

NĂNG LƯỢNG CỦA THỰC THỂ VẬT LÝ TRONG TRƯỜNG LỰC THỂ

E-mail: huytoan971@vnn.vn

(Giấy chứng nhận đăng ký Quyền tác giả số 1251/2007/QTG)

Tóm tắt

Năng lượng của mọi vật thể và mọi quá trình vật lý hiện được mô tả bởi phương trình nổi tiếng $E=mc^2$ của Einstein. Tuy nhiên, cơ sở để rút ra phương trình này phải là các hệ quy chiếu quán tính mà trên thực tế, nhất là đối với thế giới vi mô – nơi duy nhất có thể kiểm chứng tính đúng đắn của phương trình đó, thì lại hoàn toàn không thể có những HQC như vậy. Xuất phát từ những quan niệm mới của vật lý học hiện đại đã được tác giả trình bày gần đây, tác giả đã tiến hành tính toán lại phương trình năng lượng của các thực thể vật lý trong các HQC phi quán tính, cụ thể là trong trường lực thể với thế năng $U(R)$ và đã rút ra được phương trình tổng quát $W=mc^2+2U(R_K)$. Bên cạnh đó, đã xác lập được tác dụng tối thiểu của trường hấp dẫn nhằm tính đến ảnh hưởng của các thiên thể với nhau từ góc độ năng lượng.

Từ khóa: năng lượng, chuyển động theo quán tính, rơi tự do, tác dụng tối thiểu của trường hấp dẫn.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo quan điểm của vật lý hiện hành, năng lượng của bất kỳ một vật thể nào có khối lượng m cũng đều xác định theo công thức của Einstein:

$$E = mc^2 \quad (1)$$

Công thức (1) còn được hiểu như là sự tương đương giữa năng lượng và khối lượng đối với mọi quá trình vật lý và được đánh giá là một trong “10 công thức đẹp nhất của của mọi thời đại”. Tuy nhiên, không hiểu tại sao người ta lại quên mất rằng để chứng minh công thức này, có một điều kiện tiên quyết là hệ quy chiếu (HQC) mà vật thể có khối lượng m nằm trong đó cũng như HQC mà từ đó xác định năng lượng E phải đều là các HQC quán tính, có nghĩa là các HQC phải hoàn toàn tự do. Ở thế giới vĩ mô, trong một phạm vi hẹp về cả không gian và thời gian, có thể tạm coi như các HQC như vậy có thể tồn tại với một sai số nào đấy, nhưng trong thế giới vi mô, một điều kiện như vậy không bao giờ có thể đáp ứng được, thậm chí là với mức độ sai số thô thiển nhất có thể nghĩ đến. Nhưng cho dù thế nào chăng nữa, việc xác định sai số và phạm vi áp dụng công thức (1) lẽ ra cũng đã phải được thực hiện thì mới đúng, vậy

mà, rất tiếc cho đến nay, công thức (1) vẫn được coi là đúng tuyệt đối trong mọi trường hợp – đó phải chăng chính là sự thiếu lành mạnh hay bất cẩn trong khoa học?

Trong khi đó, có một thực tế là bản thân công thức (1) về thực chất vẫn *chưa được hề được chứng minh* – thế mới thật là oái oăm! Việc chứng minh nó đã chứa đựng bất cập ngay từ đầu bởi chính tác giả - Einstein vĩ đại! Sự thiếu cơ sở logic của Einstein đã được Aivs chỉ ra trong “Journal of the Optical Society Of America”, 42, 540 – 543. 1952. Từ đó, người ta thôi không dùng cách chứng minh của tác giả nữa mà sử dụng sự phụ thuộc của khối lượng quán tính vào vận tốc:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} = m_0 \gamma \quad (2)$$

cùng với định luật 2 Newton:

$$F = \frac{d(mV)}{dt} \quad (3)$$

để tính ra công thức đó. Nhưng “tránh vỏ dưa lại gặp vỏ dừa”, lại xuất hiện bất cập mới, mà lần này thì ... chắc là “vô phương cứu chữa”!

Thứ nhất, bản thân công thức (2) được chứng minh chỉ cho vật thể đang chuyển động thẳng đều với vận tốc V trong một HQC quán tính và có khối lượng m_0 trong HQC mà nó đứng yên trong đó (cũng phải là HQC quán tính). Có nghĩa là cần phải được hiểu là:

+ Nếu vật thể đang chuyển động với vận tốc V_1 thì ta có $m_1 = m_0 \gamma_1$;

+ Nếu vật thể đang chuyển động với vận tốc V_2 thì ta có $m_2 = m_0 \gamma_2$;

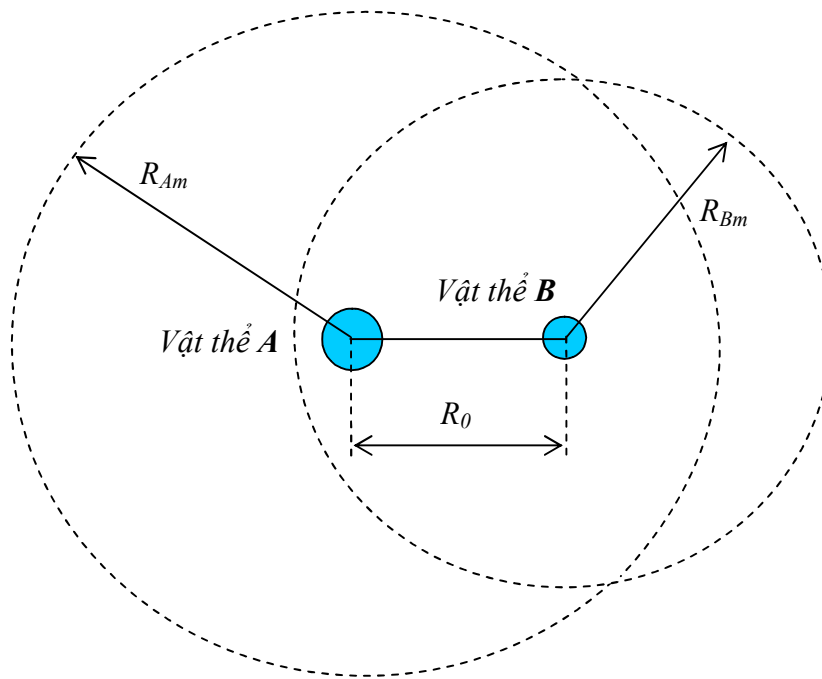
....

+ Nếu vật thể đang chuyển động với vận tốc V_n thì ta có $m_n = m_0 \gamma_n$

v.v..

với V_1, V_2, \dots, V_n là các giá trị vận tốc không thay đổi theo thời gian, thỏa mãn yêu cầu của chuyển động thẳng đều, chứ hoàn toàn không phải là các giá trị vận tốc tức thời; tương tự như vậy, khối lượng quán tính m_1, m_2, \dots, m_n là các giá trị khối lượng tương ứng tính được trong $HQC_1, HQC_2, \dots, HQC_n$ tương ứng, chứ hoàn toàn không phải là các giá trị của m là một “hàm” của vận tốc theo cách hiểu thông thường về một hàm số: $m = m(V)$ trong đó V là đại lượng biến thiên liên tục, vì bất kỳ một sự biến thiên nào của vận tốc V cũng đều khiến cho điều kiện về HQC quán tính của vật thể chuyển động bị phá vỡ - các biến đổi Lorenz không thể áp dụng được – khi đó, làm sao có thể có được công thức (2) được nữa? Chính vì vậy, không thể thay (2) vào (3) để tính đạo hàm được vì V đã không thể được phép biến thiên thì cả m cũng chẳng có lý do gì để “biến thiên” cả, nên đạo hàm đó phải $\equiv 0$! Còn nếu cứ cố kiết cho rằng V là đại lượng không biến thiên liên tục mà có dạng “bậc thang” thay đổi từ V_1 tới V_n thì đạo hàm của

nó lại có dạng là hàm Dirac $\delta(t)$! Kết quả là cũng không thể cho ra được công thức cần chứng minh.



Hình 1. Hai vật thể A và B nằm trong phạm vi bán kính tác dụng của nhau.

Thứ hai, bản thân việc áp dụng công thức (3) với $F \neq 0$ cũng khiến cho HQC gắn với vật thể sẽ trở nên phi quán tính và thuyết tương đối hẹp không áp dụng cho nó được nữa thì làm sao có thể sử dụng để chứng minh cái gì? Vấn đề còn là ở tính phi lôgic của định luật 2 của động lực học. Bản thân cơ học Newton cho tới nay, về thực chất, chỉ có thể nghiên cứu các quá trình *động học* xảy ra trong các HQC quán tính, còn một khi đã xuất hiện lực tác động, tức là khi chuyển động của vật thể đã có gia tốc thì các định luật cơ bản của động lực học không còn đúng nữa, mà đã như vậy thì bản thân khái niệm “định luật cơ bản của động lực học” cũng trở nên vô nghĩa. Nói cách khác, khái niệm “định luật cơ bản của động lực học” chỉ là một “ảo giác” vì mục đích của nó là để mô tả diễn biến của các quá trình *động lực* nhưng khi yếu tố “động lực” này chỉ vừa mới xuất hiện thì tính hợp lý của các định luật lập tức biến mất vì đã biến mất điều kiện về một HQC quán tính – các biến đổi Galileo trở thành vô nghĩa. Chính vì vậy, khi cố kiết sử dụng định luật 2 Newton trong điều kiện này đã dẫn đến những kết luận sai lệch về bản chất của hiện tượng mà sau này chúng ta sẽ có dịp bàn đến trong một chuyên mục khác.

Cuối cùng, nếu vật thể tồn tại trong một trường lực thể nhất định không thể bỏ qua (có nghĩa HQC là phi quán tính) như trên thực tế của hầu hết các hiện tượng thì năng lượng của vật thể sẽ ra sao, công thức (1) sẽ gặp phải sai số đến mức nào?

