

# TÍNH HỢP LÝ CỦA BA ĐỊNH LUẬT NEWTON VỀ CHUYỂN ĐỘNG

ĐỖ VĂN NĂNG<sup>1\*</sup>, TRƯƠNG ĐẶNG HOÀI THU<sup>2</sup>, NGUYỄN NGỌC GIÀU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Công nghệ Động lực, Trường Đại học Công nghiệp Thành Phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup> Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm Thành Phố Hồ Chí Minh

\*Tác giả liên hệ: dovannang@iuh.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v63i03.4834>

**Tóm tắt.** Trong nghiên cứu này, tính hợp lý của ba định luật về chuyển động của Newton và phạm vi áp dụng của chúng được phân tích một cách chi tiết. Kết quả cho thấy định luật I không đơn thuần là định luật quán tính, mà nó đặt ra hệ quy chiếu, điểm nhìn để xem xét chuyển động của các vật. Đồng thời, nghiên cứu khẳng định hệ quy chiếu phi quán tính không phải là hạn chế của định luật II và định luật II cũng không phải là định nghĩa của lực. Bên cạnh đó, bài báo cáo đề cập tới những nhầm lẫn khi áp dụng định luật III Newton và chứng minh rằng định luật này không phải là tuyệt đối. Cụ thể, lực Coulomb dựa trên tính toán lý thuyết trong thuyết tương đối hẹp không phù hợp với phát biểu về định luật III của Newton.

**Từ khóa.** Tính hợp lý, định luật Newton, hạn chế.

## 1. GIỚI THIỆU

Vào năm 1687, Newton đã công bố ba định luật về chuyển động trong quyển sách nổi tiếng có tựa đề Principi. Trong đó, những khái niệm và logic của việc dẫn dắt đến những định luật này không được Newton giải thích tường minh. Vì vậy, việc phân tích tính logic của ba định luật Newton về chuyển động (NLM – Newton’s Laws of Motion) đã và đang nhận được sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới bởi chúng đóng vai trò quan trọng trong việc đặt nền móng cơ bản cho cơ học cổ điển. Hệ thống NLM bao gồm nhiều mối quan hệ tương quan chặt chẽ giữa các đại lượng vật lý như lực, gia tốc, khối lượng và mối quan hệ logic giữa các định luật với nhau.

Năm 2012, Stocklmayer, Rayner và Gore đã đề xuất một thứ tự sắp xếp mới cho NLM bằng cách đưa định luật III lên vị trí đầu tiên (Stocklmayer et al., 2012). Trong công trình trên, các tác giả đã đưa ra lập luận và thực hiện thí nghiệm để khẳng định lợi ích của việc tiếp cận tương tác lực – phản lực trước hai định luật đầu tiên trong NLM. Tuy nhiên, Stocklmayer và cộng sự đã quá tập trung vào định luật III mà chưa thảo luận về tầm quan trọng của định luật I, nguyên nhân Newton đưa ra thứ tự sắp xếp các định luật ban đầu, cũng như chưa đưa ra lập luận về việc tiếp cận định luật III trước định luật I (Stocklmayer et al., 2012). Trong cùng năm 2012, Ford đã phản biện lại bài báo của Stocklmayer bằng cách khẳng định vai trò quan trọng của định luật I (Ford, 2012). Năm 2015, Hecht đã đề cập sự nghi vấn của ông về sự cần thiết của định luật I nhưng chưa giải thích vấn đề này một cách tường tận trong công trình của mình (Hecht, 2015). NLM đã tồn tại trong nhiều thế kỉ và đã trải qua nhiều sự tranh cãi về tính hợp lý, tính logic và những điều kiện để áp dụng chúng.

Bên cạnh mối tương quan giữa ba định luật, bản thân từng định luật cũng là chủ đề của nhiều cuộc thảo luận. Năm 1963, Bottaccini đã phân tích toán học để chứng minh định luật II Newton có thể áp dụng cho hệ nhiều hạt và hệ có khối lượng thay đổi (Bottaccini, 1963). Vào đầu thế kỉ XX, định luật II Newton được sửa đổi khi xét tới tốc độ giới hạn  $c$  và khối lượng tương đối tính (Javadi et al., 2013). Năm 2007, Ignatiev nghiên cứu về hạn chế của định luật II khi gia tốc trở nên vô cùng bé (Ignatiev, 2007). Dù đã có nhiều tranh luận về “giới hạn” của định luật II. Tuy nhiên những nghiên cứu sâu hơn về hạn chế của định luật II Newton chưa được thực hiện để trả lời cho câu hỏi hệ quy chiếu phi quán tính có phải là hạn chế của định luật này. Mặt khác, ý nghĩa của định luật II Newton vẫn đang nhận được nhiều ý kiến trái chiều. Năm 1985, Brehme khẳng định định luật II là định nghĩa của lực trong công trình của mình (Brehme, 1985), trong khi Anderson cho rằng nhận định trên là không đúng (Anderson, 1990). Tuy nhiên, những nghiên cứu của Anderson vẫn chưa thuyết phục bởi thiếu những lời giải thích rõ ràng. Do đó, trong bài báo này, chúng tôi phân tích lý thuyết để chứng minh rằng định luật II Newton không phải là định nghĩa của lực, mà là một biểu thức định lượng ảnh hưởng của lực tác động lên vật.

