn chẳng liên quan gì đến “quãng đường mà vật đi được” trong khoảng thời gian đó cả. Quãng đường với tư cách là “không gian vật chất” một chiều, tồn tại khách quan, không được nhầm lẫn với “kết quả đo” không gian đó  $S_{AB}$  được sử dụng trong các công thức tính toán hay trong không gian toán học. Thực chất ở đây đã có sự “pha trộn” một cách vô tình giữa không gian vật chất với không gian toán học (không gian véc tơ) nên đã gây sự nhầm lẫn tai hại này.

Tóm lại, quãng đường không thể xem là một đại lượng véc tơ trong không gian véc tơ, mặc dù nó đúng là có hướng trong không gian vật chất. Nhưng khi đó,



một vấn đề mới lại được đặt ra liên quan tới khái niệm vận tốc chuyển động vốn là một đại lượng véc tơ, theo vật lý hiện hành được xác định bởi giới hạn:

$$\mathbf{V}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{S}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{S}}{dt}. \quad (1.5)$$



Hình 1.7. Quãng đường không phải là véc tơ

Tuy nhiên, với những điều đã nói ở trên, ta cần thay biểu thức (1.5) bằng biểu thức khác có ý nghĩa vật lý hơn đó là:

$$\mathbf{V}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} \mathbf{e}_A = \frac{dS}{dt} \mathbf{e}_A \quad (1.6)$$

ở đây  $\mathbf{e}_A$  là véc tơ đơn vị có hướng tiếp tuyến với quãng đường ngay tại điểm A, ứng với vị trí của vật thể tại thời điểm  $t$ , còn  $S$  chỉ là đại lượng vô hướng trong không gian véc tơ, nhưng độ dịch chuyển của nó lại có hướng, và hướng này được xác định bởi chính véc tơ đơn vị  $\mathbf{e}_A$ . Với cách xác định này, mọi bất cập sẽ được giải tỏa. Sau này, có thể thấy ở Chương II, mục 2.1.5, đặc tính véc tơ của năng lượng sẽ được lộ diện có căn cứ xác đáng; còn ở Chương III, mục 3.2.1, chúng ta cũng sẽ thấy việc sử dụng quãng đường như một đại lượng vô hướng là hoàn toàn hợp lý.

#### 4. Tương tác và năng lượng

*a/ Tương tác* – là một khái niệm cơ bản để chỉ nguyên nhân tồn tại các thực thể vật lý khác nhau, nó là một thể hiện của quy luật vận động thứ nhất của vật

chất: đấu tranh và thống nhất giữa các mặt đối lập, nói một cách khác, một thực thể vật lý nào đó chỉ có thể tồn tại khi giữa nó với các thực thể vật lý khác có sự tương tác lẫn nhau. Không có khái niệm tồn tại “tự thân”. Nguồn gốc của mọi sự vận động là tương tác, vì không tương tác đồng nghĩa với không tồn tại, mà đã không tồn tại thì không thể vận động. Trong vật lý cho đến nay, người ta cho rằng tồn tại 4 tương tác được coi là *cơ bản* với nghĩa là chúng tồn tại độc lập, không phụ thuộc hệ quy chiếu trong đó chúng được xem xét (xem khái niệm *hệ quy chiếu* ở mục 1.3.2), đó là tương tác hấp dẫn, điện từ, mạnh và yếu. Trước Maxwell, người ta thậm chí còn nghĩ rằng điện và từ là 2 dạng tương tác độc lập nhau, tuy nhiên, sự thống nhất giữa điện và từ theo các phương trình của Maxwell đã gợi ý về một khả năng thống nhất tất cả các tương tác có trong Tự nhiên. Để làm được việc này, trước tiên cần phải xác định lại cái gọi là *tương tác cơ bản* vì theo tiêu chí đã nêu, chỉ có hấp dẫn, mạnh và yếu mới thực sự đáp ứng được còn *tương tác từ* thì dường như lại phụ thuộc vào hệ quy chiếu mà từ trường có thể biến mất hay xuất hiện. Sự biến mất hay xuất hiện của từ trường này tự nó đã nói lên rằng nó không phải là một tương tác độc lập đối với HQC và do đó không thể là *tương tác cơ bản* – nó khiến ta liên tưởng tới hiện tượng ma sát hay sức cản của không khí lên vật chuyển động, chỉ khác trong trường hợp này là tương tác trên khoảng cách (trong không gian ngoại vi) chứ không phải trực tiếp giữa các vật thể (giữa các không gian nội vi với nhau). Trong Chương 3, chúng ta sẽ có dịp trở lại với hiện tượng từ này theo cách nhìn mới. Nhưng như vậy, việc thống nhất mà vật lý học đặt ra đối với cái gọi là “các tương tác cơ bản” đã bị khập khiễng ngay từ đầu bởi chính từ việc coi tương tác *điện từ* là một tương tác cơ bản chứ không phải là tương tác *điện* đứng riêng độc lập.

Mặt khác, căn cứ vào quy luật vận động thứ nhất của vật chất, tương tác phải có 2 mặt đối lập nhau đó là hút nhau và đẩy nhau. Thật dễ hiểu, nếu tương tác chỉ

có hút nhau thì toàn Vũ trụ sẽ bị co lại thành một điểm, còn nếu chỉ có đẩy nhau thì chẳng có bất cứ vật thể nào được hình thành – Vũ trụ sẽ bị “tan loãng” ra ở vô cực. Để dễ phân biệt, ta quy ước tương tác hút nhau mang dấu âm ( $<0$ ) còn tương tác đẩy nhau mang dấu dương ( $>0$ ). Xét từ góc độ này, tương tác hấp dẫn, tương tác mạnh và tương tác yếu không thỏa mãn vì hấp dẫn và tương tác mạnh chỉ có hút nhau còn tương tác yếu lại chỉ đẩy nhau, do đó chúng không thể là *tương tác cơ bản*! Trái lại, chúng chỉ là những dạng tương tác “dẫn xuất” từ tương tác khác cơ bản hơn! Nói cách khác, để thỏa mãn quy luật đấu tranh và thống nhất giữa các mặt đối lập – quy luật vận động cơ bản thứ nhất của vật chất, chỉ duy nhất có tương tác điện tĩnh – tương tác Coulomb. Vấn đề là phải chứng minh được các tương tác còn lại chỉ là các biểu hiện khác nhau của tương tác Coulomb nhờ vào quy luật vận động cơ bản thứ hai lượng đổi – chất đổi được thực hiện ở Chương 3 và 4 tiếp theo. Vì tương tác luôn xảy ra giữa các vật thể khác nhau có định hướng rõ ràng nên nó là đại lượng véc tơ. Để đặc trưng cho nguyên nhân hay kết quả của tương tác giữa các dạng vật chất, ta đưa ra khái niệm *năng lượng*.

*b/ Năng lượng của một dạng vật chất nào đó là khả năng hoặc/và kết quả của sự tương tác giữa dạng vật chất đó với các dạng vật chất khác.*

Có thể thấy ở đây một chuỗi sự kiện nối tiếp nhau: khả năng tương tác (năng lượng)  $\rightarrow$  tương tác (năng lượng được giải tỏa)  $\rightarrow$  khả năng tương tác mới (năng lượng mới)  $\rightarrow$  tương tác (năng lượng mới lại được giải tỏa)  $\rightarrow$  v.v.. Tức là khả năng của một tương tác này có thể dẫn đến một năng lượng được giải tỏa, và rồi kết quả của việc giải tỏa năng lượng này lại có khả năng gây ra một tương tác mới, ... cứ như thế không ngừng nghỉ. Quy luật vận động thứ hai quy định khi nào thì các sự kiện sẽ phải diễn ra hoặc không thể diễn ra. Vậy, vấn đề là trong hai đại lượng này – tương tác và năng lượng, đâu là nguyên nhân còn đâu là kết quả? Hãy liên tưởng tới nghịch lý “quả trứng và con gà”. Ở đây, không phải đơn giản chỉ là

nói tới hai đối tượng mà là rất nhiều các đối tượng khác nhau theo một chuỗi các sự kiện nối tiếp nhau. Vấn đề là nếu lần ngược lại trình tự các sự kiện thì sớm hay muộn cũng phải tìm ra được một nguyên nhân đầu tiên, đích thực, nhưng điều đó cũng chỉ có nghĩa đối với chính sự kiện đầu tiên đó mà thôi, vì vậy, tốt hơn cả là chỉ nên phân biệt tính nhân quả của hai khái niệm này khi thật sự cần thiết trong một tình huống cụ thể.

Mặt khác, vì tương tác là đại lượng véc tơ nên năng lượng do nó sinh ra hoặc năng lượng để sinh ra nó cũng phải là đại lượng véc tơ. Không những thế, đã là đại lượng véc tơ thì năng lượng cũng phải có điểm đặt giống như lực hay vận tốc – điểm đặt của véc tơ năng lượng chỉ ra nguồn gốc phát sinh năng lượng hoặc nơi tương tác được sinh ra do năng lượng đó. Cũng chính vì vậy, quy tắc cộng năng lượng là “quy tắc hình bình hành”, tức là quy tắc cộng hình học. Điều này thoạt nghe có vẻ như không bình thường theo quan niệm của vật lý hiện hành theo đó năng lượng được coi là đại lượng vô hướng và được cộng theo quy tắc cộng số học hay cộng đại số. Nhưng sau này chúng ta sẽ thấy quan niệm này là hoàn toàn sai lầm và điều này ảnh hưởng nghiêm trọng tới kết quả của việc đánh giá định luật bảo toàn năng lượng được xem như một trong những định luật cơ bản của vật lý học. Thêm nữa, đã nói tới năng lượng của một thực thể vật lý hay một hệ các thực thể vật lý là phải nói tới hệ quy chiếu (HQC) trong đó năng lượng này được xác định chứ không có khái niệm năng lượng chung chung (xem HQC ở mục 1.3.2).

Nếu năng lượng của thực thể vật lý (hay của hệ thực thể vật lý) được xác định trong HQC khối tâm hay HQC đứng yên so với khối tâm của thực thể vật lý (hay của hệ thực thể vật lý) đó thì gọi là năng lượng tuyệt đối của thực thể vật lý (hay của hệ thực thể vật lý), còn nếu nó được xác định trong HQC chuyển động

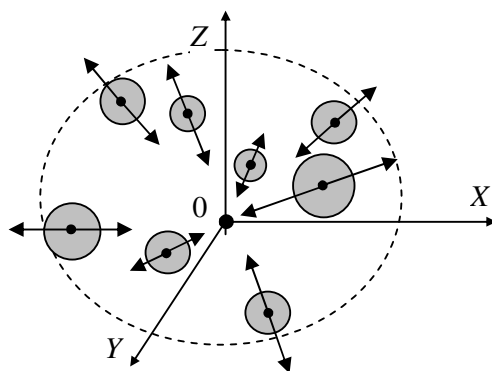
tương đối so với thực thể vật lý (hay so với hệ thực thể vật lý) đó thì gọi là năng lượng tương đối.

Ngoài ra, vì bất kỳ dạng vật chất nào cũng đều có không gian nội vi và không gian ngoại vi nên *năng lượng toàn phần* phải bao gồm cả *nội năng* và *ngoại năng* tương ứng với 2 vùng không gian này của nó.

*Nội năng của một dạng vật chất nào đó là năng lượng hàm chứa bên trong không gian nội vi của dạng vật chất đó, bao gồm cả khả năng lẫn kết quả của những tương tác ngay bên trong không gian nội vi của một dạng vật chất nào đó;* nó quy định kích thước, hình dạng, các tính chất hóa lý v.v.. tức là duy trì sự tồn tại của một dạng vật chất nào đó như là chính nó đang có. Theo định nghĩa này, nội năng là năng lượng tuyệt đối – nó chỉ được xác định trong HQC khối tâm của vật thể hay hệ vật thể.