Đó chính là mục đích của công trình này. Để làm được việc đó, trước tiên hãy xét trường lực thể là hấp dẫn, sau đó suy rộng ra đối với trường điện từ cũng như trường hạt nhân (mạnh và yếu) vì chúng đều có chung một bản chất là gây nên hiện tượng quán tính mà đặc trưng là *khối lượng quán tính* [1]. Đối tượng xem xét, giả sử là một hệ kín gồm 2 thực thể vật lý A và B tương tác với nhau trong phạm vi bán kính tác dụng của chúng như chỉ ra trên Hình 1, cụ thể là:

$$R_0 < R_{Am} < R_{Bm}.$$

và với giả thiết năng lượng của A lớn hơn năng lượng của B : $W_{A0} > W_{B0}$; có 4 trường hợp đặc trưng: chuyển động rơi tự do, chuyển động theo quán tính, chuyển động cong và chuyển động quay. Ngoài ra, còn cần phải tính đến các khái niệm mới đã được phân tích trong [1, 2].

II. CHUYỂN ĐỘNG RƠI TỰ DO

Rơi tự do là trạng thái chuyển động của các vật thể chỉ do tương tác của lực trường thể giữa các thực thể vật lý với nhau, không có bất cứ một lực nào khác kể cả từ bất cứ thời điểm nào trước đó và bản thân chúng cũng không tham gia vào chuyển động nào khác trước đó.

Điều kiện không tham gia, cũng như không chịu tác động nào khác với lực trường thể nhằm đảm bảo loại trừ ảnh hưởng phụ của các dạng năng lượng khác với năng lượng của lực trường thể giữa hai vật thể – yếu tố quyết định tới việc rơi tự do. Điều này có nghĩa là vào thời điểm ban đầu $t_0 = 0$, hai vật ở vào khoảng cách bằng với bán kính tương tác R_m với vận tốc ban đầu $V_0 = 0$. Và cũng vì chỉ có chuyển động trong trường lực thể của 2 vật với nhau nên năng lượng của mỗi vật luôn là đại lượng bảo toàn. Tuy nhiên trong thực tế, một điều kiện lý tưởng như vậy không bao giờ có thể thực hiện được, do đó chỉ có thể chấp nhận một cách tương đối khi xem xét tới các đối chiếu thực nghiệm có thể có. Ví dụ như rơi tự do trong điều kiện trên Trái đất (trong thí nghiệm của Galileo), tất nhiên còn cần phải tính đến sự quay quanh mình nó với chu kỳ 1 ngày đêm khiến gia tốc rơi tự do giảm đi một lượng xác định và hơn thế nữa, ngay cả việc rơi từ một độ cao nào đó rất “khiêm tốn” so với đường kính Trái đất chứ không phải xuất phát từ bán kính tác dụng R_m của Trái đất cũng đã khiến cho nội năng của vật thể cần nghiên cứu đã “hao tốn” đi một năng lượng tương đương với thế năng tại “độ cao” hiện có đó của vật thể so với Trái đất như sau này chúng ta sẽ được thấy.

Bây giờ ta sẽ xem xét trạng thái năng lượng của từng vật thể so với nhau, cũng như năng lượng tổng của chúng.

a/ Trạng thái năng lượng của từng vật thể so với nhau.

+ Trước tiên, chọn HQC đặt trên vật thể **A**. (xem Hình 2a). Vào thời điểm ban đầu vật thể **B** có nội năng ban đầu bằng:

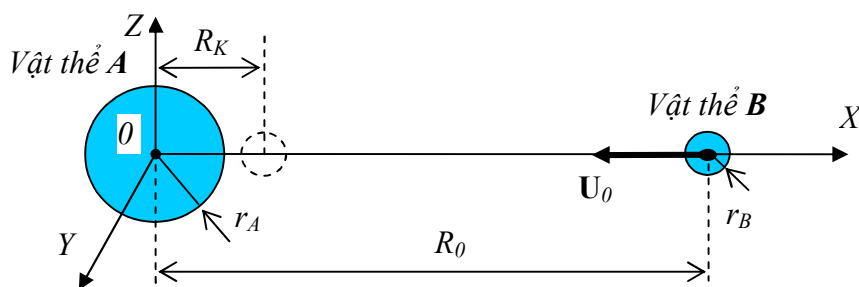
$$W_{Bn}(R_0) = W_{Bn0}, \quad (4)$$

và vì vẫn tồn tại một lực hấp dẫn nào đó tương ứng với thế năng ban đầu:

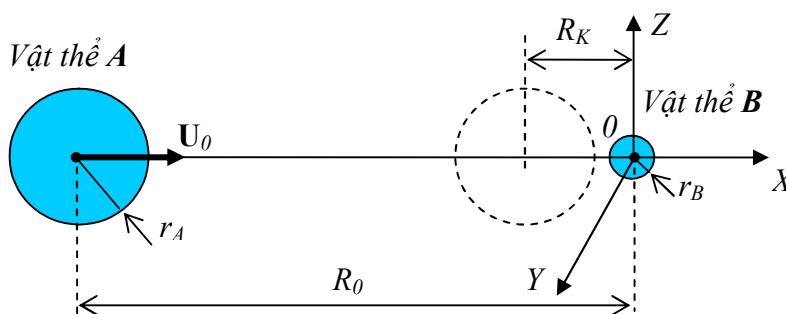
$$U(R_0) = \frac{\alpha_h}{R_0} \mathbf{e}_F, \quad (5)$$

nên ngoại năng tổng ban đầu của nó phải bằng:

$$W_{Bng}(R_0) = U_0. \quad (6)$$



a) HQC đặt trên vật thể **A**



b) HQC đặt trên vật thể **B**

Hình 2. Hai vật thể rơi tự do lên nhau.

Khi đó, năng lượng toàn phần của vật thể **B** tại thời điểm ban đầu này sẽ bằng tổng của nội năng và ngoại năng:

$$W_{B0} = W_{Bn}(R_0) + W_{Bng}(R_0) = W_{Bn0} + U_0 \quad (7)$$

và là đại lượng bảo toàn vì theo điều kiện ban đầu về một hệ kín. Từ thời điểm này, nó bắt đầu chuyển động về phía vật thể A , hay nói cách khác là hình thành động năng:

$$\mathbf{K}_B(R) = \frac{mV_{BR}^2}{2} \mathbf{e}_V \quad (8)$$

và thế năng cũng thay đổi đi bằng:

$$\mathbf{U}(R) = \frac{\alpha_h}{R} \mathbf{e}_F. \quad (9)$$

Lúc này, ngoại năng cơ sẽ tăng dần lên khi khoảng cách giảm dần:

$$\mathbf{W}_{Bng}(R) = \mathbf{K}_B(R) + \mathbf{U}(R) \quad (10)$$

và ngoại năng tổng cũng vậy:

$$W_{Bng}(R) = K_B(R) + U(R) = \frac{mV_{BR}^2}{2} + U(R). \quad (11)$$

Do đó hiệu

$$\Delta W_{Bng}(R) = W_{Bng}(R) - |W_{Bng}(R)| = 0. \quad (12)$$

Có nghĩa là không có sự chuyển hóa từ ngoại năng thành nội năng mà ngược lại, khi ngoại năng tổng xác định theo (11) tăng lên thì nội năng tổng của vật thể sẽ giảm xuống vì năng lượng toàn phần của nó, như đã biết, không thay đổi. Nếu bán kính của các vật thể thỏa mãn điều kiện:

$$r_A + r_B \leq R_K \quad (13)$$

với R_K là khoảng cách mà ở đó nội năng cân bằng với ngoại năng thì việc chuyển động sẽ tiếp tục từ khoảng cách này trở đi cũng đồng nghĩa với sự vỡ vụn ra của vật thể B – nó sẽ không thể tồn tại như nó đang có được nữa. Giả sử vận tốc lúc này đạt giá trị tới hạn bằng c , ta có:

$$W_B = W_{Bn}(R_K) + \frac{mc^2}{2} + U(R_K). \quad (14)$$

Theo nguyên lý nội năng tối thiểu đối với vật thể B , ta có thể viết:

$$W_{Bng}(R_K) = \frac{mc^2}{2} + U(R_K) = \frac{W_B}{2}. \quad (15)$$

Từ đây có thể rút ra được năng lượng toàn phần của thực thể vật lý B trong trường lực thể của thực thể vật lý A :

$$W_B = mc^2 + 2U(R_K). \quad (16)$$

Trong trường hợp kích thước của các vật thể không thỏa mãn điều kiện (13) thì vật thể **B** sẽ rơi lên bề mặt của vật thể **A**. Khi đó có 2 khả năng xảy ra:

*) Nếu va đập là đàn hồi thì sau khi va đập, 2 vật thể lại rời xa nhau cho đến khi đạt được khoảng cách R_m thì biểu thức xác định năng lượng lại trở về dạng (7). Khi đó, sẽ phải xảy ra chu trình ngược lại, 2 vật thể lại tiến sát đến nhau, va đập rồi lại chạy ra xa nhau... cứ như vậy tiếp diễn hết như dao động không tắt của con lắc.

*) Nếu va đập không đàn hồi hoàn toàn mà một phần ngoại năng chuyển thành nội năng của vật thì sau khi va đập, chúng không thể đạt đến được biên R_m mà đã hết động năng nên phải quay trở lại rồi va đập tiếp, rồi sau khi chuyển một phần ngoại năng thành nội năng, chúng lại rời xa nhau nhưng với vận tốc nhỏ hơn vận tốc lúc va đập... cứ như thế - giống như một con lắc dao động tắt dần – kết quả cuối cùng là nó sẽ nằm yên trên bề mặt của vật thể **A** với ngoại năng chỉ còn là thế năng tại bề mặt của vật thể **A**:

$$W_{Bng}(R_{AB}) = U(R_{AB}) \quad (17)$$

và nội năng bằng:

$$W_{Bn}(R_{AB}) = W_B - W_{Bng}(R_{AB}) \quad (18)$$

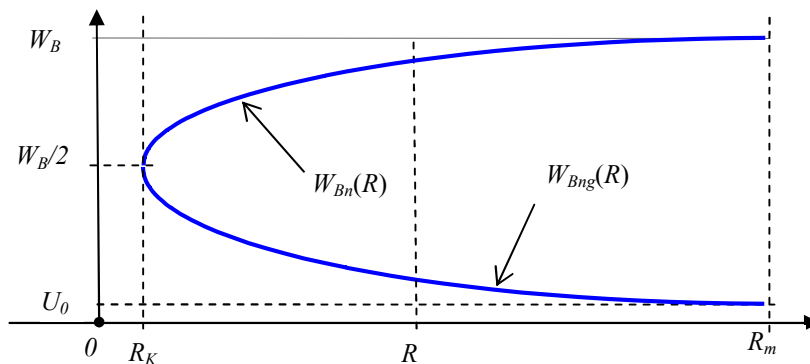
Vì năng lượng tổng là đại lượng bảo toàn: $W_B = W_{B0} = \text{const}$, nên sau khi thay W_{B0} từ (7) vào W_B của (18), có tính đến biểu thức (17), ta được:

$$W_{Bn}(R_{AB}) = W_{B0} - [U(R_{AB}) - U_0] \approx W_{B0} - U(R_{AB}) \quad (19)$$