Trong những năm đầu thế kỉ XXI, định luật III Newton cũng đang là chủ đề thảo luận của không ít nhà khoa học. Năm 2002, Hughes viết về trải nghiệm của ông khi tham gia một buổi thảo luận xoay quanh định luật III Newton (Hughes, 2002). Từ đó, ông cho rằng bản thân đã có một sự nhầm lẫn trong việc xác định cặp lực – phản lực theo định luật III. Trong những năm tiếp theo, Aguilar (Aguilar, 2007) và Dykstra (Dykstra, 2009) đã làm thí nghiệm để chỉ rõ những nhầm lẫn trong việc áp dụng định luật III. Tuy nhiên, những công trình này chưa nêu được nguyên nhân cốt lõi dẫn đến sự sai lệch này. Chính vì vậy, chúng tôi mong muốn phân tích chi tiết nguyên nhân căn bản của những quan niệm sai lầm khi áp dụng định luật III Newton. Đồng thời, chúng tôi mong muốn khảo sát những giới hạn của định luật III Newton trong phạm vi vĩ mô và vi mô, trong vật lý cổ điển và vật lý hiện đại. Đã có nhiều công trình nghiên cứu về vấn đề này (Kneubil, 2016; Ivlev et al., 2015; Cornille, 1999) nhưng chúng tôi muốn đề cập một trường hợp đơn giản nhất để chứng tỏ rằng định luật III Newton không phải là tuyệt đối. Dù nhận được nhiều sự quan tâm, nhưng các kết quả nghiên cứu liên quan đến NLM vẫn còn mang tính đơn lẻ. Do đó, trong công trình này, chúng tôi làm rõ logic của ba định luật Newton và phân tích ý nghĩa của từng định luật.

## 2. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 2.1. Định luật I Newton

Trong quyển Principia, Newton đã trình bày định luật I như sau: “*Mọi vật đều duy trì trạng thái nghỉ hoặc chuyển động thẳng đều, trừ khi nó buộc phải thay đổi trạng thái đó bằng các lực tác dụng lên nó*” (Newton, 1729). Định luật I còn được gọi là “định luật quán tính” vì nó nói lên xu hướng chuyển động của vật khi vật ở trạng thái tự do (không chịu lực tác dụng) (Cornille, 1999; Marquit, 1990; Leemann, 2000). Tính phổ biến của định luật I bắt nguồn từ tính trực quan của nó. Do đó, trong chương trình giáo dục Việt Nam, học sinh đã quen với thuật ngữ “quán tính” thông qua các ví dụ trực quan đơn giản ở lớp 8 và tiếp cận định luật I một cách chi tiết hơn ở lớp 10.

Định luật I chỉ ra lực không phải là nguyên nhân gây ra chuyển động của các vật, mà là nguyên nhân tạo ra sự thay đổi vận tốc hoặc động lượng của vật, nghĩa là ta không cần phải liên tục tác dụng lực để duy trì chuyển động của một vật. Điều này có thể được hiểu một cách rất rõ ràng bởi chuyển động của vật này so với vật khác là do sự chuyển động không đồng bộ (với vận tốc khác nhau) giữa các hệ quy chiếu so với nhau. Trong công trình năm 2012 của mình, Ford đã khẳng định “Định luật I Newton xứng đáng nhận được nhiều sự quan tâm hơn. Việc Newton sắp xếp thứ tự của NLM chắc chắn không có tính ngẫu nhiên. Đồng thời, định luật I Newton là một định luật riêng biệt, không phải là trường hợp đặc biệt của định luật II Newton. Định luật I Newton không có giả định kiến thức về lực và cũng không đòi hỏi tính hợp lệ của định luật II Newton” (Ford, 2012). Như vậy, định luật I Newton chỉ trình bày trạng thái của vật trong trường hợp không có lực tác dụng (vật tự do lý tưởng) mà không đề cập đến việc trạng thái chuyển động của vật sẽ thay đổi như thế nào khi có lực tác dụng, từ đó đề ra một **điểm nhìn** khi xem xét trạng thái của các vật, hay còn gọi là hệ quy chiếu quán tính mà trong đó NLM có thể được áp dụng một cách hợp lệ. Ngoài ra, ta cần khẳng định rằng định luật I Newton không phải trường hợp riêng của định luật II Newton, ngược lại định luật II Newton phải có dạng công thức tuân theo định luật I Newton. Dù không có lực tác dụng lên vật thì định luật I Newton vẫn áp dụng được, trong khi đó ta không thể áp dụng định luật II Newton bởi định luật này cho ta biết sự biến đổi trạng thái chuyển động khi vật bị ảnh hưởng bởi nhân tố bên ngoài, tức là sau khi chịu tác dụng của lực.

Cần lưu ý rằng, khái niệm hệ quy chiếu thường được hiểu nhằm bao gồm ba yếu tố: vật mốc, hệ tọa độ và đồng hồ đo thời gian. Tuy nhiên, hệ quy chiếu thực chất chỉ bao gồm một vật làm mốc, còn hệ tọa độ và đồng hồ đo thời gian là công cụ của người quan sát để xác định vị trí của vật trong không gian theo thời gian. Do đó, chúng ta thường sử dụng “chọn hệ quy chiếu gắn đất” hay “chọn hệ quy chiếu gắn thang máy” để phản ánh điều này. Hệ quy chiếu là hình ảnh thế giới được phản chiếu vào vật làm mốc. Hệ quy chiếu quán tính là hệ quy chiếu gắn với vật làm mốc đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều. Một cách định nghĩa khác, hệ quy chiếu quán tính là hệ quy chiếu trong đó NLM nghiệm đúng (Brehme, 1985).

### 2.2. Định luật II Newton

Trong quyển Principia, Newton đã trình bày định luật II như sau: “*Sự biến thiên động lượng của một vật tỉ lệ thuận với xung lực tác dụng lên nó, và vector biến thiên động lượng này sẽ cùng hướng với vector xung lực gây ra nó*” (Newton, 1729). Định luật II Newton là định luật định lượng cho biết quy luật chuyển động của vật khi vật chịu tác động của ngoại lực. Nó cho phép ta dự đoán trạng thái chuyển động của một vật

trong quá khứ, hiện tại và tương lai khi biết được các tác động bên ngoài vật và trạng thái chuyển động của vật trong một khoảng thời gian nhất định, từ đó dự đoán một số hiện tượng xảy ra. Do đó, các nhà vật lý luôn quan tâm đến phạm vi áp dụng của định luật II và đã đề cập rằng định luật II không thể áp dụng trong các hệ quy chiếu phi quán tính, hoặc muốn áp dụng cần phải thêm vào một lực quán tính (Arnold, 1989; Taylor, 2005). Tuy nhiên, hệ quy chiếu phi quán tính không phải là điểm hạn chế của định luật II. Điều này được lý giải trong công trình này của chúng tôi.