Như vậy, nội năng của một dạng vật chất là khái niệm độc lập tương đối so với các dạng vật chất khác. Nếu nội năng của một dạng vật chất nào đó thay đổi vượt quá một mức độ nhất định thì nó sẽ không còn là nó nữa. Chẳng hạn như một cục băng, nếu nhận thêm nhiệt lượng nó có thể tan thành nước, và nếu tiếp tục nhận thêm nữa, nó có thể hóa thành hơi v.v.. Tuy nhiên, sự độc lập này chỉ là tương đối vì không gian nội vi của bất kể vật thể nào cũng đều nằm trong các không gian ngoại vi của tất cả các vật thể khác và do đó tuy gọi là “nội năng” nhưng nó vẫn phải chịu sự chi phối của các vật thể bên ngoài nó mà không thể hoàn toàn “khép kín” được.

Tuy nhiên, vì bất kể dạng vật chất nào cũng đều được cấu tạo từ các dạng vật chất thành phần nên nội năng của thực thể vật lý phải bao gồm toàn bộ năng lượng của các dạng vật chất thành phần này trong phạm vi không gian nội vi của vật thể đó (xem Hình 1.8). Vì vậy, có thể có 2 cách đánh giá khác nhau tương ứng với 2 khái niệm nội năng khác nhau.



Hình 1.8. Nội năng của vật thể trong HQC khối tâm của nó

Nội năng cơ đánh giá bằng tổng véc tơ các năng lượng thành phần trong HQC khối tâm của vật thể:

$$\mathbf{W}_n = \sum_1^N \mathbf{W}_{ni} . \quad (1.7)$$

Vì là tổng của các véc tơ thành phần nên véc tơ tổng này sẽ chỉ ra hướng lan truyền năng lượng bên trong không gian nội vi của vật thể. Đối với vật thể có kích thước xác định, nội năng cơ = 0. Nhưng như vậy, nội năng cơ không đặc trưng cho các vật thể khác nhau được khi tất cả chúng đều trong trạng thái ổn định. Để đạt mục đích này, cần sử dụng thêm khái niệm *nội năng tổng*.

*Nội năng tổng* đánh giá bằng tổng modul các năng lượng thành phần:

$$W_n = \sum_1^N W_{ni} \quad (1.8)$$

Khi đó, ứng với mỗi một trạng thái của vật thể sẽ có một mức năng lượng tổng tương ứng, xác định để đặc trưng cho nó khác với các vật thể khác. Tuy nhiên, nội năng tổng xác định theo (1.8) về thực chất chỉ là đặc trưng mang tính thống kê.

Hiệu giữa nội năng tổng (1.8) với modul của nội năng cơ (1.7) chính là năng lượng đặc trưng cho trạng thái quá độ tiến tới cân bằng của thực thể vật lý:

$$W_{n\Delta} = \sum_1^N W_{ni} - \left| \sum_1^N \mathbf{W}_{ni} \right|. \quad (1.9)$$

*Ngoại năng của một dạng vật chất nào đó là năng lượng bộc lộ trong phần không gian ngoại vi của nó, là khả năng hoặc/và kết quả những tương tác của một dạng vật chất nào đó với các dạng vật chất khác.*

Do đó, ngoại năng của một dạng vật chất đương nhiên phải phụ thuộc vào các dạng vật chất khác mà nó tương tác, chẳng hạn, ngoại năng của Trái đất so với Mặt trời là rất lớn vì tương tác giữa chúng đạt tới những giá trị khổng lồ, nhưng sẽ chẳng là gì cả theo quan điểm của một con muỗi vì trong mọi trường hợp, tương tác giữa nó với Trái đất là rất nhỏ. Ngoại năng là đại lượng véc tơ, tuy nhiên, khác với véc tơ vận tốc, tổng véc tơ ngoại năng của một thực thể vật lý =0 không đồng nghĩa với năng lượng bị “triệt tiêu” (bị biến mất) mà chỉ có nghĩa là một phần ngoại năng đã chuyển thành nội năng của thực thể vật lý và vì vậy, tương tự như nội năng, cũng cần phân biệt *ngoại năng cơ* bằng tổng véc tơ:

$$\mathbf{W}_{ng} = \sum_1^n \mathbf{W}_{ngi} \quad (1.10)$$

và *ngoại năng tổng* bằng tổng modul các thành phần ngoại năng:

$$W_{ng} = \sum_1^n W_{ngi} \quad (1.11)$$

Vì là cộng modul nên ngoại năng tổng cũng chỉ là đặc trưng mang tính thống kê. Hiệu giữa ngoại năng tổng (1.11) với modul của ngoại năng cơ (1.10) chính là phần ngoại năng được sử dụng cho cân bằng năng lượng giữa không gian nội vi và không gian ngoại vi khi chuyển sang trạng thái cân bằng mới:

$$\Delta W_{ng} = \left( \sum_i W_{ngi} - \left| \sum_i \mathbf{W}_{ngi} \right| \right). \quad (1.12)$$

Vì để đạt được cân bằng, sự chuyển hóa năng lượng luôn xảy ra đồng thời và như nhau đối với cả nội năng và ngoại năng trong cùng một vật thể nên ngoại năng toàn phần của vật thể sẽ bớt đi một lượng bằng  $\frac{1}{2}\Delta W_{ng}$ :

$$W_{ng\Sigma} = W_{ng} - \frac{1}{2}\Delta W_{ng} \quad (1.13)$$

để chuyển cho nội năng nên nội năng toàn phần tương ứng của nó sẽ phải cộng thêm một lượng đúng bằng  $\frac{1}{2}\Delta W_{ng} = \Delta W_n$ :

$$W_{n\Sigma} = W_n + \Delta W_n . \quad (1.14)$$

Nếu là một hệ kín, *năng lượng toàn phần* luôn luôn là một đại lượng bảo toàn chứ không phải là năng lượng cơ:

$$W = W_{n\Sigma} + W_{ng\Sigma} = const . \quad (1.15)$$

Sự bảo toàn năng lượng toàn phần chỉ xảy ra khi các vật thể chuyển động rơi tự do hay theo quán tính trong trường lực thế.

Ngoài ra, đôi khi chúng ta không cần quan tâm tới toàn bộ năng lượng của thực thể vật lý hay của hệ các thực thể vật lý mà chỉ muốn xem xét một thành phần trong đó quyết định tới sự hình thành hay tan rã của chúng, tức là gây nên sự hút hay đẩy nhau – vấn đề liên quan tới dấu của năng lượng. Khi đã xem xét tới dấu của năng lượng có nghĩa là chúng ta đã giới hạn phạm vi những năng lượng theo một hướng nào đó chứ không liên quan tới các biểu thức năng lượng cơ và năng lượng tổng vừa xét ở trên. Vì vậy ta đưa thêm một khái niệm nữa là *năng lượng liên kết*,

*Năng lượng liên kết được hiểu là thành phần năng lượng của thực thể vật lý hay hệ thực thể vật lý nhằm duy trì hay phá vỡ liên kết bên trong nội bộ của thực thể vật lý hay của hệ các thực thể đó.* Năng lượng liên kết này do đó sẽ là một thành phần của nội năng đối với bản thân thực thể vật lý cũng như đối với hệ các



thực thể vật lý đó. Nhưng mặt khác, nó có thể là một thành phần của ngoại năng của những thực thể vật lý cấu thành nên hệ các thực thể vật lý đó khi xem xét mối tương quan giữa thực thể vật lý này với các thực thể vật lý khác trong hệ đó.

Vì ngoại năng là khả năng hay kết quả tương tác giữa các dạng vật chất nên dấu của năng lượng liên kết được xét đương nhiên phải trùng với dấu của tương tác giữa các dạng vật chất, có nghĩa là có thể  $<0$ , có thể là  $>0$  mà cũng có thể  $=0$ . Điều này đương nhiên cũng đúng với nội năng của một dạng vật chất nhất định – nội năng liên kết có thể  $<0$ , có thể  $>0$  mà cũng có thể có thể  $=0$ . Nếu nội năng liên kết đó mà  $<0$  (được hiểu là lực hút lẫn nhau giữa các phần tử cấu thành nên vật thể luôn thắng thế so với các lực đẩy giữa chúng) thì vật thể luôn trong trạng thái co dãn lại. Ngược lại, nội năng liên kết đó mà  $>0$  (được hiểu là lực đẩy lẫn nhau giữa các phần tử cấu thành nên vật thể luôn thắng thế so với các lực hút giữa chúng) thì vật thể luôn trong trạng thái dãn nở, không thể có một kích thước ổn định. Tuy nhiên, do không gian nội vi của các phần tử cấu thành luôn có một giới hạn xác định khác không và ngoài ra còn có sự chuyển động tương đối giữa các phần tử này nên sự co lại cũng chỉ có giới hạn, và chính giới hạn này hình thành nên cái gọi là “không gian nội vi” của vật thể đó. Sự giãn nở hay co lại của vật thể cuối cùng đều dẫn đến trạng thái cân bằng tương ứng với nội năng liên kết  $=0$ , khi đó, vật thể mới có được hình dạng ổn định.

Nội năng liên kết của một vật thể đang là  $<0$  có thể chuyển sang  $>0$  nếu như nó nhận thêm năng lượng  $>0$  từ bên ngoài và, ngược lại, nội năng liên kết của một vật đang là  $>0$  có thể chuyển sang  $<0$  nếu như nó bớt đi năng lượng  $>0$  cho các dạng vật chất khác bên ngoài. Ví dụ, một cục sắt đang nguội dần có năng lượng liên kết  $<0$  nhưng đốt nóng nó lên thì nội năng liên kết của nó có thể trở nên  $>0$  và ngược lại; nội năng liên kết của nó sẽ bằng không khi trạng thái cân bằng năng lượng mới được xác lập. Như vậy, sự xác lập một trạng thái năng lượng không chỉ

có nguyên nhân tự nó mà còn có cả nguyên nhân từ bên ngoài. Chính nhờ quan niệm năng lượng là đại lượng véc tơ và có sự chuyển hóa qua lại giữa nội năng và ngoại năng mà trạng thái năng lượng của thực thể vật lý trong trường lực thế mới được phát hiện như ở Chương II, mục 2.2.

Xét từ góc độ toàn Vũ trụ vô cùng, vô tận thì tổng năng lượng liên kết giữa các thực thể vật lý phải  $=0$  vì nếu  $>0$  thì các thực thể vật lý về tổng thể sẽ phải rời xa nhau mãi mãi – Vũ trụ sẽ bị “tan loãng” ra tới vô cùng, còn nếu  $<0$  thì nó sẽ phải co lại thành một “điểm” – cả 2 trường hợp đều coi như Vũ trụ sẽ biến mất.

*c/ Các nguyên lý bảo toàn và trao đổi năng lượng.*

Ở trên, ta đã nói tới tương tác nghĩa là tác động qua lại mà điều này gắn chặt với quá trình trao đổi năng lượng, tức là vật thể này cho đi năng lượng thì vật thể khác sẽ nhận lấy năng lượng đó. Việc tiếp nhận hay cho đi năng lượng do tác động này của bất kỳ thực thể vật lý nào cũng đều dẫn đến sự thay đổi năng lượng toàn phần của tất cả các thực thể vật lý tham gia vào quá trình trao đổi này. Tuy nhiên, tùy thuộc vào cấu trúc cụ thể của từng dạng vật chất cụ thể mà sự thay đổi năng lượng này có thể diễn ra nhiều hay ít ở ngoại năng hay ở nội năng của nó. Trong cơ học, người ta thường lý tưởng hóa một thực thể vật lý thành chất điểm hay vật rắn tuyệt đối, về thực chất là đã giả thiết rằng nội năng của nó hoặc bằng không, hoặc bằng vô cùng, vì thế chỉ có sự thay đổi ngoại năng mà bỏ qua sự thay đổi nội năng của thực thể vật lý. Điều này chỉ đúng đối với những tương tác nhỏ với mức trao đổi năng lượng không lớn lắm so với nội năng của thực thể vật lý đang xét. Trong trường hợp ngược lại, ví dụ việc gia tốc hạt trong máy gia tốc tới những vận tốc xấp xỉ vận tốc ánh sáng thì không thể cho rằng chỉ có tăng động năng (tức là ngoại năng) còn nội năng của “hạt” không thay đổi. Mỗi dạng vật chất nhất định bao giờ cũng là một thể thống nhất giữa hai mặt đối lập: không gian nội vi và không gian ngoại vi, nên ngoại năng của nó cũng phải phụ thuộc

vào nội năng, không thể khác được, nói cách khác, giữa nội năng và ngoại năng có một mối quan hệ biện chứng, chuyển hóa qua lại lẫn nhau. Sự trao đổi và chuyển hóa năng lượng này phải tuân theo 2 quy luật vận động cơ bản được cụ thể hóa bởi các nguyên lý sau đây.