Dấu (\approx) trong biểu thức (19) được sử dụng vì $U_0 \ll U(R_{AB})$. Có nghĩa là tại bề mặt của vật thể **A**, nội năng của vật thể **B** giảm nhỏ đi hơn so với nội năng của nó ở trạng thái tự do một lượng gần bằng thế năng của nó tại bề mặt đó. Nhân đây, có thể nhận xét “ngoài lề” một chút – thế nào là nội năng giảm đi? Nội năng giảm chẳng phải có nghĩa là các quá trình xảy ra trong vật thể đó phải “yếu” đi, phải chậm lại hay sao? Trước hết là chuyển động nhiệt của các nguyên tử và phân tử, rồi sau đó là các liên kết trong nguyên tử bị “nới lỏng” dẫn đến tăng khoảng cách các quỹ đạo của các điện tử – cũng tương đương với sự chuyển động chậm lại của chúng. Mà như thế cũng có nghĩa là “thời gian” của vật thể **B** “chậm lại”! Điều này sẽ liên quan tới cả các quá trình sinh học của các sinh vật cư trú trên vật thể **B** bởi vì bản thân chúng cũng là bộ phận cấu thành nên cái gọi là “vật thể **B**”!

Trong khi đó, ta dễ dàng nhận thấy rằng vì giả thiết là một hệ kín nên trong suốt quá trình chuyển động, chỉ có sự chuyển hóa nội năng thành ngoại năng còn năng lượng toàn phần W_B vẫn giữ nguyên không đổi, do đó biểu thức (15) và (16) có thể coi là biểu thức với động năng tối đa mà thực thể vật lý có thể có được. Có thể biểu diễn quá trình này nhờ biểu đồ trên Hình 3.

Như vậy, so với biểu thức năng lượng toàn phần nhận được từ thuyết tương đối hẹp, biểu thức (16) có thêm một thành phần $2U(R_K)$ – phần thế năng của trường lực thể mà thuyết tương đối hẹp đã không tính đến khi xem xét một vật thể hoàn toàn tự do không phải trong trường lực thể. Rõ ràng khi đặt $U(R_K) = 0$ vào (16) thì ta lại nhận được biểu thức quen thuộc của Einstein.



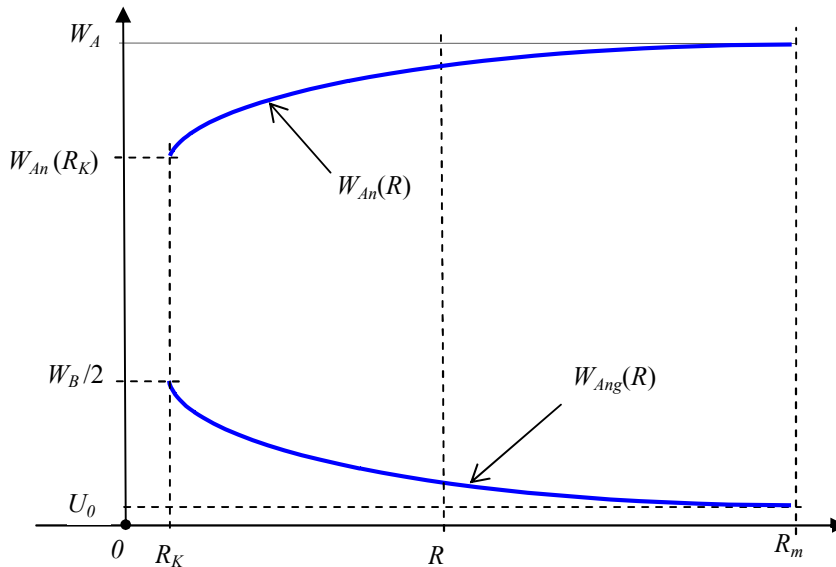
Hình 3. Biểu đồ năng lượng theo HQC đặt trên vật thể A .

+ Khi HQC đặt trên vật thể B (Hình 2b), ta vẫn có biểu thức cho vận tốc và do đó là cho động năng, thế năng cũng như năng lượng tổng giống như trong trường hợp HQC được đặt trên vật thể A , chỉ cần thay đổi các chỉ số dưới “ B ” thành “ A ”. Duy có ngoại năng tổng của vật thể A tại thời điểm khi $R = R_K$ là không đạt thể đến được giá trị cực đại vì khi đó, chính vật thể B – nơi đặt HQC sẽ vỡ vụn ra chứ không phải vật thể A nên biểu thức năng lượng toàn phần không đưa được về dạng (16) mà vẫn còn dạng:

$$W_A = W_{An}(R_K) + \frac{mc^2}{2} + U(R_K). \quad (20)$$

Tuy nhiên, khác với trường hợp trước, ngoại năng tổng của vật thể A lúc này không thể tăng thêm được nữa để cân bằng với nội năng của nó vì lúc này HQC cùng với vật thể B không tồn tại nữa mà đã bị vỡ vụn ra, nên biểu thức (20) chính là năng lượng toàn phần lớn nhất của nó trong trường lực thể của vật thể B . So sánh năng lượng tổng của 2 thực thể vật lý A và B , ta thấy rằng chúng chỉ khác nhau ở nội năng tổng còn ngoại năng tổng luôn bằng nhau – điều này là hoàn toàn phù hợp với logic bởi vì không có lý do gì khi lực tương tác giữa 2 vật thể với nhau cũng như thế năng giữa chúng đã bằng nhau mà năng lượng tương tác giữa chúng lại có thể khác nhau được. Tương tự như đối với trường hợp trước, ta cũng có thể xây dựng được các biểu đồ năng lượng của vật thể A trong HQC của vật thể B như trên Hình 4. Từ biểu đồ này có thể thấy rất rõ, nếu $W_A \gg W_B$ thì nội năng của vật thể A không giảm đi bao nhiêu, kể cả khi vận tốc của nó trong HQC của vật thể B đã đạt đến c . Nói cách khác, trong

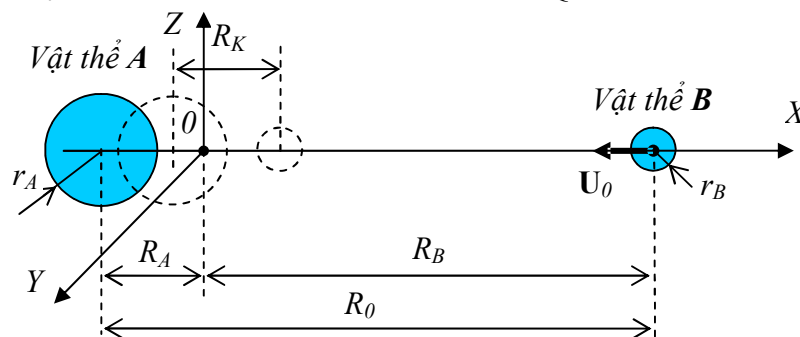
“hiệu ứng con muỗi” ở [2], bất luận HQC đặt ở đâu, khi vận tốc giữa nó với Trái đất đạt tới c , con muỗi cũng vẫn sẽ bị “vỡ nát như cám” – chính trường hấp dẫn mạnh của Trái đất đã làm việc đó.



Hình 4. Biểu đồ năng lượng theo HQC thực đặt trên vật thể **B**

b/ Năng lượng tổng của hệ 2 vật thể trong HQC khối tâm chung.

Để xác định được năng lượng tổng của cả 2 vật thể, ta cần lưu ý tới khái niệm khối tâm và tâm quán tính của hệ 2 vật thể đã được nhắc tới ở [2], theo đó có thể biểu diễn lại sơ đồ các vật thể ở Hình 2 thành sơ đồ với HQC khối tâm ảo ở Hình 5.



Hình 5. Xác định năng lượng tổng trong HQC khối tâm ảo

Trên sơ đồ này, ta biểu diễn cả vị trí cuối cùng của cả 2 vật thể tại khoảng cách R_K khi nội năng của vật thể **B** cân bằng với ngoại năng của nó như đã xét trong trường hợp trước. Nhưng vì HQC ảo, như đã biết, không thể cung cấp được cho ta thông tin về trạng thái năng lượng nên ta phải lần lượt đặt một vật thể giả định tương ứng vào

góc tọa độ θ , tức là sử dụng HQC giả để nghiên cứu lần lượt vật thể A và vật thể B tương ứng như trên Hình 6.

+ HQC khối tâm giả với vật thể giả định B' thay thế cho vật thể B như chỉ ra trên Hình 6a. Theo điều kiện thay thế ta phải có:

$$F_{BA} = F_{B'A}, \quad (21)$$

Hay

$$\frac{\gamma M_A M_B}{R_0^2} = \frac{\gamma M_A M'_B}{R_A^2}. \quad (22)$$

Từ đây có thể rút ra được:

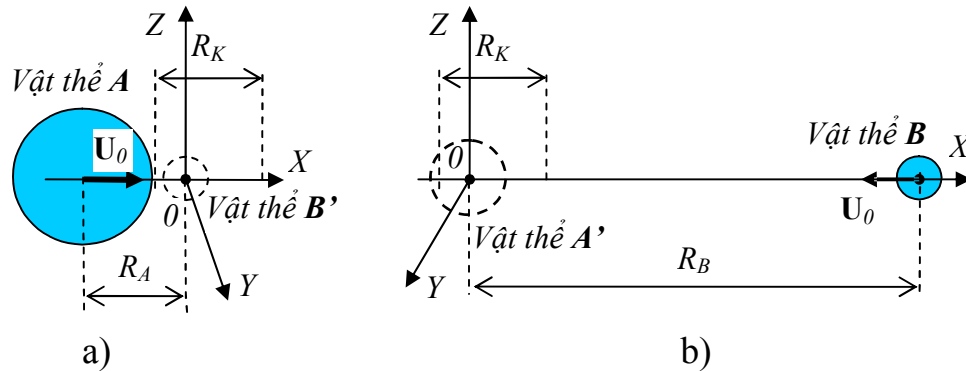
$$M'_B = \left(\frac{R_A}{R_0}\right)^2 M_B = b^2 M_B, \quad (23)$$

