

Ôn tập Vật Lí

Bùi Nhật Minh

Ngày 18 tháng 9 năm 2025

Mục lục

Lời giới thiệu	3
0 Kiến thức toán học nền tảng	4
0.1 Hàm số đại số một biến và các phép biến đổi trên hàm	5
0.1.1 Định nghĩa hàm số, phương trình, bất phương trình và hệ	5
0.1.2 Kí hiệu tổng và tích của nhiều số	12
0.1.3 Số mũ	13
0.1.4 Hàm đa thức	13
0.1.5 Phép tính đại số trên hàm	24
0.1.6 Hàm phân thức	25
0.1.7 Phép hợp hai hàm số	38
0.1.8 Nhị thức Niu-tơn	40
0.1.9 Hàm số xác định từng phần	44
1 Cơ bản của xử lí số liệu trong vật lí	57
2 Chuyển động	60

Lời giới thiệu

0.

Kiến thức toán học nền tảng

Chương này bao gồm các kiến thức toán học cần thiết để xây dựng lý thuyết của môn vật lý (hoặc ít nhất để đọc tài liệu này), giả sử rằng bạn đọc đã có một chút kiến thức đại số và hình học trung học phổ thông từ ghế nhà trường. Một điều cần lưu ý là chương này sẽ bao hàm những phần không nằm trong chương trình trung học phổ thông và có thể cả chương trình đại học. Mặc dù rằng là tác giả đã bao hàm rất nhiều toán trong chương, nhưng tác giả không có ý định viết để thay thế toàn bộ giáo trình toán. Các cuốn giải tích, đại số tuyến tính, hình học phẳng, hình học không gian, xác suất, và các cuốn giáo trình toán khác đều có vị trí đứng của chúng. Điều mà tác giả mong muốn tài liệu này có được chính là sự tổng hợp của kiến thức toán sao cho phù hợp với các ngành vật lý và sự bù đắp cho những lỗ hổng mà tác giả còn thấy ở tài liệu toán hiện hành ở Việt Nam. Kể như, trong tài liệu này, khi nhắc về hàm số, không có phần về đơn ánh hay toàn ánh. Những khái niệm này là vô cùng quan trọng nếu tập trung chứng minh chặt chẽ các tính chất liên quan đến hàm số, nhưng không phục vụ nhiều trong ứng dụng thực tiễn. Thay vào đó, tài liệu được đưa thêm những dạng bài tập, như các dạng bài liên quan đến hàm số rồi rắc được cho dưới dạng bảng, mà bạn đọc ít khả năng nhìn thấy ở trong những tài liệu khác. Không phải dạng bài tập mới là để bạn đọc trở nên hứng thú hơn, bởi dĩ tác giả khi soạn đáp án còn thấy chán, mà điều quan trọng là tìm ra nguyên nhân từ cái chán đó, và tìm cách chấm dứt triệt để cái chán bằng việc kết nối các bài toán lại với nhau, và rút ra một quy luật tổng quát giữa chúng. Suy cho cùng, sau khi bạn đọc làm nhiều bài tập, tác giả kì vọng, hơn cả việc bạn đọc tính toán nhanh và thành thạo (đương nhiên điều này cũng rất tốt), chính là việc hiểu rõ bản chất của các mảng lý thuyết và từ đó ứng dụng vào các trường hợp khác nhau.

Thông thường, các tài liệu vật lý sẽ lược qua hay tối giản phần toán, với ba ngầm định. Thứ nhất, sẽ có tài liệu toán ứng dụng đi kèm với tài liệu vật lý. Thứ hai, vật lý không dùng nhiều đến lý thuyết toán chuyên sâu hay chứng minh chặt chẽ. Và thứ ba, vật lý không nên dùng đến các tính toán phức tạp mà nên tập trung nhiều vào phần thông hiểu lý thuyết và ứng dụng đời sống. Tuy nhiên, tác giả lại không định hướng tài liệu đi theo những quan điểm này. Các mô hình vật lý đều có toán học phụ trợ đằng sau và chứng minh toán học mới là thứ xây dựng mô hình để dự đoán tương lai. Lấy ví dụ, thuyết tương đối rộng của Anh-xtanh¹. Đây là thuyết có thể nói được kiểm chứng thực nghiệm nhiều lần nhất trong vật lý, và giống rất nhiều công trình vật lý hiện đại khác, được xây dựng từ bút, giấy, và nhiều công cụ toán và một chút góc nhìn sáng tạo của vật lý. Quay trở về hiện tại, theo tác giả, nếu như nhà vật lý hay kỹ sư mà không làm được toán cao cấp, thì có lẽ họ nên chuyển nghề. Cho nên, trong tài liệu này, tác giả không chỉ đưa nhiều toán, mà còn đưa ra toán theo con đường khác với con đường thông thường. Các lý thuyết bình thường được đặt ở cùng chỗ thì sẽ tách nhau ra, không phải là cố tình phức tạp hóa, mà là để thể hiện tính mạch lạc của toán, nhấn mạnh rằng toán có thể tư duy được chứ không chỉ là thuộc lòng một cách “tôn giáo hóa”. Tác giả vẫn đưa một số lý thuyết dựa trên ngôn ngữ đời thường, nhưng nếu có thể, tác giả sẽ đưa định nghĩa hay chứng minh theo toán học thuần túy, dựa trên những lý thuyết đã có trước đó.

Có thể những kiến thức này đã cũ và bạn đọc chỉ muốn làm nóng lại kiến thức ở những phần cần thiết, thì bạn đọc có thể bỏ qua một vài phần của chương này. Nhưng nếu bạn đọc thấy những kiến thức này còn mới, còn nhiều lỗ hổng, thì bạn đọc nên đọc kĩ lưỡng. Hi vọng từ lý thuyết và bài tập, bạn đọc có thể hiểu được góc nhìn của tác giả về toán, và tự xây dựng cho mình một ma trận kiến thức riêng để phục vụ sau này.

¹Albert Einstein (1879 - 1955)

0.1 Hàm số đại số một biến và các phép biến đổi trên hàm

0.1.1 Định nghĩa hàm số, phương trình, bất phương trình và hệ

Chúng ta gọi f là một **hàm số** (hay **hàm**) đi từ tập X đến tập Y khi và chỉ khi với mọi $x \in X$, gọi là **tập xác định**, thông qua mỗi liên hệ f có một và chỉ một $y \in Y$ tương ứng với x . Câu vừa rồi có thể được tóm gọn trong một vài kí hiệu:

$$f : X \rightarrow Y \\ x \mapsto y.$$

Khi này, chúng ta có thể viết hàm số này dưới dạng biểu thức giải tích $y = f(x)$, gọi y là hàm của x . Ngoài ra, cần phải để ý rằng, thông qua định nghĩa này, mặc dù mọi x trong X phải có đầu ra trong Y , không phải mọi y trong Y đều phải có đầu vào trong X . Nói cách khác, tập tất cả các giá trị đầu ra có thể của $y = f(x)$, gọi là **tập giá trị**, là tập con của tập Y . Nếu x nằm ngoài tập giá trị x thì $f(x)$ là **không xác định** và không nhận bất cứ giá trị nào.

Khi chúng ta có định nghĩa hàm số thì chúng ta cũng sẽ có những khái niệm liên quan. Khi f là một hàm số, thì bất cứ giá trị a thuộc tập xác định để $f(a) = 0$ đều được gọi là **ng nghiệm** của f . Mở rộng ra, với f và g là hai hàm số, bất cứ giá trị a thỏa mãn $f(a) = g(a)$ thì a được gọi là nghiệm của **phương trình** $f(x) = g(x)$. Hơn thế nữa, nếu thay dấu $=$ trong câu vừa trước bởi các dấu $<$, $>$, \leq^2 , \geq^3 , \neq thì chúng ta có định nghĩa cho nghiệm của **bất phương trình**⁴. Lấy ví dụ, với f và g là hai hàm số, giá trị a để $f(a) \neq g(a)$ thì a được gọi là nghiệm của bất phương trình $f(x) \neq g(x)$. Kết hợp nhiều phương trình hay bất phương trình, chúng ta có một **hệ**. Ví dụ:

$$\begin{cases} f(x) = g(x) \\ \alpha(y) \neq \beta(z) \end{cases}.$$

Để thỏa mãn hệ thì mỗi thành phần trong hệ đều phải thỏa mãn. Một khái niệm liên quan mật thiết là **giải phương trình, bất phương trình, hay hệ** (để ngắn gọn, chúng ta sẽ gọi phương trình, bất phương trình và hệ thành một cụm từ chung là “phương bất hệ”). Để làm được việc này, yêu cầu cần tìm tất cả các bộ số để phương bất hệ được cho thỏa mãn. Trong trường hợp phương trình luôn đúng với mọi giá trị trong tập xác định, thì phương trình này được gọi là **đẳng thức**. Một cách tương đương, nếu như bất phương trình đúng với tất cả các giá trị có thể của đầu vào thì được gọi là **bất đẳng thức**.

Nếu chỉ có số với chữ không thì hàm số sẽ trở nên rất nhàm chán, cho nên người ta đã nghĩ ra phương pháp biểu diễn hàm số qua đồ thị. Để biểu diễn một hàm số $y = f(x)$ với x và y là hai số thực, cần vẽ tất cả các cặp tọa độ $(x; y)$ thỏa mãn hàm f trên đồ thị. Trong trường hợp hàm có vô số điểm, chúng ta lấy một số giá trị để định hướng hình dạng của đồ thị và rồi sau đó nối các điểm lại⁵. Do hàm số biểu thị mối liên hệ giữa hai đại lượng, chúng ta dùng đồ thị hai chiều để biểu diễn mối liên hệ giữa chúng. Chúng ta sẽ lấy ví dụ cho hàm sau được cho trong bảng 0.1 với tập xác định chỉ có 5 số.

x	1	2	3	4	5
$y = f(x)$	1	2	5	2	3

Bảng 0.1: Ví dụ của $y = f(x)$

Chúng ta nhìn thấy rằng có 5 bộ số $(x; y)$ là $(1; 2)$, $(2; 3)$, $(3; 4)$, $(4; 5)$, $(5; 6)$ thỏa mãn hàm f (theo đúng định nghĩa của hàm). Do đó, chúng ta có đồ thị như hình 0.1.

²Còn những kí hiệu khác cho dấu nhỏ hơn hoặc bằng là \leq , \leq .

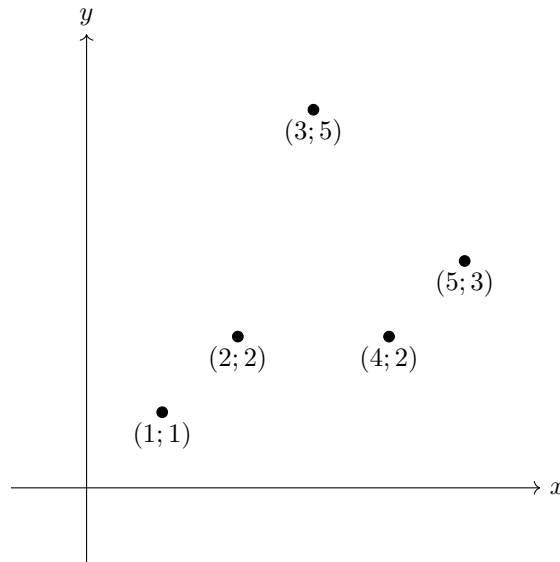
³Còn những kí hiệu khác cho dấu lớn hơn hoặc bằng là \geq , \geq .

⁴Ngoài những dấu biểu diễn bất phương trình được kể, còn những dấu như \nless (không nhỏ hơn), \ngtr (không lớn hơn), \nless , \ngtr hay \nless (không nhỏ hơn hoặc bằng), \ngtr , \ngtr hay \ngtr (không lớn hơn hoặc bằng), và những dấu bị nguyên rủa \lessgtr (nhỏ hơn hoặc lớn hơn), \lessgtr hay \lessgtr (nhỏ hơn, lớn hơn hoặc bằng). Bạn đọc có thể sẽ muốn thêm các dấu \nless (không nhỏ hơn hay lớn hơn) và cặp dấu \ngtr , \ngtr (không nhỏ hơn, lớn hơn hay bằng) làm dấu cho bất phương trình. Tuy nhiên, trên tập số thực, \ngtr tương đương với dấu $=$, và bất phương trình với \ngtr , \ngtr thì không bao giờ thỏa mãn. Về mặt ứng dụng, ngoài những môn nặng về nền tảng của toán như đại số cao cấp, những dấu kể trên gần như không bao giờ được sử dụng.

⁵Mặc dù vậy, vẫn có trường hợp mà cách vẽ này hoàn toàn bất lực. Ví dụ như hàm Đi-rích-lê:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x \in \mathbb{Q} \\ 0 & \text{nếu } x \notin \mathbb{Q} \end{cases}$$

với \mathbb{Q} là tập số hữu tỉ. Hàm này liên tục nhảy bật từ 0 đến 1 và ngược lại, khiến cho việc vẽ đồ thị trở nên bất khả thi.

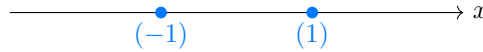


Hình 0.1: Đồ thị cho ví dụ của $y = f(x)$ được cho ở bảng 0.1

Một cách tương tự, chúng ta cũng có thể biểu diễn phương bất hệ thông qua việc vẽ đồ thị chứa các nghiệm của phương bất hệ đó. Có bao nhiêu ẩn số trong phương bất hệ, đồ thị sẽ có bấy nhiêu chiều. Giả sử như bạn đọc cần biểu diễn phương trình $x^2 - 1 = 0$ với x xác định trên tập số thực. Để biểu diễn được phương trình này, trước hết cần phải thực hiện giải nó. Tác giả kì vọng bạn đọc có thể thực hiện được những biến đổi sau:

$$\begin{aligned} x^2 - 1 &= 0 \\ \iff x^2 &= 1 \\ \iff x &\in \{-1; 1\}. \end{aligned}$$

Do phương trình chỉ có một ẩn nên chúng ta sẽ chọn trục số một chiều biểu diễn x để thể hiện nghiệm của phương trình này, như hình 0.2.



Hình 0.2: Biểu diễn nghiệm của $x^2 - 1 = 0$

Về mặt lợi ích của việc sử dụng đồ thị, biểu diễn hình học các đại lượng đại số là một trong những cách hữu hiệu để mở rộng cảm nhận về đối tượng đang nghiên cứu.

Bài 1: Mỗi phần trong bài tập sau bao gồm mối liên hệ giữa x và y . Trong mỗi phần, y có phải là hàm của x hay không? Trong trường hợp y là hàm số của x , xác định tập xác định và tập giá trị của hàm số đó. Còn trong trường hợp ngược lại, giải thích tại sao y lại không phải là hàm số của x .

1.

x	1	2	3	4	5
y	2	3	4	5	6

;

2.

x	0	-1	1	2	-3
y	0	0	0	0	0

;

3.

x	15	15	16	16	17
y	123	134	578	426	348

;

4.

x	0	-17	3	55	-17
y	4586	1024	4586	4586	1024

;

5. x là số chỉ tháng và y là số ngày trong tháng x .

Lời giải bài 1:

- y là hàm của x với tập xác định $X = \{1; 2; 3; 4; 5\}$ và tập giá trị $Y = \{2; 3; 4; 5; 6\}$.
- y là hàm của x với tập xác định $X = \{0; -1; 1; 2; -3\}$ và tập giá trị $Y = \{0\}$.
- y không phải là hàm của x do khi x có giá trị 15 thì y có hai giá trị 123 và 134.
- y là hàm của x với tập xác định $X = \{0; -17; 3; 55\}$ và tập giá trị $Y = \{4586; 1024\}$. Lưu ý rằng bảng có cột bị lặp.
- y không là hàm của x do khi $x = 2$ thì y có hai giá trị 28 và 29. Mặc dù cách viết có thể ám chỉ $y = f(x)$ với f là hàm số đại diện cho số ngày trong tháng, nhưng f không phải là hàm số do điều ngoại lệ.

Bài 2: Vẽ đồ thị của phương trình \mathcal{P} , với các định nghĩa được cho. Hàm có tập xác định là bộ số đầu vào cho ở trong bảng. Để ý số ẩn của phương trình để chọn số chiều của đồ thị cho phù hợp.

1.

x	-1	1	-2	2	-3	3
$f(x)$	0	0	4	3	7	0

 và $\mathcal{P} : f(x) = 0$;
2.

x	-1	1	-2	2	-3	3
$f(x)$	0	0	4	3	7	0

 và $\mathcal{P} : f(x) = x^2 - 1$;
3.

x	1	2	3	4	5	6
$f(x)$	2	3	5	7	11	13
$g(x)$	1	3	5	7	9	11

 và $\mathcal{P} : f(x) = g(x)$;
4.

x	1	2	3	4	5	6
$f(x)$	2	3	5	7	11	13
$g(x)$	1	3	5	7	9	11

 và $\mathcal{P} : f(x) = g(y)$;
5.

x	1	2	3	4	5	6
$f(x)$	2	3	5	7	11	13

 và $\mathcal{P} : f(x) = 2b - 1$ với $b \in \mathbb{R}$;
6.

x	-1	1	-2	2	-3	3
$f(x)$	0	0	4	3	7	0

 và $\mathcal{P} : f(x) = f(2b - 1)$;
7.

x	-1	1	-2	2	-3	3
$f(x)$	0	0	4	3	7	0

 và $\mathcal{P} : f(a) + f(b) = f(c)$;

Lời giải bài 2:

1. \mathcal{P} là phương trình chỉ có một ẩn x , do đó đồ thị của \mathcal{P} chỉ là đồ thị một chiều trên một trục số biểu diễn cho x .

Có ba giá trị để $f(x)$ bằng 0: $x \in \{-1; 1; -3\}$. Chúng ta có đồ thị của \mathcal{P} ở hình 0.3.

2. Tập xác định của $f(x)$ là $\{-1; 1; -2; 2; -3; 3\}$, do đó, để \mathcal{P} thỏa mãn thì x chỉ có thể nhận các giá trị trong vùng tập xác định.

Kẻ bảng so sánh:

x	-1	1	-2	2	-3	3
$f(x)$	0	0	4	3	7	0
$x^2 - 1$	0	0	3	3	7	7

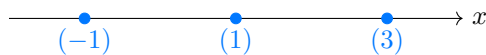
Bảng 0.2: Giá trị của $f(x)$ và $x^2 - 1$ ứng với x

Nhận thấy rằng \mathcal{P} chỉ đúng khi $x \in \{-1; 1; -3; 2\}$ và chúng ta có đồ thị là hình 0.4.

3. Nhìn vào bảng được cho, có $f(x) = g(x)$ khi và chỉ khi $x \in \{2; 3; 4\}$. Do đó, đồ thị của \mathcal{P} có được như hình 0.5.

4. \mathcal{P} là phương trình có hai ẩn x và y , do đó đồ thị của \mathcal{P} là một mặt phẳng hai chiều. Coi như trục hoành biểu diễn cho x và trục tung biểu diễn cho y .

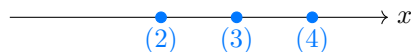
Để có thể vẽ được đồ thị của \mathcal{P} , hiển nhiên nhìn ra được rằng cần phải có những điểm $(x; y)$ để hai giá trị $f(x)$ và $g(y)$ bằng nhau. Và để làm được điều đó, trước hết, chúng ta sẽ tìm xem giá trị bằng nhau của $f(x)$ với $g(y)$ này bằng bao nhiêu. Gọi chung giá trị bằng nhau này là B_n . Kẻ lại bảng so sánh thành bảng 0.3, với B_n là giá trị đầu ra và x, y là giá trị lần lượt đưa vào hai hàm f và g để có giá trị đầu ra đó. Và từ đó, chúng ta có đồ thị của \mathcal{P} là hình 0.6.



Hình 0.3: Đồ thị phần 1 bài 2



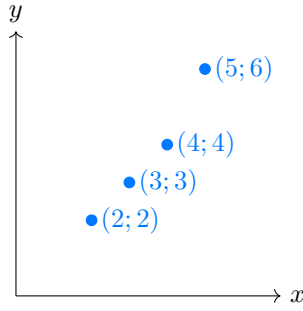
Hình 0.4: Đồ thị phần 2 bài 2



Hình 0.5: Đồ thị phần 3 bài 2

B_n	3	5	7	11
x	2	3	4	5
y	2	3	4	6

Bảng 0.3: Giá trị của x và y ứng với B_n



Hình 0.6: Đồ thị phần 4 bài 2

5. \mathcal{P} là phương trình có hai ẩn x và b , do đó đồ thị của \mathcal{P} là một mặt phẳng hai chiều. Coi như trục hoành biểu diễn cho x và trục tung biểu diễn cho b .

Tính giá trị của b từ $f(x)$:

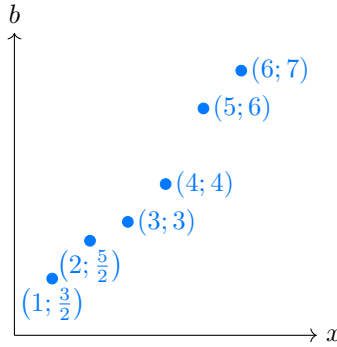
$$f(x) = 2b - 1$$

$$\Leftrightarrow b = \frac{f(x) + 1}{2}.$$

Từ đây, chúng ta có thể thêm giá trị của b vào bảng được cho thành bảng 0.4.

Qua bảng đó, vẽ được đồ thị của \mathcal{P} như hình 0.7.

x	1	2	3	4	5	6
$f(x)$	2	3	5	7	11	13
b	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{2}$	3	4	6	7

Bảng 0.4: Giá trị của b ứng với x 

Hình 0.7: Đồ thị phần 5 bài 2

6. Nhìn vào bảng định nghĩa được cho, $f(x)$ có thể nhận các giá trị là $\{0; 3; 4; 7\}$.

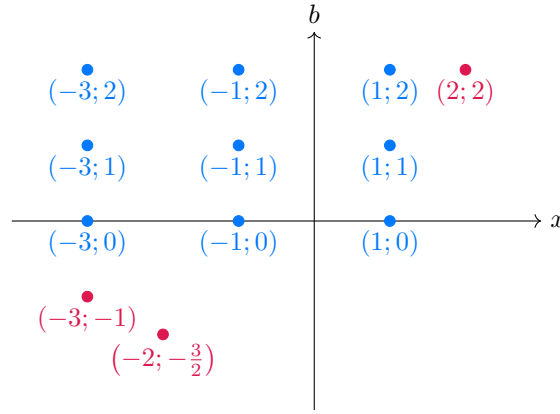
Trường hợp một: Khi $f(x) \neq 0$, chỉ có một giá trị đầu vào cho f sao cho $f(x)$ đạt được giá trị đầu ra. Ví dụ, chỉ có đầu vào $x = 2$ mới có $f(x) = 3$. Do đó, khi $f(x) \neq 0$, $x = 2b - 1$. Biến đổi đại số cơ bản để có $b = \frac{x+1}{2}$. Lập bảng 0.5 để thấy được mối quan hệ giữa x và b .

x	-2	2	-3
$b = \frac{x+1}{2}$	$-\frac{3}{2}$	2	-1

Bảng 0.5: Giá trị của cặp $(x; b)$ với $f(x) \neq 0$

Trường hợp hai: Khi $f(x) = 0$, x và $2b - 1$ có thể nhận bất cứ giá trị nào trong tập $\{-1; 1; -3\}$. Từ đó, có thể chọn $x \in \{-1; 1; 3\}$ và giải đại số để chọn $b \in \{\frac{-1+1}{2}; \frac{1+1}{2}; \frac{3+1}{2}\} = \{0; 1; 2\}$. Các cặp $(x; b)$ thỏa mãn là $(x; b) \in \{(-1; 0); (-1; 1); (-1; 2); (1; 0); (1; 1); (1; 2); (-3; 0); (-3; 1); (-3; 2)\}$.