**Nguyên lý 1** (có thể gọi là **nguyên lý hữu hạn**): Mọi quá trình trao đổi năng lượng đều cần một thời gian hữu hạn, phụ thuộc vào từng dạng năng lượng nhất định. Việc không thể trao đổi năng lượng một cách tức thì này, một mặt, xuất phát từ thực tiễn với các hiện tượng quán tính của các hệ cơ khí chuyển động so với nhau hay là hiện tượng “trễ” như quá trình trao đổi năng lượng điện giữa tụ điện với cuộn cảm và rõ rệt nhất là với quá trình trao đổi năng lượng nhiệt, mặt khác, cũng còn xuất phát từ tính hữu hạn năng lượng của bất kỳ một dạng vật chất nào vì bản thân năng lượng là khả năng hay kết quả của tương tác giữa các thực thể vật lý nên nó không thể đột nhiên xuất hiện hay đột nhiên mất đi mà chỉ có thể hình thành trong quá trình vận động của các thực thể vật lý đó. Có thể xem lại khái niệm *thời điểm* ở mục 1.1.3. Trong cơ học, nguyên lý hữu hạn này chính là nguyên nhân sâu xa của hiện tượng quán tính sẽ được lượng hóa cụ thể ở mục 1.3.5 tiếp theo.

**Nguyên lý 2** (có thể gọi là **nguyên lý nội năng tối thiểu**): Với một dạng vật chất nhất định có năng lượng toàn phần không đổi, nội năng tăng thêm bao nhiêu thì ngoại năng giảm đi bấy nhiêu và ngược lại, ngoại năng tăng thêm bao nhiêu thì nội năng giảm đi bấy nhiêu nhưng không bao giờ nhỏ hơn được ngoại năng chừng nào “nó vẫn còn là nó”.

Việc nội năng không thể nhỏ hơn ngoại năng cũng khá rõ vì nội năng duy trì tồn tại của dạng vật chất như là nó đang có, nên nếu nó nhỏ hơn ngoại năng thì sẽ dẫn đến sự phá vỡ kết cấu – nó không thể còn là nó nữa. Từ đây dẫn đến một hệ quả tất yếu là:

*Phải tồn tại một giá trị vận tốc hữu hạn và xác định đối với chuyển động của các vật thể mà tại đó, nội năng sẽ cân bằng với ngoại năng; mọi vật thể đều chỉ có thể chuyển động tới vận tốc không vượt quá vận tốc này; việc tăng thêm vận tốc lên nữa đồng nghĩa với việc phá hủy vật thể đó – nó không còn là nó nữa.* Ở mục 2.2 sau này, có thể thấy rằng vận tốc tới hạn để nội năng cân bằng với ngoại năng không phải là hằng số đối với mọi HQC vì bản thân ngoại năng tự nó đã nói lên sự phụ thuộc của nó vào HQC rồi nên nội năng của nó cũng không thể không phụ thuộc vì giữa nội năng và ngoại năng luôn có một mối liên quan chặt chẽ. Tuy nhiên, sự phụ thuộc này còn cần được xem xét trong từng trường hợp cụ thể với từng loại tương tác cụ thể mà chúng ta sẽ còn đề cập đến trong các chương tiếp theo trên nguyên tắc: chuyển động của HQC dựa trên tương tác nào thì sự phụ thuộc chỉ xảy ra đối với loại tương tác đó. Ví dụ, một vật thể chuyển động trong tương tác hấp dẫn với các vật thể khác thì thành phần nội năng liên quan tới tương tác hấp dẫn sẽ phụ thuộc vào HQC nhưng thành phần nội năng liên quan tới các tương tác điện và hạt nhân sẽ không thay đổi.

Có một vấn đề không thể không lưu ý đó là vận tốc vừa nói ở trên chỉ giới hạn cho chuyển động của các vật thể trong một trường lực thế nhất định chứ hoàn toàn không phải là vận tốc lan truyền tương tác của chính trường lực thế đó. Các thực thể vật lý tương tác với nhau trên khoảng cách với vận tốc lớn hơn nhiều so với chuyển động của chính chúng sẽ được đề cập đến ở Chương IV là yêu cầu có thể hiểu được. Trên thực tế, hiện tượng “vướng mắc lượng tử” giữa các hạt sơ cấp đã được ghi nhận là một bằng chứng thuyết phục.

Ngoài sự chuyển hóa giữa nội năng và ngoại năng của cùng một dạng vật chất ví dụ như hiện tượng rơi tự do ở mục 2.2.1, năng lượng còn được trao đổi giữa các dạng vật chất khác nhau. Sự trao đổi này không chỉ dừng ở thế năng của

chúng (dưới dạng lực trường thế - xem mục 1.3.5), mà còn có thể là động năng (dưới dạng va chạm trực tiếp).

*Nguyên lý 3* (có thể gọi là *nguyên lý cho-nhận*): *Bất kể dạng vật chất nào cũng chỉ có thể nhận thêm năng lượng từ các dạng vật chất khác ở mức độ không vượt quá mức năng lượng mà nó có thể cho đi trong chừng mực nó vẫn còn là chính nó, tùy thuộc vào cấu trúc năng lượng của dạng vật chất đó.* Chẳng hạn một cục băng, nếu nó có thể cho hầu hết năng lượng liên kết phân tử  $H_2O$  trong nó thì nó sẽ không còn là “cục” băng được nữa mà trở thành nước – nó không còn là nó với nghĩa là một vật thể có hình dạng xác định; nhưng mặt khác, nếu nó nhận được năng lượng từ bên ngoài vượt quá năng lượng liên kết này thì cục băng cũng sẽ tan chảy thành nước – nó cũng không còn là nó nữa với cũng nghĩa ấy. Tuy nhiên, cũng từ các quy luật này cho thấy trong quá trình trao đổi năng lượng giữa các thực thể vật lý, không thể nào đạt được trạng thái duy trì nội năng không đổi mà chỉ thay đổi ngoại năng giống như trong cơ học chất điểm và vật rắn tuyệt đối hoặc ngược lại, duy trì ngoại năng không đổi mà chỉ thay đổi nội năng của chúng.

Như vậy, về thực chất, cả 3 nguyên lý này chỉ là các hệ quả xuất phát từ 2 quy luật vận động chung nhất của vật chất: đấu tranh và thống nhất giữa 2 mặt đối lập: “cho” và “nhận” năng lượng theo phương thức “lượng đổi – chất đổi”.

Tóm lại, *năng lượng không phải là một dạng tồn tại của vật chất, cũng không phải là một substance tương đương với vật chất để chúng có thể chuyển hóa lẫn nhau*; nó chỉ là một trong nhiều đặc tính của vật chất, vừa là nguyên nhân, vừa là kết quả của sự vận động của vật chất, do đó, không thể nói vật chất “sinh ra” từ năng lượng hay, ngược lại, vật chất bị “hủy” biến thành năng lượng. Điều duy nhất có thể nói là năng lượng có thể biến đổi từ dạng này sang dạng khác trong quá trình vận động của vật chất. Mỗi một dạng năng lượng nhất định tương ứng với một vài khả năng hoặc một vài kết quả tương tác nhất định. Mỗi một dạng

vật chất nhất định bao giờ cũng hàm chứa một năng lượng xác định tương ứng với chính nó, chính vì vậy, năng lượng của một dạng vật chất nhất định không thể vô hạn mà chỉ có thể là hữu hạn.

### 5. Lực, lực trường thế và hiện tượng quán tính.

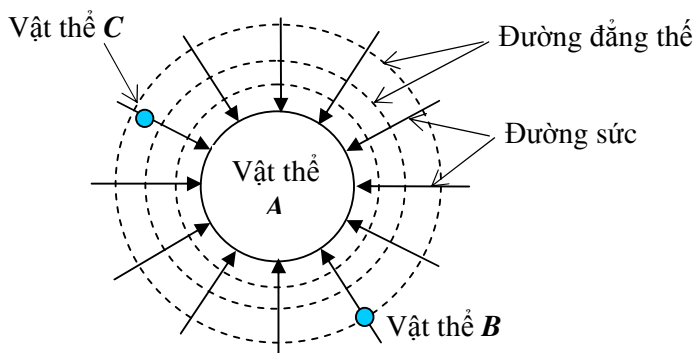
Trong cơ học, độ đo tương tác giữa các thực thể vật lý gọi là **lực**. Lực tương tác giữa **trường** của thực thể vật lý này với **vật thể** khác gọi là **lực trường thế**. Trường của các thực thể vật lý, do đó, còn gọi là **trường lực thế**. Lực tương tác trực tiếp giữa các vật thể với nhau không thông qua trường của thực thể vật lý gọi là **lực va chạm**.

Lực là một đại lượng véc tơ, được đặc trưng bởi điểm đặt, độ lớn và hướng. Các đặc trưng này quy định tính chất của lực; đối với lực trường thế, chúng quy định tính chất của trường lực thế – không gian vật chất, trong đó mức độ thay đổi độ lớn của lực quy định độ đồng nhất của không gian, hướng của lực trường thế quy định hướng của không gian. Có thể phân biệt một số loại trường lực thế thông thường.

#### a/ Lực trường thế đơn cực.

Thông thường, các thực thể vật lý có nội năng lớn vượt trội so với nội năng của các thực thể vật lý khác sẽ hướng các tương tác về phía tâm của mình, tức là lực trường thế của nó lên mọi vật thể khác đều hướng về cùng một tâm điểm, còn gọi là *cực* của trường lực thế của nó. Lực trường thế loại này có dạng hướng tâm nên không gian vật chất này cũng là không gian hướng tâm, ngoài ra, còn là không đồng nhất như được biểu diễn trên Hình 1.9, trong đó các đường hướng tâm nét liền ( $\rightarrow$ ) chỉ ra hướng của lực trường thế của thực thể **A** khi bỏ qua ảnh hưởng của vật thể **B** và **C** chuyển động trong trường lực thế đó, còn các vòng tròn đường nét đứt ( - - - ) mô tả đường đẳng thế - thực chất là những mặt cầu đồng tâm có lực trường thế như nhau ở mọi điểm đối với cùng một vật thể ở vị trí đó, vì

vậy trường lực thế kiểu này, xét về hình thức luận trong không gian vật lý, có thể gọi là *trường lực thế cầu*. Lực trường thế hướng tâm này tương ứng với các hệ thực thể vật lý như nguyên tử, hệ Mặt trời...



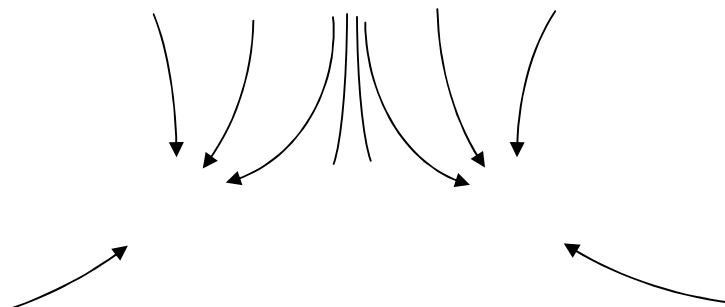
Hình 1.9. Lực trường thế đơn cực.