ở đây ký hiệu

$$b = \frac{R_A}{R_0}. \quad (24)$$

Mặt khác, điều kiện của khối tâm có thể viết lại dưới dạng:

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{M_B}{M_A} = k_m = \text{const}. \quad (25)$$



Hình 6. HQC khối tâm giả để xác định năng lượng tổng

Nếu tính đến

$$R_0 = R_A + R_B, \quad (26)$$

ta có thể biểu diễn hệ số tỷ lệ (24) dưới dạng:

$$b = \frac{k_m}{k_m + 1} = \text{const}. \quad (27)$$

Bây giờ, ta đã có thể viết được biểu thức cho thế năng ban đầu của vật thể A trong trường hấp dẫn của “vật thể” B :

$$\mathbf{U}(R_A) = \frac{\alpha_{hA}}{R_A} \mathbf{e}_{FB'A} = \mathbf{U}_A, \quad (28)$$

với

$$\alpha_{hA} = \gamma M_A M'_B. \quad (29)$$

Ta cũng có các biểu thức tương tự như từ (4) đến (12), chỉ cần thay lại các chỉ số cho phù hợp với các ký hiệu mới. Cuối cùng, ta cũng có thể viết biểu thức năng lượng tổng cho thực thể vật lý A tại khoảng cách tới hạn R_{AK} :

$$W_A = W_{An}(R_{AK}) + \frac{m_A V_{AK}^2}{2} + U(R_{AK}). \quad (30)$$

Tại khoảng cách này, ta có:

$$V_{AK} + V_{BK} = c. \quad (31)$$

Như vậy, khác với trường hợp HQC thực, trong HQC giả này, vận tốc của vật thể A lại không hề đạt tới giá trị tới hạn c mà chỉ dừng lại ở giá trị V_{AK} khiêm tốn hơn nhiều. Có thể xác định được giá trị này từ (31) và điều kiện của tâm quán tính:

$$V_{AK} = \frac{R_{BK}}{R_{AK}} V_{BK} = \frac{R_B}{R_A} (c - V_{BK}), \quad (32)$$

Lưu ý tới (25), ta có thể viết:

$$V_{AK} = \frac{M_B}{M_A} (c - V_{BK}) = \frac{1}{k_m} (c - V_{BK}). \quad (33)$$

+ HQC khối tâm giả với vật thể giả định A' thay thế cho vật thể A như chỉ ra trên Hình 6b. Tương tự như các biểu thức từ (21) đến (30) ta cũng có:

$$F_{A'B} = F_{BA'}, \quad (34)$$

$$\frac{\gamma M_A M_B}{R_0^2} = \frac{\gamma M'_A M_B}{R_B^2}. \quad (35)$$

$$M'_A = \left(\frac{R_B}{R_0} \right)^2 M_A = a^2 M_A, \quad (36)$$

$$a = \frac{R_B}{R_0} = \frac{R_0 - R_A}{R_0} = 1 - b. \quad (37)$$

$$a = \frac{1}{k_m + 1} = \text{const}. \quad (38)$$

$$\mathbf{U}(R_B) = \frac{\alpha_{hB}}{R_B} \mathbf{e}_{FA'B} = \mathbf{U}_B, \quad (39)$$

$$\alpha_{hB} = \gamma M'_A M_B. \quad (40)$$

Và cuối cùng ta cũng có biểu thức năng lượng tổng của thực thể vật lý **B** trong trường hấp dẫn của vật thể **A** tương tự như (30):

$$W_B(R_{BK}) = W_{Bn}(R_{BK}) + \frac{m_B V_{BK}^2}{2} + U(R_{BK}). \quad (41)$$

Vận tốc của vật thể **B** lúc này cũng không đạt được vận tốc tới hạn c mà chỉ thỏa mãn điều kiện (31). Có nghĩa là cùng một hiện tượng “vỡ nát của vật thể **B**” khi khoảng cách giữa 2 vật thể đạt tới R_K đều xảy ra như nhau trong HQC thực thì trong HQC ảo (giả), nó lại không xảy ra? Có lẽ không phải như vậy. “Vỡ nát” thì vẫn cứ phải vỡ nát nhưng vấn đề chỉ là ở “vận tốc tới hạn” – trong trường hợp này, vì quan sát sự vật ở HQC tâm quán tính nên khối lượng quán tính của chúng là khối lượng quán tính riêng – không thể nào phản ánh được tương quan thật trong chuyển động của cả 2 vật thể như khối lượng quán tính chung của chúng. Chính vì thế, vận tốc chuyển động của các vật thể lúc này không hoàn toàn liên quan trực tiếp tới trạng thái năng lượng của chúng mà phải thông qua các hệ số a và b .

Bây giờ đã có thể viết biểu thức năng lượng toàn phần cho cả hệ:

$$W_{roi} = W_A(R_{AK}) + W_B(R_{BK}). \quad (42)$$

Thay các biểu thức (30) và (41) vào (42), ta được:

$$W_{roi} = W_{An}(R_{AK}) + W_{Bn}(R_{BK}) + \frac{1}{2}(m_A V_{AK}^2 + m_B V_{BK}^2) + U(R_{AK}) + U(R_{BK}). \quad (43)$$

Ta có thể viết gọn lại biểu thức (43) dưới dạng:

$$W_{roi} = W_{ABn}(R_K) + K_{AB}(R_K) + U(R_K), \quad (44)$$

ở đây ký hiệu:

$$W_{ABn}(R_K) = W_{An}(R_{AK}) + W_{Bn}(R_{BK}), \quad (45)$$

$$K_{AB}(R_K) = \frac{1}{2}(m_A V_{AK}^2 + m_B V_{BK}^2), \quad (46)$$

$$U(R_K) = U(R_{AK}) + U(R_{BK}). \quad (47)$$

Từ điều kiện tâm quán tính và biểu thức (31), ta có thể đưa (46) về dạng:

$$K_{AB}(R_K) = \frac{m_A c V_{AK}}{2} = \frac{m_B c V_{BK}}{2}. \quad (48)$$

Khi đó, tùy thuộc vào quan hệ năng lượng giữa 2 thực thể vật lý mà một trong chúng sẽ vỡ nát tại vận tốc tương ứng V_{AK} hay V_{BK} khi điều kiện (31) được thỏa mãn – có nghĩa là vận tốc tới hạn trong HQC tâm quán tính để chúng bị tan rã sẽ phải nhỏ hơn

vận tốc tới hạn trong HQC thực, do đó cần phải được tính đến khi nghiên cứu các hiện tượng không phải từ các HQC thực, và hơn nữa, lại không phải từ HQC đặt trên chính vật thể có trường lực thể ảnh hưởng quyết định tới vật thể cần nghiên cứu – nguyên lý tương đối vì thế không thể áp dụng được.

III. CHUYỂN ĐỘNG THEO QUÁN TÍNH

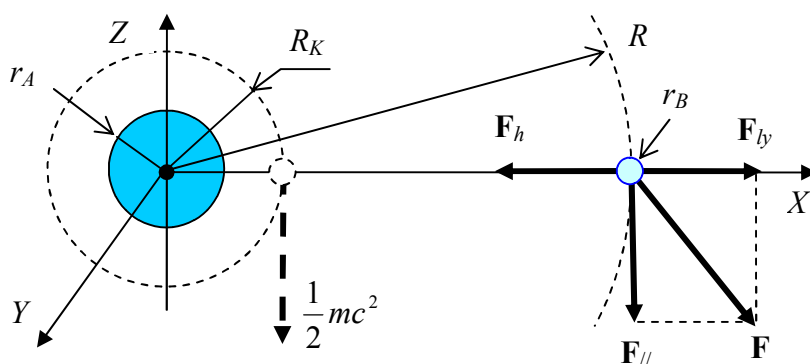
Giả sử có 2 vật thể **A** và **B** chuyển động theo quán tính ở cách nhau một khoảng bất kỳ $R \leq R_0 < R_{Am} < R_{Bm}$ (xem Hình 1) với khối lượng hấp dẫn tương ứng là M_A và M_B (giả sử $M_A > M_B$). Tương tự như trường hợp trước, ta sẽ xem xét trạng thái năng lượng của từng vật thể so với nhau trong HQC thực và năng lượng tổng của hệ 2 vật thể đó trong HQC khối tâm giả.

a/ Trạng thái năng lượng của từng vật thể so với nhau.

+ HQC đặt tại tâm của vật thể **A**.

Khi đó, vật thể **B** chuyển động theo quán tính trong trường lực thể của vật thể **A** với vận tốc V_{BqR} . Như đã biết, nếu chỉ có 2 thực thể vật lý hình thành một hệ kín thì chúng chỉ có một khả năng duy nhất là rơi tự do lên nhau, vì vậy, để chúng có thể chuyển động theo quán tính thì một trong 2 vật đó phải chịu một lực tác động **F** có hướng và độ lớn phù hợp, cụ thể là phải có thành phần $F_{ly} = -F_h$ để duy trì khoảng cách không thay đổi giữa 2 vật thể, và thành phần $F_{//}$ đẩy vật thể **B** chuyển động tới vận tốc V_{BqR} theo phương tiếp tuyến với đường tròn bán kính R tại trọng tâm của **B** như được chỉ ra trên Hình 7, tức là ta phải có:

$$\frac{mV_{BqR}^2}{R} = \frac{\alpha_h}{R^2}, \quad (49)$$



Hình 7. Chuyển động theo quán tính trong trường hấp dẫn.