Cuối cùng, kết hợp hai trường hợp, chúng ta có đồ thị cho \mathcal{P} :



Hình 0.8: Đồ thị phần 6 bài 2

7. \mathcal{P} là phương trình có ba ẩn a, b và c , do đó đồ thị của \mathcal{P} là một không gian ba chiều với các trục hoành, trục tung và trục cao tương ứng là a, b và c .

Theo \mathcal{P} , chúng ta cần phải chọn ba số trong tập giá trị của f để hai trong ba số có tổng bằng số còn lại. Từ bảng, nhận thấy rằng, chỉ có thể có hai tổng $4 + 3 = 7$ và $0 + 0 = 0$.

Chúng ta cần tìm tất cả các bộ ba (a, b, c) thỏa mãn $f(a) + f(b) = f(c)$. Xét hai trường hợp sau:

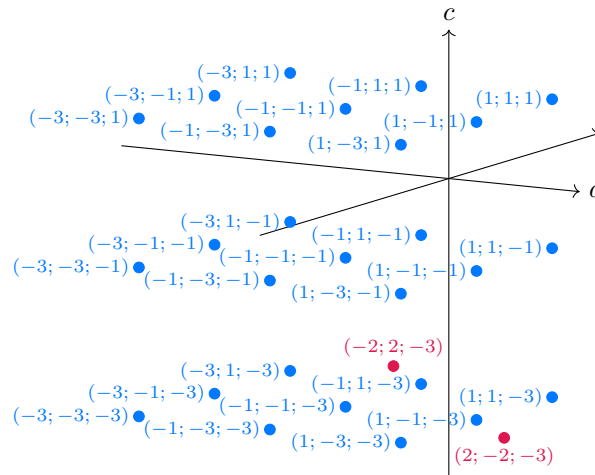
Trường hợp một: Tổng hai số khác 0. Để $f(a) + f(b) = f(c)$, chỉ có thể xảy ra khi $3 + 4 = 7$. Do đó, $(f(a); f(b); f(c))$ phải là $(3; 4; 7)$ hoặc $(4; 3; 7)$. Tra ngược lại bảng giá trị, chúng ta có hai nghiệm:

- $f(a) = 3, f(b) = 4 \implies a = 2, b = -2$. Và
- $f(a) = 4, f(b) = 3 \implies a = -2, b = 2$.

Chỉ có $f(-3) = 7$ nên $c = -3$.

Trường hợp hai: Tất cả bằng 0. Khi $f(a) = f(b) = f(c) = 0$, từ bảng định nghĩa, $f(x) = 0$ khi $x \in \{-3; -1; 1\}$. Do đó, a, b, c có thể nhận bất kỳ giá trị nào trong tập $\{-3; -1; 1\}$. Có tổng cộng $3^3 = 27$ bộ ba thỏa mãn trong trường hợp này.

Kết hợp hai trường hợp, đồ thị của \mathcal{P} sẽ gồm 29 điểm trong không gian 3 chiều (2 điểm từ trường hợp 1 và 27 điểm từ trường hợp 2), được biểu diễn trong hình 0.9.



Hình 0.9: Đồ thị phần 7 bài 2

Bài 3: Vẽ đồ thị của bất phương trình \mathcal{P} , với các định nghĩa đã cho. Hàm có tập xác định là bộ số đầu vào cho ở trong bảng.

1.

x	0	1	2	3	4	5
$f(x)$	-1	-3	-4	-2	-1	-3

 và $\mathcal{P} : f(x) \neq -3$;

2.

x	-10	-8	-2	2	8	10
$\alpha(x)$	4	8	0	1	6	8

 và $\mathcal{P} : \alpha(x) < 0$;

3.

x	0	6	2	-7	-6	3
$\beta(x)$	4	7	10	3	10	9

 và $\mathcal{P} : \beta(x) > x$;

4.

x	-10	-8	-2	2	8	10
$\alpha(x)$	4	8	0	1	6	8

,

x	0	6	2	-7	-6	3
$\beta(x)$	4	7	10	3	10	9

, và $\mathcal{P} : \alpha(x) \geq 2\beta(y)$.

Lời giải bài 3:

1. Phần này tương đối đơn giản. Kiểm tra trên bảng, chúng ta thấy $f(x) = -3$ khi $x \in \{2; 5\}$. Thêm vào đó, tập xác định của f là $\{0; 1; 2; 3; 4; 5\}$. Do đó, $f(x) \neq -3$ khi $x \in \{0; 1; 3; 4\}$.

Đồ thị của \mathcal{P} là hình 0.10 ở bên.

2. Tra bảng trực tiếp, các giá trị $\alpha(x)$ không bao giờ nhỏ hơn 0. Chúng ta không xét giá trị x ngoài bảng do không thuộc tập xác định của hàm α . Do đó, $\alpha(x) < 0$ là bất phương trình vô nghiệm.

Và qua đó, vẽ được đồ thị của \mathcal{P} là trục không đánh dấu như hình 0.11.

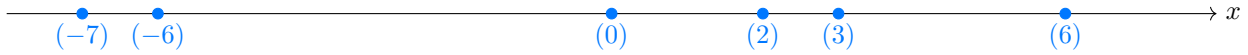
3. Xét trên tập xác định của β , chúng ta có $\beta(x) > x$ với mọi x nằm trên bảng được cho. Một cách đơn giản, chúng ta có đồ thị là hình 0.12.



Hình 0.10: Đồ thị phần 1 bài 3



Hình 0.11: Đồ thị phần 2 bài 3



Hình 0.12: Đồ thị phần 3 bài 3

4. Chúng ta có thể kiểm tra trực tiếp 36 cặp $(x; y)$ và sau đó vẽ đồ thị. Sau đây, tác giả sẽ chỉ những góc nhìn để có thể giảm số trường hợp cần kiểm tra.

Đề ý rằng, giá trị lớn nhất có thể của $\alpha(x)$ là 8. Mặt khác, để \mathcal{P} thỏa mãn thì

$$\begin{aligned} \alpha(x) &\geq 2\beta(y) \\ \iff \beta(y) &\leq \frac{\alpha(x)}{2}. \end{aligned}$$

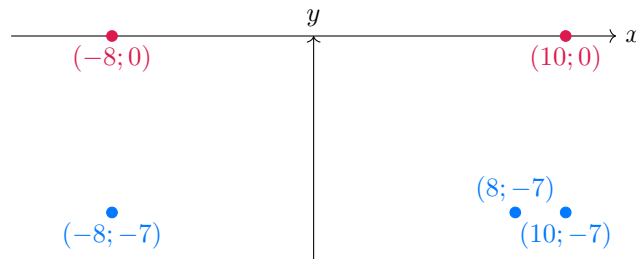
Qua đó, giá trị lớn nhất có thể của $\beta(y)$ là 4. Theo bảng định nghĩa, $\beta(y)$ chỉ có thể nhận hai giá trị là 3 hoặc 4.

Trường hợp một: $\beta(y) = 3 \iff y = -7$. Khi này, để $\alpha(x) \geq 2\beta(x)$ hay $\alpha(x) \geq 6$ thì $\alpha(x)$ có thể nhận giá trị 8 hoặc 6. Do đó,

$$\begin{aligned} \alpha(x) = 6 &\implies x = 8; \\ \alpha(x) = 8 &\implies x \in \{-8; 10\}. \end{aligned}$$

Trường hợp hai: $\beta(y) = 4 \iff y = 0$. Khi này, để $\alpha(x) \geq 8$ thì $\alpha(x)$ chỉ có thể nhận bằng 8. Do đó, $x \in \{-8; 10\}$.

Từ đây, chúng ta có đồ thị 0.13.



Hình 0.13: Đồ thị phần 4 bài 3

Bài 4: Vẽ đồ thị của hệ phương trình \mathcal{P} , với các định nghĩa đã cho. Hàm có tập xác định là bộ số đầu vào cho ở trong bảng.

1.

x	0	1	2	3	4	5
$f(x)$	-1	-1	-1	-2	-3	-3

,

y	0	-2	4	-6	8	-10
$g(y)$	-1	-2	-3	-7	-8	-9

,

z	-1	1	-2	0	-4	4
$h(z)$	2	1	0	-1	-2	-3

 và $\mathcal{P} : f(x) = g(x) = h(x)$;
2.

x	0	1	2	3	4	5
$f(x)$	-1	-1	-1	-2	-3	-3

,

y	0	-2	4	-6	8	-10
$g(y)$	-1	-2	-3	-7	-8	-9

,

z	-1	1	-2	0	-4	4
$h(z)$	2	1	0	-1	-2	-3

 và $\mathcal{P} : f(a) = g(b) = h(c)$;
3.

x	0	1	2	3	4	5
$f(x)$	-1	-1	-1	-2	-3	-3

,

y	0	-2	4	-6	8	-10
$g(y)$	-1	-2	-3	-7	-8	-9

,

z	-1	1	-2	0	-4	4
$h(z)$	2	1	0	-1	-2	-3

 và $\mathcal{P} : \begin{cases} f(o) = g(p) \\ f(p+1) = h(q) \end{cases}$.
4.

x	0	1	2	3	4	5
$f(x)$	-1	-1	-1	-2	-3	-3

,

y	0	-2	4	-6	8	-10
$g(y)$	-1	-2	-3	-7	-8	-9

,

z	-1	1	-2	0	-4	4
$h(z)$	2	1	0	-1	-2	-3

 và $\mathcal{P} : \begin{cases} f(m) = n \\ g(n) = h(w) \end{cases}$.

Lời giải bài 4:

1. Giá trị đầu vào để f, g, h đều có cùng một đầu ra là $x \in \{0; 4\}$. Vậy, chúng ta có đồ thị như hình 0.14.

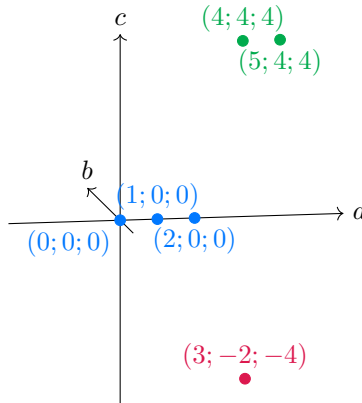


Hình 0.14: Đồ thị phần 1 bài 4

2. Trước hết, cần tìm những giá trị chung trong tập giá trị của f, g, h . Nhận thấy rằng, có $-1, -2$ và -3 là những giá trị chung trong đó.

- Với đầu ra là -1 , chúng ta có $f(a) = g(b) = h(c) = -1$. Từ đó, chúng ta có $a \in \{0; 1; 2\}$ và $b = c = 0$.
- Trong trường hợp kết quả của hàm là -2 , $f(a) = g(b) = h(c) = -2$. Từ đó, bộ ba $(a; b; c)$ có giá trị là $(3; -2; -4)$.
- Trong trường hợp kết quả của hàm là -3 , $f(a) = g(b) = h(c) = -3$. Từ đó, $(a; b; c) \in \{(4; 4; 4); (5; 4; 4)\}$.

Kết hợp ba trường hợp, xây dựng không gian tọa độ, chúng ta có hình 0.15.

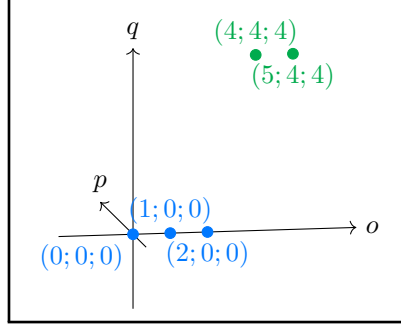


Hình 0.15: Đồ thị phần 2 bài 4

3. Để f và g nhận cùng một giá trị thì giá trị đầu ra đó, theo bảng định nghĩa được cho, kết quả mà hàm trả ra phải là $-1, -2$ hoặc -3 .

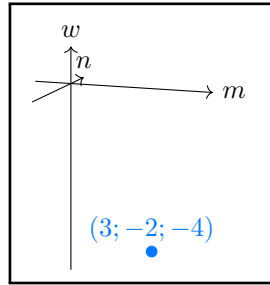
- Tại $f(o) = g(p) = -1$, $o \in \{0; 1; 2\}$ và $p = 0$. Từ đó, $f(p+1) = f(1) = -1$. Khi này, $h(q) = -1 \iff q = 0$.
- Tại $f(o) = g(p) = -2$, sau khi tra bảng, chúng ta thấy được rằng $\begin{cases} o = 3 \\ p = -2 \end{cases}$; suy ra $f(p+1) = f(-1)$, Tuy nhiên, -1 không thuộc tập xác định của f . Vậy, chúng ta sẽ loại trường hợp này.
- Tại $f(o) = g(p) = -3$, $o \in \{4; 5\}$ và $p = 4$. Từ đó, $f(p+1) = f(5) = -3$. Khi này, $h(q) = -3 \iff q = 4$.

Cuối cùng, vẽ đồ thị để được hình 0.16.



Hình 0.16: Đồ thị phần 3 bài 4

4. Theo đề, chúng ta cần tìm những bộ $(m; n; w)$ thỏa mãn \mathcal{P} , trong đó có $g(n) = h(w)$. Cho nên, n phải thuộc tập xác định của g . Nhìn vào bảng, tập xác định đó là $\{0; -2; 4; -6; 8; -10\}$. Tuy nhiên, cũng có $f(m) = n$, cho nên n vừa phải thuộc tập giá trị của f , hay $n \in \{-1; -2; -3\}$. Lấy giao của hai tập đó, chúng ta có $n = -2$. Từ đó, giải $f(m) = -2$ để có $m = 3$. Thêm vào đó, $h(w) = g(-2) = -2 \iff w = -4$. Bộ số duy nhất thỏa mãn hệ phương trình \mathcal{P} là $(m; n; w) = (3; -2; -4)$. Đồ thị của \mathcal{P} là hình 0.17.



Hình 0.17: Đồ thị phần 4 bài 4

0.1.2 Kí hiệu tổng và tích của nhiều số

Cho hàm số $f(x)$. Khi cho x là số nguyên chạy từ a đến b (thông thường $a \leq b$), chúng ta có tổng của các giá trị $f(x)$ được viết rút gọn là

$$\sum_{x=a}^b (f(x)) = f(a) + f(a+1) + \cdots + f(b).$$

Ví dụ, nếu cho $f(x) = 3x - 7$, thì

$$\begin{aligned} \sum_{x=-1}^3 (f(x)) &= f(-1) + f(0) + f(1) + f(2) + f(3) \\ &= (3(-1) - 7) + (3(0) - 7) + (3(1) - 7) + (3(2) - 7) + (3(3) - 7) \\ &= -20. \end{aligned}$$

Đối với tích của các giá trị $f(x)$, chúng ta có

$$\prod_{x=a}^b (f(x)) = f(a) \times f(a+1) \times \cdots \times f(b).$$

Ví dụ, cùng với $f(x) = 3x - 7$, chúng ta có

$$\begin{aligned}\prod_{x=-1}^3 (f(x)) &= f(-1) \times f(0) \times f(1) \times f(2) \times f(3) \\ &= (3(-1) - 7) \times (3(0) - 7) \times (3(1) - 7) \times (3(2) - 7) \times (3(3) - 7) \\ &= 560.\end{aligned}$$

Mở rộng kí hiệu, nếu chúng ta có cần tính tổng hay tích vào hàm phụ thuộc vào các giá trị x thỏa mãn điều kiện P nào đó, thì chúng ta có thể viết

$$\sum_P (f(x)) \quad \text{và} \quad \prod_P (f(x)).$$

P có thể được viết theo nhiều kiểu khác nhau, miễn hiểu là được. Ví dụ, thay vì tính tổng và tích của $f(x)$ khi x thay đổi từ -1 đến 3 , chúng ta có thể tính tổng và tích của $f(x)$ với x là các số nguyên tố lớn hơn 10 và nhỏ hơn 20 . Khi đó,

$$\begin{array}{ll}\sum_{\substack{x \text{ là số nguyên tố lớn hơn } 10 \text{ và nhỏ hơn } 20}} (f(x)) & \prod_{\substack{x \text{ là số nguyên tố lớn hơn } 10 \text{ và nhỏ hơn } 20}} (f(x)) \\ = f(11) + f(13) + f(17) + f(19) & = f(11) \times f(13) \times f(17) \times f(19) \\ = 152, \text{ và} & = 1830400.\end{array}$$

0.1.3 Số mũ

0.1.4 Hàm đa thức

Một dạng hàm quen thuộc, được giới thiệu trong chương trình học trung học phổ thông, là đa thức. Nhưng trước khi chúng ta nhắc lại về đa thức, chúng ta sẽ nhắc lại về đơn thức. Hàm **đơn thức**⁶ là một hàm được viết dưới dạng

$$f(x) = ax^n$$

với a là một số thực và biến x được mũ lên một số nguyên không âm n . Trong tương lai, chúng ta sẽ đề cập về vấn đề hàm số mũ mà thay n bằng số mũ thực. Tạm thời, chúng ta sẽ có định nghĩa **số mũ** như sau: Với $x \in \mathbb{R}$ và $n \in \mathbb{Z}^+$ thì

$$x^n = \prod_{i=1}^n (x) = \underbrace{x \times x \times \cdots \times x}_{n \text{ lần}}.$$

Từ định nghĩa, chúng ta có những tính chất cơ bản của số mũ như sau: Với x, y là hai số thực và m, n là hai số nguyên dương, chúng ta có

$$\begin{aligned}x^m \times x^n &= \underbrace{x \times x \times \cdots \times x}_{m \text{ lần}} \times \underbrace{x \times x \times \cdots \times x}_{n \text{ lần}} \\ &= \underbrace{x \times x \times \cdots \times x}_{m+n \text{ lần}} \\ &= x^{m+n};\end{aligned}$$

Chúng ta mở rộng định nghĩa với $n = 0$. Với $x \neq 0$ thì $x^0 = 1$. Không xác định giá trị với 0^0 . Hàm **đa thức** thông thường được biểu diễn dưới dạng tổng của các đơn thức

$$f(x) = P_n(x) = \sum_{i=0}^n (a_i x^i) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \cdots + a_1 x + a_0$$

với n là một số nguyên không âm, a_i là các số thực, gọi là các **hệ số**, với mọi i nguyên nằm trong đoạn $[0, n]$ và $a_n \neq 0$. Khi này, n được gọi là **bậc** của đa thức. Mọi giá trị $x \in \mathbb{R}$ đều thuộc tập xác định của hàm đa thức $f(x)$. Ví dụ:

⁶Chúng ta sẽ đề cập đến đơn thức và đa thức nhiều biến khi đến phần hàm nhiều biến.

- $f(x) = 2x^2 + 3x + 1$ là một đa thức bậc 2 với các hệ số $a_2 = 2$, $a_1 = 3$, $a_0 = 1$;
- $g(y) = y^3 - 4y$ là một đa thức bậc 3 với các hệ số $b_3 = 1$, $b_2 = 0$, $b_1 = -4$, $b_0 = 0$;
- $h(z) = 5$ là một đa thức bậc 0 với hệ số $c_0 = 5$;

Tính toán một số giá trị mẫu:

- $p(1) = 7 \cdot 1^4 - 2 \cdot 1^2 + 9 = 14$ với $q(t) = 7t^4 - 2t^2 + 9$ là một đa thức bậc 4 với các hệ số $d_4 = 7$, $d_3 = 0$, $d_2 = -2$, $d_1 = 0$, $d_0 = 9$;
- $q(2) = -3 \cdot 2 + 8 = 2$ với $q(r) = -3r + 8$ là một đa thức bậc 1 với các hệ số $e_1 = -3$, $e_0 = 8$.

Khi đa thức có bậc bằng 0, hay $f = P_0 = a_0$, thì được gọi là **đa thức hằng** hay **hàm hằng**. Một trường hợp đặc biệt là khi $f = 0$ (hay $f(x) = 0$ với mọi x). Nếu hàm này là đa thức, theo định nghĩa, hàm này chỉ có duy nhất hệ số đầu $a_0 = 0$. Tuy nhiên, cũng theo định nghĩa thì hệ số đầu phải khác 0. Vì vậy, hàm không có bậc và không được gọi là đa thức. Nhưng, do hàm nhận giá trị cố định với mọi x nên vẫn được gọi là hàm hằng⁷.

Bài 5: Phác thảo đồ thị của những hàm sau:

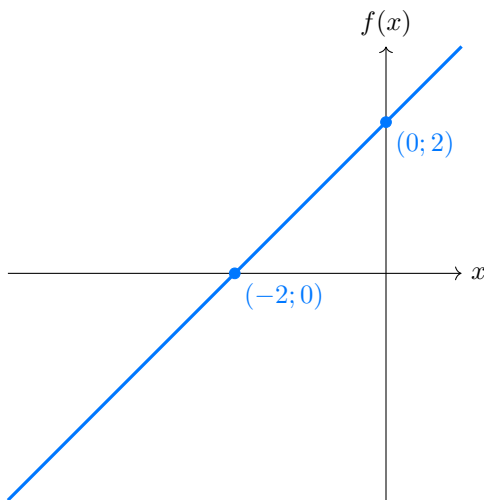
1. $f(x) = x + 2$;
2. $f(x) = x^2 + 2x + 3$;
3. $f(x) = -2x^2 + 5x - 6$;
4. $f(x) = x^3 - 9x^2 + 24x - 16$;
5. $f(x) = 2$;
6. $f(x) = 36x^4 + 28x^3 - 3x^2 - 6x - 1$;
7. $f(x) = -x^6 + x^2 - 4x - 2$;
8. $f(x) = -x^7 + x$.

Lời giải bài 5:

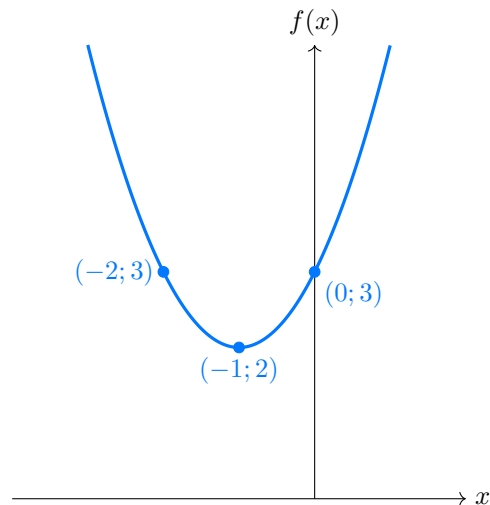
Bạn đọc có thể dùng những phần mềm vẽ đồ thị để nhanh chóng có hình vẽ. Tuy nhiên, nếu không có thiết bị điện tử thì bạn đọc vẫn có thể vẽ đồ thị bằng giấy và bút bằng cách lấy nhiều điểm ví dụ cho x và tính toán giá trị $f(x)$ và sau đó nối chúng lại với nhau.

Bạn đọc có thể để ý rằng là không phải lúc nào cũng đặt gốc tọa độ ở vị trí chính giữa và tỉ lệ xích trên hai trục không phải là giống nhau. Trong nhiều trường hợp, việc ép đặt gốc ở giữa và giữ tỉ lệ giống nhau trên các trục sẽ làm cho đồ thị lệch ra khỏi khu vực vẽ. Điều quan trọng nhất của những bài vẽ đồ thị trong vật lí không chỉ là căn ke chính xác vị trí từng điểm, mà còn là nhận ra được dáng điệu của đồ thị và vị trí tương đối giữa các điểm trên đồ thị đó. Qua đó, chúng ta rút ra được những tính chất toán học cần thiết để phục vụ những yêu cầu cụ thể trong bài tập ứng dụng.