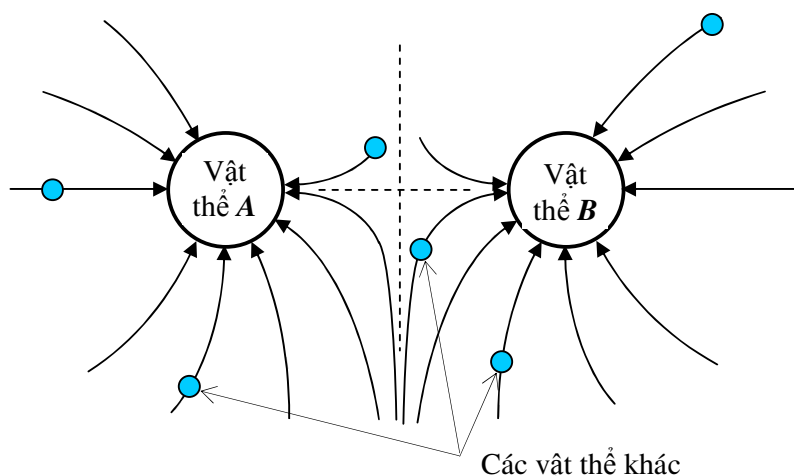
b) *Lực trường thế lưỡng cực.*

Trong nhiều trường hợp, do kết quả chồng chập 2 trường lực thế của 2 thực thể vật lý **A** và **B** có nội năng tương đương nhau dẫn đến sự chia tách không gian vật chất thành 2 phần, trong mỗi phần đó, lực trường thế hướng tới một tâm khác nhau tương ứng với mỗi thực thể vật lý khác nhau. Kết quả là hình thành 2 cực của lực trường thế nên gọi là *lực trường thế lưỡng cực* như được chỉ ra trên Hình 1.10. Cần phân biệt *nội lực* và *ngoại lực* tương ứng với nội năng và ngoại năng của một thực thể vật lý. Ta có *nội lực cơ* và *nội lực tổng*:

$$\mathbf{F}_n = \sum_1^N \mathbf{F}_{ni} \tag{1.16}$$

$$F_n = \sum_1^N F_{ni} ; \tag{1.17}$$





Hình 1.10. Lực trường thế lưỡng cực

Ý nghĩa của nội lực cơ và nội lực tổng cũng tương đương như với ý nghĩa của năng lượng cơ và năng lượng tổng. Nếu một vật thể có hình dạng ổn định thì nội lực cơ phải bằng không. Nhưng “bằng không” không có nghĩa là không có lực tác động và do đó để đặc trưng một cách đầy đủ phải xem xét cả nội lực tổng (1.17) khác nhau đối với các vật thể khác nhau nữa tuy chúng có cùng nội lực cơ (1.16) bằng không. Tuy nhiên trong thực tế, khó có thể xác định được nội lực đối với một thực thể vật lý phức tạp được cấu thành từ vô số các phần tử thành phần, nên chỉ có nội năng là còn có ý nghĩa thực tiễn thôi.

Tương tự như vậy, ta cũng có ngoại lực cơ và ngoại lực tổng:

$$\mathbf{F}_{ng} = \sum_1^n \mathbf{F}_{ngi} \quad (1.18)$$

$$F_{ng} = \sum_1^N F_{ngi} \quad (1.19)$$

Vì số lượng các lực tác động từ bên ngoài vật thể thường là hữu hạn, do có thể bỏ qua những tác động “không đáng kể”, nên việc xem xét đến ngoại lực tổng không



những là hoàn toàn khả thi mà còn thực sự cần thiết nữa. Tuy là đại lượng véc tơ nhưng tổng véc tơ lực tác động lên một vật thể  $=0$  lại không đồng nhất với bị “triệt tiêu” theo nghĩa là không còn lực tác động như được hiểu trong phần tĩnh học, mà chỉ có nghĩa là một phần lực tác động từ phía các thực thể vật lý khác lên nó đã chuyển thành “nội lực” của bản thân nó, một nửa còn lại vẫn đóng vai trò là “ngoại lực” để giữ thế cân bằng với thực thể vật lý khác – vật thể đã chuyển sang một trạng thái năng lượng mới, cho dù nó vẫn đứng yên hay chuyển động “thẳng đều” (xem mục 1.3.4). Nói cách khác, trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều chỉ cho ta thông tin động học thuần túy mà hoàn toàn thiếu vắng thông tin động lực học trong đó bao gồm cả trạng thái năng lượng của thực thể vật lý – yếu tố quyết định tới sự tồn tại của chính nó. Cuối cùng, cũng cần xác định lực tổng hợp đối với một thực thể vật lý:

$$F_{\Sigma} = F_n + F_{ng} . \quad (1.20)$$

Lưu ý là trong trường hợp bỏ qua ảnh hưởng của các thực thể vật lý khác mà chỉ xét 2 thực thể **A** và **B** độc lập với các thực thể khác đó thì các đường sức của cả hai luôn luôn là những đường hướng tâm nối giữa 2 vật thể và vì vậy, có thể áp dụng mô hình lực trường thế đơn cực cho bất cứ thực thể nào trong chúng bất luận năng lượng của chúng có khác nhau đến mấy vì ngoại năng của chúng luôn bằng nhau mà chỉ khác nhau ở nội năng – điều này sẽ được chứng minh cụ thể ở Chương II, mục 2.2.

Bên cạnh đó, lực trường thế của thực thể vật lý này tác động lên một vật thể khác hoàn toàn phụ thuộc vào “vị thế” của chúng so với nhau nên ngoại năng được sinh ra gọi là *thế năng*. Tùy thuộc vào dấu của lực trường thế mà thế năng có thể  $<0$  và cũng có thể  $>0$ . Mặt khác, lực trường thế còn có thể khiến cho hai vật thể chuyển động tương đối so với với nhau (chuyển động tịnh tiến) nhờ đó hình thành nên *động năng tịnh tiến* – một thành phần của ngoại năng của vật thể. Mặt

khác, tương tác lẫn nhau giữa các thực thể vật lý không chỉ có lực trường thế mà còn cả lực va chạm trực tiếp giữa vật thể với vật thể, nhờ đó cũng sinh ra động năng. Tuy nhiên, tùy thuộc vào cách thức xảy ra va chạm mà chuyển động có thể vừa là tịnh tiến – tương ứng với động năng tịnh tiến, vừa là quay xung quanh trục đi qua khối tâm của vật thể – tương ứng với *động năng quay*. Việc va chạm này phụ thuộc vào vận tốc chuyển động tương đối giữa các vật thể với nhau như sẽ được đề cập tới ở mục 2.1.6. Động năng tịnh tiến nếu được sinh ra do tương tác hút nhau thì nó có thể  $<0$ , nhưng nếu nó là kết quả của quá trình va chạm giữa các vật thể mà chỉ sinh công theo phương đẩy các vật thể ra xa nhau – tương đương lực đẩy nhau  $>0$ . Trong khi đó, động năng quay luôn chỉ làm xuất hiện lực ly tâm khiến cho lực hút giữa các phần tử cấu thành nên vật thể giảm đi, do đó, động năng quay chỉ có thể  $\geq 0$ . Mặt khác, khác với động năng tịnh tiến vốn thành phần của ngoại năng, động năng quay lại là thành phần thuộc về nội năng của thực thể vật lý.

Nhưng vì thế năng có thể  $<0$  mà cũng có thể  $>0$  nên ngoại năng bao gồm cả thế năng và động năng cũng có thể  $<0$  và cũng có thể  $>0$ , tùy thuộc vào từng quan hệ cụ thể; nếu ngoại năng của một vật thể này đối với một vật thể khác là  $<0$  thì chúng sẽ hút lẫn nhau với khoảng cách mỗi lúc một nhỏ dần; nếu ngoại năng đó là  $>0$  thì chúng hoặc sẽ không thể va chạm được nhau hoặc rời xa nhau vĩnh viễn; còn nếu  $=0$  thì chúng sẽ hợp nhất với nhau thành một vật có kích thước xác định. Như vậy, *ngoại năng của thực thể vật lý bao gồm thế năng và động năng tịnh tiến*. Không những thế, ngoại năng còn là đại lượng vectơ – hướng của ngoại năng trùng với hướng của tương tác đã gây ra ngoại năng đó hoặc trùng với hướng của tương tác sẽ xảy ra do kết quả chuyển hóa của ngoại năng đó, ví dụ, một viên đạn bay sượt qua bên cạnh một người lính này thì không gây tác hại gì nhưng sẽ giết

chết người lính đứng ở bên cạnh anh ta – động năng của viên đạn chỉ có thể sinh công ở một hướng nhất định.

Cần phải lưu ý một điểm nữa là vì tác động của lực trường thế giữa các vật thể với nhau luôn là “tương hỗ”, nghĩa là “có đi, có lại” chứ không phải ở dạng “tác động – phản tác động” luôn dẫn đến sự chuyển hóa các dạng năng lượng, nên năng lượng không hề bị tiêu tốn mà chỉ trao đổi qua lại giữa chúng; *năng lượng toàn phần của từng thực thể vật lý trong đó cũng luôn là đại lượng bảo toàn trong suốt quá trình tương tác*. Đó cũng là lý do vì sao trong các tương tác hấp dẫn và tĩnh điện, khối lượng hấp dẫn và điện tích của các vật thể luôn luôn được bảo toàn. Trong khi đó, lực tác động trực tiếp do va chạm giữa các vật thể theo cơ chế “tác động – phản tác động” không thông qua trường lực thế sẽ dẫn đến sự thay đổi năng lượng toàn phần của mỗi thực thể vật lý. Sự thay đổi này nhiều hay ít còn phụ thuộc vào từng trường hợp cụ thể.

Mặt khác, một khi đã nói tới trường lực thế thì khái niệm không gian tương ứng chỉ đúng đối với dạng vật chất có loại trường lực thế đó; đối với dạng vật chất có trường lực thế khác, đương nhiên sẽ không thể xem xét trong không gian kiểu đó được vì nó sẽ tương ứng với không gian kiểu khác. Ví dụ một điện tích chuyển động trong trường tĩnh điện của một tụ điện phẳng thì không gian trong tụ điện phẳng này được coi là đều và đồng nhất, hoàn toàn khác với không gian hướng tâm của Trái đất tương ứng với trường hấp dẫn hướng tâm, bất đồng nhất... Chính vì vậy, cũng giống như thế năng, động năng cũng chỉ có nghĩa trong trường lực thế tương ứng và nhất là phải phù hợp với tương tác đã sinh ra nó. Trong “nghịch lý con muỗi” (xem Phụ lục 5), có thể thấy động năng của Trái đất so với con muỗi không xuất phát từ lực trường thế của chúng, cũng không do va chạm trực tiếp giữa chúng mà lại do mấy cái vỗ cánh của con muỗi thì cũng không thể áp dụng công thức tính động năng (2.46) được.

*Trạng thái mà vật thể tồn tại luôn đi kèm với các dạng năng lượng nhất định gọi là trạng thái năng lượng của nó.* Việc duy trì một trạng thái năng lượng nào đó đồng nghĩa với duy trì cả nội năng và ngoại năng (bao gồm động năng và thế năng). Để vật thể có thể tồn tại trong trạng thái năng lượng không đổi, trước tiên cả động năng và thế năng đều phải không được thay đổi, mà như thế tức là khoảng cách từ vật thể đó đến tâm trường lực thế và vận tốc chuyển động phải không thay đổi. Tuy nhiên như ta đã biết, lực trường thế giữa 2 vật thể luôn chỉ làm cho chúng chuyển động theo đường nối tâm của chúng, vì vậy, để duy trì được một trạng thái năng lượng không đổi thì phải cần tới sự can thiệp của vật thứ 3.