Công thức định luật II Newton có thể được viết dưới dạng vi phân (Arnold, 1989; Morin, 2008):

$$\vec{\mathbf{F}} = \frac{d\vec{\mathbf{p}}}{dt} . \quad (1)$$

Khi vật đang xét có khối lượng không thay đổi trong quá trình chịu tác dụng của ngoại lực, công thức (1) có thể được viết lại dưới dạng:

$$\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}} . \quad (2)$$

Công thức (2) thể hiện quan điểm của Newton: Gia tốc  $a$  là đại lượng “tuyệt đối”. Vì lực và khối lượng là các đại lượng khách quan, không phụ thuộc người quan sát nên sẽ không hợp lý khi nói gia tốc là đại lượng tương đối. Trong các hệ quy chiếu quán tính thì gia tốc là đại lượng không đổi, không phụ thuộc người quan sát. Trong các hệ quy chiếu phi quán tính, lực quán tính (hay còn gọi là lực ảo) được thêm vào công thức (2) để đảm bảo tính hợp lệ cho hai định luật đầu tiên của Newton (Arnold, 1989; Taylor, 2005):

$$\vec{\mathbf{F}} + \vec{\mathbf{F}}_{qt} = m\vec{\mathbf{a}} \quad (3)$$

Công thức (3) không phải định luật II nguyên bản của Newton, đồng thời cũng không phải là sự khắc phục hạn chế của định luật II Newton. Như đã đề cập ở Mục 2.1, định luật II Newton chỉ nghiệm đúng khi định luật I Newton nghiệm đúng. Do đó, trong các hệ quy chiếu có gia tốc, chúng ta cần một công thức liên hệ khác giữa lực và gia tốc của vật. Nói cách khác, công thức (3) được xây dựng dựa trên công thức (2).

Bản chất của lực quán tính đến từ chuyển động tương đối giữa các hệ quy chiếu (Taylor, 2005). Chúng tôi đưa ra một ví dụ cụ thể để minh họa cho nhận định trên. Xét tình huống một đoàn tàu lửa đang chạy thẳng trên đường ray với gia tốc  $\mathbf{A}$  và người soát vé đang di chuyển trên tàu.

Gọi  $K_0$  là hệ quy chiếu quán tính gắn với đường ray,

$K$  là hệ quy chiếu phi quán tính gắn với đoàn tàu,

$\vec{\mathbf{r}}_0, \vec{\mathbf{r}}$  lần lượt là vector vận tốc của người soát vé trong  $K_0$  và  $K$ ,

$\mathbf{V}$  là vận tốc của  $K$  so với  $K_0$ .

Trong hệ quy chiếu quán tính  $K_0$ , định luật II Newton cho ta

$$m\vec{\mathbf{r}}_0 = \mathbf{F} , \quad (4)$$

trong đó,  $\mathbf{F}$  là tổng ngoại lực tác dụng lên người soát vé.

Mặt khác, công thức cộng vận tốc cho ta

$$\vec{\mathbf{r}}_0 = \vec{\mathbf{r}} + \mathbf{V} . \quad (5)$$

Kết hợp (4) và (5) ta thu được phương trình cho phép xác định trạng thái chuyển động của người soát vé trong hệ quy chiếu phi quán tính  $K$

$$m\vec{\mathbf{r}} = \mathbf{F} - m\mathbf{V} = \mathbf{F} - m\mathbf{A} . \quad (6)$$

Người ta gọi  $\mathbf{F}_{qt} = -m\mathbf{A}$  để đưa phương trình (6) về cùng dạng với biểu thức định luật II Newton (3).  $\mathbf{F}_{qt}$  được gọi là “lực ảo” vì không có vật gây ra lực, đây thuần túy là sự đồng nhất biểu thức toán học. Tuy nhiên, trên thực tế, trong hệ quy chiếu phi quán tính, tác động của lực ảo là thật! Nếu bạn đang lái xe chuyển động trên đường và gặp tình huống bất ngờ phải hãm phanh gấp, bạn sẽ cảm nhận được một lực buộc bạn phải ngã người về phía trước. Đây cũng chính là nguồn gốc của khái niệm “lực quán tính” (Galili, 2022). Trong hệ quy chiếu quay, định luật II Newton được thay thế bằng một biểu thức phức tạp hơn

$$m\vec{\mathbf{r}} = \mathbf{F} + 2m\vec{\mathbf{r}} \times \boldsymbol{\Omega} + m(\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}) \times \boldsymbol{\Omega} , \quad (7)$$

trong đó,  $\boldsymbol{\Omega}$  là vận tốc góc của  $K$  so với  $K_0$ . Trong trường hợp này,  $\mathbf{F}_{qt} = 2m\vec{\mathbf{r}} \times \boldsymbol{\Omega} + m(\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}) \times \boldsymbol{\Omega}$  bao gồm hai thành phần. Chúng ta hoàn toàn có thể chứng minh được phương trình (7) từ hướng tiếp cận chuyển động tương đối (tham khảo cách chứng minh chi tiết tại *Classical Mechanics* của Taylor phát hành năm 2005). Tuy nhiên, từng thành phần trong lực quán tính đã được tìm ra độc lập từ nhiều nhà khoa học ở các

thời điểm khác nhau. Thành phần thứ nhất được gọi là lực Coriolis (đặt tên theo nhà khoa học Gaspard-Gustave de Coriolis, người lần đầu tiên đề cập đến vào năm 1835)

$$\mathbf{F}_{cor} = 2m\dot{\mathbf{r}} \times \boldsymbol{\Omega}. \quad (8)$$

Thành phần thứ hai được gọi là lực ly tâm, được Huygens đề cập và nghiên cứu trong công trình của ông vào năm 1659 và 1673 (Galili, 2022)

$$\mathbf{F}_t = m(\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}) \times \boldsymbol{\Omega}. \quad (9)$$