Dưới đây là đồ thị của các hàm đa thức trong bài:

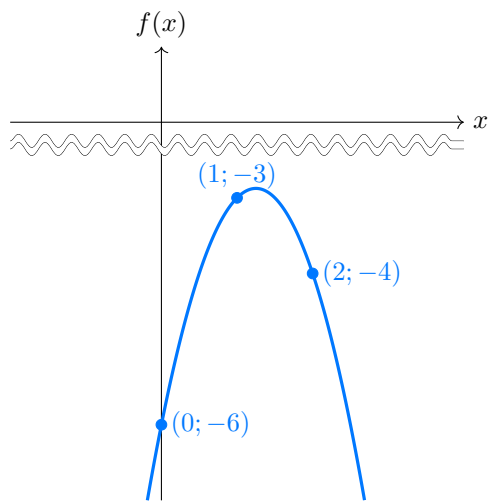
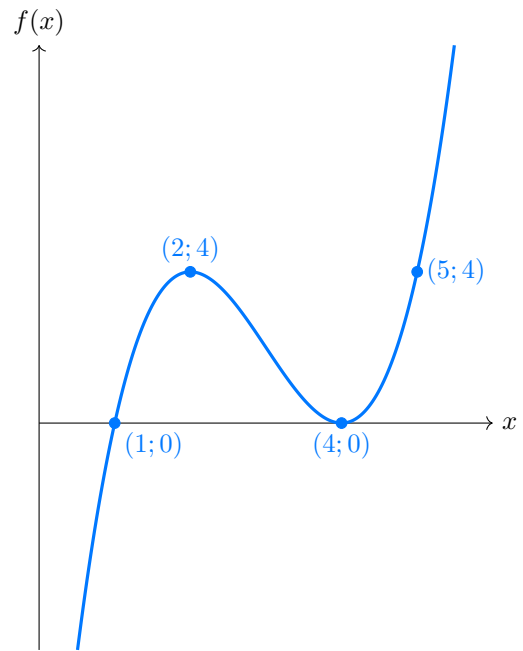


Hình 0.18: Đồ thị của hàm $f(x) = x + 2$

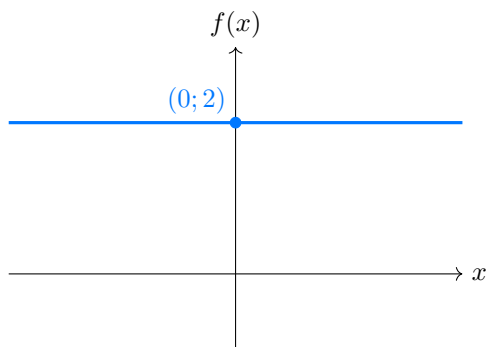
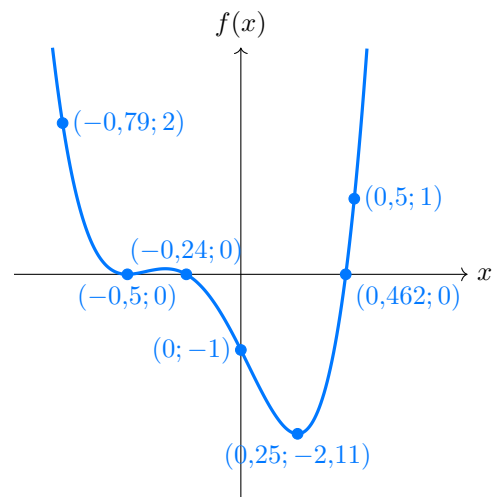


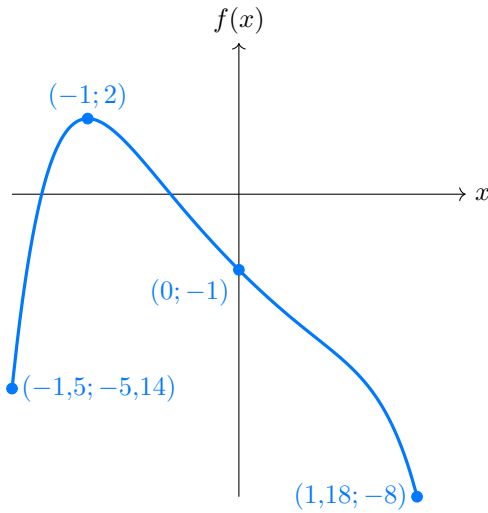
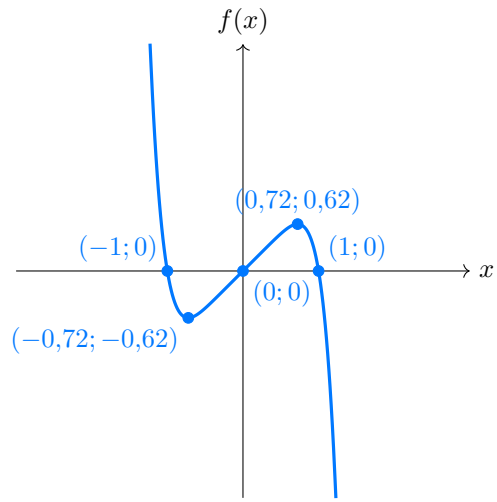
Hình 0.19: Đồ thị của hàm $f(x) = x^2 + 2x + 3$

⁷Đa số những nhà toán học không coi $f = 0$ là đa thức bậc 0 do nhiều tính chất của đa thức bị phá vỡ khi gặp trường hợp này. Tuy nhiên, nhiều người vẫn coi $f = 0$ là đa thức không có bậc. Trong tài liệu này, tác giả không coi 0 là đa thức, nhưng vẫn coi là hàm hằng.

Hình 0.20: Đồ thị của hàm $f(x) = -2x^2 + 5x - 6$ Hình 0.21: Đồ thị của hàm $f(x) = x^3 - 9x^2 + 24x - 16$

Ở hình 0.20, đồ thị có đoạn đứt gãy. Ý nghĩa của cách vẽ này là để cắt bỏ phần đồ thị không cần thiết.

Hình 0.22: Đồ thị của hàm $f(x) = 2$ Hình 0.23: Đồ thị của hàm $f(x) = 36x^4 + 28x^3 - 3x^2 - 6x - 1$

Hình 0.24: Đồ thị của hàm $f(x) = -x^6 + x^2 - 4x - 2$ Hình 0.25: Đồ thị của hàm $f(x) = -x^7 + x$

Bài 6: Giải những phương trình sau. Các phương trình đều có ẩn là $x \in \mathbb{R}$.

1. $3x - 7 = 0$;
2. $x - 9 = 5x + 3$;
3. $\frac{1}{v} \cdot x - \frac{1}{v} \cdot x_0 = t$, với v, x_0, t là những tham số thực;
4. $6x^2 - 5x - 21 = 0$;
5. $5x^2 - 50x + 125 = 0$;
6. $x^2 + 2x + 4 = 0$;
7. $x^2 + 2x + 4 = 8$;
8. $5x^2 - 20x + 20 = x^2 - 4$;
9. $\frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx_0^2$, với k, m, v, x_0 là những tham số thực;
10. $x^3 - \frac{11}{6} \cdot x^2 + x - \frac{1}{6} = 0$;
11. $2x^3 - 2x^2 + 2x - 2 = 6 + 6x^2$;
12. $x^4 + 2x^3 - x^2 - 2x = 0$;
13. $-x^4 - 3x^2 = -5$;
14. $x^4 + 1 = 3x^3 + x^2 + 3x$.

Lời giải bài 6:

1. Biến đổi tương đương phương trình để có:

$$\begin{aligned} 3x - 7 &= 0 \\ \Leftrightarrow 3x &= 7 \\ \Leftrightarrow x &= \frac{7}{3}. \end{aligned}$$

Vậy tập nghiệm của phương trình là $\left\{\frac{7}{3}\right\}$.

2. Chuyển số hạng có thừa số x về một phía, và số hạng tự do về phía còn lại để được:

$$\begin{aligned} x - 9 &= 5x + 3 \\ \Leftrightarrow (x - 9) + (9 - 5x) &= (5x + 3) + (9 - 5x) \\ \Leftrightarrow -4x &= 12 \\ \Leftrightarrow x &= -3. \end{aligned}$$

Vậy tập nghiệm của phương trình là $\{-3\}$.

3. Để giải phương trình có chứa tham số, chúng ta cần viết lại ẩn x dưới dạng một biểu thức chỉ chứa tham số và hằng số. Cụ thể,

$$\begin{aligned} \frac{1}{v} \cdot x - \frac{1}{v} \cdot x_0 &= t \\ \Leftrightarrow \frac{x}{v} &= t + \frac{x_0}{v} \\ \Leftrightarrow x &= vt + x_0. \end{aligned}$$

Vậy nghiệm của phương trình là $\{vt + x_0\}$.

4. Nếu như bạn đọc chưa biết, nếu như một đa thức $f(x)$ nhận $x = a$ là nghiệm thì $f(x)$ có thể được viết thành tích của $(x - a)$ nhân một đa thức $g(x)$ với bậc nhỏ hơn 1 so với $f(x)$. Và nếu $g(x)$ lại có nghiệm $x = b$ thì chúng ta có thể viết $g(x) = (x - b)h(x)$ và qua đó có thể viết lại $f(x) = (x - a)(x - b)h(x)$. Một cách tổng quát nhất, nếu như $f(x)$ là phương trình bậc n có n nghiệm a_1, a_2, \dots, a_n thì có thể viết lại

$$f(x) = A \prod_{i=1}^n (x - a_i) = A(x - a_1)(x - a_2) \cdots (x - a_n)$$

với A là hệ số của số hạng có bậc lớn nhất trong đa thức $f(x)$.

Nhắm nghiệm (bằng cách bấm máy tính) phương trình thì có $x = -\frac{3}{2}$ và $x = \frac{7}{3}$. Chúng ta kì vọng có thể viết lại phương trình dưới dạng $6(x - (-\frac{3}{2}))(x - \frac{7}{3}) = 0$. Thực vậy, thực hiện phân tích nhân tử để có:

$$\begin{aligned} 6x^2 - 5x - 21 &= 0 \\ \iff 6x^2 - 14x + 9x - 21 &= 0 \\ \iff 2x(3x - 7) + 3(3x - 7) &= 0 \\ \iff (2x + 3)(3x - 7) &= 0 \\ \iff \begin{cases} 2x + 3 = 0 \\ 3x - 7 = 0 \end{cases} \iff \begin{cases} x = -\frac{3}{2} \\ x = \frac{7}{3} \end{cases}. \end{aligned}$$

Vậy phương trình có nghiệm là $\left\{-\frac{3}{2}; \frac{7}{3}\right\}$.

5.

$$\begin{aligned} 5x^2 - 50x + 125 &= 0 \\ \iff 5(x^2 - 10x + 25) &= 0 \\ \iff 5(x - 5)^2 &= 0 \\ \iff x - 5 &= 0 \\ \iff x &= 5. \end{aligned}$$

Vậy tập nghiệm của phương trình có một phần tử duy nhất $\{5\}$.

6. Với những phương trình liên quan tới đa thức bậc hai không thể nhắm ngay được nghiệm, chúng ta sẽ sử dụng phương pháp tách bình phương. Với phương trình được cho:

$$\begin{aligned} x^2 + 2x + 4 &= 0 \\ \iff x^2 + 2x + 1 &= -3 \\ \iff (x + 1)^2 &= -3. \end{aligned} \tag{0.1}$$

Một số thực nhân với chính nó sẽ ra một số không âm. Cho nên phương trình 0.1 không thể đúng. Vậy phương trình vô nghiệm trên tập số thực.

7.

$$\begin{aligned} x^2 + 2x + 4 &= 8 \\ \iff x^2 + 2x + 1 &= 5 \\ \iff (x + 1)^2 &= 5 \\ \iff \begin{cases} x + 1 = \sqrt{5} \\ x + 1 = -\sqrt{5} \end{cases} \\ \iff \begin{cases} x = \sqrt{5} - 1 \\ x = -\sqrt{5} - 1 \end{cases}. \end{aligned}$$

Vậy tập nghiệm của phương trình là $\{\sqrt{5} - 1; -\sqrt{5} - 1\}$.

8. Phần này tác giả làm khác so với phần 2. Chuyển đổi toàn bộ phương trình về một vế để đưa về dạng

phương trình $f(x) = 0$:

$$\begin{aligned}
 5x^2 - 20x + 20 &= x^2 - 4 \\
 \iff 4x^2 - 20x + 24 &= 0 \\
 \iff 4(x^2 - 5x + 6) &= 0 \\
 \iff 4(x^2 - 2x - 3x + 6) &= 0 \\
 \iff 4(x(x-2) - 3(x-2)) &= 0 \\
 \iff 4(x-3)(x-2) &= 0 \\
 \iff \begin{cases} x-3=0 \\ x-2=0 \end{cases} &\iff x \in \{3; 2\}.
 \end{aligned}$$

Vậy phương trình có tập nghiệm $\{3; 2\}$.

9. Nhân cả hai vế với 2 để khử phân số trong phương trình:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 &= \frac{1}{2}kx_0^2 \\
 \iff kx^2 + mv^2 &= kx_0^2.
 \end{aligned} \tag{0.2}$$

Xong, thực hiện chuyển vế để giữ thừa số chứa x^2 ở một bên, phương trình 0.2 tương đương với

$$\begin{aligned}
 (0.2) \iff kx^2 &= kx_0^2 - mv^2 \\
 \iff x^2 &= x_0^2 - \frac{mv^2}{k}.
 \end{aligned}$$

Với trường hợp $x_0^2 - \frac{mv^2}{k} < 0$ thì phương trình vô nghiệm do x^2 không thể âm. Trong trường hợp còn lại, lấy căn bậc hai hai vế để có

$$x \in \left\{ \sqrt{x_0^2 - \frac{mv^2}{k}}; -\sqrt{x_0^2 - \frac{mv^2}{k}} \right\}.$$

Tại giá trị đặc biệt mà khi $x_0^2 = \frac{mv^2}{k}$ thì tập nghiệm suy biến thành $\{0\}$.

Vậy, phương trình có nghiệm là

$$\begin{cases} \left\{ \sqrt{x_0^2 - \frac{mv^2}{k}}; -\sqrt{x_0^2 - \frac{mv^2}{k}} \right\} & \text{nếu } x_0^2 - \frac{mv^2}{k} \geq 0 \\ \emptyset & \text{nếu } x_0^2 - \frac{mv^2}{k} < 0 \end{cases}.$$

10. Phân tích thừa số với để ý rằng 1 , $\frac{1}{2}$ và $\frac{1}{3}$ là nghiệm:

$$\begin{aligned}
 x^3 - \frac{11}{6} \cdot x^2 + x - \frac{1}{6} &= 0 \\
 \iff x^3 - x^2 - \frac{5}{6}x^2 + \frac{5}{6}x + \frac{1}{6}x - \frac{1}{6} &= 0 \\
 \iff x^2(x-1) - \frac{5}{6}x(x-1) + \frac{1}{6}(x-1) &= 0 \\
 \iff (x-1) \left(x^2 - \frac{5}{6}x + \frac{1}{6} \right) &= 0 \\
 \iff (x-1) \left(x^2 - \frac{1}{2}x - \frac{1}{3}x + \frac{1}{6} \right) &= 0 \\
 \iff (x-1) \left(x \left(x - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{3} \left(x - \frac{1}{2} \right) \right) &= 0 \\
 \iff (x-1) \left(x - \frac{1}{2} \right) \left(x - \frac{1}{3} \right) &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow \begin{cases} x - 1 = 0 \\ x - \frac{1}{2} = 0 \\ x - \frac{1}{3} = 0 \end{cases} \\ &\Leftrightarrow \begin{cases} x = 1 \\ x = \frac{1}{2} \\ x = \frac{1}{3} \end{cases}. \end{aligned}$$

Cuối cùng, như chúng ta đã dự đoán, phương trình có nghiệm là $\left\{1; \frac{1}{2}; \frac{1}{3}\right\}$.

11. Có một cách là chuyển phương trình về một vế rồi nhân nghiệm. Dưới đây, tác giả sẽ trình bày một góc nhìn khác để giải bài toán này.

$$\begin{aligned} &2x^3 - 2x^2 + 2x - 2 = 6 + 6x^2 \\ \Leftrightarrow &(2x^3 + 2x) - (2x^2 + 2) = 6x^2 + 6 \\ \Leftrightarrow &2x(x^2 + 1) - 2(x^2 + 1) = 6(x^2 + 1) \\ \Leftrightarrow &(2x - 2)(x^2 + 1) = 6(x^2 + 1). \end{aligned} \quad (0.3)$$

Để ý rằng, do $x^2 \geq 0$ nên $x^2 + 1 \geq 1 > 0$. Chúng ta đã chỉ ra rằng $x^2 + 1 \neq 0$, và qua đó, chúng ta có thể an toàn chia hai vế của 0.3 cho $x^2 + 1$ để có:

$$\begin{aligned} &2x - 2 = 6 \\ \Leftrightarrow &x = 4. \end{aligned}$$

Vậy phương trình có nghiệm là $\{4\}$.

12. Dễ dàng thấy được có thể phân tích thừa số của đa thức được cho như sau:

$$\begin{aligned} &x^4 + 2x^3 - x^2 - 2x = 0 \\ \Leftrightarrow &x(x^3 + 2x^2 - x - 2) = 0 \\ \Leftrightarrow &x(x + 2)(x^2 - 1) = 0 \\ \Leftrightarrow &x(x + 2)(x - 1)(x + 1) = 0. \end{aligned}$$

Chia làm 4 trường hợp: $\begin{cases} x = 0 \\ x + 2 = 0 \\ x - 1 = 0 \\ x + 1 = 0 \end{cases}$ và giải từng trường hợp một để có $x \in \{0; -2; 1; -1\}$.

Vậy phương trình có bộ nghiệm là $\{0; -2; 1; -1\}$.

13. Đặt $\mathcal{H} = x^2$ để đưa từ đa thức bậc bốn về đa thức bậc hai như sau:

$$\begin{aligned} &-x^4 - 3x^2 = -5 \\ \Leftrightarrow &-\mathcal{H}^2 - 3\mathcal{H} = -5 \\ \Leftrightarrow &\mathcal{H}^2 + 3\mathcal{H} - 5 = 0. \end{aligned}$$

Giải phương trình bậc hai này bằng công thức nghiệm, chúng ta có:

$$\begin{cases} \mathcal{H} = \frac{-3 + \sqrt{3^2 - 4 \cdot (-5)}}{2} = \frac{-3 + \sqrt{29}}{2} \\ \mathcal{H} = \frac{-3 - \sqrt{3^2 - 4 \cdot (-5)}}{2} = \frac{-3 - \sqrt{29}}{2} \end{cases}.$$

Tuy nhiên, do $\mathcal{H} = x^2 \geq 0$ nên \mathcal{H} chỉ có thể nhận giá trị $\frac{-3 + \sqrt{29}}{2}$, và qua đó $x^2 = \frac{-3 + \sqrt{29}}{2}$. Vậy phương trình có nghiệm là $x \in \left\{\sqrt{\frac{-3 + \sqrt{29}}{2}}; -\sqrt{\frac{-3 + \sqrt{29}}{2}}\right\}$.

14. Bài tập này dành cho những bạn chuyên toán thuần hơn là về ứng dụng. Nhận thấy rằng $x = 0$ không là nghiệm của phương trình. Chia cả hai vế của phương trình cho $x^2 \neq 0$ để có

$$x^2 + \frac{1}{x^2} = 3x + 1 + \frac{3}{x}. \quad (0.4)$$

Đặt $y = x + \frac{1}{x}$, bình phương hai vế để có $y^2 = (x + \frac{1}{x})^2 = x^2 + \frac{1}{x^2} + 2$ hay $x^2 + \frac{1}{x^2} = y^2 - 2$. Thay vào 0.4, chúng ta có:

$$\begin{aligned} y^2 - 2 &= 3y + 1 \\ \Leftrightarrow y^2 - 3y - 3 &= 0. \end{aligned}$$

Giải phương trình này bằng công thức nghiệm:

$$\begin{cases} y = \frac{3 + \sqrt{3^2 - 4 \cdot (-3)}}{2} = \frac{3 + \sqrt{21}}{2} \\ y = \frac{3 - \sqrt{3^2 - 4 \cdot (-3)}}{2} = \frac{3 - \sqrt{21}}{2} \end{cases}. \quad (0.5)$$

Giải phương trình $x + \frac{1}{x} = y$. Nếu chúng ta nhân cả tử và mẫu với x , chúng ta sẽ có phương trình với đa thức bậc hai theo ẩn x :

$$x^2 - yx + 1 = 0.$$

Cũng dùng công thức nghiệm để giải phương trình này để được:

$$\begin{cases} x = \frac{y + \sqrt{y^2 - 4}}{2} \\ x = \frac{y - \sqrt{y^2 - 4}}{2} \end{cases}.$$

Do $x \in \mathbb{R}$ nên giá trị trong dấu khai căn $y^2 - 4$ phải không nhỏ hơn 0. Kiểm tra hai giá trị y tìm được từ 0.5, chúng ta thấy $y = \frac{3 + \sqrt{21}}{2}$ thỏa mãn điều kiện này. Thay thế trực tiếp để tìm được tập nghiệm của phương trình. Cuối cùng, chúng ta có được $x \in \left\{ \frac{3 + \sqrt{21} + \sqrt{14 + 6\sqrt{21}}}{2}; \frac{3 + \sqrt{21} - \sqrt{14 + 6\sqrt{21}}}{2} \right\}$.

Bài 7: Giải các bất phương trình sau. Các bất phương trình đều có ẩn là $x \in \mathbb{R}$.

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. $4x + 7 < 0$; | 5. $x^2 - 11x + 30 > 0$; |
| 2. $-8x - 16 > 0$; | 6. $-3x^2 + 15x - 12 > -2x^2 + 10x - 12$; |
| 3. $x - 2 \geq -2x + 5$; | 7. $-x^4 + 18x^2 - 77 \geq 0$; |
| 4. $x^2 + 6x + 10 \leq 0$; | 8. $x^7 \geq x$. |

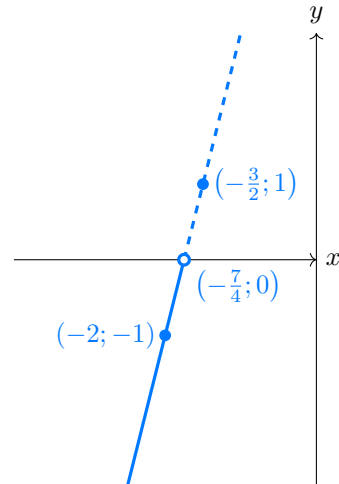
Lời giải bài 7:

1.

$$\begin{aligned} 4x + 7 &< 0 \\ \Leftrightarrow 4x &< -7 \\ \Leftrightarrow x &< -\frac{7}{4}. \end{aligned}$$

Tập nghiệm của bất phương trình là $\left(-\infty; -\frac{7}{4}\right)$.

Để kiểm chứng lại kết quả, chúng ta sẽ sử dụng đồ thị của hàm số $f(x) = 4x + 7$ và kiểm tra xem những điểm nào trên đồ thị có giá trị nhỏ hơn 0 như hình 0.26. Chúng ta không nhận giá trị tại nút nên tại điểm giao với trục hoành, chúng ta vẽ đường tròn rỗng thay vì hình tròn.