Mặt khác, bản thân việc duy trì một trạng thái năng lượng nào đó luôn có nghĩa là phải trong quan hệ đối với các vật thể khác – không thể tồn tại một trạng thái năng lượng “tự thân”. Như vậy, rõ ràng khả năng “tự chống lại” chuyển động hoặc “tự duy trì” chuyển động của các vật thể là hoàn toàn phi lý. Mà đã như thế thì khái niệm *quán tính* vẫn được hiểu như khả năng “tự chống lại” hay “tự duy trì” đó cũng là phi lý nốt. Thực vậy, hãy thử hình dung có một thực thể vật lý hoàn toàn không có bất kỳ một tương tác nào với các thực thể vật lý khác thì chuyển động của nó sẽ ra sao? Câu trả lời của vật lý cho đến nay vẫn là “thẳng đều trong HQC quán tính”, trong khi câu hỏi “HQC quán tính là HQC như thế nào?” thì không thể trả lời được nếu không sử dụng lại khái niệm “chuyển động thẳng đều”, tức là một vòng luẩn quẩn! Đây là chưa kể tới việc bản thân khái niệm “tồn tại” của một thực thể vật lý như vậy là không thể như ta đã nói tới ở mục 1.1.3. Như vậy, *quán tính* phải là hậu quả của tương tác giữa vật thể này trong trường lực thế của các vật thể khác, mà nguyên nhân của tương tác này chính là năng lượng đã được trao đổi giữa vật thể đó với các vật thể khác, tức là ngoại năng của nó, theo nguyên lý hữu hạn ở mục 1.3.4c. Điều này có nghĩa là sự tồn tại một *trạng thái năng lượng* xác định của một thực thể vật lý nhất định đã duy trì

trạng thái chuyển động tương ứng của chính nó. “Theo quán tính” hoàn toàn không có nghĩa là “tự duy trì trạng thái chuyển động” mà là “sự duy trì trạng thái năng lượng” nhưng không phải là “tự” mà là “nhờ” quan hệ với các vật thể khác! Như thế, theo cách quan niệm mới này về bản chất của hiện tượng quán tính, ta hoàn toàn có thể thoát khỏi “vòng luẩn quẩn” với HQC quán tính vừa nói ở trên bởi vì, như ta đã thấy ở mục 1.3.2, một HQC như vậy không thể tồn tại. Để đặc trưng cho hiện tượng quán tính này ta sẽ sử dụng một đại lượng thuận tiện hơn đó là *khối lượng quán tính* sẽ được đề cập đến ở Chương II, mục 2.1.

#### **6. Tác động, tác dụng và nguyên lý tác động tối thiểu.**

Trong cuộc sống thực tế, chúng ta nhận thấy khi có một *tác động* nào đó thì sẽ xảy ra một *tác dụng* nào đó mà ta gọi là *quan hệ nhân quả*, rằng đôi khi có những *tác động* xảy ra giữa vật thể này với vật thể khác nhưng kết quả lại không làm thay đổi được gì cả, khi đó ta nói rằng tác động đó không có *tác dụng*. Ví như một chiếc xe ô tô đang chạy thì bị một con muỗi đâm phải nhưng không thể phát hiện được bất kỳ sự thay đổi vận tốc nào của ô tô. Tuy nhiên về mặt vật lý, điều này phải được hiểu một cách tương đối, cụ thể là xét trên tổng thể thì không thể nói là có tác động mà không có tác dụng, trái lại có thể không có tác dụng về phương diện này (vận tốc chuyển động chẳng hạn) nhưng lại có tác dụng về phương diện khác (tăng, giảm nội năng...) hoặc không có tác dụng đối với vật thể này (ô tô) nhưng lại có tác dụng đối với vật thể khác (con muỗi). Chính vì vậy, quan hệ nhân quả phải được xét trên tổng thể chứ không phải chỉ trên một phương diện hay chỉ đối với một vật thể nhất định. Tuy nhiên, việc xem xét tới chỉ một phương diện nào đó hay đối với một vật thể nào đó cũng cần thiết như việc xem xét trên tổng thể, không nên coi nhẹ – đó chính là quan hệ biện chứng giữa *cái riêng* và *cái chung* của phép biện chứng duy vật. Chấp nhận cách xác định *tác dụng H* theo:

$$+ \text{Maupertuis – Lagrange: } H = \int_{t_0}^{t_1} 2Kdt, \quad (1.21)$$

$$+ \text{Hamillton - Ostrogratsky: } H = \int_{t_0}^{t_1} Ldt, \quad (1.22)$$

ở đây  $L$  và  $K$  tương ứng là Lagrangien và động năng của vật thể;  $t_0$  và  $t_1$  tương ứng là thời điểm bắt đầu và thời điểm kết thúc chuyển động của vật thể từ điểm  $A$  đến điểm  $B$ . Tương tự như vậy, có tính đến thời gian trao đổi năng lượng hữu hạn  $\tau$  từ khi tác động tới khi có tác dụng với hiệu suất trao đổi năng lượng  $\eta$ , ta có thể xác định *tác động*  $D$ :

$$D = \frac{H}{\eta} = \frac{1}{\eta} \int_{t_0-\tau}^{t_1-\tau} 2Kdt \quad (1.23)$$

Nếu  $K = \text{const}$ , từ (1.21) và (1.23) ta có:

$$H = 2K(t_1 - t_0) = 2K\Delta t. \quad (1.24)$$

$$D = \frac{2K(t_1 - t_0)}{\eta} = \frac{2K\Delta t}{\eta}. \quad (1.25)$$

Từ các biểu thức (1.24) và (1.25), ta có thể thấy: vì năng lượng luôn là một đại lượng hữu hạn mà thời gian trao đổi năng lượng cũng không thể nhỏ tới không nên tác dụng cũng như tác động cũng chỉ có thể là các đại lượng hữu hạn. Bên cạnh đó, theo quy luật lượng đổi – chất đổi, tác động cũng như tác dụng không thể nào có thể nhỏ bao nhiêu tùy ý mà phải tồn tại những giá trị hữu hạn nhỏ nhất không thể vượt qua gọi là *tác động tối thiểu*  $d$  và *tác dụng tối thiểu*  $h$  tùy thuộc vào từng dạng trạng thái năng lượng nhất định như hằng số Planck trong cơ học lượng tử chẳng hạn. Ta có *nguyên lý tác động tối thiểu* sau đây:

*Để thực thể vật lý có thể thay đổi trạng thái năng lượng thì tác động lên nó phải không được nhỏ hơn tác động tối thiểu tương ứng với nó:*

$$D = \frac{1}{\eta} \int_{t_0-\tau}^{t_1-\tau} 2Kdt \geq d = \frac{1}{\eta} h. \quad (1.26)$$

Cần phân biệt nguyên lý này với *nguyên lý tác dụng tối thiểu* của Hamilton theo đó, trong những dịch chuyển khả dĩ, dịch chuyển thực sự chỉ xảy ra khi biến phân đẳng thời của hàm  $H$  theo đường dịch chuyển đó đạt cực trị. Đối với các vật thể phức tạp được cấu thành từ số lượng lớn các phần tử khác nhau, về nguyên tắc, đối với mỗi vật thể đó phải tồn tại một giá trị tác động tối thiểu và tác dụng tối thiểu khác nhau. Nhưng cũng chính vì lý do này mà đối với các thực thể vật lý “vĩ mô” không thuận tiện sử dụng các khái niệm đó như sẽ được thấy ở mục 2.2.2. Ngoài ra, ta cũng cần phân biệt *bán kính tác dụng*  $R_T$  với *bán kính tác động* (hay còn gọi là *bán kính tương tác*  $R_m$  như ở mục 1.3.1).

*Bán kính tác dụng của một thực thể vật lý này đối với một thực thể vật lý khác là khoảng cách mà cho đến đó, tác động tương hỗ giữa chúng còn có tác dụng về phương diện nào đó.*

Như vậy, tương ứng với mỗi cặp thực thể vật lý khác nhau, sẽ tồn tại một bán kính tác dụng khác nhau, vì vậy, đối với một thực thể vật lý nhất định trong thế giới vật chất vô cùng vô tận, sẽ tồn tại một bán kính tác dụng lớn nhất trong số những bán kính đó chính là bán kính tác động  $R_m$  đã nhắc tới ở trên. Từ quy luật đấu tranh và thống nhất giữa các mặt đối lập, mà cụ thể ở đây là giữa không gian nội vi (ký hiệu thể tích của nó là  $V_{xn}$ ) với không gian ngoại vi (ký hiệu thể tích của nó là  $V_{xng}$ ) của cùng một thực thể vật lý  $X$  nào đó như đã được đề cập tới ở mục 1.1.2, thì quan hệ giữa chúng phải có dạng tỷ lệ nghịch:

$$V_{xng} = \frac{C'_x}{V_{xn}}, \quad (1.27)$$

ở đây  $C'_x$  là một hằng số đặc trưng cho chính thực thể vật lý  $X$  đang xét, nó phụ thuộc trước hết vào đặc trưng tương tác của chính các thực thể vật lý đó, ví dụ như khối lượng hấp dẫn, hằng số hấp dẫn, tỷ trọng của các vật thể, v.v.. Nếu có thể coi không gian nội vi của thực thể vật lý  $X$  đang xét là dạng cầu với bán kính là  $r_x$ , còn không gian ngoại vi của nó bị giới hạn bởi hình cầu bán kính  $R_{Tx}$ , ta có:

$$\frac{3\pi(R_{Tx} - r_x)^3}{4} = \frac{4C'_x}{3\pi r_x^3}. \quad (1.28)$$

Sau khi biến đổi đi, ta được:

$$r_x(R_{Tx} - r_x) = C_x, \quad (1.29)$$

ở đây ký hiệu

$$C_x = \sqrt[3]{\frac{16C'_x}{9\pi^2}}. \quad (1.30)$$

Từ biểu thức (1.29), có thể rút ra được biểu thức cho bán kính tác dụng  $R_{Tx}$ :

$$R_{Tx} = r_x + \frac{C_x}{r_x}. \quad (1.31)$$

Từ biểu thức (1.31) có thể thấy rõ là khi  $r_x \rightarrow 0$  thì  $R_{Tx} \rightarrow \infty$ . Sau này chúng ta sẽ thấy đối với tương tác hấp dẫn hay Coulomb, khi  $r_x \rightarrow 0$  cũng đồng nghĩa với năng lượng của thực thể vật lý  $\rightarrow \infty$ , mà điều này cũng có nghĩa là bán kính tác dụng của thực thể vật lý đó  $\rightarrow \infty$  là điều hoàn toàn phù hợp với lôgic. Mặt khác, nếu lấy đạo hàm của biểu thức (1.31) theo  $r_x$ , ta được:

$$\dot{R}_{Tx} = 1 - \frac{C_x}{r_x^2}. \quad (1.32)$$

Cho đạo hàm này =0, ta rút ra được bán kính tới hạn của vật thể:

$$r_{xk} = \sqrt{C_x} \quad (1.33)$$



mà tại đó, bán kính tác dụng của nó đạt cực tiểu có giá trị bằng:

$$R_{Tx\min} = 2\sqrt{C_x}. \quad (1.34)$$

Từ các biểu thức (1.33) và (1.34), cũng có thể nói là:

$$R_{Tx} \geq 2r_{xk}. \quad (1.35)$$

Hay nói cách khác, bán kính tác dụng của bất cứ thực thể vật lý nào cũng không thể nhỏ hơn được 2 lần “bán kính tới hạn” phần vật thể của nó, về thực chất, đảm bảo rằng nếu chỉ xét riêng một hệ cô lập gồm 2 thực thể vật lý như nhau thì trong mọi trường hợp, chúng luôn nằm được trong phạm vi bán kính tác dụng của nhau. Điều này minh chứng cho một ý nghĩa triết học sâu sắc về sự tồn tại phụ thuộc lẫn nhau của cái gọi là “thực thể vật lý” = vật thể + trường đã được nói tới ở mục 1.1.