Bên cạnh ảnh hưởng của hệ quy chiếu, có nhận định rằng định luật II là định nghĩa của lực (Brehme, 1985). Tuy nhiên, đây là nhận định không chính xác vì gia tốc là kết quả của sự tác dụng lực lên vật, hay nói cách khác lực là đại lượng có trước gia tốc. Định luật II chỉ là công thức liên hệ, định lượng nhằm thể hiện sự ảnh hưởng của lực tác dụng lên vật lên trạng thái chuyển động của vật (Ludwig, 1992). Vì lực không phải đại lượng vật lý cơ bản nên nó cũng có công thức định nghĩa, nhưng công thức này cụ thể cho những lực

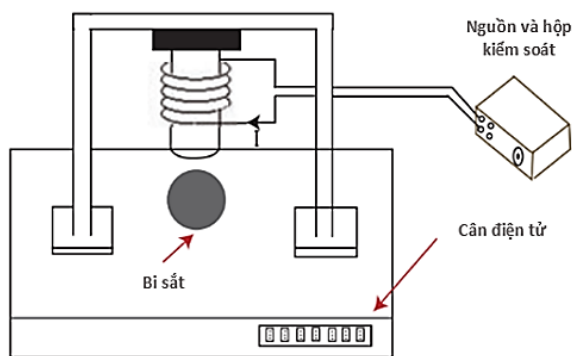
khác nhau, ví dụ như lực tĩnh điện  $F = \frac{kqQ}{r^2}$ , lực đàn hồi  $F = -kx$ .

### 2.3. Định luật III Newton

Định luật III được Newton trình bày trong Principia như sau: “*Đối với mọi tác động, luôn có sự phản ứng ngược lại tác động tương hỗ của hai vật đối với nhau luôn luôn bằng và ngược hướng nhau*” (Newton, 1729).

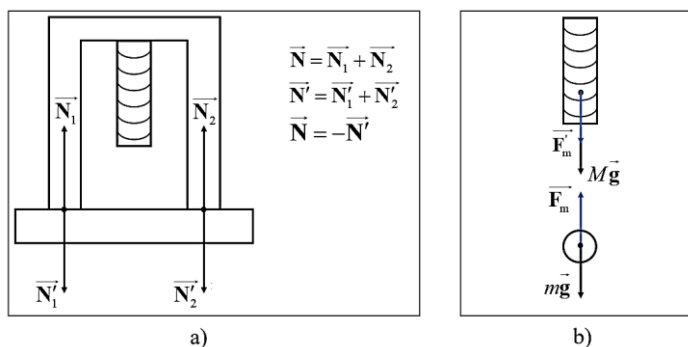
Định luật III có dạng phát biểu tương đối đơn giản, nhưng thực tế vẫn còn nhiều trường hợp nhầm lẫn trong việc xác định cặp lực – phản lực trong định luật III Newton và sử dụng chúng một cách đúng đắn (Hughes, 2002; Aguilar, 2007; Hellingman, 1992). Để minh họa cho một số quan điểm sai lầm về cặp lực – phản lực trong định luật III Newton, ta xét một số ví dụ sau.

Xét sự tác dụng của lực từ lên viên bi sắt trong thí nghiệm được đề xuất bởi Aguilar vào năm 2007 (Aguilar, 2007). Hình 1 mô tả mô hình thí nghiệm, trong đó bao gồm giá đỡ một cuộn solenoid, hai đầu của cuộn solenoid được nối vào nguồn và hộp kiểm soát để cung cấp và điều chỉnh cường độ dòng điện một chiều qua dây. Hệ thống giá đỡ - cuộn solenoid được đặt lên một cân điện tử đã được chuẩn hóa nhằm đảm bảo sự chính xác của thí nghiệm.



Hình 1. Viên bi sắt đặt trên bàn cân khi chưa bật nguồn điện (Aguilar, 2007).

Ban đầu, ta chưa đặt viên bi sắt vào hệ thống thí nghiệm, khối lượng  $M_h$  của hệ được đo và ghi nhận. Sau đó, ta đặt một viên bi sắt có khối lượng  $m = 360$  g và cho dòng điện một chiều chạy qua cuộn solenoid, điều chỉnh cường độ dòng điện sao cho viên bi duy trì được trạng thái lơ lửng ở khoảng cách 5 mm tính từ đầu dưới của cuộn solenoid. Khi này, khối lượng của hệ  $M_h'$  tiếp tục được đo và ghi nhận. Trước khi tiến hành thí nghiệm, rất nhiều sinh viên dự đoán khối lượng của mô hình không thay đổi bởi việc viên bi lơ lửng sẽ không đóng góp vào hệ thống giá đỡ - cuộn solenoid, do đó trọng lượng của hệ thống này không thay đổi (Aguilar, 2007). Đây là một quan điểm không chính xác bởi cân không đo trọng lượng của hệ đặt lên cân mà đo độ lớn áp lực của hệ tác dụng lên cân tại điểm tiếp xúc, từ đó quy ra số đo về khối lượng.