Sau khi kết thúc tác động của lực **F** giả định này, vật thể **B** mới tiếp tục chuyển động theo quán tính được. Về nguồn gốc của lực **F**, tạm thời ta sẽ bỏ qua, chỉ quan tâm đến

kết quả cuối cùng, đó là trạng thái năng lượng của vật thể trong chuyển động theo quán tính này mà thôi. Từ (49) có tính đến (9), có thể rút ra được vận tốc quỹ đạo ứng với khoảng cách R :

$$V_{BqR}^2 = \frac{U(R)}{m}. \quad (50)$$

Như vậy, về phương diện ngoại năng, tương ứng với các lực \mathbf{F}_h và \mathbf{F}_{ly} ta phải có $U(R)$ và \mathbf{E}_{ly} , sao cho:

$$U(R) = -\mathbf{E}_{ly} \quad (51)$$

và:

$$\mathbf{K}_{BqR} = \frac{mV_{BqR}^2}{2} \mathbf{e}_V. \quad (52)$$

Khi đó, tính đến (51), ngoại năng cơ của vật thể \mathbf{B} sẽ bằng:

$$\mathbf{W}_{Bng}(R) = U(R) + \mathbf{W}_{ly} + \mathbf{K}_{BqR} = \mathbf{K}_{BqR} \quad (53)$$

còn ngoại năng tổng bằng:

$$W_{Bng}(R) = U(R) + W_{ly} + K_{BqR} = 2U(R) + K_{BqR}. \quad (54)$$

Ta có hiệu:

$$\Delta W_{Bng} = W_{Bng} - |\mathbf{W}_{Bng}(R)| = 2U(R) + K_{BqR} - K_{BqR} = 2U(R). \quad (55)$$

Và vì hiệu này $\neq 0$ nên một phần ngoại năng phải chuyển thành nội năng của vật thể \mathbf{B} khiến nội năng toàn phần của nó tăng lên một lượng tương ứng:

$$W_{Bn\Sigma}(R) = W_{Bn0} + U(R), \quad (56)$$

ở đây W_{Bn0} là nội năng tổng của vật thể \mathbf{B} trong trạng thái tự do, trước khi bị tác động. Trong khi đó, ngoại năng tổng của nó sẽ giảm đi cùng một lượng như vậy, ta có ngoại năng toàn phần:

$$W_{Bng\Sigma}(R) = W_{Bng}(R) - U(R). \quad (57)$$

Thay $W_{Bng}(R)$ từ (54) vào (57), ta được:

$$W_{Bng\Sigma}(R) = K_{BqR} + U(R) = \frac{mV_{BqR}^2}{2} + U(R) \quad (58)$$

và do đó, biểu thức năng lượng toàn phần của nó sẽ có dạng:

$$W_B(R) = W_{Bn\Sigma}(R) + W_{Bng\Sigma}(R). \quad (59)$$

Thay (57) vào (59) ta được:

$$W_B(R) = W_{Bn\Sigma}(R) + \frac{mV_{BqR}^2}{2} + U(R). \quad (60)$$

Nếu bán kính của 2 vật thể thỏa mãn điều kiện (13) mà tại R_K , đạt tới sự cân bằng giữa nội năng và ngoại năng tương ứng với vận tốc quỹ đạo $V_{BqK} = c$ thì ta có thể viết:

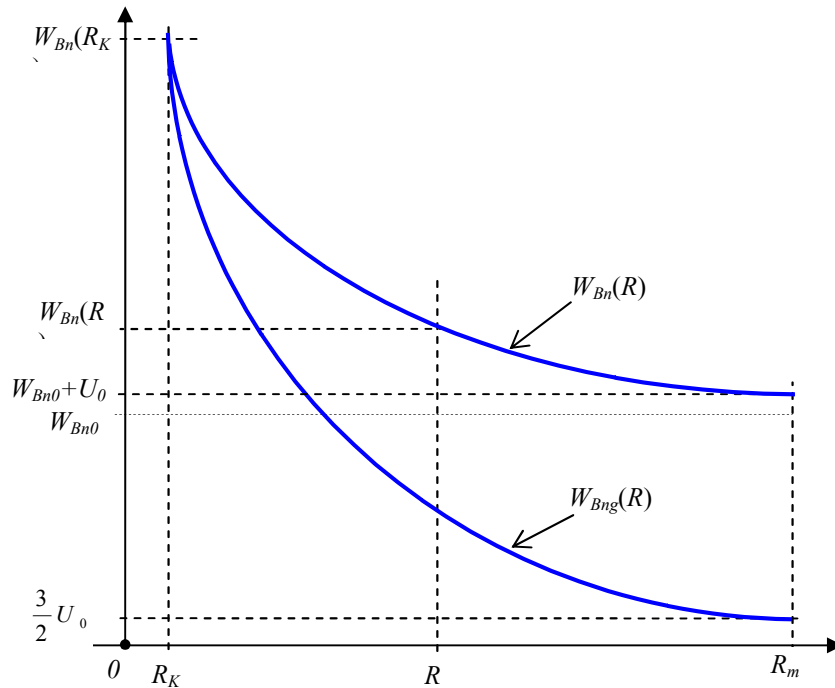
$$W_B(R_K) = W_{Bn\Sigma}(R_K) + \frac{mc^2}{2} + U(R_K), \quad (61)$$

cũng tức là phụ thuộc vào bán kính quỹ đạo chuyển động của chúng. Theo nguyên lý bảo toàn và biến hóa năng lượng, ta có:

$$W_{Bn\Sigma}(R_K) = \frac{mc^2}{2} + U(R_K) = \frac{W_B(R_K)}{2} \quad (62)$$

hay

$$W_B(R_K) = mc^2 + 2U(R_K). \quad (63)$$



Hình 8. Biểu đồ năng lượng của vật thể B chuyển động theo quán tính trong HQC của vật thể A .

Như vậy, khi chuyển động theo quán tính, công thức (63) cho ta giới hạn tối đa năng lượng toàn phần mà thực thể vật lý có thể có được khi điều kiện (13) được thỏa mãn. Trong trường hợp chung nhất (60), ta chỉ có $W_B(R) < W_B(R_K)$. Tuy xét về mặt hình thức, biểu thức (63) hoàn toàn giống như biểu thức (16) nhưng về nội dung có chút khác biệt, đó là năng lượng toàn phần của vật thể B theo (16) không giống như với năng lượng toàn phần theo (63) ở chỗ nó luôn là hằng số đối với mọi khoảng cách giữa 2

vật thể; trong khi đó (63) lại chỉ cho ta giới hạn tối đa năng lượng toàn phần của một thực thể vật lý chuyển động theo quán tính tại quỹ đạo tới hạn R_K . Thay các biểu thức (50) và (56) vào biểu thức (60) rồi giản ước đi ta được:

$$W_B(R) = W_{Bn0} + \frac{3}{2}U(R). \quad (64)$$

Từ (64) có thể nói là trạng thái năng lượng lớn nhất phải ứng với quỹ đạo có bán kính nhỏ nhất; càng ra xa tâm trường lực thể, năng lượng toàn phần càng giảm. Biểu đồ trên Hình 8 biểu diễn tương quan giữa các thành phần năng lượng trong trường hợp này.

+ Khi HQC đặt trên vật thể B , vật thể A sẽ chuyển động theo quán tính so với vật thể B với vận tốc $V_{AqR} = V_{BqR}$; ta vẫn có biểu thức cho vận tốc và do đó là cho động năng, thế năng cũng như năng lượng tổng giống như trong trường hợp HQC được đặt trên vật thể A , chỉ cần thay đổi các chỉ số dưới “ B ” thành “ A ”. Duy có ngoại năng tổng của vật thể A tại thời điểm khi $R = R_K$ là không thể đến được giá trị cực đại vì khi đó, chính vật thể B – nơi đặt HQC sẽ vỡ vụn ra giống như trường hợp rơi tự do vừa xét chứ không phải vật thể A . Vì khi thay đổi HQC từ vật thể A sang vật thể B , các biểu thức xác định động năng và thế năng của chúng không hề thay đổi nên ngoại năng của chúng phải bằng nhau là lẽ đương nhiên. Lúc này, biểu thức năng lượng toàn phần của vật thể A vẫn còn ở dạng tương tự như (60) và sẽ chỉ khác ở nội năng $W_{An\Sigma}(R)$:

$$W_A(R_K) = W_{An\Sigma}(R_K) + \frac{mV_{AqR}^2}{2} + U(R_K). \quad (65)$$

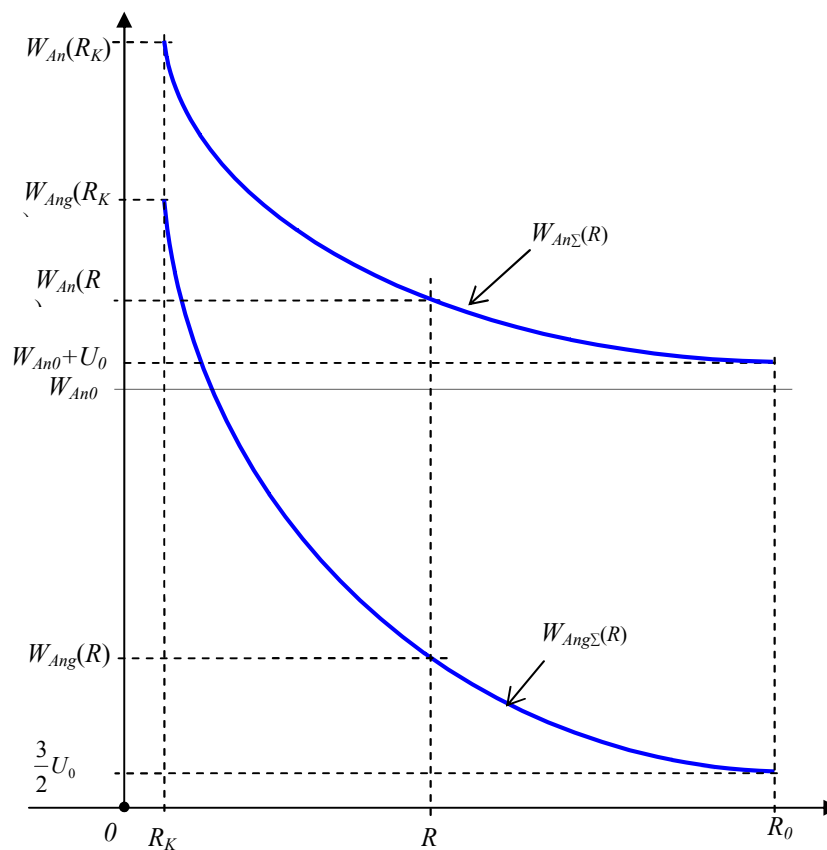
Tuy nhiên, khác với trường hợp trước, do ngoại năng chỉ có thể đạt đến giá trị xác định theo (65) nên ngoại năng của vật thể A không thể nào đạt tới được giá trị cân bằng với nội năng của nó (xem trên Hình 9), mặc dù vận tốc quán tính của A có thể vẫn đạt tới c . Khi đó, ta có:

$$W_A(R_K) = W_{An\Sigma}(R_K) + \frac{1}{2}mc^2 + 2U(R_K). \quad (66)$$

Cần lưu ý rằng khác với chuyển động rơi tự do, khi năng lượng toàn phần của hệ 2 vật luôn là hằng số bất kể khoảng cách giữa chúng có là bao nhiêu, trong chuyển động theo quán tính, việc chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác, nhất thiết phải có tác động từ bên ngoài nên năng lượng toàn phần của các thực thể vật lý sẽ phải thay đổi.