### **7. Xung lực, động lượng, mômen động lượng, tâm quán tính và khối tâm của hệ vật thể.**

Ở mục trên, chúng ta đã có khái niệm về tác động tối thiểu trong quá trình trao đổi năng lượng mà kết quả là đòi hỏi một thời gian trao đổi năng lượng hữu hạn chứ không thể nhỏ bao nhiêu tùy ý mà lực tương tác giữa các vật thể cũng là một mắt xích trong quá trình này nên lực tác động có thể gây nên tác dụng được hay không cũng còn phụ thuộc vào yếu tố thời gian tác động nữa. Vì vậy, ta đưa thêm khái niệm *xung lực* như là tích của lực tác động với thời gian tác động:

$$\mathbf{p} = \mathbf{F}t. \quad (1.36)$$

Mặt khác, có thể biểu diễn lực tác động thông qua khối lượng quán tính và gia tốc chuyển động dưới tác động của lực đó như biểu thức (1.56) ở mục 1.4.2, khi đó, nếu thay gia tốc bằng đạo hàm của vận tốc theo thời gian ta có:

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{V})}{dt} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}. \quad (1.37)$$

Việc đưa được  $m$  vào dấu vi phân là do khối lượng quán tính xác định theo cách (1.54) và đối với tương tác hấp dẫn có kết quả là biểu thức (2.30) là đại lượng có thể coi như không phụ thuộc vào chuyển động. Nhân cả 2 vế của (1.37) với  $dt$  rồi lấy tích phân, với điều kiện lực tác động không thay đổi, ta được:

$$\mathbf{F}t = m\mathbf{V} = \mathbf{p} \quad (1.38)$$

và gọi là *động lượng* của chuyển động. Vì lực cũng như vận tốc là các đại lượng véc tơ nên xung lực và động lượng cũng là những đại lượng véc tơ.

Đối với một hệ vật thể được cấu tạo từ những phần tử thành phần có động lượng  $\mathbf{p}_i$  trong một HQC nào đó thì tổng động lượng của hệ sẽ bằng:

$$\mathbf{p}_\Sigma = \sum_i \mathbf{p}_i \quad (1.39)$$

và sẽ phải tồn tại một điểm  $O$  bên trong nó sao cho tổng động lượng đối với HQC đặt tại điểm đó bằng 0:

$$\mathbf{p}_{0\Sigma} = \sum_i \mathbf{p}_{0i} = 0. \quad (1.40)$$

Khi đó, điểm nói trên sẽ đại diện cho cả hệ trong quá trình chuyển động so với các vật thể khác và được gọi là *tâm quán tính* của hệ. Nếu hệ chỉ bao gồm 2 vật thể  $A$  và  $B$  (xem Hình 1.11a) thì tâm quán tính sẽ nằm trên đường nối tâm trường lực thế của 2 vật thể đó và theo (1.40), ta có:

$$m_A \mathbf{V}_A + m_B \mathbf{V}_B = 0. \quad (1.41)$$

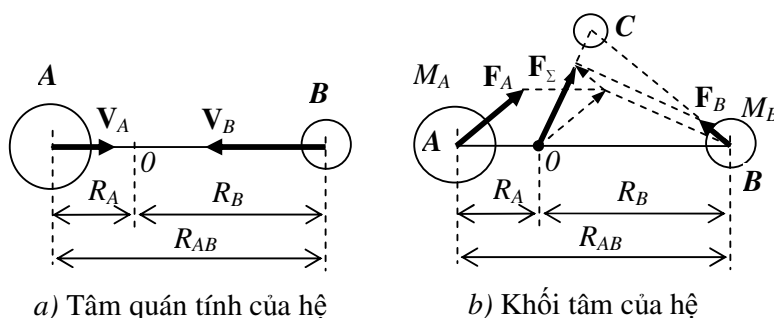
Nhưng vì trong trường hợp này, 2 véc tơ vận tốc ngược chiều nhau nên đơn giản ta có thể viết:

$$m_A V_A = m_B V_B. \tag{1.42}$$

Trong trường hợp vật thể quay quanh một trục cố định nào đó đi qua khối tâm của hệ hay tâm quán tính của nó cách trục quay một khoảng bằng  $R_A$ , ta có khái niệm *mômen quay*  $M_{qA}$  và *mômen động lượng*  $L_A$ :

$$M_{qA} = m_A R_A v_A, \tag{1.43}$$

$$L_A = m_A V_A R_A. \tag{1.44}$$



Hình 1.11. Tâm quán tính và khối tâm của hệ các vật thể.

Nhân đây, cũng trên cơ sở quan niệm về một điểm có thể đại diện được cho cả hệ các vật thể nhưng không phải trong quá trình chuyển động mà là trong trạng thái “đứng yên” tương đối trong một HQC nào đó ta có khái niệm *trọng tâm* hay *khối tâm* của hệ – đó chính là điểm mà ở đó tổng lực trường thế  $F_{0i}$  của tất cả các phần tử cấu thành của hệ đối với một vật thể nào đó bên ngoài có thể coi như bằng lực trường thế của chỉ một vật thể duy nhất đại diện cho toàn hệ đặt tại điểm đó:

$$F_{0C} = \sum_i F_{iC} \tag{1.45}$$

Nếu hệ chỉ gồm có 2 vật thể như vừa nói tới ở trên với trường lực thế là hấp dẫn (xem Hình 1.11b) thì tại điểm  $O$  – khối tâm của hệ ta có thể đặt một lực tác động tổng hợp lên một vật thể khác ở bên ngoài hệ (tại điểm  $C$ ) sao cho thỏa mãn:

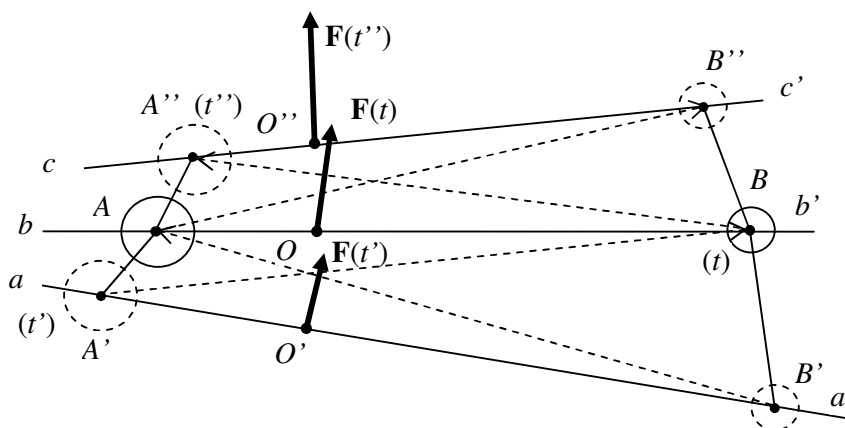
$$\mathbf{F}_{OC} = \mathbf{F}_{AC} + \mathbf{F}_{BC}. \quad (1.46)$$

Bằng cách giải tam giác  $ABC$ , có tính đến điều kiện (1.46), không mấy khó khăn có thể chứng minh được rằng:

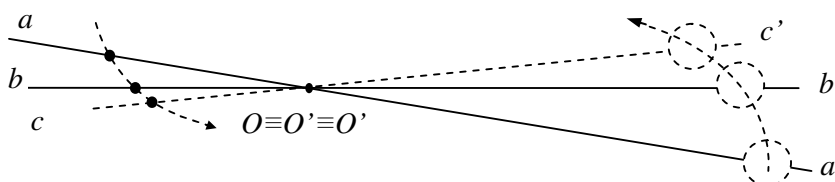
$$M_A R_A = M_B R_B, \quad (1.47)$$

trong đó  $M_A$  và  $M_B$  là khối lượng hấp dẫn của vật thể  $A$  và vật thể  $B$  tương ứng. Có thể dễ dàng chứng minh được rằng khối tâm của hệ các vật thể theo điều kiện đã nêu, hoàn toàn trùng với tâm quán tính của chúng. Vì vậy sau này, ta sẽ sử dụng chúng như những khái niệm tương đương. Tuy nhiên, như vừa đề cập đến ở trên, khái niệm khối tâm hiểu theo nghĩa mà chúng ta vừa đề cập chỉ đúng khi tương tác lan truyền với vận tốc bằng vô cùng hay khoảng cách giữa các vật thể khá nhỏ để thời gian truyền tương tác có thể bỏ qua so với thời gian chuyển động tương đối giữa chúng. Trong trường hợp ngược lại, sẽ xuất hiện sự dịch chuyển khối tâm  $O$  trong HQC vật lý của vật thứ 4 ở khoảng cách đủ xa để có thể coi như ánh sáng từ các vật thể trong hệ đi đến nó là như nhau như được mô tả trên Hình 1.12a (không biểu diễn vật thể thứ 3). Ta sẽ xem xét cụ thể 2 vật thể trong hệ 3 vật thể. Giả sử ở thời điểm  $t$ , vị trí của các vật thể  $A$  và  $B$  nằm trên đường  $bb'$ , có nghĩa là lực tác động lên chúng tương ứng sẽ phải được hình thành từ một thời điểm nhất định trước đó  $t' = t - \tau$ , với  $\tau$  là thời gian để tương tác “lan truyền” từ vị trí  $A'$  đến vị trí  $B$  cũng như từ vị trí  $B'$  đến vị trí  $A$  với vận tốc hữu hạn  $C$ , do đó ta phải có  $A'B = B'A = C\tau$ , ở đây  $A'B' \in aa'$ . Vào thời điểm tiếp theo  $t''$ , các vật thể  $A$  và  $B$  dịch chuyển đến các vị trí tương ứng  $A''$  và  $B''$  nằm trên đường  $cc'$ :  $A''B'' \in cc'$ . Tại đây, chúng lại nhận được các tương tác tương ứng đã xuất phát từ thời điểm  $t = t'' - \tau'$ , do đó ta phải có  $AB'' = BA'' = C\tau'$ . Có thể thấy trên hình vẽ có sự dịch chuyển khối tâm của hệ 2 vật tương đối so với vị trí ban đầu của nó trên đoạn nối tâm 2 vật, cụ thể là:

$$\frac{O''A''}{O''B''} < \frac{OA}{OB} < \frac{O'A'}{O'B'}$$



a) sơ đồ dịch chuyển của 2 vật thể trong tương tác với vật thể thứ 3



b) Chuyển động của 2 vật thể so với khối tâm  $O$  của hệ 2 vật thể

Hình 1.12. Chuyển động của hệ 3 vật thể với vận tốc truyền tương tác hữu hạn trong HQC của vật thể thứ 4 ở xa.

Mặt khác, từ biểu đồ ở Hình 1.12b, khi ta cho dịch chuyển các đường  $aa'$ ,  $bb'$  và  $cc'$  sao cho các tâm  $O$ ,  $O'$  và  $O''$  trùng với nhau, có thể thấy, dường như bên cạnh sự dịch chuyển vào gần nhau, các vật thể còn “quay” quanh khối tâm chung của hệ, do đó về nguyên tắc, theo quan điểm của người quan sát trong HQC vật lý của mình, phải tồn tại mômen động lượng của hệ 3 vật đó (xem mômen động lượng ở ngay phần cuối của mục này). Nhưng rõ ràng, nguyên nhân xuất hiện mômen động lượng này hoàn toàn không phải do có một lực nào đó khác với

lực trường thế của 3 vật trong hệ (tức là có một năng lượng bảo xung nào đó khác) mà đơn giản chỉ là do sự hữu hạn của vận tốc truyền tương tác giữa các vật thể khi thời gian truyền tương tác đó có thể so sánh được với thời gian chuyển động của chính các vật thể trong hệ – một hiệu ứng tương tác trễ. Tạm gọi hiện tượng này là *hiệu ứng tự quay ản*. Mặc dù, việc đánh giá chính xác mômen này gặp phải khó khăn của “bài toán 3 vật” như đã biết, nhưng điều này phải được tính đến khi quan sát bằng kính thiên văn từ Trái đất, đặc biệt là khi khoảng cách giữa các vật thể tương đối lớn như trong phạm vi một thiên hà với kích thước hàng trăm, ngàn, hàng triệu ... năm ánh sáng. Khoảng cách này càng lớn, hiệu ứng “tự quay ản” càng lớn – hoàn toàn phù hợp với kết quả quan trắc thiên văn. Sự có mặt của hiệu ứng này cùng với việc đánh giá sai về khối lượng quán tính làm cho chúng ta dễ lầm tưởng với một “năng lượng tối” hay “vật chất tối” nào đó tác động lên quá trình chuyển động quay của các vật thể.