Hình 2. (a) Phân tích lực tại điểm tiếp xúc giữa cân và mô hình cuộn solenoid.  
(b) Viên bi sắt lơ lửng khi bật nguồn điện

Gọi  $\vec{N}$ ,  $\vec{F}_m$  và  $\vec{F}'_m$  lần lượt là áp lực của mặt cân tác dụng lên giá đỡ, lực từ do cuộn solenoid tác dụng lên viên bi sắt và lực từ do viên bi sắt tác dụng lên cuộn solenoid. Khi viên bi sắt và hệ giá đỡ - cuộn solenoid đạt trạng thái cân bằng, ta có:

$$+ \text{Viên bi sắt: } \vec{F}_m + m\vec{g} = \vec{0} \quad (10)$$

$$+ \text{Hệ giá đỡ - cuộn solenoid: } \vec{N} + \vec{F}_m + M\vec{g} = \vec{0} \quad (11)$$

Chiếu (4) và (5) lên phương thẳng đứng, chiều dương hướng lên, ta có:

$$F_m - mg = 0, \quad (12)$$

$$N - Mg - F_m = 0.$$

Từ đây, ta suy ra được áp lực của mặt cân tác dụng lên hệ giá đỡ - cuộn solenoid có độ lớn

$$N = (M + m)g. \quad (13)$$

Công thức (13) giải thích lý do số đo của cân tăng lên một lượng tương ứng với khối lượng của viên bi sắt. Ngoài ra, khi điều chỉnh cường độ dòng điện đi qua cuộn solenoid, sao cho độ lớn lực từ của cuộn solenoid tác dụng lên viên bi sắt tăng lên, đủ để giữ viên bi luôn tiếp xúc với cuộn solenoid, thì số đo của cân có tiếp tục tăng lên hay không? Trong khảo sát của Aguilar (Aguilar, 2007), hầu hết sinh viên đều đưa ra nhận định số đo của cân sẽ tăng do độ lớn lực từ tăng lên. Tuy nhiên, kết quả đo thực nghiệm cho thấy số đo của cân không thay đổi (vẫn bằng tổng khối lượng của viên bi sắt và hệ giá đỡ - cuộn solenoid). Cần lưu ý rằng, trong quá trình viên bi sắt từ trạng thái cân bằng lơ lửng bị hút lên cuộn solenoid khi tăng cường độ dòng điện, số đo của cân sẽ tăng lên, điều này được thể hiện rất rõ trong công thức (12). Trong thí nghiệm mà chúng ta đang xét, ta có thể chỉ ra một số cặp lực – phản lực quan trọng theo định luật III Newton:

+ Áp lực  $\vec{N}$  do mặt cân tác dụng lên hệ giá đỡ - cuộn solenoid và phản lực  $\vec{N}'$  do hệ giá đỡ - cuộn solenoid tác dụng lên mặt cân.

+ Lực từ  $\vec{F}_m$  do cuộn solenoid tác dụng lên viên bi sắt và lực từ  $\vec{F}'_m$  do viên bi sắt tác dụng lên cuộn solenoid.

Việc không phân biệt được hoặc phân tích sót các cặp lực – phản lực trong định luật III Newton đã dẫn đến những dự đoán sai lầm như trên. Năm 2002, Hughes đã đặt ra một câu hỏi như sau: “khi một quả bóng đang rơi tự do, lực nào có cùng độ lớn nhưng ngược hướng với trọng lực?”. Một số đáp án được ghi nhận đó là lực ma sát của không khí (Hughes, 2002). Tuy nhiên, khi quả bóng đang có gia tốc thì hai lực này không thể bằng nhau. Ở đây, đáp án chính xác là lực hấp dẫn do quả bóng tác dụng lên Trái Đất. Trái Đất tác dụng một lực hấp dẫn lên quả bóng (thường gọi là trọng lực tác dụng lên quả bóng) thì quả bóng cũng tác dụng một lực lên Trái Đất. Hai lực này luôn hướng về nhau, có độ lớn bằng nhau và ngược hướng nhau và chính là cặp lực – phản lực trong định luật III Newton. Một phần nguyên nhân dẫn đến quan niệm sai lầm trên là do cách gọi lực hấp dẫn ở một phạm vi bé trên bề mặt Trái Đất là “trọng lực”. Cách gọi này đã bỏ qua vật tác dụng và vật bị tác dụng, làm ta khó nhận ra được lực – phản lực trong định luật III Newton.

Xét một câu hỏi khác: “Khi đặt một quả bóng lên tay, lực nào có độ lớn bằng nhau và ngược hướng với phản lực của bàn tay lên quả bóng?”. Đối với câu hỏi này, khái niệm “phản lực” là một trong những nguyên nhân gây ra sự nhầm lẫn cho sinh viên. Chúng tôi muốn lưu ý rằng thuật ngữ “phản lực” ở đây có thể phân

lực trong định luật III Newton (reaction force) hoặc lực do một bề mặt nào đó tác dụng lên vật theo phương vuông góc với mặt tiếp xúc giữa hai vật (normal force). Ngoài ra, khi nghe cụm từ “bằng nhau về độ lớn và ngược hướng nhau”, học sinh thường nghĩ đến cặp lực cân bằng thay vì cặp lực – phản lực trong định luật III Newton. Khi hai vật xảy ra tương tác, cặp lực – phản lực luôn tồn tại, trong khi cặp lực cân bằng không phải khi nào cũng xuất hiện. Những nhầm lẫn mà chúng tôi vừa phân tích đã xảy ra khi ông đặt câu hỏi “Đâu là phản lực trong định luật III Newton của trọng lực tác dụng lên chai nước đặt trên bàn?”. Câu trả lời được ghi nhận nhiều nhất là phản lực (“normal force”) mà bàn tác dụng lên chai nước (Hellingman, 1992).