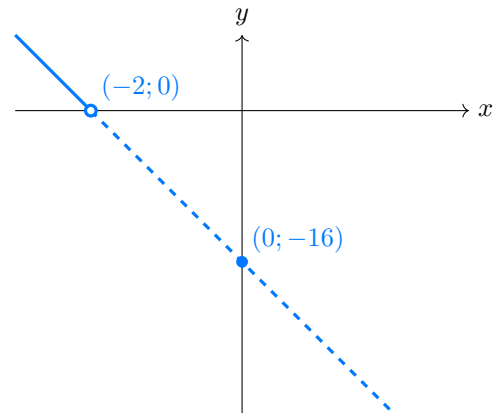


Hình 0.26: Đồ thị biểu diễn $4x + 7$ và khoảng nhỏ hơn 0

2.

$$\begin{aligned}
 & -8x - 16 > 0 \\
 \Leftrightarrow & -8x > 16 \\
 \Leftrightarrow & x < -2. \quad (\text{Chia cho số âm thì đổi dấu bất phương trình.})
 \end{aligned}$$

Tập nghiệm của bất phương trình là $(-\infty; -2)$.

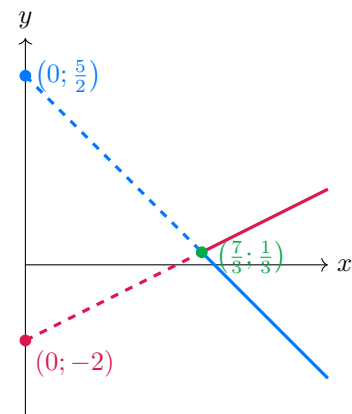


Hình 0.27: Đồ thị biểu diễn $-8x - 16$ và khoảng lớn hơn 0

3.

$$\begin{aligned}
 & x - 2 \geq -2x + 5 \\
 \Leftrightarrow & x + 2x \geq 5 + 2 \\
 \Leftrightarrow & 3x \geq 7 \\
 \Leftrightarrow & x \geq \frac{7}{3}.
 \end{aligned}$$

Tập nghiệm của bất phương trình là $\left[\frac{7}{3}; \infty\right)$.



Hình 0.28: Đồ thị của $x - 2 \geq -2x + 5$

4. Để ý rằng $x^2 + 6x + 10 = (x^2 + 6x + 9) + 1 = (x + 3)^2 + 1 \Rightarrow x^2 + 6x + 10 \geq 1$. Do đó, $x^2 + 6x + 10 \leq 0$ không có nghiệm.

5.

$$\begin{aligned}
 & x^2 - 11x + 30 > 0 \\
 \Leftrightarrow & (x - 5)(x - 6) > 0. \quad (\text{Phân tích đa thức thành nhân tử.}) \quad (0.6)
 \end{aligned}$$

Do 0.6, nên nghiệm của $(x - 5)(x - 6) = 0$ hay $x \in \{5; 6\}$ không là nghiệm của 0.6.

$$\text{Với } 5 < x < 6, \begin{cases} x - 5 > 0 \\ x - 6 < 0 \end{cases} \text{ cho nên } (x - 5)(x - 6) < 0.$$

Trường hợp này không thỏa mãn 0.6.

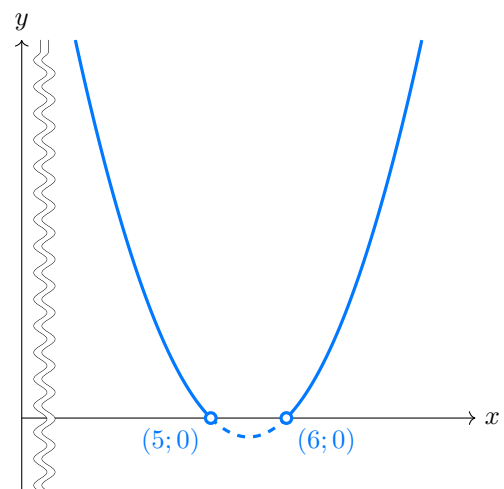
$$\text{Với } x < 5, \begin{cases} x - 5 < 0 \\ x - 6 < 0 \end{cases} \text{ cho nên } (x - 5)(x - 6) > 0$$

(Tích hai số âm là một số dương.) thỏa mãn (0.6).

$$\text{Với } x > 6, \begin{cases} x - 5 > 0 \\ x - 6 > 0 \end{cases} \Rightarrow (x - 5)(x - 6) > 0 \text{ thỏa}$$

mãn (0.6).

Vậy tập nghiệm của bất phương trình này là $(-\infty; 5) \cup (6; \infty)$.



Hình 0.29: Đồ thị của $x^2 - 11x + 30 > 0$

Khi bạn đọc đã quen xét trường hợp thì có thể viết ngắn gọn lại dưới dạng bảng xét dấu như bảng 0.6.

x	$-\infty$	5	6	∞
$x - 5$	-	0	+	+
$x - 6$	-	-	0	+
$(x - 5)(x - 6)$	+	0	-	+

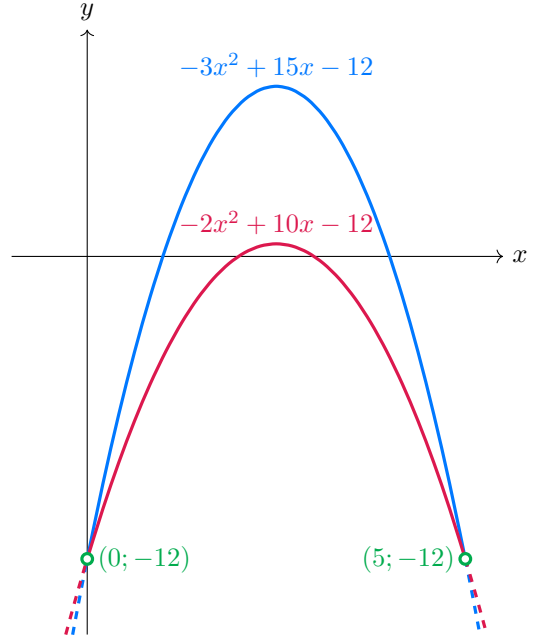
Bảng 0.6: Bảng xét dấu cho $(x - 5)(x - 6)$

6.

$$\begin{aligned}
& -3x^2 + 15x - 12 > -2x^2 + 10x - 12 \\
\iff & -3x^2 + 2x^2 + 15x - 10x > -12 + 12 \\
& \iff -x^2 + 5x > 0 \\
& \iff x(-x + 5) > 0 \\
& \iff x(x - 5) < 0.
\end{aligned} \tag{0.7}$$

Kẻ bảng xét dấu:

x	$-\infty$	0	5	∞
x	-	0	+	+
$x - 5$	-	-	0	+
$x(x - 5)$	+	0	-	+

Hình 0.30: Bảng xét dấu cho $x(x - 5)$ Vậy nghiệm của 0.7 là $x \in (0; 5)$.Hình 0.31: Đồ thị của $-3x^2 + 15x - 12 > -2x^2 + 10x - 12$ 7. Có thể coi đa thức bậc 4 này là một đa thức bậc 2 với ẩn là x^2 . Thực hiện phân tích nhân tử để có

$$\begin{aligned}
& -x^4 + 18x^2 - 77 \geq 0 \\
\iff & x^4 - 18x^2 + 77 \leq 0 \quad (\text{Nhân } -1 \text{ ở cả hai vế.}) \\
\iff & (x^2 - 7)(x^2 - 11) \leq 0 \\
\iff & (x - \sqrt{7})(x + \sqrt{7})(x - \sqrt{11})(x + \sqrt{11}) \leq 0.
\end{aligned}$$

Kẻ bảng xét dấu

x	$-\infty$	$-\sqrt{11}$	$-\sqrt{7}$	$\sqrt{7}$	$\sqrt{11}$	∞	
$x - \sqrt{7}$	$-$	$-$	$-$	0	$+$	$+$	
$x + \sqrt{7}$	$-$	$-$	0	$+$	$+$	$+$	
$x - \sqrt{11}$	$-$	$-$	$-$	$-$	0	$+$	
$x + \sqrt{11}$	$-$	0	$+$	$+$	$+$	$+$	
$x^4 - 18x^2 + 77$	$+$	0	$-$	0	$-$	0	$+$

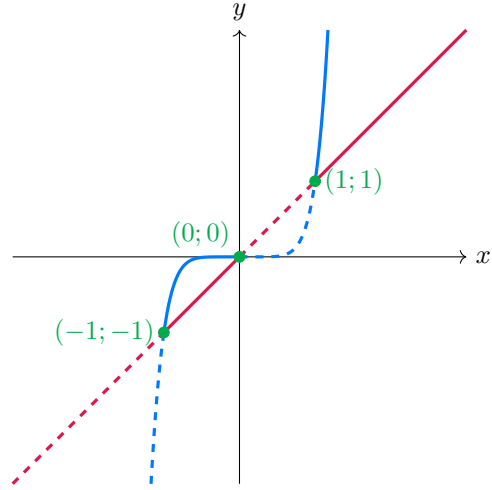
Hình 0.32: Bảng xét dấu cho $x^4 - 18x^2 + 77$ Từ bảng, chúng ta có tập nghiệm của bất phương trình là $[-\sqrt{11}; -\sqrt{7}] \cup [\sqrt{7}; \sqrt{11}]$.

8.

$$\begin{aligned}
& x^7 \geq x \\
& \Leftrightarrow x^7 - x \geq 0 \\
& \Leftrightarrow x(x^6 - 1) \geq 0 \\
& \Leftrightarrow x(x^3 - 1)(x^3 + 1) \geq 0 \\
& \Leftrightarrow x(x - 1)(x^2 + x + 1)(x + 1)(x^2 + x + 1) \geq 0. \quad (0.8)
\end{aligned}$$

Cần phải để ý rằng $x^2 + x + 1 = (x + \frac{1}{2})^2 + \frac{3}{4} \geq \frac{3}{4}$ và $x^2 - x + 1 = (x - \frac{1}{2})^2 + \frac{3}{4} \geq \frac{3}{4}$ đều là hai số dương. Chia cả hai vế của 0.8 cho hai số dương, chúng ta có:

$$(0.8) \Leftrightarrow x(x - 1)(x + 1) \geq 0. \quad (0.9)$$

Hình 0.33: Đồ thị của $x^7 \geq x$

Kẻ bảng xét dấu cho 0.9:

x	$-\infty$	-1	0	1	∞
x		$-$	0	$+$	$+$
$x - 1$		$-$	$-$	0	$+$
$x + 1$		$-$	0	$+$	$+$
$x(x - 1)(x + 1)$		$-$	0	$+$	$+$

Vậy tập nghiệm của bất phương trình là $(-\infty; -1] \cup [0; 1]$.

Bài 8: Xác định tập giá trị của những hàm sau:

- $f(x) = 0$;
- $f(x) = 10x - 20$;
- $f(x) = x^2 + 2x + 3$;
- $f(x) = x^4 + 2x^2 + 3$.

Lời giải bài 8:

- Theo định nghĩa, do hàm chỉ trả về kết quả là 0 nên tập giá trị của f là $\{0\}$.
- Nhận thấy mọi giá trị $y \in \mathbb{R}$ đều có thể là kết quả của f do:

$$f\left(\frac{y}{10} + 2\right) = 10\left(\frac{y}{10} + 2\right) - 20 = y.$$

Vậy tập giá trị của f là \mathbb{R} .

3. Theo đồ thị 0.19, chúng ta thấy được f nhận mọi giá trị trong khoảng $[2; \infty)$. Về mặt đại số, biến đổi f để có:

$$f(x) = x^2 + 2x + 3 = (x + 1)^2 + 2 \geq 2.$$

Điều này khẳng định là nếu $y = f(x)$ thì $y \geq 2$. Tuy nhiên, nó chưa khẳng định là $y \geq 2$ là đủ để có x thỏa mãn $y = f(x)$. Để làm được điều này, chúng ta phải viết phương trình $y = f(x)$ và tìm một x là nghiệm của phương trình đó. Với $y \geq 2$, chúng ta đặt $x = -1 + \sqrt{y - 2}$ và thực hiện tính $f(x)$:

$$\begin{aligned}
f\left(-1 + \sqrt{y - 2}\right) &= \left(-1 + \sqrt{y - 2}\right)^2 + 2\left(-1 + \sqrt{y - 2}\right) + 3 \\
&= \left(1 - 2\sqrt{y - 2} + y - 2\right) + \left(-2 + 2\sqrt{y - 2}\right) + 3 \\
&= y.
\end{aligned}$$

Qua đó, chúng ta kết luận với $y \geq 2$ thì tồn tại x để $y = f(x)$.

Vậy tập giá trị của f là $[2; \infty)$.

4. Bình phương của một số thì luôn không âm. Cho nên $x^2 \geq 0$ và $x^4 = x^2 \times x^2$ là tích của hai số không âm thì là một số không âm. Do đó $x^4 + 2x^2 + 3 \geq 3$.

Ngược lại, mọi số thực y từ 3 trở lên đều có thể có một giá trị x sao cho $x^4 + 2x^2 + 3 = y$. Do $y \geq 3$ nên

$$\begin{aligned}
& y - 2 \geq 1 \\
& \Leftrightarrow \sqrt{y - 2} \geq 1 \\
& \Leftrightarrow \sqrt{y - 2} - 1 \geq 0.
\end{aligned}$$

Qua đó, chúng ta có thể lấy khai căn và đặt $x = \sqrt{\sqrt{y-2}-1}$. Khi này, thực hiện tương tự như đã làm ở phần 3 để có $f(x) = y$. Vậy tập giá trị của f là $[3; \infty)$.

0.1.5 Phép tính đại số trên hàm

Giống như khi chúng ta làm những phép cộng, trừ, nhân, chia với số, chúng ta cũng có thể thực hiện các phép tính đại số đó lên hàm số thực. Với kí hiệu tương tự, nếu có hai hàm f và g thì định nghĩa các **hàm tổng** $f + g$, **hàm hiệu** $f - g$, **hàm tích** $f \cdot g$ ⁸, **hàm thương** $\frac{f}{g}$ như sau:

$$\begin{aligned}(f + g)(x) &= f(x) + g(x); \\(f - g)(x) &= f(x) - g(x); \\(f \cdot g)(x) &= f(x) \cdot g(x); \\ \left(\frac{f}{g}\right)(x) &= \frac{f(x)}{g(x)} \text{ với } g(x) \neq 0.\end{aligned}$$

Khi này, tập xác định của hàm mới sẽ là tập hợp các giá trị x thuộc tập xác định của cả f và g . Trong trường hợp $\frac{f}{g}$, cần loại bỏ các giá trị x khiến cho $g(x) = 0$.

Bài 9: Xác định tập xác định và tập giá trị của hàm $\#$ nếu biết

1. $f(x) = 4 - 7x$, $g(x) = 2x - 5$ và $\#(x) = (f + g)(x)$ với mọi x thực;

2.

x	-2	0	1	2
$f(x)$	9	1	-5	-4
$h(x)$	7	7	0	3

 và $\#(x) = (f - h)(x)$. f và h chỉ nhận các giá trị ở trong bảng.

3. $f(x) = 4 - 7x$, $g(x) = 2x - 5$ và $\#(x) = (f \cdot g)(x)$ với mọi x thực;

4.

x	-2	0	1	2
$f(x)$	9	1	-5	-4
$h(x)$	7	7	0	3

 và $\#(x) = \left(\frac{f}{h}\right)(x)$. f và h chỉ nhận các giá trị ở trong bảng.

Lời giải bài 9:

1.

$$\#(x) = (f + g)(x) = f(x) + g(x) = (4 - 7x) + (2x - 5) = -5x - 1.$$

Do $f(x)$ và $g(x)$ đều có tập xác định là \mathbb{R} nên tập xác định của $\#(x)$ cũng là \mathbb{R} . Để ý rằng, mọi $y \in \mathbb{R}$ đều có thể là giá trị của $\#(x)$ do

$$\# \left(\frac{y+1}{-5} \right) = -5 \left(\frac{y+1}{-5} \right) - 1 = y + 1 - 1 = y.$$

Qua đó, tập giá trị của $\#(x)$ là \mathbb{R} .

2. Kẻ bảng kết hợp với hàm $\#$, chúng ta có:

x	-2	0	1	2
$f(x)$	9	1	-5	-4
$h(x)$	7	7	0	3
$\#(x) = (f - h)(x) = f(x) - h(x)$	2	-6	-5	-7

Bảng 0.7: Bảng kết hợp với hàm $\# = (f - h)(x)$ của phần 2

Để ý rằng do $f(x)$ và $g(x)$ đều chỉ nhận đầu vào là $\{-2; 0; 1; 2\}$ nên tập xác định của $\#(x)$ cũng là $\{-2; 0; 1; 2\}$. Ngoài ra, theo bảng 0.7, tập giá trị của $\#(x)$ là $\{-6; -5; -7; 2\}$.

3.

$$\#(x) = (f \cdot g)(x) = f(x) \cdot g(x) = (4 - 7x) \cdot (2x - 5) = -14x^2 + 37x - 20.$$

Do $f(x)$ và $g(x)$ đều có tập xác định là \mathbb{R} nên tập xác định của $\#(x)$ cũng là \mathbb{R} .

⁸Hạn chế viết hàm tích dưới dạng “ fg ” do có khả năng nhầm lẫn với hàm có tên là “ fg ”. Trong tương lai, hàm có thể có nhiều kí tự trong tên như hàm cos hay hàm tan.

Mặt khác, chúng ta có:

$$\begin{aligned}\mathfrak{F}(x) &= -14x^2 + 37x - 20 \\ &= -14 \left(x^2 - \frac{37}{14}x \right) - 20 \\ &= -14 \left(x^2 - \frac{37}{14}x + \left(\frac{37}{28} \right)^2 - \left(\frac{37}{28} \right)^2 \right) - 20 \\ &= -14 \left(x - \frac{37}{28} \right)^2 + \frac{249}{56}.\end{aligned}$$

Suy ra, $\mathfrak{F}(x) \geq \frac{249}{56}$ với mọi $x \in \mathbb{R}$. Ngược lại, với mọi $y \geq \frac{249}{56}$, tồn tại $x \in \mathbb{R}$ sao cho $\mathfrak{F}(x) = y$ với ví dụ là $x = \frac{\sqrt{249 - 56y} + 37}{28}$. Vậy, tập giá trị của $\mathfrak{F}(x)$ là $\left[\frac{249}{56}; \infty \right)$.

4. Kẻ bảng kết hợp với hàm \mathfrak{F} , chúng ta có:

x	-2	0	1	2
$f(x)$	9	1	-5	-4
$h(x)$	7	7	0	3
$\mathfrak{F}(x) = \left(\frac{f}{h} \right)(x) = \frac{f(x)}{h(x)}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{1}{7}$	Không xác định	$-\frac{4}{3}$

Bảng 0.8: Bảng kết hợp với hàm $\mathfrak{F} = \left(\frac{f}{h} \right)(x)$ của phần 4

Khi xác định tập giá trị của $\mathfrak{F}(x)$ cần phải để ý điều kiện $h(x) \neq 0$. Qua bảng 0.8, ta thấy $h(x) = 0$ khi $x = 1$. Vậy, tập xác định của $\mathfrak{F}(x)$ là $\{-2; 0; 2\}$. Theo bảng, chúng ta cũng có tập giá trị của $\mathfrak{F}(x)$ được xác định là $\left\{ \frac{9}{7}; \frac{1}{7}; -\frac{4}{3} \right\}$.

0.1.6 Hàm phân thức

Hàm cộng, hàm trừ và hàm nhân của hai hàm đa thức là những hàm đa thức. Tuy nhiên, hàm thương lại không như vậy. Do khi chia hai đa thức có những tính chất đặc biệt, nên chúng ta xây dựng một khái niệm mới là hàm **phân thức**. Một hàm f được gọi là phân thức nếu $\mathbf{f} = \mathbf{0}$, hoặc:

$$\mathbf{f} = \left(\frac{p}{q} \right)$$

với p và q là hai đa thức. Trong trường hợp $f \neq 0$, tập xác định của f là tập hợp các giá trị x sao cho $q(x) \neq 0$.

Khái niệm về phân thức dẫn chúng ta một cách tự nhiên đến khái niệm về một dạng phân thức đặc biệt mang tên **số mũ âm**. Khi mũ một số với số âm, chúng ta có thể viết lại là

$$x^{-n} = \frac{1}{x^n}$$

với $x \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ và $n \in \mathbb{Z}^+$.

Bài 10: Cho biết tập xác định, tập giá trị và phác thảo đồ thị của những hàm sau:

- | | | |
|-------------------------------------|---|--|
| 1. $f(x) = \frac{2}{x};$ | 4. $f(x) = \frac{x^2 + 4x - 5}{x - 1};$ | 7. $f(x) = \frac{x + 1}{2x^2 + 5x - 3};$ |
| 2. $f(x) = \frac{1}{x^2 + 4x + 4};$ | 5. $f(x) = \frac{x - 1}{x^2 + 4x - 5};$ | 8. $f(x) = \frac{x^2 - 3x - 2}{x^2 + 2x + 1};$ |
| 3. $f(x) = \frac{2x - 5}{x - 3};$ | 6. $f(x) = \frac{1}{x^2 + x + 1}.$ | 9. $f(x) = \frac{2x^2 + 2}{x - 2};$ |

Lời giải bài 10:

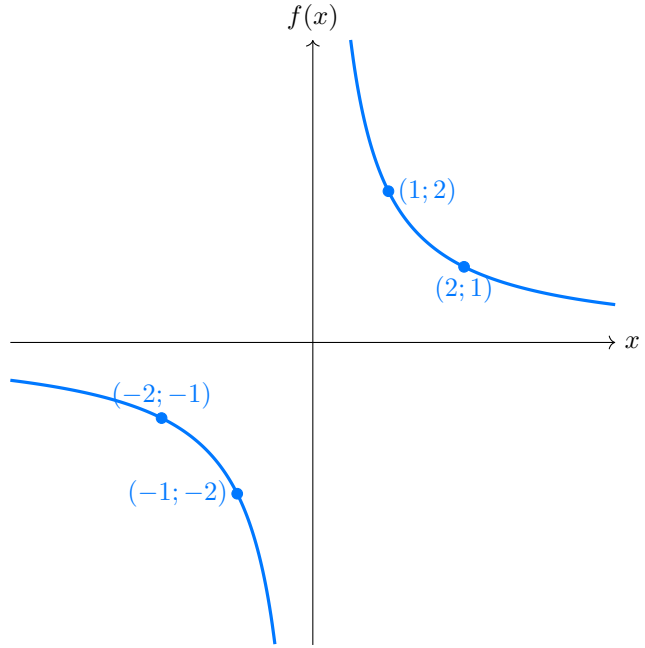
1. Theo định nghĩa hàm phân thức, tập xác định của hàm $f(x) = \frac{2}{x}$ là $\mathbb{R} \setminus \{0\}$.

Kết quả của $f(x)$ phải khác 0 do nếu như vậy thì $f(x) = \frac{2}{x} = 0 \implies 2 = 0 \times x = 0$, vô lí.

Tuy nhiên, mọi số y khác 0 đều có thể là giá trị của $f(x)$ do

$$f\left(\frac{2}{y}\right) = \frac{2}{\frac{2}{y}} = y.$$

Vậy tập giá trị của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{0\}$.