#### 1.4. Các định luật cơ bản của cơ động lực học.

##### 1. Định luật quán tính tổng quát.

Xuất phát từ khái niệm về hiện tượng quán tính và trạng thái chuyển động theo quán tính ở mục 1.3.4, ta có thể thấy rằng không những cần thay đổi định luật quán tính của Newton mà còn cần thay đổi cả bản thân khái niệm chuyển động theo quán tính như đã nói tới ở đó nữa. Định luật quán tính tổng quát được phát biểu như sau:

*Nếu trong HQC vật chất, tổng hợp lực tác động lên một thực thể vật lý bằng không thì nó sẽ đứng yên hay chuyển động theo quán tính (với trạng thái năng lượng không đổi) trong trường lực thế của thực thể vật lý có đặt HQC đó.*

Ở đây, chúng ta luôn gắn chuyển động với một trường lực thế nào đó tức là với không gian vật chất chứ không có chuyển động chung chung, hay chuyển

động trong không gian vật lý hoặc không gian hình học – những gì mà chúng ta “nhìn thấy” không hoàn toàn là những gì đang “xảy ra”, vì vậy, mới nói rõ là HQC vật chất chứ không phải là HQC hình học hay HQC vật lý. Ví dụ như một vệ tinh địa tĩnh có vẻ như luôn đứng yên so với bề mặt Trái đất nhưng đó chỉ là “có vẻ” xét từ góc độ không gian vật lý được chúng ta tiếp nhận nhờ ánh sáng, nhưng thật ra nó đang chuyển động theo quán tính trong trường hấp dẫn của Trái đất. Ngược lại, nếu HQC đặt trên vệ tinh thì Trái đất sẽ được coi như chuyển động theo quán tính trong trường hấp dẫn của vệ tinh đó.

Rõ ràng, định luật quán tính của Newton chỉ đúng khi có thể tồn tại một trường lực thế đồng nhất và đều (ví dụ như Trái đất có hình “bánh chưng” với cạnh dài tới vô cùng chẳng hạn) hoặc khi không có trường lực thế (tương đương với trường lực thế rất nhỏ có thể bỏ qua), tức là những trường hợp riêng của định luật quán tính mới này. Nhưng giờ đây, định luật này đã có thể áp dụng được cho mọi HQC vật chất chứ không chỉ đối với 2 trường hợp cá biệt – HQC quán tính vừa nêu. Từ đây cũng có thể phát biểu mệnh đề ngược:

*“Nếu thực thể vật lý đứng yên hay chuyển động theo quán tính thì tổng hợp lực tác động lên nó bằng không”.*

Nói cách khác, nếu như đối với cơ học Newton, sự thay đổi vận tốc chuyển động của vật thể (gia tốc) là “chỉ thị” của lực tác động từ bên ngoài lên nó, thì giờ đây, “chỉ thị” này lại là sự thay đổi trạng thái năng lượng trong trường lực thế với các thực thể vật lý khác. Có thể biểu diễn điều đó như sau:

$$\mathbf{F} = k_w \frac{d\mathbf{W}}{dt}, \quad (1.48)$$

ở đây  $k_w$  là một hệ số tỷ lệ nào đó. Nhân cả 2 vế của (1.48) với  $dt$  rồi lấy tích phân cả 2 vế trong suốt thời gian tác động của lực  $\mathbf{F}$ , ta được:

$$\int_0^t \mathbf{F} dt = k_w \int_{W_0}^W dW = k_w (W - W_0). \quad (1.49)$$

Nếu lực tác động là đại lượng không đổi, ta có thể đưa nó ra ngoài dấu tích phân, do đó ta có:

$$\mathbf{F}t = k_w (W - W_0). \quad (1.50)$$

Vế trái của biểu thức (1.50) chính là xung lực tác động lên vật thể, vì vậy, căn cứ vào đẳng thức (1.38), có thể viết:

$$\mathbf{P} = k_w (W - W_0). \quad (1.51)$$

Tức là động lượng chuyển động của vật thể tỷ lệ với sự thay đổi năng lượng của nó trong trường lực thế.

## 2. Định luật gia tốc .

Những chuyển động của vật thể không theo quán tính đều cần có sự thay đổi hay chuyển hóa các dạng năng lượng. Sự thay đổi hoặc chuyển hóa năng lượng này làm thay đổi trạng thái năng lượng của nó, trong trường hợp đơn giản nhất là làm xuất hiện lực tác động lên vật, khiến nó thay đổi vận tốc chuyển động, tức là sinh ra gia tốc. Mặt khác, theo nguyên lý hữu hạn, việc chuyển từ trạng thái năng lượng này sang trạng thái năng lượng khác không thể xảy ra tức thời dẫn tới việc thay đổi vận tốc một cách từ từ chứ không thể đột biến. Đối với chuyển động cơ học, sự thay đổi trạng thái năng lượng dưới tác động của một lực tác động  $\mathbf{F}$  luôn phải vượt qua lực trường thế đã duy trì trạng thái năng lượng đó của vật thể và kết quả là có hiện tượng quán tính – vật thể chuyển động với gia tốc hữu hạn. Gia tốc chuyển động của vật thể do vậy sẽ phụ thuộc vào các đại lượng này. Ta có thể phát biểu *Định luật gia tốc của động lực học* ở dạng:



*Gia tốc chuyển động của vật thể trong trường lực thế tỷ lệ thuận với tổng hợp lực tác động lên nó và tỷ lệ nghịch với modul lực trường thế đã ràng buộc nó vào trạng thái năng lượng đó; hướng của gia tốc trùng với hướng của lực tác động tổng hợp.* Ta có:

$$\mathbf{a} = k_f \frac{\mathbf{F}_\Sigma}{F_u} = k_f \frac{\mathbf{F} + \mathbf{F}_u}{F_u}, \quad (1.52)$$

ở đây  $\mathbf{F}_\Sigma$  - lực tác động tổng hợp của các vật thể khác lên vật thể đang xem xét;  $k_f$  - hệ số tỷ lệ. Nếu lực tác động trực tiếp của các vật thể khác lên vật thể đó  $\mathbf{F} = 0$ , từ (1.52) ta có thể thấy rằng gia tốc chuyển động của vật thể chỉ còn là gia tốc chuyển động của nó trong trường lực thế  $g$ , do đó ta viết lại (1.52) dưới dạng:

$$\mathbf{a} = g \frac{\mathbf{F}_\Sigma}{F_u} = g \frac{\mathbf{F} + \mathbf{F}_u}{F_u}. \quad (1.53)$$

Nếu ký hiệu: 
$$\frac{F_u}{g} = m, \quad (1.54)$$

và gọi là “khối lượng quán tính” – một thông số động lực học được xác định bằng thực nghiệm thông qua  $F_u$  và  $g$ . Sau này, chúng ta sẽ thấy khối lượng quán tính xác định theo (1.54) đối với một vật thể nhất định, chuyển động trong một trường lực thế xác định là hằng số không phụ thuộc vào chuyển động, mặc dù các đại lượng để xác định nó có thể bị thay đổi. Ta có thể viết lại (1.53) dưới dạng quen thuộc:

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}_\Sigma}{m} = \frac{\mathbf{F}}{m} + \frac{\mathbf{F}_u}{m} = \mathbf{a}_F + \mathbf{g}, \quad (1.55)$$

ở đây ta ký hiệu: 
$$\frac{\mathbf{F}}{m} = \mathbf{a}_F \quad (1.56)$$

là thành phần gia tốc chuyển động của vật thể dưới tác động của lực va chạm và

$$\frac{\mathbf{F}_t}{m} = \mathbf{g} \quad (1.57)$$

là gia tốc chuyển động của vật thể dưới tác động của lực trường thế, nó có thể được suy ngược lại từ biểu thức (1.54) khi tính đến đặc tính véc tơ của lực và gia tốc. Từ (1.56) có thể suy ra biểu thức giống với định luật 2 Newton:

$$m\mathbf{a}_F = \mathbf{F}. \quad (1.58)$$

Nhưng, điều khác biệt ở đây chính là khối lượng quán tính  $m$ , nó không bằng khối lượng hấp dẫn, không phải là “cái có sẵn” trong mỗi vật thể, không có nguyên nhân “tự nó” mà được xác định theo (1.54) nên chỉ tồn tại khi có lực tác động – ở đây là lực trường thế và hơn thế nữa, phải trong trạng thái chuyển động trong trường lực thế đó –  $g \neq 0$  (vì trong trường lực thế, chỉ với tác động của lực trường thế, vật thể không thể chuyển động thẳng đều với  $g = 0$ ). Khi vật thể đứng yên ( $\mathbf{a} = 0$ ), theo (1.55) có nghĩa là đã có một lực tác động cân bằng với lực trường thế.

Cần lưu ý rằng biểu thức (1.58) bây giờ đúng với mọi HQC vật chất đặt trên vật thể có trường lực thế quyết định tới trạng thái năng lượng của vật thể đó chứ không như định luật 2 Newton chỉ đúng trong HQC quán tính (với nghĩa là “chuyển động thẳng đều”) độc lập hoàn toàn với nó về phương diện tương tác. Không những thế, dựa vào biểu thức (1.55), ta còn có thể xác định được khối lượng quán tính  $m$  trong một trường lực thế thông qua lực tác động tổng hợp  $F_\Sigma$  và gia tốc tổng hợp  $a$ . Sau này ở mục 2.3 ta sẽ thấy tỷ số (1.54) đối với mỗi thực thể vật lý nhất định, trong một trường lực thế nhất định luôn là hằng số, vì về thực chất, đối với mỗi loại trường lực thế nhất định, sẽ tồn tại một gia tốc nhất định cho những vật thể chuyển động trong đó tương ứng với chính lực trường thế của chúng, nên vật thể sẽ phải có khối lượng quán tính của mình tương ứng với trường lực thế đó. Tương ứng với 4 tương tác của 4 loại trường lực thế đã được biết, tính theo (1.54), ta có 4 loại khối lượng quán tính khác nhau ký hiệu lần lượt là:

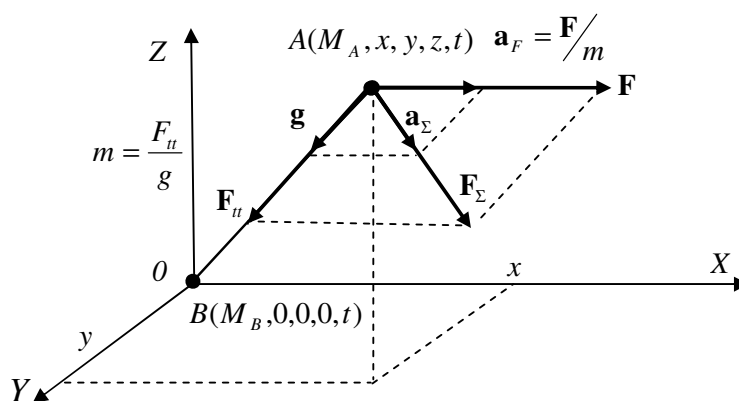
$m$  - khối lượng quán tính trong trường hấp dẫn;

$m_d$  - khối lượng quán tính trong trường điện;

$m_M, m_Y$  - khối lượng quán tính trong trường hạt nhân mạnh và yếu.

Trong một số trường hợp vật thể vừa có khối lượng hấp dẫn lại vừa có điện tích, mà điện tích và khối lượng hấp dẫn đều cùng tồn tại đồng thời đối với vật thể, không tách ra được, nên về nguyên tắc ta phải nói tới *khối lượng quán tính hỗn hợp* trong trường lực thế điện – hấp dẫn (xem mục 3.6, Chương III).