Tiếp theo chúng tôi muốn đề cập đến những nhận định sai về độ lớn của cặp lực – phản lực trong định luật III Newton do những cảm nhận cảm tính. Ví dụ, khi bạn tác dụng lực vào người khác, đối phương thường sẽ cảm thấy đau hơn. Khi bạn đấm tay vào tường, tay bạn sẽ rất đau trong khi tường không hề bị biến dạng. Tại sao lại như vậy? Rất nhiều học sinh trả lời là do lực có độ lớn lớn hơn phản lực hoặc ngược lại. Thật ra, nguyên nhân xuất phát từ do sự không bình đẳng về cấu tạo của hai nơi tiếp nhận lực. Trong trường hợp thứ nhất, dây thần kinh cảm giác của hai vị trí tác động và chịu tác động không như nhau, nên cùng một lực nhưng hai người lại cảm nhận “độ đau” khác nhau. Thêm vào đó, người chủ động tấn công thường sẽ dùng những bộ phận như nắm tay, cùi chỏ, đầu gối, bàn chân tấn công vào những điểm yếu cơ thể đối phương như mặt và bụng. Do đó, dù lực tiếp nhận là như nhau, nhưng khả năng cảm thụ của hai nơi tiếp nhận khác nhau dẫn tới cảm nhận của hai người là khác nhau, do đó gây ra sự khó hiểu cho học sinh. Trường hợp thứ hai cũng có cách giải thích tương tự, nhưng ở đây ta cũng lưu ý rằng, nếu muốn phá vỡ cấu trúc của một vật rắn cần một lực tương đối lớn, mà tay ta không có khả năng chịu đựng được một lực tương đương cũng như không có khả năng tự phát ra một lực như vậy.

Năm 2002, Hughes đã đề cập đến một vấn đề thú vị về định luật III Newton: “Một người đàn ông đang đẩy một dàn khoan nặng lên một đồi dốc nhưng dàn khoan đè nặng anh ấy và anh bắt đầu bị lùi về sau. Phải chăng lực đẩy mà dàn khoan tác dụng lên người đàn ông lớn hơn lực do anh tác dụng lên dàn khoan?” (Hughes, 2002). Câu hỏi này đánh lừa độc giả bằng cách nhấn mạnh vào cảm giác của người đàn ông và sự phối hợp giữa nhiều quy luật chuyển động. Câu trả lời rõ ràng là hai lực này vẫn bằng nhau theo định luật III Newton. Câu hỏi thực sự ở đây là cái gì đã gây ra sự bất đồng kết quả tiếp nhận lực của người và dàn khoan? Đó chính là sự khác biệt khối lượng của hai đối tượng đang xét. Ta đã biết lực có vai trò làm thay đổi vận tốc chuyển động của vật, với tốc độ thay đổi bằng tỉ số lực/khối lượng. Do đó, dù chịu một lực tác động như nhau nhưng tốc độ thay đổi trạng thái chuyển động dàn khoan chậm hơn so với người đẩy. Ta cũng lưu ý rằng, người đàn ông này đang đẩy dàn khoan lên dốc nên lực đẩy lên của người này có một phần là dùng để triệt tiêu tác dụng của trọng lượng dàn khoan; đồng thời người đàn ông cũng bị trọng lực của bản thân kéo xuống dù người đó cũng sẽ có động tác “đẩy đất” để mượn lực chống lại trọng lực của bản thân, nhưng việc này cũng góp phần gây khó cho động tác tự phát lực đẩy dàn khoan.

Qua những minh họa trên, chúng tôi nhận thấy có nhiều nguyên nhân gây ra sự nhầm lẫn và áp dụng sai định luật III Newton. Chúng tôi tổng kết thành hai nguyên nhân chính. Nguyên nhân đầu tiên đến từ sự không rõ ràng trong chính quy luật của Newton. Năm 2009, Dykstra Jr cũng đã đưa ra nhận định của mình về vấn đề này. Đã có sự không rõ ràng trong tên gọi, góp phần tạo nên sự nhầm lẫn cho học sinh: “lực tương hỗ giữa hai vật luôn hướng về nhau” (Nguyên bản Principia, 1687). Câu nói này đề cập tới hai lực của hai vật thể tác dụng lên nhau, hay ta nói điểm đặt của hai lực trên hai vật thể khác nhau. Sự nhầm lẫn giữa cặp lực cân bằng và cặp lực theo định luật III cũng xuất phát từ nguyên nhân này. Cả hai cặp lực này đều là cặp lực trực đối nhưng điểm đặt của mỗi lực trong từng cặp là khác nhau. Cặp lực cân bằng do hai vật B và C cùng tác dụng lên một vật A. Trong khi cặp lực theo định luật III có hai điểm đặt riêng biệt, đó là lực do A tác dụng lên B và lực do B tác dụng lên A. Nguyên nhân thứ hai là do việc áp dụng định luật theo cảm tính chủ quan (Aguilar, 2007). Điều này không có nghĩa rằng cảm nhận của chúng ta không tuân theo các quy luật vật lý mà là do chúng ta đã lý giải cảm giác này một cách cảm tính. Một hiện tượng trong đời sống luôn là sự kết hợp của nhiều hiệu ứng, định luật.