Nếu tác động từ bên ngoài có xu hướng cấp thêm năng lượng thì vật thể sẽ di chuyển vào quỹ đạo bên trong với mức năng lượng cao hơn; ngược lại, nếu tác động có xu hướng lấy bớt đi năng lượng thì vật thể sẽ phải chuyển ra quỹ đạo bên ngoài với

mức năng lượng thấp hơn. Từ đây có thể thấy bản thân khái niệm năng lượng cao hay thấp không đồng nghĩa với độ cao hay thấp tính từ bề mặt của vật thể (Trái đất chẳng hạn) như đối với quan niệm hiện nay của vật lý mà là tương đương với độ lớn của chính năng lượng mà vật thể đang có, và do đó khi độ cao càng lớn, mức năng lượng càng thấp. Nhưng điều quan trọng hơn cả là độ cao hay thấp đó không hề có ý nghĩa về sự “ưu tiên” nào đó đối với “thấp” hay “cao” mà hoàn toàn phụ thuộc vào tác động từ bên ngoài – dù là chuyển vào quỹ đạo bên trong hay ra quỹ đạo bên ngoài. Nếu ngay từ ban đầu, hệ 2 vật này đã bị cách ly hoàn toàn thì chẳng có bất cứ lý do gì để quỹ đạo chuyển động của chúng phải ở vị trí gần nhau nhất mà, trái lại, chúng sẽ phải rơi tự do lên nhau như đã được xem xét tới ở mục trên. Vì vậy, cái gọi là “nguyên lý thể năng cực tiểu” là không phù hợp với bản chất của hiện tượng mà phải gọi là “thể năng cực đại” mới đúng.



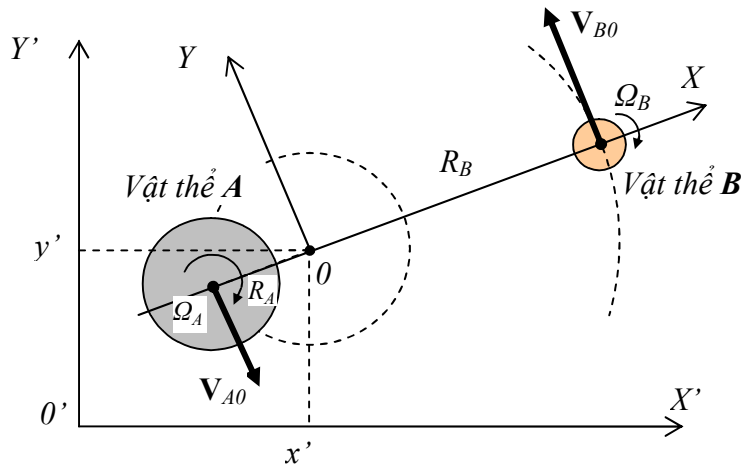
Hình 9. Biểu đồ năng lượng của vật thể A chuyển động theo quán tính trong HQC của vật thể B .

b/ Năng lượng tổng của hệ 2 thực thể vật lý.

Cũng giống với trường hợp rơi tự do, ta cần lựa chọn HQC khối tâm để xác định năng lượng tổng của 2 thực thể vật lý như năng lượng chỉ của một thực thể duy nhất. Sơ đồ đặt HQC khối tâm ảo cũng là sơ đồ trên Hình 5. Điều khác biệt ở đây chỉ là khi xét từ một HQC ảo $X'O'Y'$ đứng yên so với khối tâm O của hệ như vật lý hiện nay vẫn làm, thì quỹ đạo của mỗi vật thể sẽ là một đường tròn với bán kính R_A và R_B tương ứng như được chỉ ra trên Hình 10, theo đó $R_A + R_B = R$ – hai vật thể sẽ chuyển động quay tròn quanh khối tâm của chúng vì, như vừa khảo sát ở mục trên, trong chuyển động theo quán tính, khoảng cách giữa 2 vật thể không thay đổi và vì thế, vị trí của khối tâm của chúng cũng cố định trên khoảng cách đó. Tuy nhiên, trong HQC khối tâm ảo XOY , với trục OX là trục thực trùng với đường nối khối tâm của 2 vật thể A và B , động năng tịnh tiến của chúng bằng không nhưng có thể có động năng quay xác định theo biểu thức:

$$K_{\Omega_A} = \frac{J_A \Omega_{OA}^2}{2} \text{ và } K_{\Omega_B} = \frac{J_B \Omega_{OB}^2}{2} \quad (67)$$

trong đó Ω_{OA} và Ω_{OB} là vận tốc góc của các vật thể A và B tương ứng. Như đã biết, động năng quay không phải là thành phần của ngoại năng mà là thành phần của nội năng của các thực thể vật lý.

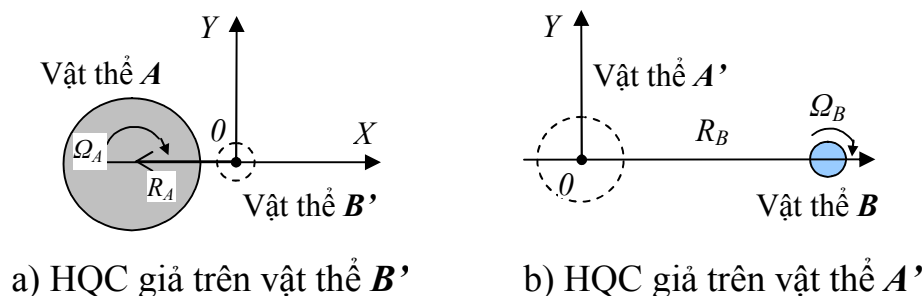


Hình 10. Chuyển động theo quán tính trong HQC ảo.

Bây giờ, để có thể xác định được thế năng, ta cũng sẽ phải sử dụng tới HQC khối tâm giả giống như trường hợp trước (xem Hình 11). Khối lượng hấp dẫn của các vật thể giả định M'_B và M'_A được xác định theo các biểu thức (23) và (36), do đó, thế năng của các vật thể A và B tương ứng bằng:

$$U(R_A) = \frac{\alpha_{hA}}{R_A} \mathbf{e}_{FB'A}; \quad U(R_B) = \frac{\alpha_{hB}}{R_B} \mathbf{e}_{FA'B}, \quad (68)$$

trong đó
$$\alpha_{hA} = \gamma M'_A M'_B; \quad \alpha_{hB} = \gamma M'_A M'_B. \quad (69)$$



Hình 11. Xác định năng lượng tổng của hệ 2 thực thể vật lý

Không khó khăn gì có thể chứng minh được:

$$U(R_A) + U(R_B) = U(R_{AB}) \quad (70)$$

Mặt khác, vì khoảng cách giữa 2 vật thể không thay đổi, có nghĩa là các thế năng này đã không sinh công, nên theo định luật quán tính tổng quát [2], phải tồn tại năng lượng bằng về giá trị nhưng ngược lại về hướng với các thế năng tương ứng:

$$\mathbf{W}_{lyA} = -U_A(R_A) \text{ và } \mathbf{W}_{lyB} = -U_B(R_B) \quad (71)$$

Vì vậy, năng lượng tổng của cả hệ trong HQC khối tâm sẽ bằng:

$$W_{qt}(R) = W_{An}(R_A) + W_{Bn}(R_B) + K_{\Omega A} + K_{\Omega B} + 2U(R_{AB}) \quad (72)$$

Năng lượng tổng của hệ 2 vật thể xác định theo (72) chính là nội năng tổng của hệ 2 thực thể vật lý khi xét hệ đó chỉ như một thực thể duy nhất trong quan hệ với các thực thể vật lý khác.

c/ Tác dụng quỹ đạo tối thiểu.

Khác với rơi tự do, chuyển động trên quỹ đạo trong trường lực thế cần phải được tuân thủ một trạng thái năng lượng xác định, nếu không trạng thái chuyển động đó sẽ bị phá vỡ. Như vậy, tương ứng với khoảng thời gian đúng bằng chu kỳ chuyển động của vật thể trên quỹ đạo

$$T_R = \frac{2\pi R}{V_{BqR}} \quad (73)$$

là một tác dụng H_R phải được thực hiện. Ở đây, tác dụng được định nghĩa theo Maupertuis – Lagrange:

$$H = \int_{t_0}^{t_1} 2K dt, \quad (74)$$

với t_0 và t_1 tương ứng là thời điểm bắt đầu và thời điểm kết thúc chuyển động của vật thể từ điểm này đến điểm khác. Nếu $K = \text{const}$, từ (74) ta có:

$$H = 2K(t_1 - t_0) = 2K\Delta t. \quad (75)$$

Thay biểu thức động năng quỹ đạo (52) và (73) vào (75) rồi giản ước đi ta được:

$$H_R = 2\pi m_x V_{BqR} R. \quad (76)$$

Mặt khác, từ điều kiện cân bằng giữa lực hướng tâm và lực ly tâm, ta có thể viết:

$$\frac{m V_{BqR}^2}{R} = \frac{\alpha_h}{R^2}, \quad (77)$$

từ đây rút ra

$$V_{BqR} = \sqrt{\frac{\alpha_{hx}}{m_x R}}. \quad (78)$$

Thay (78) vào (76) ta được:

$$H_R = 2\pi \sqrt{m_x \alpha_{hx} R}, \quad (79)$$

từ đây có thể xác định được bán kính quỹ đạo theo tác dụng quỹ đạo tương ứng

$$R = \frac{H_R^2}{4\pi^2 m_x \alpha_{hx}}. \quad (80)$$

Từ biểu thức (80) có thể thấy tác dụng tối thiểu sẽ phải ứng với quỹ đạo nhỏ nhất $R = R_K$, mà ở quỹ đạo này, vận tốc quỹ đạo đạt tới giá trị tới hạn c nên từ biểu thức (78), ta có:

$$R_K = \frac{\alpha_{hx}}{m_x c^2}. \quad (81)$$

Thay (81) vào (79) ta được:

$$H_{Rk} = \theta_{hx} = \frac{2\pi \alpha_{hx}}{c}. \quad (82)$$

Có thể viết lại (82) dưới dạng:

$$\bar{\theta}_{hx} = \frac{\theta_{hx}}{2\pi} = \frac{\alpha_{hx}}{c}. \quad (83)$$