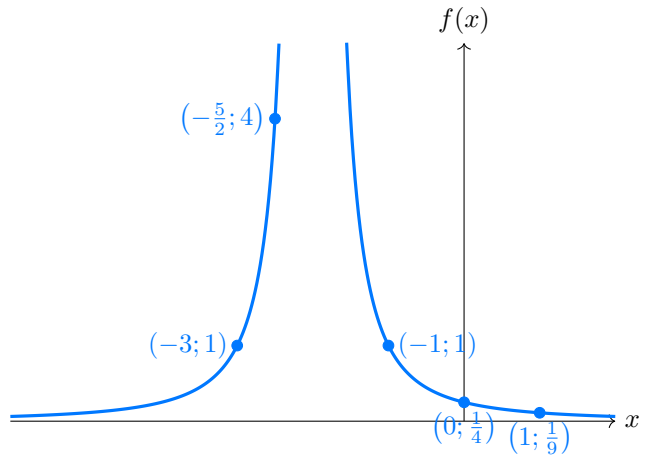
Hình 0.34: Đồ thị của hàm $f(x) = \frac{2}{x}$

2. Để phân thức có nghĩa thì mẫu số của phân thức phải khác 0. Viết và bất phương trình này:

$$\begin{aligned} x^2 + 4x + 4 &\neq 0 \\ \iff (x + 2)^2 &\neq 0 \\ \iff x + 2 &\neq 0 \\ \iff x &\neq -2 \end{aligned}$$

Vậy tập xác định của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{-2\}$.

Có mẫu số $x^2 + 4x + 4 = (x + 2)^2 \geq 0$, mà mẫu số phải khác 0 nên có $x^2 + 4x + 4 > 0$. Chia hai số dương luôn được số dương, cho nên $f(x)$ chỉ nhận giá trị dương.



Hình 0.35: Đồ thị của hàm $f(x) = \frac{1}{x^2 + 4x + 4}$

Ngược lại, mọi giá trị dương y đều có thể biểu diễn thông qua $f(x)$ do

$$\begin{aligned} f\left(-2 + \frac{1}{\sqrt{y}}\right) &= \frac{1}{\left(-2 + \frac{1}{\sqrt{y}}\right)^2 + 4\left(-2 + \frac{1}{\sqrt{y}}\right) + 4} \\ &= \frac{1}{\left(\left(-2 + \frac{1}{\sqrt{y}}\right) + 2\right)^2} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{y}}\right)^2} = \frac{1}{\frac{1}{y}} = y. \end{aligned}$$

Vậy tập giá trị của $f(x)$ là \mathbb{R}^+ .

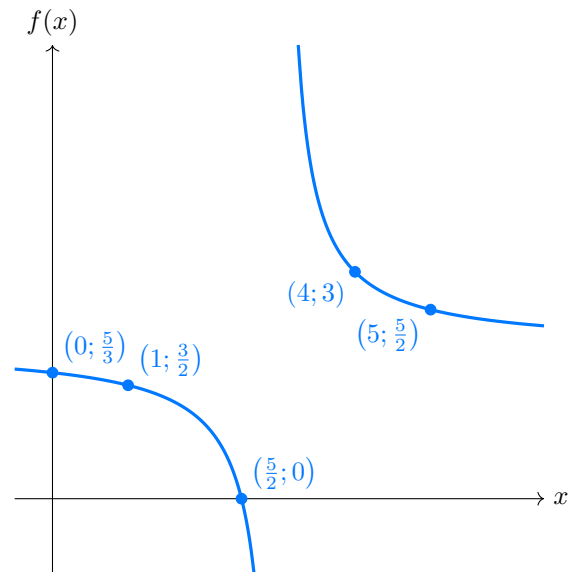
3. Để x thuộc tập xác định của hàm $f(x) = \frac{2x-5}{x-3}$ thì $x-3 \neq 0 \Rightarrow x \neq 3$. Vậy tập xác định của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{3\}$.

Giả sử có y sao cho $y = f(x)$. Khi này, chúng ta có

$$\begin{aligned} y &= \frac{2x-5}{x-3} \\ \Rightarrow y(x-3) &= 2x-5 \\ \Leftrightarrow yx-3y &= 2x-5 \\ \Leftrightarrow yx-2x &= 3y-5 \\ \Leftrightarrow x(y-2) &= 3y-5. \end{aligned}$$

Nếu $y = 2$ thì chúng ta sẽ có $x(y-2) = 3y-5$
 $5 \Rightarrow x(2-2) = 3 \times 2 - 5 \Rightarrow 0 = 1$, vô lí.

Nếu $y \neq 2$ thì $x = \frac{3y-5}{y-2}$. Thay ngược lại giá trị x này:



Hình 0.36: Đồ thị của $f(x) = \frac{2x-5}{x-3}$

$$f\left(\frac{3y-5}{y-2}\right) = \frac{2\left(\frac{3y-5}{y-2}\right) - 5}{\left(\frac{3y-5}{y-2}\right) - 3} = \frac{\frac{6y-10-5y+10}{y-2}}{\frac{3y-5-3y+6}{y-2}} = \frac{\frac{y}{y-2}}{\frac{1}{y-2}} = y.$$

Qua lập luận vừa rồi, chúng ta có kết luận rằng tập giá trị của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{2\}$.

4. Giải tập xác định:

$$x-1 \neq 0 \Leftrightarrow x \neq 1.$$

Qua đó, tập xác định của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{1\}$.

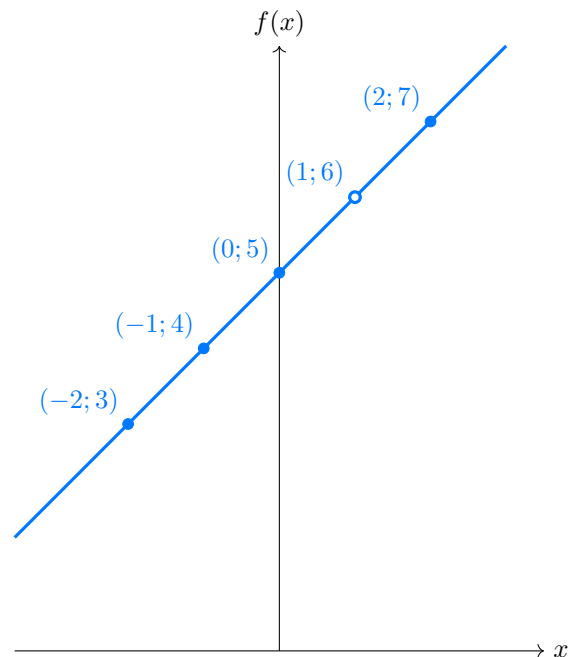
Đặt $y = f(x)$, với giả thiết $x \neq 1$ thì

$$y = \frac{x^2 + 4x - 5}{x-1} = \frac{(x+5)(x-1)}{x-1} = x+5.$$

Nhận thấy rằng $y \neq 6$, do nếu ngược lại thì sẽ cần phải có $x = 1$, không thỏa mãn tập xác định của $f(x)$. Với mọi giá trị khác của y đều có thể là đầu ra, do hiển nhiên rằng $f(y-5) = y$ như biến đổi ở trên.

Vậy tập giá trị của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{6\}$.

Tương tự khi giải bất phương trình, khi biểu diễn đồ thị có đứt đoạn, người ta thường vẽ đường tròn rỗng tại điểm bị đứt như đồ thị hình 0.37.



Hình 0.37: Đồ thị của $f(x) = \frac{x^2+4x-5}{x-1}$

5. Giải tập xác định, $f(x)$ xác định khi và chỉ khi

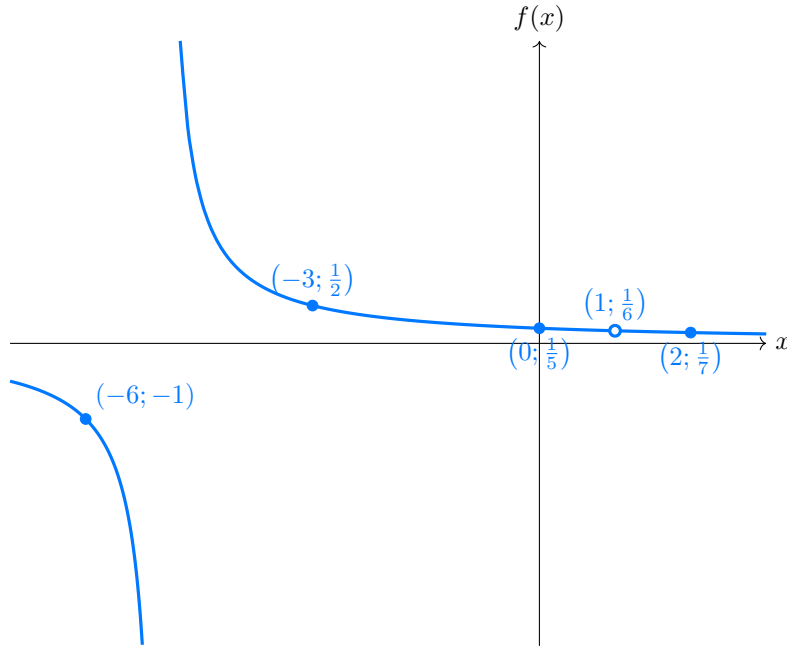
$$\begin{aligned} x^2 + 4x - 5 &\neq 0 \\ \Leftrightarrow (x+5)(x-1) &\neq 0 \\ \Leftrightarrow x &\notin \{-5; 1\}. \end{aligned}$$

Tập xác định của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{-5; 1\}$.

Đặt $y = f(x) = \frac{x-1}{x^2+4x-5} = \frac{x-1}{(x+5)(x-1)} = \frac{1}{x+5}$. Qua đó, y không thể bằng 0. Khi $y \neq 0$, biến đổi cho chúng ta được $x = \frac{1}{y} - 5$. Do điều kiện tập xác định lên x nên $y \neq \frac{1}{6}$.

Kiểm chứng đại số cơ bản cho chúng ta được nếu $y \notin \{0; \frac{1}{6}\}$ thì có thể đặt $x = \frac{1}{y} - 5$ để có $f(x) = y$.

Vậy tập giá trị của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{0; \frac{1}{6}\}$.



Hình 0.38: Đồ thị của $\frac{x-1}{x^2+4x-5}$

6. Để ý rằng $x^2 + x + 1 = (x + \frac{1}{2})^2 + \frac{3}{4} \geq \frac{3}{4}$ với mọi giá trị thực của x . Cho nên $f(x) = \frac{1}{x^2+x+1}$ là hai số dương chia cho nhau luôn có nghĩa. Cho nên, tập xác định của $f(x)$ là \mathbb{R} .

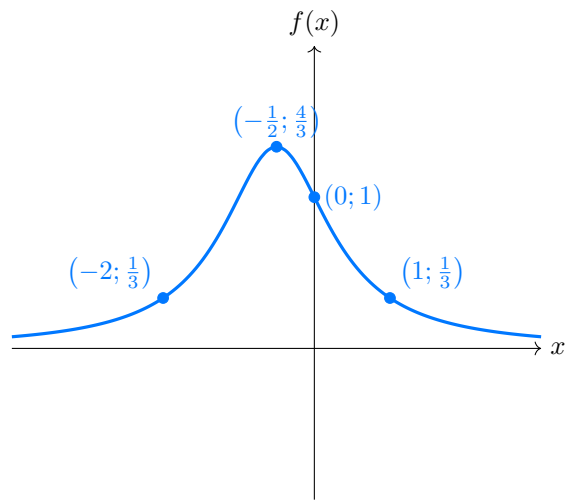
Cũng từ $x^2 + x + 1 \geq \frac{3}{4}$ mà chúng ta có $\frac{1}{x^2+x+1} \leq \frac{4}{3}$ (Cùng chia cả hai vế cho số dương $\frac{3(x^2+x+1)}{4}$).

Ngoài ra, do là phép chia hai số dương nên $\frac{1}{x^2+x+1} > 0$. Do đó, $0 < f(x) \leq \frac{4}{3}$.

Ngược lại, mọi $y \in (0; \frac{4}{3}]$ đều có thể biểu diễn thông qua $f(x)$, do

$$\begin{aligned} f\left(\sqrt{\frac{4-3y}{4y}} - \frac{1}{2}\right) &= \frac{1}{\left(\left(\sqrt{\frac{4-3y}{4y}} - \frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}} \\ &= \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{4-3y}{4y}}\right)^2 + \frac{3}{4}} \\ &= \frac{1}{\frac{4-3y}{4y} + \frac{3}{4}} \\ &= \frac{1}{\frac{4-3y+3y}{4y}} \\ &= \frac{1}{\frac{4}{4y}} \\ &= y. \end{aligned}$$

Vậy tập giá trị của $f(x)$ là $(0; \frac{4}{3}]$.



Hình 0.39: Đồ thị của $f(x) = \frac{1}{x^2+x+1}$

7. Để $f(x)$ có nghĩa thì mẫu số phải khác 0. Có:

$$\begin{aligned} 2x^2 + 5x - 3 &\neq 0 \\ \Leftrightarrow (2x - 1)(x + 3) &\neq 0 \quad (\text{Phân tích đa thức thành nhân tử.}) \\ \Leftrightarrow x &\notin \left\{ \frac{1}{2}; -3 \right\}. \end{aligned}$$

Qua đó, tập xác định của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \left\{ \frac{1}{2}; -3 \right\}$.

Bây giờ, chúng ta cần tìm những giá trị y sao cho tồn tại x để $y = f(x)$. Với $y = 0$ thì có $f(-1) = 0$ từ đồ thị 0.40. Với $y \neq 0$, đặt

$$x = \frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - 5y + 1}{4y}.$$

x luôn nhận giá trị thực do mẫu số khác 0 ($4y \neq 0$) và phần tử bên trong dấu khai căn $49y^2 - 2y + 1 = 48y^2 + y^2 - 2y + 1 = 48y^2 + (y - 1)^2$ luôn không âm. Thay giá trị x này vào tử số của $f(x)$:

$$\begin{aligned} x + 1 &= \frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - 5y + 1}{4y} + 1 \\ &= \frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - y + 1}{4y}. \end{aligned}$$

Thay giá trị của y vào mẫu:

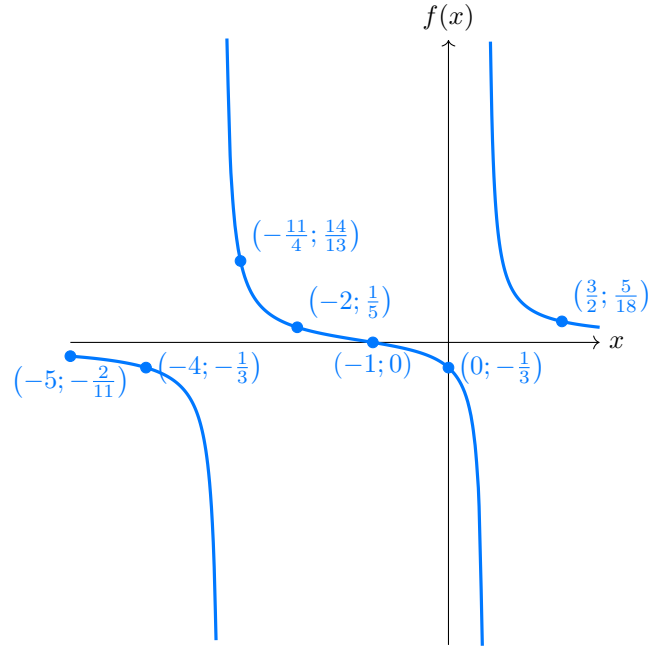
$$\begin{aligned} 2x^2 + 5x - 3 &= (x + 3)(2x - 1) \\ &= \left(\frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - 5y + 1}{4y} + 3 \right) \left(2 \cdot \frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - 5y + 1}{4y} - 1 \right) \\ &= \frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} + 7y + 1}{4y} \cdot \frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - 7y + 1}{2y} \\ &= \frac{\left(\sqrt{49y^2 - 2y + 1} + 1 \right)^2 - (7y)^2}{8y^2} \\ &= \frac{49y^2 - 2y + 1 + 2\sqrt{49y^2 - 2y + 1} + 1 - 49y^2}{8y^2} \\ &= \frac{2\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - 2y + 2}{8y^2} \\ &= \frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - y + 1}{4y^2}. \end{aligned}$$

Mẫu số này khác 0 do nếu bằng 0 thì chúng ta sẽ có

$$\begin{aligned} \sqrt{49y^2 - 2y + 1} - y + 1 &= 0 \\ \Leftrightarrow \sqrt{49y^2 - 2y + 1} &= y - 1 \\ \Rightarrow 49y^2 - 2y + 1 &= (y - 1)^2 \\ \Leftrightarrow 49y^2 - 2y + 1 &= y^2 - 2y + 1 \\ \Leftrightarrow 48y^2 &= 0 \\ \Leftrightarrow y &= 0 \end{aligned}$$

mâu thuẫn với giả thiết $y \neq 0$. Lấy tử số chia cho mẫu số và khử bỏ thừa số chúng để có

$$f\left(\frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - 5y + 1}{4y}\right) = \frac{\frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - y + 1}{4y}}{\frac{\sqrt{49y^2 - 2y + 1} - y + 1}{4y^2}} = y.$$



Hình 0.40: Đồ thị của $f(x) = \frac{x+1}{2x^2+5x-3}$

Chúng ta đã thể hiện rằng mọi số y đều có thể biểu diễn thông qua $f(x)$. Vậy tập giá trị của $f(x)$ là \mathbb{R} .

8. Giải tập xác định:

$$\begin{aligned} x^2 + 2x + 1 &\neq 0 \\ \iff (x+1)^2 &\neq 0 \\ \iff x &\neq -1. \end{aligned}$$

Qua đó, chúng ta có tập xác định của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{-1\}$.

Giải tập giá trị sẽ khó hơn. Gọi $y \in \mathbb{R}$ và giả sử $y = f(x)$. Khi này,

$$\begin{aligned} y &= \frac{x^2 - 3x - 2}{x^2 + 2x + 1} \\ \implies y(x^2 + 2x + 1) &= x^2 - 3x - 2 \\ \iff yx^2 + 2yx + y &= x^2 - 3x - 2 \\ \iff (y-1)x^2 + (2y+3)x + (y+2) &= 0. \end{aligned} \tag{0.10}$$

Nếu $y = 1$ thì từ (0.10), $5x + 3 = 0 \iff x = -\frac{3}{5}$. Vậy 1 có thể là kết quả của $f(x)$.

Trong trường hợp còn lại, coi (0.10) là phương trình bậc hai với x là nghiệm. Để tồn tại nghiệm thì $\Delta \geq 0$, với Δ là

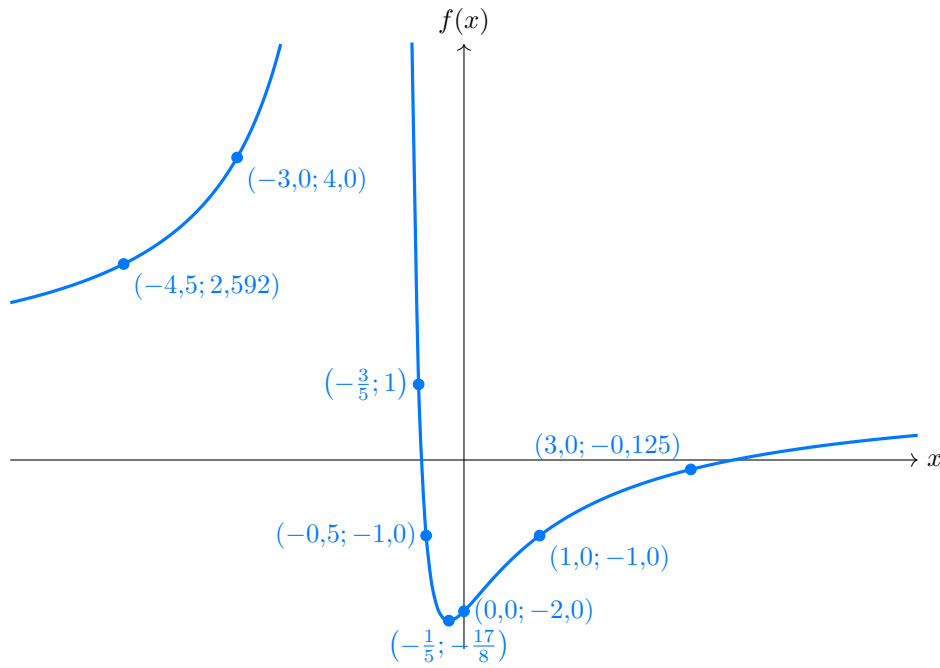
$$\begin{aligned} &= (2y+3)^2 - 4(y-1)(y+2) \\ &= 4y^2 + 12y + 9 - 4(y^2 + y - 2) \\ &= 4y^2 + 12y + 9 - 4y^2 - 4y + 8 \\ &= 8y + 17. \end{aligned}$$

Từ đó, để $\Delta \geq 0$ thì $8y + 17 \geq 0 \iff y \geq -\frac{17}{8}$.

Kiểm tra ngược tập giá trị, chúng ta đã biết 1 thuộc tập giá trị này. Với mọi giá trị $y \geq -\frac{17}{8}$ khác 1, đặt $x = \frac{2y+3-\sqrt{8y+17}}{2(1-y)}$, khi này

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{x^2 - 3x - 2}{x^2 + 2x + 1} = \frac{x^2 - 3x - 2}{x^2 + 2x + 1} - y + y = \frac{x^2 - 3x - 2 - yx^2 - 2yx - y}{(x+1)^2} + y \\ &= \frac{(1-y)x^2 - (2y+3)x - (2+y)}{(x+1)^2} + y = \frac{x^2 - \left(\frac{2y+3}{1-y}\right)x - \frac{y+2}{1-y}}{(x+1)^2} + y \\ &= \frac{x^2 - 2 \cdot x \cdot \left(\frac{2y+3}{2(1-y)}\right) + \left(\frac{2y+3}{2(1-y)}\right)^2 - \left(\frac{2y+3}{2(1-y)}\right)^2 - \frac{y+2}{1-y}}{(x+1)^2} + y \\ &= \frac{\left(x - \frac{2y+3}{2(1-y)}\right)^2 - \frac{8y+17}{4(1-y)^2}}{(x+1)^2} + y \\ &= \frac{\left(\frac{2y+3-\sqrt{8y+17}}{2(1-y)} - \frac{2y+3}{2(1-y)}\right)^2 - \frac{8y+17}{4(1-y)^2}}{(x+1)^2} + y \\ &= \frac{\left(\frac{-\sqrt{8y+17}}{2(1-y)}\right)^2 - \frac{8y+17}{4(1-y)^2}}{(x+1)^2} + y = \frac{\frac{8y+17}{4(1-y)^2} - \frac{8y+17}{4(1-y)^2}}{(x+1)^2} + y = y. \end{aligned}$$

Vậy tập giá trị của $f(x)$ là $[-\frac{17}{8}; \infty)$. Đồ thị của $f(x) = \frac{x^2-3x-2}{x^2+2x+1}$ được thể hiện trong 0.41.

Hình 0.41: Đồ thị của $f(x) = \frac{x^2 - 3x - 2}{x^2 + 2x + 1}$

9.

Xét tập xác định của $f(x)$, cần phải có $x - 2 \neq 0 \iff x \neq 2$. Vậy tập xác định của $f(x)$ là $\mathbb{R} \setminus \{2\}$.