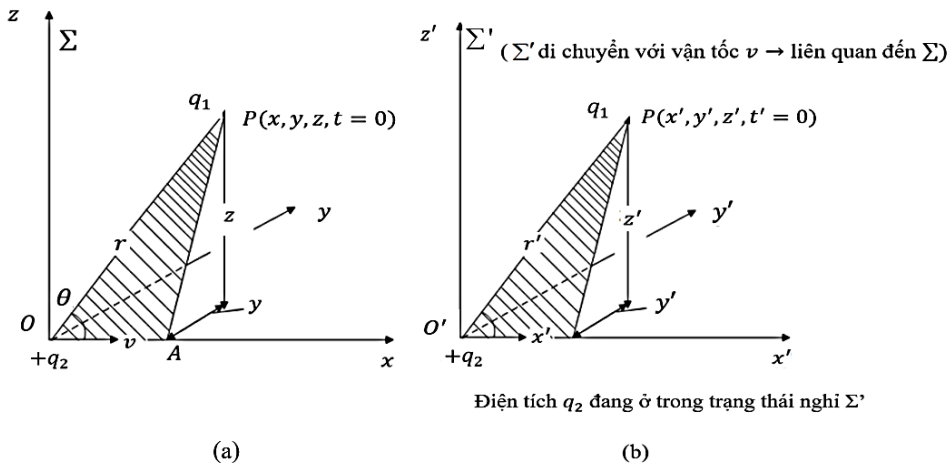
Bên cạnh sự hạn chế trong cách phát biểu định luật dẫn đến nhiều trường hợp áp dụng sai định luật III, bản thân định luật III cũng tồn tại những hạn chế nội tại về điều kiện áp dụng. Trong ba định luật về chuyển động của Newton, định luật III được xem là định luật vững chắc nhất. Dù hai định luật đầu tiên của Newton liên tục đối mặt với nhiều ý kiến trái chiều và đã được đề ra những giới hạn áp dụng nhất định, phạm vi áp dụng của định luật III vẫn là một đề tài gây tranh cãi và được thảo luận sôi nổi (Kneubil, 2016; Ivlev et al., 2015; Cornille, 1999). Trong phần này, chúng tôi đề cập đến một trường hợp tương tác điện từ mà khi đó

định luật III Newton bị vi phạm. Trong cơ học cổ điển, định luật Coulomb thỏa mãn định luật III Newton và độ lớn của lực không phụ thuộc vào hệ quy chiếu theo công thức:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = \frac{q_1 q_2 \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (14)$$

trong đó  $q_1, q_2$  lần lượt là điện tích của hạt mang điện đang xét và  $r$  là khoảng cách giữa chúng. Ta đã biết tương tác Coulomb (hay lực tĩnh điện) chỉ hợp lệ khi được quan sát trong hệ quy chiếu mà tại đó điện tích đứng yên. Khi các điện tích chuyển động, các điện tích gây ra dòng điện, tạo nên từ trường theo định luật Ampere, và tương tác với nhau theo lực Lorentz. Trong cơ học cổ điển, độ lớn lực trong các hệ quy chiếu là không đổi và khoảng cách  $r$  giữa các điện tích điểm là như nhau nên ta có biểu thức (14). Tuy nhiên, hai điều kiện trên không còn hợp lệ trong chuyển động tương đối tính.

Giả sử  $q_1$  được đặt cố định tại vị trí  $P(x, y, z, t)$  bất kì của hệ quy chiếu  $\Sigma$  đứng yên,  $q_2$  chuyển động thẳng đều với vận tốc  $v$  theo phương  $Ox$  từ gốc tọa độ. Trong hệ quy chiếu  $\Sigma'$  gắn với  $q_2$ ,  $q_1$  tại  $P'$  có tọa độ tương ứng  $P'(x', y', z', t')$ .



Hình 5. (a) Trong hệ quy chiếu  $\Sigma$ , điện tích  $q_2$  chuyển động thẳng đều với vận tốc  $v$  theo  $Ox$ .  
 (b) Trong hệ quy chiếu  $\Sigma'$ , điện tích  $q_2$  đứng yên (Rosser, 2013)

Xét tương tác Coulomb giữa hai điện tích điểm  $q_1$  và  $q_2$  tại thời điểm  $t=0$ , lúc này  $q_2$  đang ở gốc tọa độ  $O$  trong  $\Sigma$ . Xét hệ quy chiếu  $\Sigma'$ :

$$\vec{E}'_2 = \frac{q_2 \vec{r}'}{4\pi\epsilon_0 r'^3}, \quad (15)$$

$$\vec{F}'_{21} = q_1 \vec{E}'_2 = \frac{q_1 q_2 \vec{r}'}{4\pi\epsilon_0 r'^3}. \quad (16)$$

Mặt khác, ta có biểu thức liên hệ tọa độ giữa hai hệ quy chiếu (Rosser, 2013)

$$r' = \frac{r \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \theta}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (17)$$

Phân tích lực  $\vec{F}'_{21}$  theo hai phương tọa độ  $Ox, Oy$  và sử dụng công thức biến đổi lực giữa hai hệ quy chiếu (tham khảo cách chứng minh chi tiết tại *Classical Electromagnetism via relativity: An alternative approach to Maxwell's equations* của Rosser phát hành năm 2013), ta thu được

$$\vec{\mathbf{F}}_{21} = \frac{q_1 q_2 \vec{\mathbf{r}} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{4\pi\epsilon_0 r^3 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \theta\right)^{3/2}}. \quad (18)$$

Vậy lực tương tác Coulomb của hai điện tích lúc này là

$$\vec{\mathbf{F}}_{12} = q_2 \vec{\mathbf{E}}_1 = -\frac{q_1 q_2 \vec{\mathbf{r}}}{4\pi\epsilon_0 r^3}, \quad (19)$$

$$\vec{\mathbf{F}}_{21} = \frac{q_1 q_2 \vec{\mathbf{r}} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{4\pi\epsilon_0 r^3 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \theta\right)^{3/2}} \neq -\vec{\mathbf{F}}_{12}. \quad (20)$$

Khi  $v \approx c$ , biểu thức (20) của  $\vec{\mathbf{F}}_{21}$  sẽ tiến tới giá trị bằng  $-\vec{\mathbf{F}}_{12}$ , hay ta nói tương tác Coulomb trong cơ học cổ điển tuân theo định luật III Newton. Ở đây, chúng tôi đề cập đến một trường hợp cơ bản: một điện tích đứng yên, một điện tích chuyển động thẳng đều nên điều kiện bài toán trở nên đơn giản hơn. Theo đó, công thức của lực cũng được rút gọn. Khi  $q_1$  cũng có vận tốc, lực tương tác giữa chúng không còn là trường xuyên tâm nữa (Rosser, 2013) và định luật III cũng không thể được áp dụng.