Từ đây có thể thấy vì không thể tồn tại một tác dụng nào của trường hấp dẫn có thể nhỏ hơn được giá trị tính theo biểu thức (83) nên cũng có nghĩa là tác dụng quỹ đạo (76) cũng bị lượng tử hóa và chỉ có thể viết:

$$H_R = 2\pi m_x V_{BqR} R = n\theta_{hx} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (84)$$

Và do đó, cả mô men động lượng quỹ đạo của vật thể cũng bị lượng tử hóa:

$$M_{dlR} = m_x V_{BqR} R = n\bar{\theta}_{hx}. \quad (85)$$

Trong điều kiện đối với mỗi vật thể khác nhau, ta lại có một giá trị tác dụng tối thiểu khác nhau cũng như một giá trị mô men động lượng quỹ đạo khác nhau, khi đó cần triển khai (82) thành dạng thuận tiện hơn:

$$\theta_{hx} = \frac{2\pi\gamma.M_0}{c} M_x = k_\theta M_x, \quad (86)$$

ở đây đại lượng:

$$k_\theta = \frac{2\pi\gamma M_0}{c} \quad (87)$$

chỉ còn phụ thuộc vào vật thể đặt HQC. Đối với vật thể đặt HQC là Trái đất, ta có:

$$k_\theta = \frac{2\pi.6,67 \times 10^{-11}.5,978 \times 10^{24}}{3 \times 10^8} \approx 8,35 \times 10^6 \text{ (J.s/kg)}.$$

Khi đó, tác dụng tại quỹ đạo tương ứng với bán kính Trái đất $R_0 \approx 6,38 \times 10^6$ m theo công thức (84) sẽ là:

$$H_{Rx} = 2\pi V_{BqR} R m_x = 2\pi.7,9 \times 10^3.6,378 \times 10^6 m_x \approx 3,167 \times 10^{11} m_x = n\theta_{hx}$$

Từ đây, ta có:

$$n = \frac{2\pi V_{BqR} R_0}{k_\theta M_x} m_x \approx \frac{2\pi V_{BqR} R_0}{k_\theta} \approx 37800$$

Có thể tính được bán kính quỹ đạo tiếp theo ứng với $n + 1 = 37801$ từ biểu thức (80):

$$R_{n+1} = \frac{(n+1)^2 \theta_{hx}^2}{4\pi^2 m_x \gamma M_0 M_x} = \frac{(n+1)^2 k_\theta^2}{4\pi^2 \gamma M_0} = r_0 (n+1)^2, \quad (88)$$

ở đây:

$$r_0 = \frac{k_\theta^2}{4\pi^2 \gamma M_0} \quad (89)$$

cũng không còn phụ thuộc vào vật thể chuyển động nữa. Đối với Trái đất, ta có:

$$r_0 \approx \frac{8,38^2 \times 10^{12}}{4\pi^2.6,67 \times 10^{-11}.5,978 \times 10^{24}} \approx 4,466 \times 10^{-3} \text{ (m)}.$$

Và do đó $R_{n+1} \approx 4,466 \times 10^{-3}.(37801)^2 \approx 6\,381\,537$ m. Sự chênh lệch giữa 2 bán kính quỹ đạo liên kế này là khoảng >300 m tức là cỡ $0,0005\%$ bán kính quỹ đạo. Khi đó, mỗi quỹ đạo cũng sẽ tương ứng với một mức năng lượng bằng động năng K_{xn} :

$$W_{xn} = K_{xn} = \frac{m_x V_{xqR}^2}{2} = \frac{\alpha_{hx}}{2R} = \frac{\gamma M_0}{2r_0} \frac{M_x}{n^2} = v_0^2 \frac{M_x}{n^2} = \frac{W_{0x}}{n^2}, \quad (90)$$

ở đây ký hiệu
$$v_0 = \sqrt{\frac{\gamma M_0}{2r_0}} \quad (91)$$

cũng lại là đại lượng chỉ phụ thuộc vào vật thể đặt HQC;

$$W_{0x} = v_0^2 M_x. \quad (92)$$

Với trường hợp Trái đất đang xét, ta có:

$$v_0 \approx \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 5,978 \times 10^{24}}{2,4,466 \times 10^{-3}}} \approx 2,11 \times 10^8 (\text{N.m/kg})^{1/2}.$$

Từ đây cũng có thể xác định được bán kính tác dụng R_{ij} của các thiên thể trong Vũ trụ lên chuyển động của các vệ tinh nhân tạo trên quỹ đạo của chúng. Giả sử thể năng tương tác giữa một thiên thể có khối lượng hấp dẫn M_j nào đó với vệ tinh có khối lượng hấp dẫn M_x có dạng:

$$U_{jx}(R_{ij}) = \frac{\gamma M_j M_x}{R_{ij}} \quad (93)$$

và thể năng này có thể chuyển hoàn toàn thành động năng cho vệ tinh, ta có thể viết:

$$H_{jx} = U_{jx}(R_{ij}) T_x \geq \theta_{hx} \quad (94)$$

với T_x là chu kỳ quay của vệ tinh trên quỹ đạo gần Trái đất. Khi đó, sau khi thay (93) vào (94), có tính đến (86), biến đổi đi ta được:

$$R_{ij} \leq \frac{\gamma T_x}{k_\theta} M_j = k_{Rx} M_j, \quad (95)$$

ở đây ký hiệu
$$k_{Rx} = \frac{\gamma T_x}{k_\theta} \quad (96)$$

và gọi là *hằng số tác dụng quỹ đạo* đối với vật thể có chu kỳ chuyển động trên quỹ đạo bằng T_x . Giả sử $T_x \approx 7000\text{s}$, ta có:

$$k_{Rx} = \frac{2,6,67 \times 10^{-11} \cdot 7 \times 10^3}{8,35 \times 10^6} \approx 1,1 \times 10^{-13} (\text{m/kg}). \quad (97)$$

Các công thức (94) – (97) cho phép tính toán các nhiễu động quỹ đạo của vệ tinh gây nên bởi các thiên thể một cách đơn giản. Ví dụ, nếu $M_j = 4,89 \times 10^{24} \text{kg}$ = khối lượng của sao Kim, ta có:

$$R_{ij} \leq 1,1 \times 10^{-13} \cdot 4,89 \times 10^{24} \approx 5,38 \times 10^{11} (\text{m}).$$

Có nghĩa là mọi vệ tinh nhân tạo của Trái đất đều nằm trong bán kính tác dụng của sao Kim vì khoảng cách xa nhất của nó tới Trái đất cũng chỉ là $2,6 \times 10^{11}$ m. Nhưng đối với một ngôi sao có khối lượng tương đương Mặt trời, cỡ 10^{30} kg, ở cách Trái đất 100.000 năm ánh sáng $\sim 9,46 \times 10^{18}$ m, thì

$$R_y \leq 1,1 \times 10^{-13} \times 10^{30} \approx 1,1 \times 10^{17} \text{ (m)},$$

có nghĩa là nó sẽ không ảnh hưởng tới quỹ đạo của các vệ tinh Trái đất.

Tóm lại, trong trường hấp dẫn của Trái đất hay của bất kỳ một thiên thể nào khác cũng tồn tại các lượng tử quỹ đạo, theo đó mọi vật thể sẽ chuyển động theo quán tính, không tiêu tốn năng lượng. Tuy nhiên trên thực tế, một mặt, do Trái đất (hoặc hầu hết các thiên thể khác) đều có bầu khí quyển gây nên lực cản khí động học đối với các quỹ đạo thấp, mặt khác, do hình dạng của Trái đất không hoàn toàn là hình cầu, cấu trúc địa chất cũng không đồng nhất, hơn nữa, các quỹ đạo đều ở rất xa ($n \gg 1$) so với “quỹ đạo thấp nhất” ($n=1$) nên những nhiễu động vừa nói tới đã tạo ra sự biến động có thể lớn hơn nhiều so với khoảng cách giữa 2 quỹ đạo liền kề, khiến tính lượng tử quỹ đạo này, kể cả đối với các vệ tinh nhân tạo, cũng không dễ gì có thể hình thành được. Chính vì vậy, đối với các vật thể vĩ mô, tính lượng tử quỹ đạo đã không thể hiện ra, tuy nhiên, với các thực thể vật lý vi mô như các hạt sơ cấp, vấn đề sẽ hoàn toàn khác, ở đó các vật thể trên quỹ đạo chỉ có cùng một loại là electron, trong khi điện tích của hạt nhân cũng chỉ giới hạn ở mức từ 1 (với hydrozen) đến 110 (với Ununium), do đó các đại lượng k_θ , r_0 và v_0 xác định bởi các biểu thức (87), (89) và (91) tương ứng là phổ biến đối với một lớp rộng các hiện tượng và sự vật, ở đó, ta sẽ thấy tính lượng tử này rõ nét như thế nào. Nhưng qua đây cũng thấy được tính thống nhất của thế giới vật chất về phương diện các quy luật vận động chung nhất.