Đặt $y = f(x)$, chúng ta có:

$$\begin{aligned} y &= \frac{2x^2 + 2}{x - 2} \\ \iff y(x - 2) &= 2x^2 + 2 \\ \iff yx - 2y &= 2x^2 + 2 \\ \iff 2x^2 - yx + 2y + 2 &= 0. \end{aligned}$$

Coi kết quả của biến đổi là phương trình bậc hai ẩn x . Để tồn tại x thì cần phải có

$$\begin{aligned} (-y)^2 - 4 \cdot 2 \cdot (2y + 2) &\geq 0 \\ \iff y^2 - 16y - 16 &\geq 0. \end{aligned}$$

Kẻ bảng xét dấu của $g(y) = y^2 - 16y - 16$:

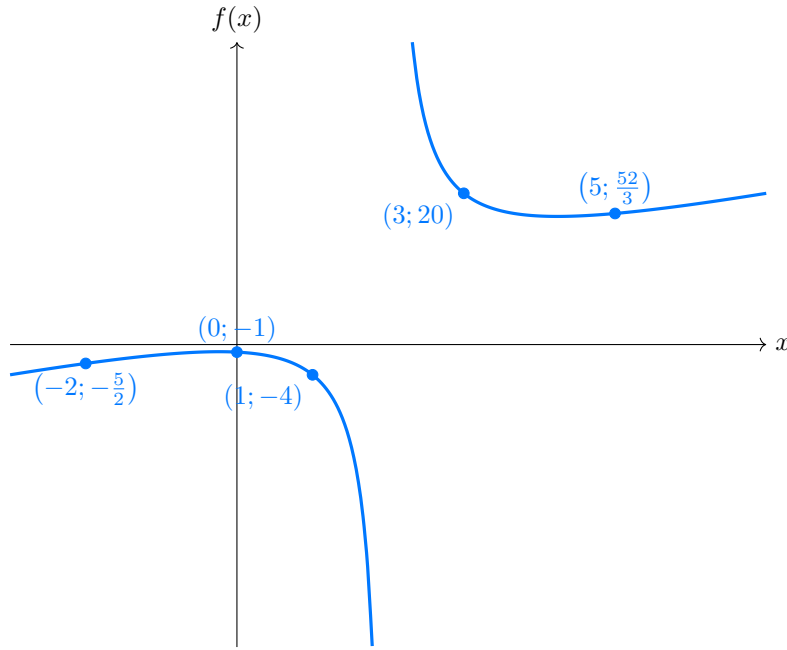
y	$-\infty$	$8-4\sqrt{5}$	$8+4\sqrt{5}$	∞	
$y^2-16y-16$	+	0	-	0	+

Bảng 0.9: Bảng xét dấu của $g(y) = y^2 - 16y - 16$

Qua bảng, chúng ta có điều kiện của y là $y \in (-\infty; 8 - 4\sqrt{5}] \cup [8 + 4\sqrt{5}; \infty)$. Chúng ta cũng có thể kiểm chứng bằng biến đổi đại số rằng với y thuộc tập hợp này thì có $f\left(\frac{\sqrt{y^2 - 16y - 16} + y}{4}\right) = y$.

Vậy tập giá trị của $f(x)$ là $(-\infty; 8 - 4\sqrt{5}] \cup [8 + 4\sqrt{5}; \infty)$.

Do tính chất của đồ thị, trục tung của đồ thị trong lời giải của tác giả đã bị co lại 10 lần, thể hiện ở hình 0.42.

Hình 0.42: Đồ thị của $f(x) = \frac{2x^2+2}{x-2}$

Bài 11: Giải các phương trình sau với ẩn $x \in \mathbb{R}$.

$$1. \frac{2x^2 - 5x + 2}{3x} = 0;$$

$$2. \frac{4x + 2}{x^2 + x - 2} = 1;$$

$$3. \frac{x^2 + 4x + 3}{x^3 + 3x^2 - x - 3} = \frac{1}{x - 1};$$

$$4. \frac{3x}{x + 2} - \frac{x}{x - 2} = \frac{8}{x^2 - 4};$$

$$5. A = \frac{h}{6x} \left(\frac{b_0}{x} + 4b_1 + b_2 \right) \text{ với } A, b_0, b_1, b_2, h \text{ là những tham số thực dương};$$

$$6. \frac{3x}{x + 2} - \frac{x}{x - 2} = \frac{8}{4 - x^2};$$

$$7. \frac{24}{x + 2} + \frac{24}{x^2 - 5x + 6} = x^2.$$

Lời giải bài 11:

1. Không phải mọi giá trị của x sẽ làm cho biểu thức được cho ở mỗi vế có nghĩa. Để $\frac{2x^2-5x+2}{3x}$ có nghĩa thì $3x \neq 0 \iff x \neq 0$. Khi này:

$$\begin{aligned} \frac{2x^2 - 5x + 2}{3x} &= 0 \\ \implies 2x^2 - 5x + 2 &= 0 \\ \iff (2x - 1)(x - 2) &= 0 \\ \iff \begin{cases} 2x - 1 = 0 \\ x - 2 = 0 \end{cases} &\iff \begin{cases} x = \frac{1}{2} \\ x = 2 \end{cases}. \end{aligned}$$

Kiểm tra trực tiếp, chúng ta thấy nghiệm thỏa mãn phương trình gốc. Vậy tập nghiệm của phương trình là $\{\frac{1}{2}; 2\}$.

2. Coi vế trái của phương trình được cho là một phân thức, chúng ta tìm tập xác định của nó:

$$\begin{aligned} x^2 + x - 2 &\neq 0 \\ \iff (x + 2)(x - 1) &\neq 0 \end{aligned}$$

$$\iff \begin{cases} x + 2 \neq 0 \\ x - 1 \neq 0 \end{cases} \iff \begin{cases} x \neq -2 \\ x \neq 1 \end{cases}.$$

Thực hiện biến đổi phương trình:

$$\begin{aligned}\frac{4x+2}{x^2+x-2} &= 1 \\ \Rightarrow 4x+2 &= x^2+x-2 \\ \Leftrightarrow 0 &= x^2-3x-4 \\ \Leftrightarrow 0 &= (x+1)(x-4) \\ \Leftrightarrow x &\in \{-1; 4\}.\end{aligned}$$

Cả hai giá trị đều là nghiệm của phương trình bằng kiểm tra trực tiếp. Vậy phương trình có nghiệm là $\{-1; 4\}$.

3. Để cả vế trái và vế phải của phương trình xác định giá trị thì

$$\begin{cases} x^3 + 3x^2 - x - 3 \neq 0 \\ x - 1 \neq 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} (x-1)(x+1)(x-3) \neq 0 \\ x - 1 \neq 0 \end{cases} \Leftrightarrow x \notin \{-1; 1; 3\}.$$

Biến đổi phương trình:

$$\begin{aligned}\frac{x^2+4x+3}{x^3+3x^2-x-3} &= \frac{1}{x-1} \\ \Leftrightarrow \frac{(x+1)(x+3)}{(x-1)(x+1)(x-3)} &= \frac{1}{x-1} \\ \Leftrightarrow \frac{1}{x-1} &= \frac{1}{x-1}.\end{aligned} \tag{0.11}$$

Phương trình (0.11) luôn đúng với x làm cho cả hai vế của phương trình xác định. Do đó, tập nghiệm của phương trình là $\mathbb{R} \setminus \{-1; 1; 3\}$.

4. Phương trình có tập xác định⁹ là $\mathbb{R} \setminus \{-2; 2\}$.

$$\begin{aligned}\frac{3x}{x+2} - \frac{x}{x-2} &= \frac{8}{x^2-4} \\ \Leftrightarrow \frac{3x(x-2)}{(x+2)(x-2)} - \frac{x(x+2)}{(x-2)(x+2)} &= \frac{8}{(x-2)(x+2)} \\ \Rightarrow (3x^2-6x) - (x^2+2x) &= 8 \\ \Leftrightarrow 2x^2-8x-8 &= 0 \\ \Leftrightarrow x &\in \left\{2(1+\sqrt{2}); 2(1-\sqrt{2})\right\}.\end{aligned}$$

Kiểm tra lại, chúng ta có:

$$\begin{aligned}&\frac{3 \cdot 2(1+\sqrt{2})}{2(1+\sqrt{2})+2} - \frac{2(1+\sqrt{2})}{2(1+\sqrt{2})-2} \\ &= \frac{6+6\sqrt{2}}{4+2\sqrt{2}} - \frac{2+2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}} \\ &= \frac{(6+6\sqrt{2})2\sqrt{2} - (2+2\sqrt{2})(4+2\sqrt{2})}{(4+2\sqrt{2})(2\sqrt{2})} \\ &= \frac{12\sqrt{2}+24 - (16+12\sqrt{2})}{(2(1+\sqrt{2}))^2-4} \\ &= \frac{8}{(2(1+\sqrt{2}))^2-4}.\end{aligned}$$

Tương tự khi kiểm tra $x = 2(1-\sqrt{2})$. Vậy phương trình có nghiệm là $\{2(1+\sqrt{2}); 2(1-\sqrt{2})\}$.

5. Phương trình xác định khi $x \neq 0$. Trên điều kiện này,

⁹Tập xác định chỉ có với hàm số. Ở đây, ý chúng ta muốn là những giá trị để cho cả hai vế có thể tính được.

$$\begin{aligned}
A &= \frac{h}{6x} \left(\frac{b_0}{x} + 4b_1 + b_2 \right) \\
&= \frac{hb_0}{6x^2} + \frac{h(4b_1 + b_2)}{6x} \\
\iff 6x^2 A &= hb_0 + h(4b_1 + b_2)x \\
\iff 6A \cdot x^2 - h(4b_1 + b_2)x - hb_0 &= 0.
\end{aligned} \tag{0.12}$$

Nhận thấy rằng nếu (0.12) có nghiệm thì nghiệm này phải khác 0. Trái lại, nếu 0 là nghiệm thì sẽ phải có $hb_0 = 0$. Nhưng từ giả thiết b_0 và h đều dương, $hb_0 > 0$. Chúng ta cần phải có nhận định này để không cần phải kiểm tra lại điều kiện tập xác định khi giải ra nghiệm.

Xét biệt thức $\Delta = h^2(4b_1 + b_2)^2 + 24A \cdot hb_0$ của phương trình (0.12). Có các tham số đều là các giá trị dương nên Δ cũng là một giá trị dương. Cho nên, từ (0.12), chúng ta giải ra hai nghiệm

$$\begin{cases} x = \frac{h(4b_1 + b_2) + \sqrt{\Delta}}{12A} \\ x = \frac{h(4b_1 + b_2) - \sqrt{\Delta}}{12A} \end{cases}.$$

Vậy tập nghiệm của phương trình là $\left\{ \frac{h(4b_1 + b_2) + \sqrt{\Delta}}{12A}; \frac{h(4b_1 + b_2) - \sqrt{\Delta}}{12A} \right\}$.

6. Phương trình có tập xác định là $\mathbb{R} \setminus \{-2; 2\}$. Trong tập xác định này,

$$\begin{aligned}
&\frac{3x}{x+2} - \frac{x}{x-2} = \frac{8}{4-x^2} \\
\iff \frac{3x(x-2)}{(x+2)(x-2)} - \frac{x(x+2)}{(x-2)(x+2)} + \frac{8}{(x-2)(x+2)} &= 0 \\
\iff \frac{3x^2 - 6x - x^2 - 2x + 8}{(x+2)(x-2)} &= 0 \\
\iff \frac{2x^2 - 8x + 8}{(x+2)(x-2)} &= 0 \\
\iff 2x^2 - 8x + 8 &= 0 \\
\iff x^2 - 4x + 4 &= 0 \\
\iff (x-2)^2 &= 0 \\
\iff x &= 2.
\end{aligned}$$

Tuy nhiên, tập xác định yêu cầu không nhận giá trị x này, cho nên phương trình này suy ra một điều mâu thuẫn. Vậy phương trình vô nghiệm.

7. Giải tập xác định của phương trình:

$$\begin{cases} x+2 \neq 0 \\ x^2 - 5x + 6 \neq 0 \end{cases} \iff x \notin \{-2; 2; 3\}.$$

Giải phương trình:

$$\begin{aligned}
&\frac{24}{x+2} + \frac{24}{x^2 - 5x + 6} = x^2 \\
\iff \frac{24}{x+2} + \frac{24}{(x-2)(x-3)} - x^2 &= 0 \\
\implies 24(x-2)(x-3) + 24(x+2) - x^2(x-2)(x-3)(x+2) &= 0 && \text{Nhân cả hai vế với} \\
&&& (x+2)(x-2)(x-3). \\
\iff (24x^2 - 120x + 144) + (24x + 48) - (x^5 - 3x^4 - 4x^3 + 12x^2) &= 0 \\
\iff -x^5 + 3x^4 + 4x^3 + 12x^2 - 96x + 144 &= 0 \\
\iff (4-x)(x^4 + x^3 - 12x + 48) &= 0
\end{aligned} \tag{0.13}$$

Nhìn thấy ngay được, phương trình (0.13) có nghiệm $x = 4$. Xét trường hợp còn lại, đặt $f(x) = x^4 + x^3 - 12x + 48 = x(x-2)(x^2 + 3x + 6) + 48$. Chúng ta sẽ chứng minh $f(x) > 0$ với mọi $x \in \mathbb{R}$.

Chia làm hai trường hợp:

Trường hợp một — $0 \leq x \leq 2$: Chúng ta sẽ chặn giá trị của những thành phần sau:

- $x(x-2)$:

$$\begin{aligned} x(x-2) &= x^2 - 2x \\ &= (x-1)^2 - 1 \\ \implies x(x-2) &\geq -1. \end{aligned} \quad (0.14)$$

- $x^2 + 3x + 6$:

$$\begin{aligned} x^2 + 3x + 6 &= \left(x + \frac{3}{2}\right)^2 + \frac{15}{4} \\ \implies x^2 + 3x + 6 &\geq \frac{15}{4} > 0. \end{aligned}$$

Ngoài ra, theo giả thiết $0 \leq x \leq 2$,

$$\begin{cases} x^2 \leq 4 \\ 3x \leq 6 \end{cases} \implies x^2 + 3x + 6 \leq 16 \iff -(x^2 + 3x + 6) \geq -16. \quad (0.15)$$

Kết hợp giữa (0.14) và (0.15) chúng ta có:

$$\begin{aligned} &x(x-2) \geq -1 \quad (\text{Từ bất phương trình (0.14).}) \\ \iff &x(x-2)(x^2 + 3x + 6) \geq -(x^2 + 3x + 6) \quad (\text{Nhân cả hai vế với một số dương.}) \\ \iff &x(x-2)(x^2 + 3x + 6) \geq -16 \quad (\text{Từ bất phương trình ở (0.15).}) \\ \iff &x(x-2)(x^2 + 3x + 6) + 16 \geq 0 \\ \implies &x^4 + x^3 - 12x + 16 > 0. \end{aligned}$$

Qua đó, chúng ta có được $f(x) = 0$ không có nghiệm trong đoạn $[0; 2]$.

Trường hợp hai — $x < 0$ hoặc $x > 2$: Dễ dàng nhận thấy x và $x-2$ cùng dấu cho nên $x(x-2) > 0$. Ngoài ra, đã có $x^2 + 3x + 6 > 0$ cho nên $x(x-2)(x^2 + 3x + 6) > 0$. Suy ra, $f(x) > 0$ với mọi $x \in]0; 2[$.

Kết hợp cả hai trường hợp, chúng ta có $f(x) > 0$ với mọi $x \in \mathbb{R}$ như cần phải chứng minh.

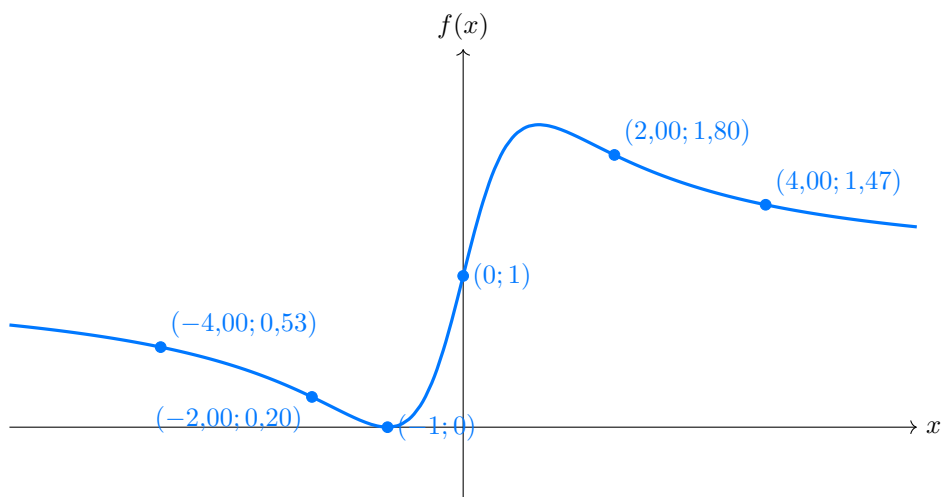
Do đó, (0.13) $\iff x = 4$. Kiểm tra trực tiếp chúng ta thấy nghiệm này thỏa mãn. Vậy phương trình có nghiệm duy nhất là $x = 4$.

Bài 12: Phác thảo đồ thị của những hàm sau:

- | | |
|---|--|
| 1. $f(x) = \frac{2x}{x^2 + 1} + 1$; | 4. $f(x) = \frac{x}{x+2} + \frac{1}{x-2}$; |
| 2. $f(x) = \frac{x^4 + 1}{3x^2} - x$; | 5. $f(x) = \frac{x+2}{x} \cdot \frac{x+3}{x+1}$; |
| 3. $f(x) = \frac{15x^3 + x^2 - 22x - 8}{3x^2 + 3x + 8}$; | 6. $f(x) = \frac{\frac{x^3+3x^2+3x+1}{x^4+4}}{\frac{2x^2+2}{3x^2+6x+6}}$. |

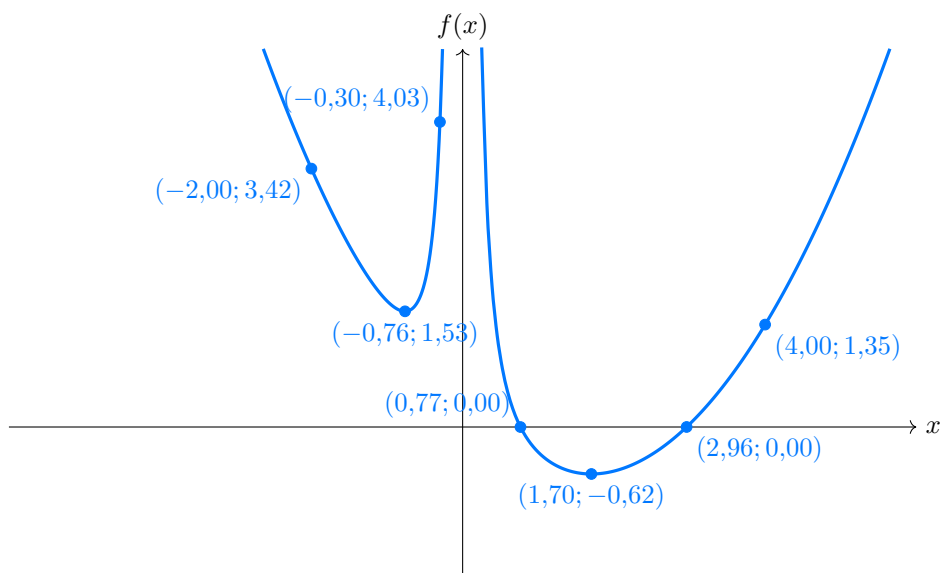
Lời giải bài 12:

- 1.



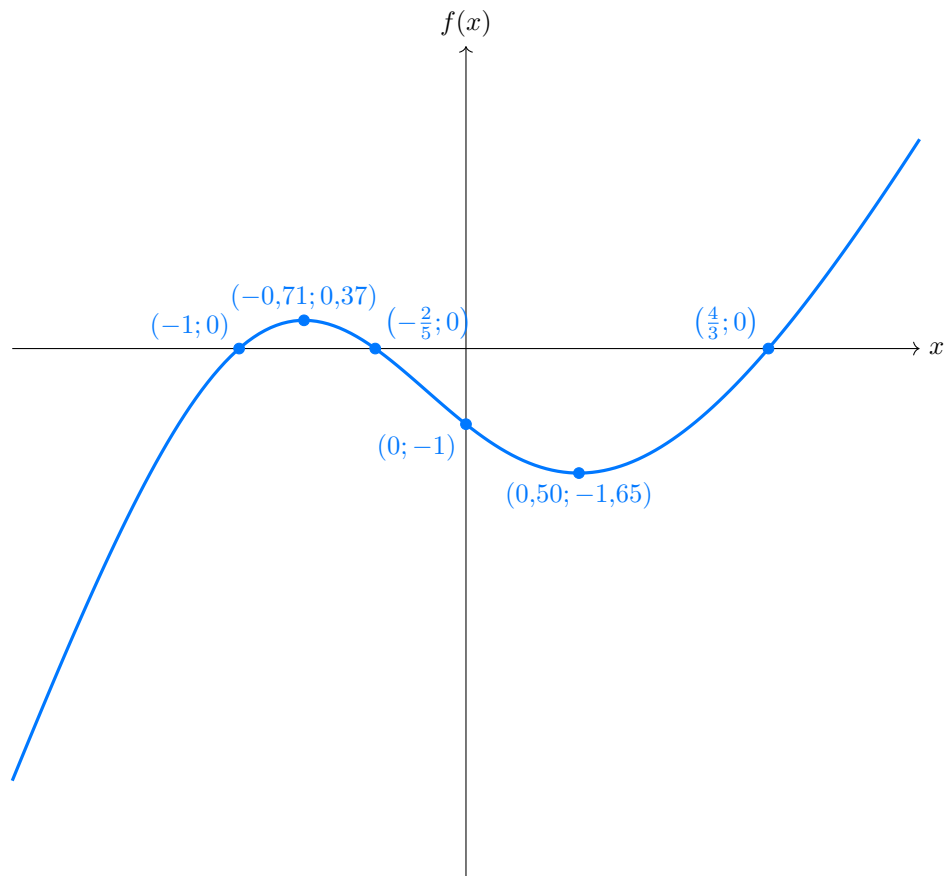
Hình 0.43: Đồ thị của $f(x) = \frac{2x}{x^2+1} + 1$

2.



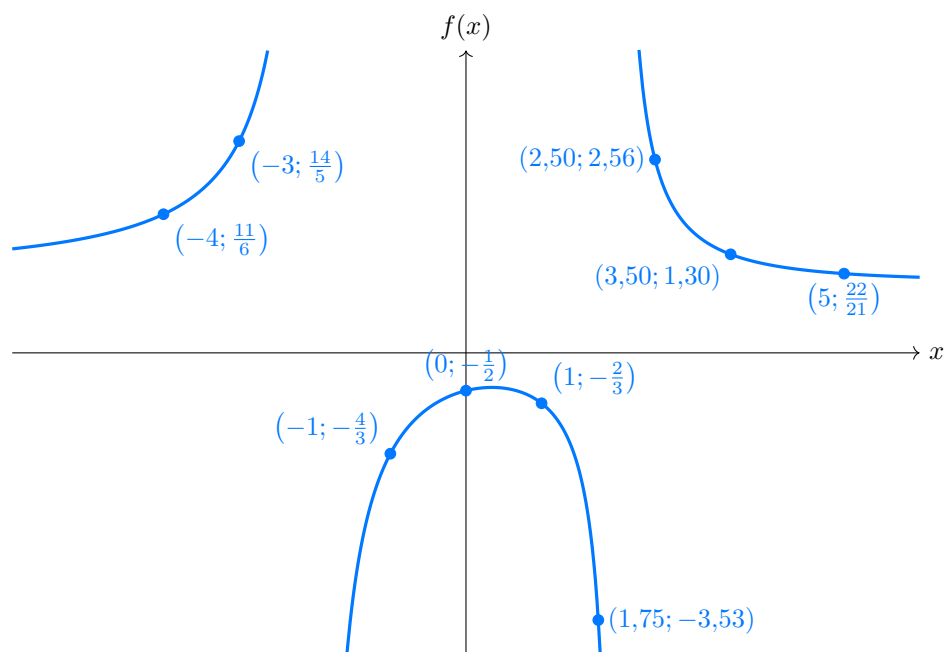
Hình 0.44: Đồ thị của $f(x) = \frac{x^4+1}{3x^2} - x$

3.