### 3. KẾT LUẬN

Công trình này là một bài khảo cứu tổng quát ba định luật về chuyển động của Newton, trong đó đi sâu vào những vướng mắc được thảo luận trong những năm gần đây. Bài báo đã làm rõ trình tự logic của ba định luật về chuyển động được Isaac Newton đưa ra từ thế kỉ XVII, khẳng định định luật I Newton phải được đặt ở vị trí đầu tiên để xác định phạm vi áp dụng của hai định luật còn lại. Các định luật về chuyển động của Newton chỉ ra mối quan hệ giữa trạng thái chuyển động của các vật và các lực tác dụng lên chúng. Trong đó, định luật I cho biết trạng thái của vật khi không có lực tác dụng, định luật II cho biết trạng thái của một vật khi chịu lực tác dụng và định luật III cho biết mối liên hệ giữa các vật với nhau. Kết hợp định luật II và định luật III, chúng ta thu được quy luật chuyển động của một hệ vật dưới tác dụng của các ngoại lực, trong đó nội lực bị triệt tiêu. Đồng thời, bài báo cũng nghiên cứu ý nghĩa của từng định luật và những hạn chế khi áp dụng các định luật. Sự không tuyệt đối của định luật III đặt ra nhu cầu của một mối quan hệ mới giữa các lực tương tác trong thế giới vi mô. Quy luật tương tác này sẽ được nghiên cứu ở công trình nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aguilar, H. M. (2007). Magnetic levitation and Newton's third law. *The Physics Teacher*, 45(5), 278-279.
- Anderson, J. L. (1990). Newton's first two laws of motion are not definitions. *American Journal of Physics*, 58(12), 1192-1195.
- Arnold, V. I. (1989). *Mathematical methods of classical mechanics* (phiên bản 2.). Springer Science & Business Media.
- Bottaccini, M. (1963). An alternate interpretation of Newton's second law. *AIAA Journal*, 1(4), 927-927.
- Brehme, R. W. (1985). On force and the inertial frame. *American Journal of Physics*, 53(10), 952-955.
- Cornille, P. (1999). Review of the application of Newton's third law in physics. *Progress in energy and combustion science*, 25(2), 161-210.
- Dykstra Jr, D. I. (2009). Newton and Newton's third law. *American Journal of Physics*, 77(8), 677-677.
- Ford, K. W. (2012). Newton's "peripheral" laws, the first and third. *The Physics Teacher*, 50(8), 452-452.
- Galili, I. (2022). *Scientific Knowledge as a Culture: The Pleasure of Understanding*. Springer Nature.
- Hecht, E. (2015). Origins of Newton's first law. *The Physics Teacher*, 53(2), 80-83.
- Hellingman, C. (1992). Newton's third law revisited. *Physics Education*, 27(2), 112.
- Hughes, M. J. (2002). How I misunderstood Newton's third law. *The Physics Teacher*, 40(6), 381-382.
- Ignatiev, A. Y. (2007). Is violation of Newton's second law possible?. *Physical review letters*, 98(10), 101101.



- Ivlev, A. V., Bartnick, J., Heinen, M., Du, C. R., Nosenko, V., & Löwen, H. (2015). Statistical mechanics where Newton's third law is broken. *Physical Review X*, 5(1), 011035.
- Javadi, H., Forouzbakhsh, F., Jahanshir, A., & PourImani, H. (2013). New Discoveries and the Necessity of Reconsidering the Perspectives on Newton's Second Law. *Journal of Nuclear and Particle Physics*, 2(3), 31-35.
- Kneubil, F. B. (2016). Breaking Newton's third law: electromagnetic instances. *European Journal of Physics*, 37(6), 065201.
- Leemann, C. (2000). Newton's law of inertia and time. *Physics Education*, 35(1), 31.
- Ludwig, B. (1992). What Is Newton's Law of Inertia About? Philosophical Reasoning and Explanation in Newton's Principia. *Science in Context*, 5(1), 139-163.
- Marquit, E. (1990). A plea for a correct translation of Newton's law of inertia. *American Journal of Physics*, 58(9), 867-870.
- Morin, D. (2008). *Introduction to classical mechanics: with problems and solutions*. Cambridge University Press.
- Newton, I. (1729). *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated into English by Andrew Motte. London: Benjamin Motte.
- Rosser, W. G. V. (2013). *Classical Electromagnetism via relativity: An alternative approach to Maxwell's equations*. Springer.
- Stocklmayer, S., Rayner, J. P., & Gore, M. M. (2012). Changing the order of Newton's laws—Why & how the third law should be first. *The Physics Teacher*, 50(7), 406-409.
- Taylor, J. R. (2005). *Classical mechanics*. Sausalito, California: University Science Books.

## RESEARCH ON THE RATIONALITY OF THREE NEWTON'S LAWS

DO VAN NANG<sup>1\*</sup>, TRUONG DANG HOAI THU<sup>2</sup>, NGUYEN NGOC GIAU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Automotive Engineering Technology – Industrial University of Ho Chi Minh City*

<sup>2</sup>*Department of Physics – HCMC University of Education*

*\*Corresponding author: dovannang@iuh.edu.vn*

**Abstract.** In this study, the rationale and extent of application of Newton's laws of motion are explored in depth. The results demonstrate that the first law is more than just a law of inertia; it also establishes a frame of reference, a vantage point from which to examine the motion of things. In addition, the analysis indicates that the non-inertial frame of reference is not a limitation of the second law and that the second law does not define force. In addition, the study describes the difficulty in implementing Newton's third law and demonstrates that it is not absolute. Specifically, the Coulomb force derived from theoretical calculations in special relativity is incompatible with Newton's third law.

**Keyword.** Rationality, Newton's law, restriction.

*Ngày nhận bài: 24/10/2022*

*Ngày chấp nhận đăng: 14/02/2023*