Như vậy, theo biểu thức định luật 2 tổng quát của động lực học (1.53) hay (1.55), thay vì cho trước khối lượng quán tính của vật thể **A**, nhất thiết phải chỉ ra trường lực thế của một vật thể khác (**B**) tạo ra lực trường thế tương tác với nó, ví dụ nếu là trường hấp dẫn thì phải cho khối lượng hấp dẫn  $M_A$  và  $M_B$  như được biểu diễn trên Hình 1.13; nếu là trường điện tĩnh thì phải cho điện tích  $q_A$  và  $q_B$ .

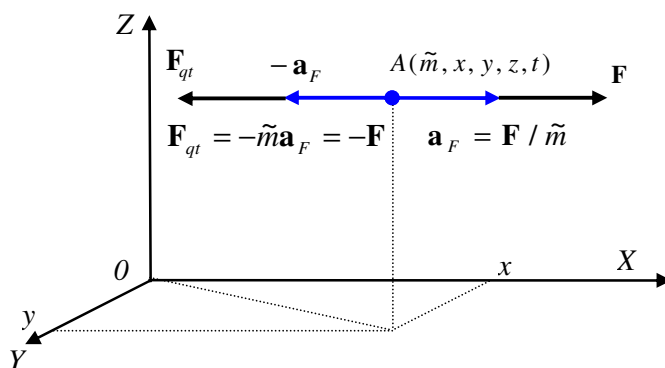


Hình 1.13 Biểu diễn định luật gia tốc của động lực học

Trong khi đó, trong cơ học cổ điển cũng như cơ học tương đối tính cho phép tồn tại một chất điểm cô lập cùng với “khối lượng quán tính tự thân” (ký hiệu là  $\tilde{m}$ ) được biết trước. Trạng thái của chất điểm này được coi là hoàn toàn xác định nếu biết được các tọa độ không gian  $(x, y, z)$  và thời gian  $(t)$  trong một HQC quán tính nào đó độc lập hoàn toàn với nó về phương diện tương tác (xem Hình 1.14).

Nếu chất điểm chịu tác động của lực  $\mathbf{F}$ , người ta có thể viết phương trình chuyển động của nó theo định luật 2 Newton bằng cách thay  $m$  bằng  $\tilde{m}$  vào (1.58):

$$\tilde{m}\mathbf{a}_F = \mathbf{F}. \tag{1.59}$$



Hình 1.14 Biểu diễn định luật 2 Newton và nguyên lý D’Alambert

Ở đây dấu “=” đã có thể được hiểu với đúng nghĩa của nó vì cả hai vế của (1.60) đều thuộc về cùng một đối tượng, đó là chất điểm mà ta đang xét. Từ đây, người ta có nguyên lý D’Alambert:  $\mathbf{F} + \mathbf{F}_{qt} = 0$  đã được biết tới trong cơ học.

### 3. Định luật 2 tổng quát của động lực học

Trong trường hợp chung, khi HQC được đặt trên một vật thể không có trường lực thế quyết định trạng thái năng lượng của vật đang xem xét, quy luật chuyển động của vật sẽ không còn tuân theo biểu thức (1.53) nữa, vì khi đó ngoài trường lực thế của vật chọn đặt HQC còn có trường lực thế quyết định tới trạng thái năng lượng của vật thể đó và của cả bản thân vật thể có đặt HQC nữa. Ví dụ như HQC được đặt trên chiếc xe ô tô đang chuyển động trên mặt đất. Lúc này, trạng thái chuyển động của vật thể không chỉ chịu ảnh hưởng của chỉ riêng chiếc xe đang chuyển động, mà còn của cả Trái đất nữa; nó có trường trọng lực lớn hơn nhiều lần trường lực thế của xe ô tô. Chính vì vậy đối với xe ô tô, vật thể dường như “có sẵn” khối lượng quán tính của nó rồi, bất luận nó lớn, bé, nặng, nhẹ thế

nào so với ô tô thì khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn của nó cũng luôn bằng nhau.

Nếu khối lượng hấp dẫn của vật thể cũng nhỏ hơn nhiều so với khối lượng của ô tô, thì khối lượng quán tính của nó trong HQC của ô tô cũng chẳng khác gì trong HQC của Trái đất. chủ yếu do Trái đất quyết định, tới khối lượng quán tính

khối lượng quán tính

#### **4. Định luật tác động - phản tác động.**

Ở mục 1.3.6, chúng ta đã có khái niệm về tác động của các thực thể vật lý và tác dụng của nó hình thành *quan hệ nhân quả*: tác động là “cái có trước” dẫn đến tác dụng là “cái có sau” nếu như ở đây, tác dụng được hiểu là kết quả của tác động về một phương diện nào đó. Mặt khác cũng từ thực tiễn cuộc sống, hầu như mọi *tác động* đều dẫn đến *phản tác động* mà trong cơ học Newton được thể hiện bởi định luật 3 – định luật “tác động – phản tác động” với giả thiết rằng trong quá trình này nội năng của các thực thể vật lý không thay đổi. Tuy nhiên, nếu trong quá trình này xảy ra sự thay đổi nội năng (bao gồm cả biến dạng) của các vật thể, ví dụ như dùng búa đập một hạt dẻ – hạt dẻ vỡ ra – đây có phải là một quan hệ nhân quả mà không thể đảo ngược trình tự được không? Tất nhiên, bản thân quá trình từ “dùng búa...” đến “hạt dẻ vỡ ra” là không thể đảo ngược được do tính bất thuận nghịch của thời gian, nhưng quan niệm “tác động” là “búa đập vào hạt dẻ” hay “hạt dẻ đập vào búa” thì còn tùy thuộc vào HQC trong đó quá trình này được xem xét mà có thể là tuyệt đối hay tương đối. Ví dụ như hạt dẻ nằm yên trong HQC Trái đất còn búa chuyển động thì quan niệm “búa đập vào hạt dẻ” là tuyệt đối vì trạng thái năng lượng của HQC Trái đất lớn hơn nhiều so với HQC đặt trên búa (xem mục 2.2). Và cũng chính vì vậy, tác động và phản tác động chỉ là các khái niệm tương đối không phải là quan hệ nhân quả mà hoàn toàn phụ thuộc vào

HQC, chúng có thể đổi chỗ cho nhau nếu đổi chỗ HQC nhưng điều quan trọng hơn cả là: “*trong trường hợp nội năng có thể được coi là không thay đổi, lực tác động luôn luôn bằng lực phản tác động nhưng ngược chiều*” – định luật 3 Newton vẫn có giá trị:

$$\mathbf{F}_{td} = -\mathbf{F}_{ptd}. \quad (1.61)$$

Tuy nhiên, trong các va chạm lệch tâm như sẽ được thấy ở Chương II, mục 2.1.6b, nội năng của các thực thể vật lý sau khi va chạm không còn được bảo toàn nên định luật (1.61) không thể áp dụng được; không những thế, không áp dụng được kể cả định luật bảo toàn động lượng nữa!

### 1.5. Nhận xét

Việc tập hợp và phân tích các khái niệm cơ bản, các nguyên lý và định luật cơ bản theo một trình tự lôgic chặt chẽ thật ra là một việc làm rất khó vì các khái niệm liên quan chặt chẽ với nhau bất kể trình tự diễn giải chúng. Điều này dẫn đến khó khăn cho việc theo dõi các khái niệm. Tuy nhiên, đây là một việc làm bắt buộc vì nếu không, toàn bộ cuốn sách sẽ rơi vào tình trạng lộn xộn mất khả năng kiểm soát các ý tưởng cũ và mới đan xen nhau, đặc biệt là đối với các ý tưởng mới. Với khả năng hạn chế của mình, tác giả chỉ cố gắng làm việc này trong một phạm vi nhất định mà chưa thể tối ưu hóa được, nếu như không nói là có thể vẫn còn lộn xộn.

Những ý tưởng được coi là mới ở đây có thể liệt kê là:

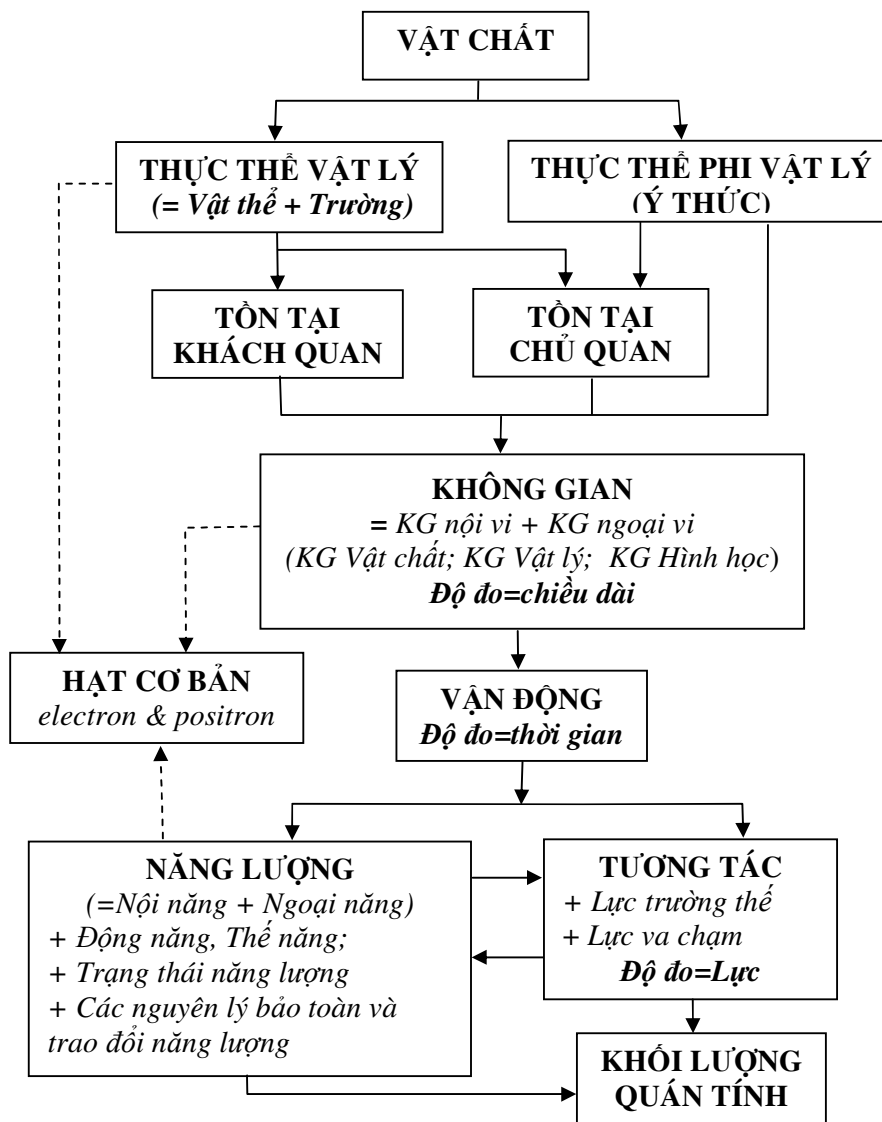
+ đặc tính véc tơ của năng lượng cùng mối quan hệ biện chứng giữa nội năng và ngoại năng;

+ chuyển động theo quán tính với nghĩa là chuyển động với trạng thái năng lượng không đổi tương đương với chuyển động thẳng đều trong HQC vật chất thay vì chuyển động thẳng đều trong HQC vật lý hay HQC hình học;

+ các nguyên lý bảo toàn và trao đổi năng lượng;

---

- + nguyên lý tác động tối thiểu;
- + bản chất của hiện tượng quán tính và khối lượng quán tính;
- + định luật quán tính tổng quát, định luật gia tốc và định luật 2 tổng quát của động lực học v.v.. trong đó, khái niệm có tính đột phá phải kể đến là *bản chất của hiện tượng quán tính*, nhờ nó mà vật lý học mới có cơ hội “bứt phá” lên phía trước, thoát khỏi tình trạng trì trệ với “quán tính tự thân” kéo dài hơn 3,5 thế kỷ qua.



Hình 1.14. Sơ đồ cấu trúc các phạm trù triết học với các khái niệm cơ bản của vật lý học