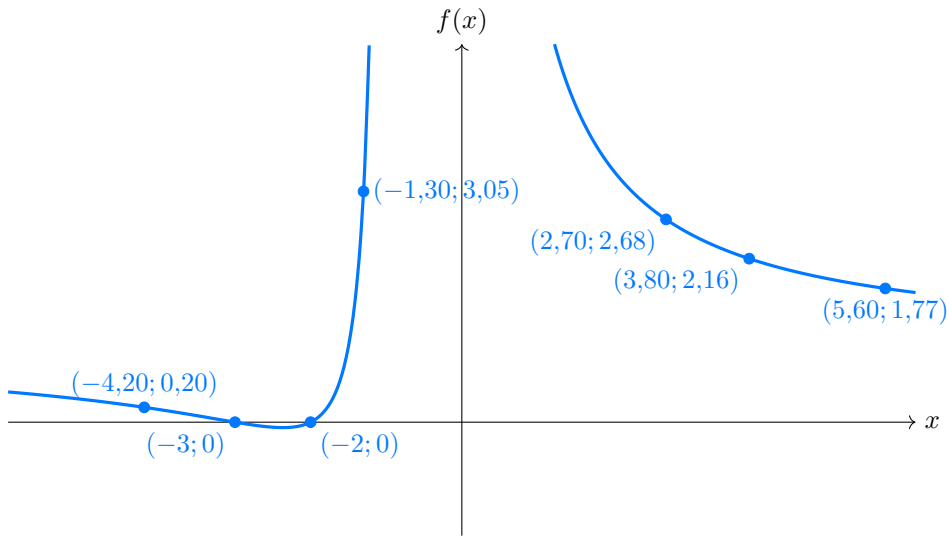
Hình 0.45: Đồ thị của $f(x) = \frac{15x^3 + x^2 - 22x - 8}{3x^2 + 3x + 8}$

4.



Hình 0.46: Đồ thị của $f(x) = \frac{x}{x+2} + \frac{1}{x-2}$

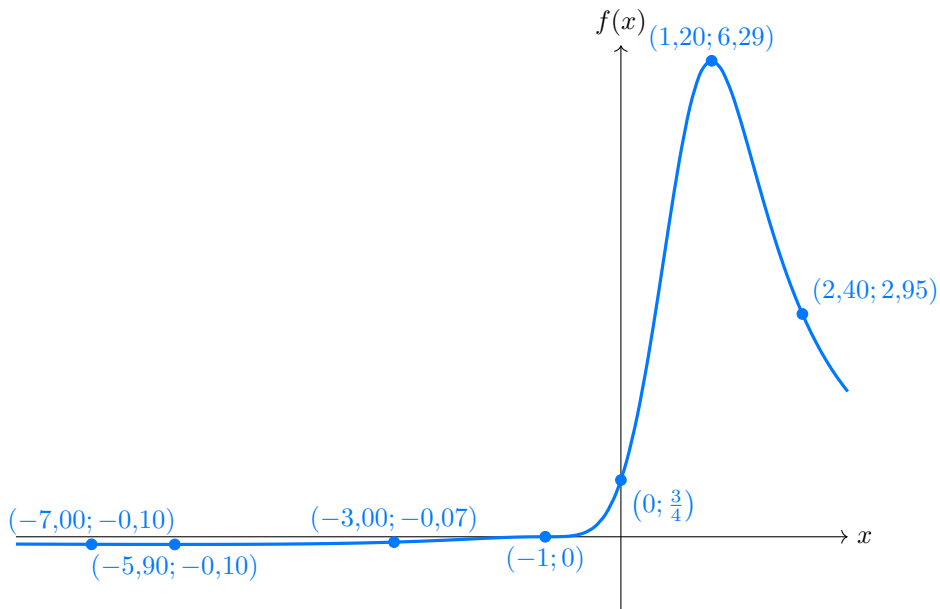
5.



Hình 0.47: Đồ thị của $f(x) = \frac{x+2}{x} \cdot \frac{x+3}{x+1}$

6. Thực hiện một số biến đổi đơn giản:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= \frac{\frac{x^3+3x^2+3x+1}{x^4+4}}{\frac{2x^2+2}{3x^2+6x+6}} = \frac{\frac{(x+1)^3}{(x^4+4x^2+4)-4x^2}}{\frac{2(x^2+1)}{3(x^2+2x+2)}} \\
 &= \frac{(x+1)^3}{(x^2+2)^2 - (2x)^2} \cdot \frac{3(x^2+2x+2)}{2(x^2+1)} \\
 &= \frac{(x+1)^3}{(x^2-2x+2)(x^2+2x+2)} \cdot \frac{3(x^2+2x+2)}{2(x^2+1)} \\
 &= \frac{3(x+1)^3}{2(x^2+1)(x^2-2x+2)}.
 \end{aligned}$$



Hình 0.48: Đồ thị của $f(x) = \frac{\frac{x^3+3x^2+3x+1}{x^4+4}}{\frac{2x^2+2}{3x^2+6x+6}}$

0.1.7 Phép hợp hai hàm số

Khi áp dụng hàm f lên kết quả của một hàm g khác, chúng ta có **phép hợp** hai hàm số f và g và kí

hiệu hàm hợp này như sau:

$$(f \circ g)(x) = f(g(x)).$$

Để ý rằng mặc dù f được viết trước g , g được thực hiện trước f .

Nếu mà hàm f được hợp với chính nó, thì có kí hiệu rút gọn viết giống như dưới dạng lũy thừa như sau:

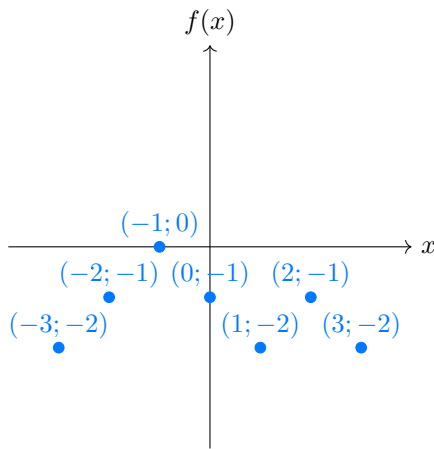
$$f \circ f = f^2.$$

Nếu lặp lại f với n lần, thì có:

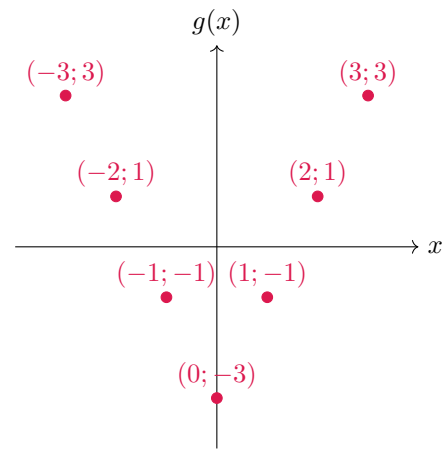
$$\underbrace{f \circ f \circ \dots \circ f}_{n \text{ lần}} = f^n.$$

Thật không may là cách viết này lại thông thường mang nghĩa lũy thừa thông thường. Ví dụ, người ta thường viết $\sin^2(x) = (\sin(x))^2$ thay vì $\sin^2(x) = \sin(\sin(x))$. Tác giả sẽ dùng cách viết lũy thừa hàm để biểu thị hàm hợp. Nếu cần lũy thừa của kết quả hàm, tác giả sẽ viết dưới dạng $(f(x))^n$.

Bài 13: Cho các hàm f và g được định nghĩa thông qua đồ thị như sau:



Hình 0.49: Đồ thị của f



Hình 0.50: Đồ thị của g

Xác định tập xác định, tập giá trị của các hàm hợp $f \circ g$ và $g \circ f$. Sau đó, vẽ đồ thị của hai hàm này.

Lời giải bài 13:

Tập xác định của f và g đều là $\{-3; -2; -1; 0; 1; 2; 3\}$. Ngoài ra, tập giá trị của f là $\{-2; -1; 0\}$ và tập giá trị của g là $\{-3; -1; 1; 3\}$.

Có $(f \circ g)(x) = f(g(x))$ với mọi x làm cho $f \circ g$ có nghĩa. Để ngắn gọn, chúng ta thực hiện kẻ bảng:

x	-3	-2	-1	0	1	2	3
$g(x)$	3	1	-1	-3	-1	1	3
$f(g(x))$	-2	0	-2	-2	-2	0	-2

Bảng 0.10: Bảng giá trị của $f \circ g$

Vậy tập xác định và tập giá trị của $f \circ g$ lần lượt là $\{-3; -2; -1; 0; 1; 2; 3\}$ và $\{-2; 0\}$.

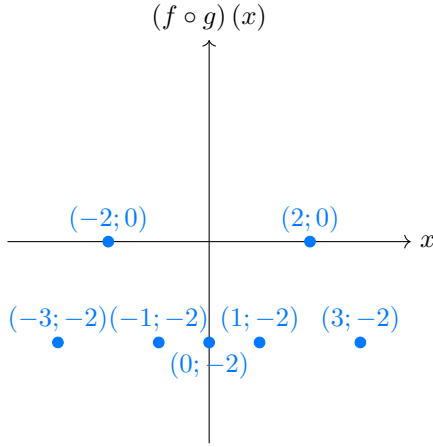
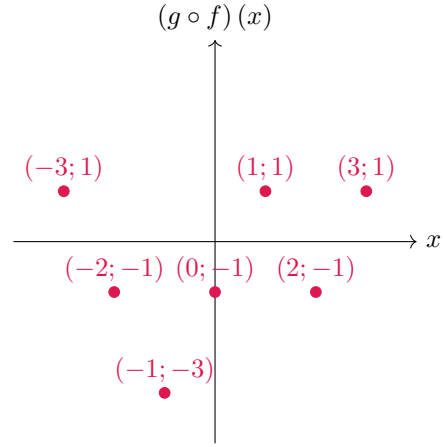
Tương tự, chúng ta có $(g \circ f)(x) = g(f(x))$. Kẻ bảng giá trị:

x	-3	-2	-1	0	1	2	3
$f(x)$	-2	-1	0	-1	-2	-1	-2
$g(f(x))$	1	-1	-3	-1	1	-1	1

Bảng 0.11: Bảng giá trị của $g \circ f$

Từ bảng, chúng ta có $g \circ f$ có tập xác định là $\{-3; -2; -1; 0; 1; 2; 3\}$ và tập giá trị là $\{-3; -1; 1\}$.

Cuối cùng, chúng ta có đồ thị của hai hàm:

Hình 0.51: Đồ thị của $f \circ g$ Hình 0.52: Đồ thị của $g \circ f$

Bài 14: Có tồn tại hàm đồng nhất sao cho với mọi f : $\text{đồng nhất} \circ f = f \circ \text{đồng nhất} = f$?

Lời giải bài 14:

Có, đặt $\text{đồng nhất}(x) = x$ với mọi x . Khi này, hiển nhiên rằng, với mọi x thuộc tập xác định của f :

$$(\text{đồng nhất} \circ f)(x) = \text{đồng nhất}(f(x)) = f(x) \text{ và}$$

$$(f \circ \text{đồng nhất})(x) = f(\text{đồng nhất}(x)) = f(x).$$

Tên gọi của đồng nhất là **hàm đồng nhất**.

0.1.8 Nhị thức Niu-tơn

Nhìn về phía trước, phần này được đưa vào nhằm phục vụ cho chứng minh các tính chất của đạo hàm của đa thức sẽ được đề cập sau này. Ngoài ra, công thức nhị thức Niu-tơn cũng có thể được dùng để xấp xỉ hàm số mũ. Việc xấp xỉ này là việc thường thấy khi làm các tính toán về vật lý và kỹ thuật nói chung.

Trước khi nhắc đến nhị thức Niu-tơn¹⁰, chúng ta sẽ nhắc lại về khái niệm giai thừa và tổ hợp. Ở thời kỳ của Niu-tơn, các khái niệm liên quan đến những bài toán tổ hợp chưa được phát minh, cho nên nếu bạn đọc tìm hiểu tài liệu gốc thì sẽ thấy cách biểu diễn nhị thức Niu-tơn rất khác so với cách biểu diễn hiện đại.

Giai thừa của một số nguyên dương n được định nghĩa là

$$n! = \prod_{i=1}^n n \times (n-1) \times \cdots \times 1.$$

Định nghĩa này mở rộng lên tập số tự nhiên bằng cách đặt $0! = 1$.

Cho hai số tự nhiên k và n với $k \leq n$. **Tổ hợp chập k của n** là số cách chọn k phần tử khác nhau từ một tập hợp có n phần tử. Công thức được cho bởi

$$C_n^k = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \prod_{i=1}^k \left(\frac{n-i+1}{i} \right) = \frac{n \times (n-1) \times \cdots \times (n-k+1)}{k \times (k-1) \times \cdots \times 1}.$$

Định nghĩa này cũng có thể được mở rộng. Với $k > n$, $C_n^k = 0$. Về mặt tưởng tượng, không có cách nào để có thể lấy k vật từ một túi có ít hơn k vật được, vậy việc mở rộng này là hợp lý.

Quay trở lại về vấn đề chính, đặt f là **nhị thức** (đa thức khi rút gọn được viết dưới dạng tổng của hai đơn thức) $f(x) = x + y$ với y là tham số, và g được định nghĩa là $g(x) = x^n$ với $n \in \mathbb{N}$, thực hiện $(g \circ f)(x) = g(f(x)) = (x+y)^n$. Đây là **nhị thức Niu-tơn**. Nhị thức Niu-tơn có thể viết lại dưới dạng đa thức như sau:

$$(x+y)^n = \sum_{i=0}^n (C_n^i y^{n-i} x^i) = \sum_{i=0}^n (C_n^i y^i x^{n-i}).$$

Về mặt cảm nhận tổ hợp, chúng ta coi như việc khai triển $(x+y)^n$ là chọn những phần tử x và y từ n thừa số $x+y$, nhân chúng lại tạo thành một thừa số mới và cộng tất cả những giá trị lại với nhau. Mỗi thừa số như vậy sẽ có i thừa số x và $n-i$ thừa số y và có giá trị là $x^i y^{n-i}$. Do đó, số cách chọn thừa số mà có

¹⁰Phát hiện lần đầu bởi Isaac Newton (1643 - 1727).

dạng $x^i y^{n-i}$ là C_n^i . Cho i , hay số thừa số con x trong thừa số $x^i y^{n-i}$, chạy từ 0 đến n và cộng các thừa số lại, chúng ta có đẳng thức cần chứng minh.

Một cách khác để chứng minh là sử dụng quy nạp. Xét trường hợp nền $n = 0$, chúng ta có $(x + y)^0 = 1$. Mặt khác,

$$\sum_{i=0}^0 (C_0^i x^i y^{0-i}) = C_0^0 x^0 y^0 = C_0^0 = \frac{0!}{0! \times (0-0)!} = 1.$$

Do đó, đẳng thức đúng với $n = 0$. Giả sử đẳng thức đúng với $n = k$, khi đó

$$(x + y)^k = \sum_{i=0}^k (C_k^i x^i y^{k-i}).$$

Theo tính chất của mũ với số mũ tự nhiên,

$$\begin{aligned} (x + y)^{k+1} &= (x + y)^k (x + y) \\ &= \sum_{i=0}^k (C_k^i x^i y^{k-i}) (x + y) \\ &= \sum_{i=0}^k (C_k^i x^i y^{k-i}) x + \sum_{i=0}^k (C_k^i x^i y^{k-i}) y \\ &= \sum_{i=0}^k (C_k^i x^{i+1} y^{k-i}) + \sum_{i=0}^k (C_k^i x^i y^{k-i+1}) \\ &= \sum_{i=1}^{k+1} (C_k^{i-1} x^i y^{k-(i-1)}) + \sum_{i=0}^k (C_k^i x^i y^{(k+1)-i}) \quad (\text{Thay đổi chỉ số } i \text{ tăng thêm 1.}) \\ &= (C_k^{(k+1)-1} x^{k+1} y^{k-((k+1)-1)}) + \sum_{i=1}^k (C_k^{i-1} x^i y^{k-(i-1)}) + \\ &\quad (C_k^0 x^0 y^{(k+1)-0}) + \sum_{i=1}^k (C_k^i x^i y^{(k+1)-i}). \end{aligned}$$

Xét các thành phần, để ý rằng $C_n^n = \frac{n!}{n! \times (n-n)!} = 1$ với mọi n , cho nên

$$(C_k^{(k+1)-1} x^{k+1} y^{k-((k+1)-1)}) = C_k^k x^{k+1} y^0 = C_{k+1}^{k+1} x^{k+1} y^{(k+1)-(k+1)}.$$

Một cách tương tự, $C_n^0 = \frac{n!}{0! \times (n-0)!} = 1$ với mọi n . Do đó,

$$C_k^0 x^0 y^{(k+1)-0} = C_{k+1}^0 x^0 y^{(k+1)-0}.$$

Cuối cùng, xét tổng của hai tổng lớn, thấy chúng có cùng chỉ số i cho nên

$$\sum_{i=1}^k (C_k^{i-1} x^i y^{k-(i-1)}) + \sum_{i=1}^k (C_k^i x^i y^{(k+1)-i}) = \sum_{i=1}^k ((C_k^{i-1} + C_k^i) x^i y^{(k+1)-i}). \quad (0.16)$$

Hơn thế nữa, chúng ta có

$$\begin{aligned} C_k^{i-1} + C_k^i &= \frac{k!}{(i-1)! (k-(i-1))!} + \frac{k!}{i! (k-i)!} \\ &= \frac{ik!}{i(i-1)! ((k+1)-i)!} + \frac{k! ((k+1)-i)}{i! (k-i)! ((k+1)-i)} \\ &= \frac{ik! + k! ((k+1)-i)}{i! ((k+1)-i)!} \\ &= \frac{k! (i + (k+1) - i)}{i! ((k+1)-i)!} \\ &= \frac{k! (k+1)}{i! ((k+1)-i)!} \end{aligned}$$

$$= \frac{(k+1)!}{i!((k+1)-i)!} = C_{k+1}^i.$$

Thay kết quả này vào (0.16), chúng ta được

$$\sum_{i=1}^k \left(C_k^{i-1} x^i y^{(k-(i-1))} \right) + \sum_{i=1}^k \left(C_k^i x^i y^{(k+1)-i} \right) = \sum_{i=1}^k \left(C_{k+1}^i x^i y^{(k+1)-i} \right).$$

Lấy tổng của các thành phần,

$$\begin{aligned} (x+y)^{k+1} &= C_{k+1}^{k+1} x^{k+1} y^{(k+1)-(k+1)} + C_{k+1}^0 x^0 y^{(k+1)-0} + \sum_{i=1}^k \left(C_{k+1}^i x^i y^{(k+1)-i} \right) \\ &= \sum_{i=0}^{k+1} \left(C_{k+1}^i x^i y^{(k+1)-i} \right). \end{aligned}$$

Theo quy nạp toán học, đẳng thức đã được chứng minh.

Tuy rằng chúng ta đã giả sử y là tham số, nhưng đẳng thức liên quan đến nhị thức Niu-tơn này vẫn đúng khi y là một hàm bất kì do trong chứng minh chúng ta không sử dụng tính chất số của y .

Bài 15: Cho m là một số nguyên dương, và $n; k_1; k_2; \dots; k_m$ là các số tự nhiên thỏa mãn $\sum_{i=1}^m k_i \leq n$. Đặt

$$\binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_m} = \frac{n!}{\prod_i^m (k_i!) \cdots (n - \sum_i^m (k_i))!} = \frac{n!}{k_1! k_2! \cdots k_m! \cdot (n - k_1 - k_2 - \dots - k_m)!}.$$

Chứng minh rằng

$$\left(\sum_{i=1}^m (x_i) \right)^n = \sum_{\substack{\sum_i^m (k_i) = n \\ k_1; k_2; \dots; k_m \in \mathbb{N}}} \left(\binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_m} \prod_{i=1}^m (x_i^{k_i}) \right)$$

hay

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_m)^n = \sum_{\substack{k_1 + k_2 + \dots + k_m = n \\ k_1; k_2; \dots; k_m \in \mathbb{N}}} \left(\binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_m} x_1^{k_1} x_2^{k_2} \cdots x_m^{k_m} \right).$$

Lời giải bài 15:

Trước khi đi vào chứng minh, cần để ý rằng nếu $\sum_{i=1}^m k_i = n$ thì

$$\begin{aligned} \binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_m} &= \frac{n!}{\prod_i^m (k_i!) \cdots (n - \sum_i^m (k_i))!} \\ &= \frac{n!}{\prod_i^m (k_i!) \cdots (n - n)!} = \frac{n!}{\prod_i^m (k_i!)}. \end{aligned}$$

Chúng ta chứng minh bằng việc sử dụng quy nạp trên m . Xét trường hợp nền $m = 1$, chúng ta có $\sum_i^m (k_i) = x_1^n$. Để tổng của một số k_1 bằng đúng n thì $k_1 = n$. Cho nên, thay thế m vào để có

$$\begin{aligned} &\sum_{\substack{\sum_i^m (k_i) = n \\ k_1; k_2; \dots; k_m \in \mathbb{N}}} \left(\binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_m} \prod_{i=1}^m (x_i^{k_i}) \right) \\ &= \binom{n}{k_1} \prod_{i=1}^1 (x_i^{k_i}) = \binom{n}{n} x_1^n = x_1^n \end{aligned}$$

và chúng ta đã chứng minh đẳng thức được cho với $m = 1$.