IV. CHUYỂN ĐỘNG CONG

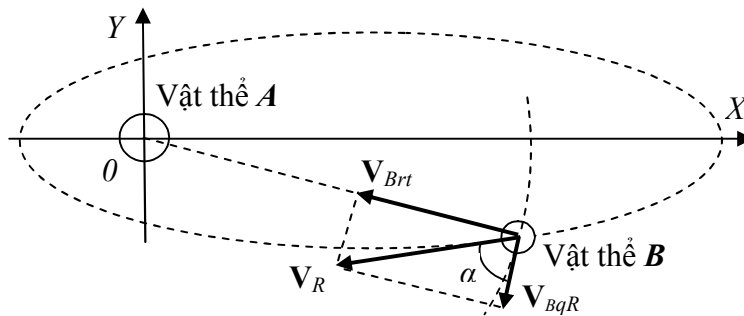
Giả sử trong HQC của vật thể A , vật thể B có vận tốc ban đầu V_R lệch với phương của vận tốc quán tính V_{qR} tại điểm đó một góc α , ta có thể phân tích \mathbf{V}_R thành 2 thành phần: \mathbf{V}_{rd} theo phương của lực trường thế và \mathbf{V}_{qt} theo phương vuông góc với lực trường thế đó như được chỉ ra trên Hình 12, khi đó ta có:

$$V_R^2 = V_{rd}^2 + V_{qt}^2 \quad (98)$$

Ta có nhận xét là thành phần \mathbf{V}_{rd} tương ứng với động năng rơi tự do còn thành phần \mathbf{V}_{qt} tương ứng với động năng chuyển động theo quán tính của vật thể B . Không đi sâu vào xem xét dạng chuyển động, chúng ta viết biểu thức năng lượng toàn phần của vật thể B bằng:

$$\begin{aligned}
 W_B &= W_{Bn}(R) + W_{Bng}(R) = W_n(R) + \frac{mV_{rd}^2}{2} + \frac{mV_{qt}^2}{2} + U(R) = \\
 &= W_n(R) + \frac{m}{2}(V_{rd}^2 + V_{qt}^2) + U(R) = W_n(R) + \frac{mV_R^2}{2} + U(R). \quad (99)
 \end{aligned}$$

Vì giả thiết là một hệ kín nên năng lượng toàn phần của hệ phải là đại lượng bảo toàn nên các thành phần năng lượng chỉ chuyển hóa lẫn nhau trong quá trình chuyển động của vật thể **B**. Tuy nhiên, khác với rơi tự do là chuyển động thẳng, chuyển động này có thành phần động năng quỹ đạo đã khiến cho nó không rơi tự do được, nhưng vì có thành phần động năng rơi tự do nên nó cũng không thể chuyển động theo quán tính được. Kết quả là sẽ hình thành nên một quỹ đạo cong. Nếu xét tới tính “mở” của bất kỳ một hệ vật chất nào, quá trình chuyển hóa năng lượng trên đây sẽ dẫn đến việc thất thoát năng lượng không tránh khỏi và kết quả là những chuyển động theo quỹ đạo cong, tùy thuộc vào tình huống cụ thể, sẽ kết thúc ở trạng thái chuyển động theo quán tính.



Hình 12. Chuyển động cong trong trường lực thể

V. QUAY VÀ TỰ QUAY

a) Hiện tượng quay trong trường lực thể

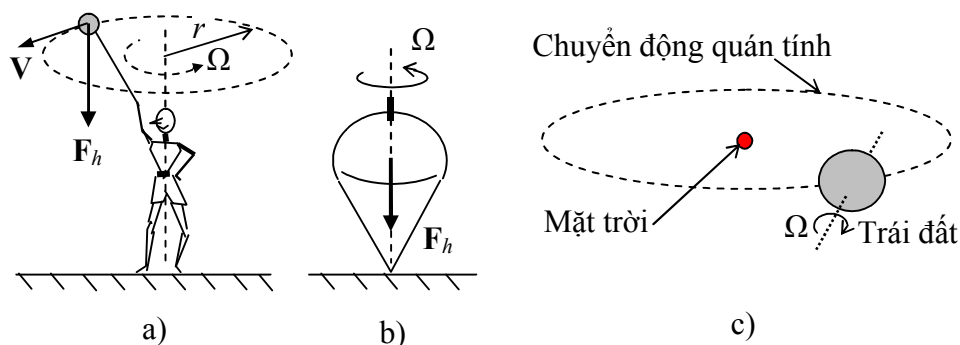
Ở mục trên, chúng ta đã xét tới chuyển động theo quán tính của các vật thể trong không gian vật chất mà từ góc nhìn của không gian vật lý, theo quan niệm cổ điển, những chuyển động như vậy vẫn được coi là quay. Tuy nhiên, trong mục này chúng ta sẽ xem xét hiện tượng quay với đúng nghĩa của nó – quay trong trường lực thể, trong không gian vật chất chứ không phải trong không gian vật lý.

Quay là hiện tượng chuyển động của vật thể trong không gian vật chất có khoảng cách không thay đổi tới một điểm hoặc một đường thẳng của không gian đó; điểm hoặc đường thẳng đó tương ứng gọi là tâm quay hay trục quay. Có thể biểu diễn hiện tượng này tương ứng trên Hình 13a) và b) – ở đây, trường lực thể là trường hấp dẫn của Trái đất. Ta sẽ giải thích hiện tượng quay của vật thể hoàn toàn không dùng tới

khái niệm “quán tính tự thân” – “khối lượng quán tính” như là “cái có sẵn” bên trong mỗi vật thể mà, trái lại, ta sẽ gắn chuyển động của các vật thể với trường lực thể. Trên Hình 13a, vật thể bị buộc vào sợi dây chỉ có thể quay theo quỹ đạo tròn là nhờ có lực của người giữ sợi dây truyền cho nó, và cũng có nghĩa là đã cấp cho nó năng lượng bởi nếu không, nó sẽ phải rơi xuống đất theo phương thẳng đứng của trọng lực. Khối lượng quán tính của vật thể trong trường hấp dẫn của Trái đất được xác định theo [1] cho thấy nó bằng khối lượng hấp dẫn của chính nó. Lực ly tâm xuất hiện trong trường hợp này hoàn toàn là lực thật chứ không phải là lực ảo, chỉ có điều nó không phải là lực quán tính mà là lực được sinh ra do năng lượng của người truyền cho vật thể.

Cần lưu ý rằng mọi vật thể trên mặt đất, nếu bị tác động bởi một xung lực nào đó song song với bề mặt của Trái đất mà không có lực cản, nó sẽ chuyển động “tròn” đều xung quanh Trái đất – một dạng chuyển động theo quán tính với vận tốc xác định cho tới khi giá trị của vận tốc này không vượt quá 7,9km/s. Nhưng chính sợi dây đã cản trở việc này và vì vậy đã gây nên lực hướng tâm. Nói cách khác, lực hướng tâm trong trường hợp này chỉ là lực phản tác động chứ không như lực trường thế hướng tâm của Mặt trời tác động lên Trái đất trong chuyển động theo quán tính như trên Hình 13c). Tóm lại, cả lực ly tâm lẫn lực hướng tâm trong trường hợp này đều do năng lượng của người điều khiển gây nên. Động năng quay lúc này có thể được xác định theo công thức:

$$K_{\Omega} = \frac{mV^2}{2} . \quad (100)$$



Hình 13. Các dạng chuyển động quay

Có thể biểu diễn động năng quay theo vận tốc góc bằng cách nhân cả tử số và mẫu số của (100) với bình phương bán kính quỹ đạo của chuyển động r^2

$$K_{\Omega} = \frac{1}{2} mr^2 \frac{V^2}{r^2} \quad (101)$$

rồi ký hiệu $mr^2 = J$ – gọi là mômen quán tính của vật thể; $V/r = \Omega$ là vận tốc góc của chuyển động tương tự như (67), sau đó viết lại (101):

$$K_{\Omega} = \frac{J\Omega^2}{2}. \quad (102)$$

b) *Hiện tượng tự quay của vật thể.*

Nếu điểm quay hoặc trục quay đi qua khối tâm của vật thể thì chuyển động đó gọi là tự quay (xem Hình 13b). Thật ra khái niệm “tự quay” chỉ là cách nói không có một nội dung chính xác nào vì không có bất cứ vật thể nào tự mình có thể quay được cả mà luôn cần sự tương tác với bên ngoài. Cũng giống như trong trường hợp trước, lực hướng tâm cũng chỉ xuất hiện sau khi có ngẫu lực tác động lên con quay, tức chỉ là lực phản tác động. Tuy nhiên, điểm khác biệt ở đây là nếu ma sát tại chân con quay với mặt đất và lực cản của không khí có thể bỏ qua thì con quay sẽ quay mãi mãi không bao giờ dừng. Điều này cũng không phải vì con quay có sẵn một khối lượng quán tính tự thân nào đó mà chính do trường lực thể của Trái đất cùng với ngẫu lực ban đầu tác động lên con quay đã làm việc đó. Nếu không có cả 2 yếu tố này, con quay không thể nào duy trì được sự quay của mình. Chẳng hạn, tưởng tượng chỉ có một con quay đơn độc trong Vũ trụ thì khái niệm “quay” đối với nó sẽ biến mất – khối lượng quán tính = 0 cũng tức là động năng quay bằng không. Thêm nữa, khối lượng hấp dẫn được phân bố trong con quay hoàn toàn đối xứng qua trục quay của nó nên nếu khi quay, năng lượng của nó được bảo toàn thì cũng đồng nghĩa với bảo toàn hướng của trục quay cho dù trường lực thể gây nên khối lượng quán tính có dịch chuyển như thế nào. Cũng chính vì lý do này mà hướng của trục quay sẽ không thay đổi khi con quay rơi vào một trường lực thể khác. Dựa trên tính chất này, người ta chế tạo các con quay hồi chuyển được áp dụng rộng rãi trong các phương tiện định hướng cho thiết bị bay trong không gian. Động năng quay trong trường hợp này cũng được xác định theo công thức (102) và nội năng của thực thể vật lý sẽ phải giảm đi một lượng tương ứng.

Trên Hình 13c) biểu diễn đồng thời chuyển động tự quay quanh mình của Trái đất và chuyển động theo quán tính trên quỹ đạo của nó để tiện so sánh. Hai dạng chuyển động này trong cơ học cổ điển đều được coi là chuyển động “tròn đều”.

VI. KẾT LUẬN

1. Năng lượng toàn phần của một thực thể vật lý trong trường lực thể được xác định theo công thức tổng quát $E = mc^2 + 2U(R_K)$ đúng cho mọi HQC và cho mọi trường lực thể: hấp dẫn, điện từ, hạt nhân mạnh và yếu. Điều khác biệt duy nhất của công thức này đối với các trường lực thể khác nhau chỉ là ở khối lượng quán tính trong từng trường lực thể cụ thể.

2. Về nguyên tắc, quỹ đạo chuyển động của các vật thể trong trường hấp dẫn cũng bị lượng tử hóa với các thông số k_θ , r_0 và v_0 chỉ phụ thuộc vào trường hấp dẫn, độc lập với các thực thể vật lý chuyển động trong đó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vũ Huy Toàn. *Bản chất của khối lượng quán tính và ảnh hưởng của nó tới vật lý học* theo Giấy chứng nhận đăng ký Quyền tác giả số 899/2007/QTG.

2. Vũ Huy Toàn. *Cơ sở của vật lý học hiện đại* theo Giấy chứng nhận đăng ký Quyền tác giả số: 1093/2007/QTG.