Với bước quy nạp, giả sử đẳng thức đúng với $m = a$. Khi này,

$$\left(\sum_i^{a+1} (x_i)\right)^n = \left(\sum_i^{a-1} (x_i) + (x_a + x_{a+1})\right)^n. \quad (\text{Tách hai số hạng cuối.}) \quad (0.17)$$

Đặt $\begin{cases} X = x_a + x_{a+1} \\ K = k_a + k_{a+1} \end{cases}$. Khi đó, theo giả thiết quy nạp,

$$\left(\sum_i^{a+1} (x_i)\right)^n = \sum_{\begin{cases} \sum_i^{a-1} (k_i) + K = n \\ k_1; k_2; \dots; k_{a-1}; K \in \mathbb{N} \end{cases}} \left(\binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_{a-1}; K} \prod_{i=1}^{a-1} (x_i^{k_i}) X^K \right).$$

Theo nhị thức Niu-tơn, chúng ta đã có:

$$X^K = (x_a + x_{a+1})^K = \sum_{i=0}^K \left(\binom{K}{i} x_a^i x_{a+1}^{K-i} \right).$$

Nhìn theo một khía cạnh khác, nếu cho i chạy từ 0 đến K thì bộ số $(i; K-i)$ sẽ quét tất cả các trường hợp $(k_a; k_{a+1})$ với $k_a + k_{a+1} = K$. Do đó,

$$X^K = (x_a + x_{a+1})^K = \sum_{\begin{cases} k_a + k_{a+1} = K \\ k_a; k_{a+1} \in \mathbb{N} \end{cases}} \left(\binom{K}{k_a; k_{a+1}} x_a^{k_a} x_{a+1}^{k_{a+1}} \right).$$

Từ (0.17), chúng ta có

$$\begin{aligned} \binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_{a-1}; K} \binom{K}{k_a; k_{a+1}} &= \frac{n!}{\prod_1^{a-1} (k_i!)} \frac{K!}{k_a! k_{a+1}!} \\ &= \frac{n!}{\prod_1^{a-1} (k_i!) k_a! k_{a+1}!} \\ &= \frac{n!}{\prod_1^{a+1} (k_i!)} \\ &= \binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_{a-1}; k_a; k_{a+1}}. \end{aligned}$$

Từ đó, kết hợp những gì chúng ta đã có để có

$$\begin{aligned} &\left(\sum_i^{a+1} (x_i)\right)^n \\ &= \sum_{\begin{cases} \sum_i^{a-1} (k_i) + K = n \\ k_1; \dots; k_{a-1}; K \in \mathbb{N} \end{cases}} \left(\binom{n}{k_1; \dots; k_{a-1}; K} \prod_{i=1}^{a-1} (x_i^{k_i}) \sum_{\begin{cases} k_a + k_{a+1} = K \\ k_a; k_{a+1} \in \mathbb{N} \end{cases}} \left(\binom{K}{k_a; k_{a+1}} x_a^{k_a} x_{a+1}^{k_{a+1}} \right) \right) \\ &= \sum_{\begin{cases} \sum_i^{a+1} (k_i) = n \\ k_1; \dots; k_{a+1} \in \mathbb{N} \end{cases}} \left(\binom{n}{k_1; \dots; k_{a-1}; K} \binom{K}{k_a; k_{a+1}} \prod_{i=1}^{a-1} (x_i^{k_i}) x_a^{k_a} x_{a+1}^{k_{a+1}} \right) \\ &= \sum_{\begin{cases} \sum_i^{a+1} (k_i) = n \\ k_1; k_2; \dots; k_{a+1} \in \mathbb{N} \end{cases}} \left(\binom{n}{k_1; k_2; \dots; k_{a+1}} \prod_{i=1}^{a+1} (x_i^{k_i}) \right). \end{aligned}$$

0.1.9 Hàm số xác định từng phần

Một ví dụ là hàm giá trị tuyệt đối. Khả năng cao bạn đọc đã biết rằng giá trị tuyệt đối của một số x^{11} được xác định như sau,

$$|x| = \begin{cases} x & \text{nếu } x \geq 0 \\ -x & \text{nếu } x < 0 \end{cases}.$$

Ví dụ:

- $[2, 5] = 2;$
- $[-2, 5] = -3;$
- $[2] = 2;$
- $[2, 5] = 3;$
- $[-2, 5] = -2;$
- $[2] = 2.$

Để giải những vấn đề với hàm xác định giá trị từng phần, tương tự như cái tên, chúng ta chủ yếu chia bài toán theo các trường hợp phù hợp với từng phần của hàm đầu vào.

Bài 16: Giải các phương trình và bất phương trình sau trên ẩn x thực:

1. $|x + 4| = 9$;
2. $|x - 3| = -9$;
3. $|7 - 2x| < 9$;
4. $|3 + 6x| \geq 9$;
5. $2x + 3 + |3x + 4| > 0$;
6. $|x + 4| = |7x - 12|$;
7. $|6x + 9| > |6x - 3|$;
8. $|2x + 2| + |x + 1| = 9$;
9. $|3x + 3| + |3x - 4| \leq 7$;
10. $|2(x - 1)^2 - 4| = 2$;
11. $|2x^2 - 2x - 2| = |3x^2 - 4x - 2|$;
12. $|x^3 - 3x^2 + x| \leq |x|$.

1. Xét hai trường hợp:

Trường hợp một $-x + 4 \geq 0$. Khi này, phá dấu giá trị tuyệt đối để có $|x + 4| = x + 4$. Cho nên phương trình ban đầu sẽ tương đương với:

$$x + 4 = 9 \iff x = 5.$$

Trường hợp hai — $x + 4 < 0$. Khi này,

$$\begin{aligned} & \begin{cases} |x+4| = 9 \\ x+4 < 0 \end{cases} \\ \iff & -(x+4) = 9 \quad (\text{Phá dấu giá trị tuyệt đối: } |x+4| = -(x+4).) \\ \iff & x+4 = -9 \iff x = -13. \end{aligned}$$

¹¹Nếu không biết thì bạn đọc qua phần đề thi vẫn hiểu chứ?

Vậy tập nghiệm của phương trình là $\{5; -13\}$.

2. Đặt $f(x) = |x|$.

Nếu $x \geq 0$ thì $f(x) = |x| = x$ và hiển nhiên $f(x) \geq 0$. Nếu $x < 0$ thì $f(x) = |x| = -x$. Có $x < 0 \iff -x > 0 \iff f(x) > 0$.

Kết hợp lại, chúng ta có $f(x) \geq 0$ với mọi $x \in \mathbb{R}$. Suy ra được rằng $f(x-3) \geq 0$. Tuy nhiên, phương trình được cho có thể được viết lại là $f(x-3) = -9$. Do đó, phương trình vô nghiệm.

Sai lầm thường gặp ở dạng bài này là có suy luận như sau:

$$|x-3| = -9 \iff \begin{cases} x-3 = -9 \\ x-3 = 9 \end{cases}.$$

3. Một lần nữa, xét hai trường hợp:

Trường hợp một — $7 - 2x \geq 0$. Thực hiện biến đổi:

$$\begin{aligned} & \begin{cases} |7-2x| < 9 \\ 7-2x \geq 0 \end{cases} \\ \iff & \begin{cases} 7-2x < 9 \\ 7-2x \geq 0 \end{cases} \\ \iff & 0 \leq 7-2x < 9 \\ \iff & -7 \leq -2x < 2 \\ \iff & \frac{7}{2} \geq x > -1. \end{aligned}$$

Trường hợp hai — $7 - 2x < 0$:

$$\begin{aligned} & \begin{cases} |7-2x| < 9 \\ 7-2x < 0 \end{cases} \\ \iff & \begin{cases} -(7-2x) < 9 \\ 7-2x < 0 \end{cases} \\ \iff & -9 < 7-2x < 0 \\ \iff & -16 < -2x < -7 \\ \iff & 8 > x > \frac{7}{2}. \end{aligned}$$

Kết hợp hai trường hợp, có được $x \in (-1; 8)$. Có biến đổi là tương đương trong tập xác định cho nên phương trình có nghiệm $x \in (-1; 8)$.

4. Trường hợp một — $3 + 6x \geq 0$:

$$\begin{aligned} & \begin{cases} |3+6x| \geq 9 \\ 3+6x \geq 0 \end{cases} \\ \iff & 3+6x \geq 9 \\ \iff & x \geq 1. \end{aligned}$$

Trường hợp hai — $3 + 6x < 0$:

$$\begin{aligned} & \begin{cases} |3+6x| \geq 9 \\ 3+6x < 0 \end{cases} \\ \iff & -(3+6x) \geq 9 \\ \iff & 3+6x \leq -9 \\ \iff & x \leq -2. \end{aligned}$$

Do trong mỗi trường hợp, mọi biến đổi là tương đương, nên chúng ta có tập nghiệm của bất phương trình là $(-\infty; -2] \cup [1; \infty)$.

5. Trường hợp một — $3x + 4 \geq 0$. Khi này,

$$\begin{cases} 2x + 3 + |3x + 4| = 2x + 3 + (3x + 4) \\ 3x + 4 \geq 0 \end{cases} \iff \begin{cases} 2x + 3 + |3x + 4| = 5x + 7 \\ x \geq -\frac{4}{3} \end{cases}$$

$$\implies 2x + 3 + |3x + 4| \geq 5\left(-\frac{4}{3}\right) + 7 \iff 2x + 3 + |3x + 4| \geq \frac{1}{3} > 0.$$

Trường hợp hai — $3x + 4 < 0$:

$$\begin{cases} 2x + 3 + |3x + 4| = 2x + 3 - (3x + 4) \\ 3x + 4 < 0 \end{cases} \iff \begin{cases} 2x + 3 + |3x + 4| = -x - 1 \\ x < -\frac{4}{3} \end{cases}$$

Từ đó, có:

$$-x > \frac{4}{3} \iff -x - 1 > \frac{1}{3} \implies 2x + 3 + |3x + 4| > 0.$$

Từ hai trường hợp, chúng ta có $2x + 3 + |3x + 4| > 0$ với mọi giá trị thực của x . Do đó, tập nghiệm của phương trình là \mathbb{R} .

6. Tóm tắt các trường hợp thông qua bảng xét dấu sau:

x	$-\infty$	-4	$\frac{12}{7}$	∞
$x + 4$		$-$	0	$+$
$7x - 12$	$-$	$-$	0	$+$

Bảng 0.12: Bảng xét dấu cho $x + 4$ và $7x - 12$

Trường hợp một — $x < -4$. Khi này, phương trình ban đầu trở thành

$$\begin{aligned} |x + 4| &= |7x - 12| \\ \iff -(x + 4) &= -(7x - 12) \\ \iff x &= \frac{8}{3}. \end{aligned}$$

Chúng ta không nhận nghiệm này trong trường hợp này do trái với giả thiết $x < -4$.

Trường hợp hai — $-4 \leq x < \frac{12}{7}$. Khi này,

$$\begin{aligned} |x + 4| &= |7x - 12| \\ \iff x + 4 &= -(7x - 12) \\ \iff x &= 1. \end{aligned}$$

Trường hợp ba — $x \geq \frac{12}{7}$. Từ đây,

$$\begin{aligned} |x + 4| &= |7x - 12| \\ \iff x + 4 &= 7x - 12 \\ \iff x &= \frac{8}{3}. \end{aligned}$$

Kết hợp các trường hợp và kiểm tra lại các nghiệm, chúng ta có nghiệm của phương trình là $x \in \{1; \frac{8}{3}\}$.

7. Kẻ bảng xét dấu

x	$-\infty$	$-\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	∞
$6x + 9$	$-$	0	$+$	$+$
$6x - 3$	$-$	$-$	0	$+$

Bảng 0.13: Bảng xét dấu cho $6x + 9$ và $6x - 3$

Trường hợp một — $x < -\frac{3}{2}$. Khi này, bất phương trình ban đầu trở thành

$$\begin{aligned}
& |6x + 9| > |6x - 3| \\
\iff & -(6x + 9) > -(6x - 3) \\
\iff & -9 > 3.
\end{aligned}$$

Bất phương trình sai với mọi x . Đối với trường hợp này, tập nghiệm là \emptyset .
 Trường hợp hai — $-\frac{3}{2} \leq x < \frac{1}{2}$. Khi này,

$$\begin{aligned}
& |6x + 9| > |6x - 3| \\
\iff & 6x + 9 > -(6x - 3) \\
\iff & x > -\frac{1}{2}.
\end{aligned}$$

Trường hợp ba — $x \geq \frac{1}{2}$:

$$\begin{aligned}
& |6x + 9| > |6x - 3| \\
\iff & 6x + 9 > 6x - 3 \\
\iff & 9 > -3
\end{aligned}$$

luôn đúng. Kết hợp với điều kiện, chúng ta có tập nghiệm $[\frac{1}{2}; \infty)$.

Hợp tập nghiệm của cả ba trường hợp, do mọi biến đổi trong mỗi trường hợp là tương đương cho nên bất phương trình có tập nghiệm là $(-\frac{1}{2}; \infty)$.

8. Biến đổi cơ bản để có

$$\begin{aligned}
& |2x + 2| + |x + 1| = 9 \\
\iff & |2(x + 1)| + |x + 1| = 9.
\end{aligned} \tag{0.18}$$

$$\text{Với } x \geq -1 \text{ thì } x + 1 \geq 0 \iff \begin{cases} |2(x + 1)| = 2(x + 1) \\ |x + 1| = x + 1 \end{cases} \text{ . Cho nên}$$

$$\begin{aligned}
(0.18) \iff & 2(x + 1) + (x + 1) = 9 \\
\iff & x = 2.
\end{aligned}$$

$$\text{Với } x < -1 \text{ thì } x + 1 < 0 \iff \begin{cases} |2(x + 1)| = -(2(x + 1)) \\ |x + 1| = -(x + 1) \end{cases} \text{ . Cho nên}$$

$$\begin{aligned}
(0.18) \iff & -(2(x + 1)) - (x + 1) = 9 \\
\iff & x = -4.
\end{aligned}$$

Phương trình có nghiệm là $\{2; -4\}$.

9. Kẻ bảng xét dấu

x	$-\infty$	-1	$\frac{4}{3}$	∞
$3x + 3$		$-$	0	$+$
$3x - 4$		$-$	$-$	0
			$+$	

Bảng 0.14: Bảng xét dấu cho $3x + 3$ và $3x - 4$

Trường hợp một — $x < -1$. Từ đó,

$$\begin{aligned}
& |3x + 3| + |3x - 4| \leq 7 \\
\iff & -(3x + 3) - (3x - 4) \leq 7 \\
\iff & -6x + 1 \leq 7 \\
\iff & x \geq -1.
\end{aligned}$$

Điều này trái với điều kiện $x < -1$ của trường hợp này.

Trường hợp hai — $-1 \leq x < \frac{4}{3}$. Với điều kiện này,

$$\begin{aligned} |3x+3| + |3x-4| &\leq 7 \\ \Leftrightarrow 3x+3 - (3x-4) &\leq 7 \\ \Leftrightarrow 7 &\leq 7. \end{aligned}$$

Bất phương trình này là luôn đúng.

Trường hợp ba — $x \geq \frac{4}{3}$. Khi này,

$$\begin{aligned} |3x+3| + |3x-4| &\leq 7 \\ \Leftrightarrow 3x+3 + 3x-4 &\leq 7 \\ \Leftrightarrow x &\leq \frac{4}{3}. \end{aligned}$$

Kết hợp với điều kiện, có được $x = \frac{4}{3}$.

Qua ba trường hợp, tập nghiệm của bất phương trình là $[-1; \frac{4}{3}]$.

10.

$$\begin{aligned} |2(x-1)^2 - 4| &= 2 \\ \Leftrightarrow |2x^2 - 2x - 2| &= 2. \end{aligned} \quad (0.19)$$

Xét hai trường hợp. **Trường hợp một** — $2x^2 - 2x - 2 \geq 0$:

$$\begin{aligned} (0.19) &\Leftrightarrow 2x^2 - 2x - 2 = 2 \\ &2x^2 - 2x - 4 = 0 \\ &x^2 - x - 2 = 0. \end{aligned}$$

Giải phương trình này để có $x \in \{-1; 2\}$, đều thỏa mãn điều kiện $2x^2 - 2x - 2 \geq 0$.

Trường hợp hai — $2x^2 - 2x - 2 < 0$:

$$\begin{aligned} (0.19) &\Leftrightarrow -(2x^2 - 2x - 2) = 2 \\ &\Leftrightarrow -2x^2 + 2x + 2 = 2 \\ &\Leftrightarrow -2x^2 + 2x = 0. \end{aligned}$$

Phương trình này có nghiệm $x = 0$ hoặc $x = 1$, đều thỏa mãn điều kiện $2x^2 - 2x - 2 < 0$.

Qua hai trường hợp, tập nghiệm của phương trình là $\{-1; 0; 1; 2\}$.

11. Vì cả hai đa thức bậc hai $2x^2 - 2x - 2$ và $3x^2 - 4x - 2$ đều không có nghiệm đẹp, nên tác giả sẽ không vẽ bảng xét dấu cho bài này mà chia làm bốn trường hợp. Để rút gọn, tác giả sẽ gộp lại như sau:

Trường hợp một — $\begin{cases} 2x^2 - 2x - 2 \geq 0 \\ 3x^2 - 4x - 2 \geq 0 \end{cases}$ và **trường hợp hai** — $\begin{cases} 2x^2 - 2x - 2 < 0 \\ 3x^2 - 4x - 2 < 0 \end{cases}$. Cả hai trường hợp

này sau khi phá bỏ dấu giá trị tuyệt đối đều cho:

$$\begin{aligned} 2x^2 - 2x - 2 &= 3x^2 - 4x - 2 \\ \Leftrightarrow 0 &= x^2 - 2x \\ \Leftrightarrow x &\in \{0; 2\}. \end{aligned}$$

Trường hợp ba — $\begin{cases} 2x^2 - 2x - 2 \geq 0 \\ 3x^2 - 4x - 2 < 0 \end{cases}$ và **trường hợp bốn** — $\begin{cases} 2x^2 - 2x - 2 < 0 \\ 3x^2 - 4x - 2 \geq 0 \end{cases}$. Cả hai trường hợp

đều suy ra

$$\begin{aligned} 2x^2 - 2x - 2 &= -(3x^2 - 4x - 2) \\ \Leftrightarrow 5x^2 - 6x - 4 &= 0 \\ \Leftrightarrow x &\in \left\{ \frac{3 + \sqrt{29}}{5}; \frac{3 - \sqrt{29}}{5} \right\}. \end{aligned}$$

Kết hợp các tập nghiệm và kiểm tra trực tiếp, chúng ta có tập nghiệm của phương trình là

$$\left\{ 0; 2; \frac{3 + \sqrt{29}}{5}; \frac{3 - \sqrt{29}}{5} \right\}.$$

12. Xét trường hợp một — $x < 0$, có $x^3 - 3x^2 + x = x(x^2 - 3x + 1)$. Vì $x < 0$ nên $-3x > 0 \implies x^2 - 3x + 1 > 0 \implies x^3 - 3x^2 + x < 0$. Do đó,

$$\begin{cases} |x^3 - 3x^2 + x| = -(x^3 - 3x^2 + x) \\ |x| = -x \end{cases}.$$

Qua đó, bất phương trình ban đầu trở thành:

$$\begin{aligned} & |x^3 - 3x^2 + x| \leq |x| \\ \iff & -(x^3 - 3x^2 + x) \leq -x \\ \iff & -x^3 + 3x^2 \leq 0 \\ \iff & x^2(3 - x) \leq 0 \\ \iff & 3 - x \leq 0 \quad (x^2 \geq 0 \text{ với mọi } x \in \mathbb{R}) \\ \iff & x \geq 3. \end{aligned}$$

Kết quả này mâu thuẫn với điều kiện $x < 0$ nên không có nghiệm trong trường hợp này.

Xét $x \geq 0$, chúng ta chia làm hai trường hợp nhỏ. Cụ thể, trường hợp hai — $\begin{cases} x \geq 0 \\ x^3 - 3x^2 + x \geq 0 \end{cases}$. Khi này

$$\begin{aligned} & |x^3 - 3x^2 + x| \leq |x| \\ \iff & x^3 - 3x^2 + x \leq x \\ \iff & x^3 - 3x^2 \leq 0 \\ \iff & x^2(x - 3) \leq 0 \\ \iff & x - 3 \leq 0 \quad (x^2 \geq 0 \text{ với mọi } x \in \mathbb{R}) \\ \iff & x \leq 3. \end{aligned}$$

Cần phải kết hợp với điều kiện để xác định nghiệm thỏa mãn. Có

$$\begin{aligned} & x^3 - 3x^2 + x \geq 0 \\ \iff & x(x^2 - 3x + 1) \geq 0 \\ \iff & x^2 - 3x + 1 \geq 0 \quad (x \geq 0 \text{ theo điều kiện}). \end{aligned}$$

Kẻ bảng xét dấu

x	$-\infty$	$\frac{3-\sqrt{5}}{2}$	$\frac{3+\sqrt{5}}{2}$	∞		
x^2-3x+1		+	0	-	0	+

Bảng 0.15: Bảng xét dấu của $x^2 - 3x + 1$

Qua đó, nghiệm của bất phương trình trong trường hợp này là $\left[0; \frac{3-\sqrt{5}}{2}\right] \cup \left[\frac{3+\sqrt{5}}{2}; 3\right]$.

Trường hợp ba — $\begin{cases} x \geq 0 \\ x^3 - 3x^2 + x < 0 \end{cases} \iff x^2 - 3x + 1 < 0$. Từ bảng xét dấu 0.15, x phải nằm trong đoạn $\left[\frac{3-\sqrt{5}}{2}; \frac{3+\sqrt{5}}{2}\right]$. Ngoài ra, từ bất phương trình:

$$\begin{aligned} & |x^3 - 3x^2 + x| \leq |x| \\ \iff & -(x^3 - 3x^2 + x) \leq x \\ \iff & -x^3 + 3x^2 - 2x \leq 0 \\ \iff & -x(x - 1)(x - 2) \leq 0 \\ \iff & (x - 1)(x - 2) \geq 0 \quad (x < 0 \text{ theo điều kiện}). \end{aligned}$$

Kẻ bảng xét dấu cho $(x-1)(x-2)$:

x	$-\infty$	1	2	∞
$x-1$		-	0	+
$x-2$		-	-	0
$(x-1)(x-2)$		+	0	-

Bảng 0.16: Bảng xét dấu của $(x-1)(x-2)$

Qua đó, nghiệm của bất phương trình trong trường hợp này là $\left[\frac{3-\sqrt{5}}{2}; 1\right] \cup \left[2; \frac{3+\sqrt{5}}{2}\right]$.

Qua ba trường hợp, chúng ta có tập nghiệm của bất phương trình: $[0; 1] \cup [2; 3]$.

Bài 17: Phác thảo đồ thị của những hàm sau:

$$1. f(x) = \begin{cases} x+1 & \text{nếu } x \leq 1 \\ 2 & \text{nếu } x > 1 \end{cases} ;$$

$$4. f(x) = \begin{cases} \frac{2x-1}{x-1} & \text{nếu } -3 \leq x < 0 \\ (x+1)^2 - 3x & \text{nếu } 0 \leq x < 2 \\ \frac{2x-1}{x-1} & \text{nếu } 2 \leq x \leq 3 \end{cases} ;$$

$$2. f(x) = \begin{cases} x^3 + 4 & \text{nếu } x < 0 \\ -x^2 + 1 & \text{nếu } x \geq 0 \end{cases} ;$$

$$5. f(x) = \begin{cases} x^3 + 3 & \text{nếu } x \leq 0 \\ -2x + 2 & \text{nếu } 0 < x < 1 \\ 2 + x - x^2 & \text{nếu } x \geq 1 \end{cases} ;$$

$$3. f(x) = \begin{cases} -\frac{4}{x^2} & \text{nếu } -2 > x \geq -3 \\ -\frac{5}{x^2+1} & \text{nếu } x \geq -2 \text{ thực để} \\ \frac{5}{x^2+1} & \text{là số nguyên} \end{cases} ;$$

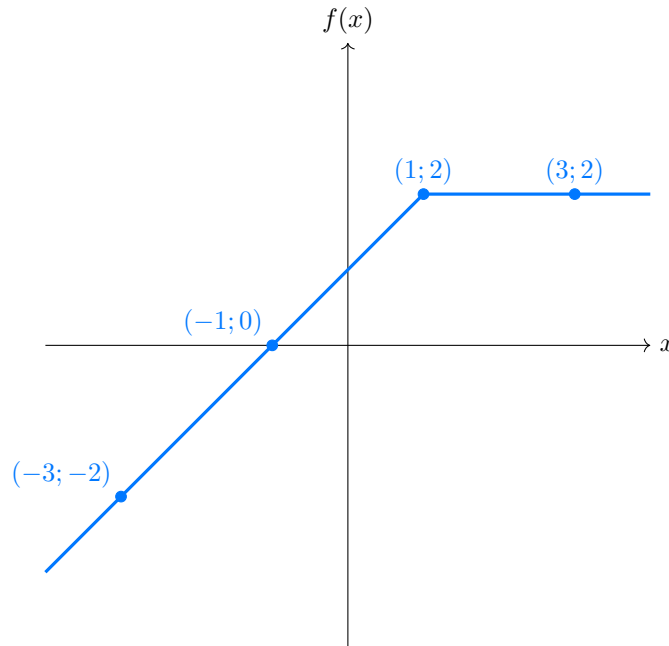
$$6. f(x) = |x|;$$

$$7. f(x) = |2x^2 - 4x|;$$

$$8. f(x) = |x^3 - 3x^2 + x| - |x|;$$

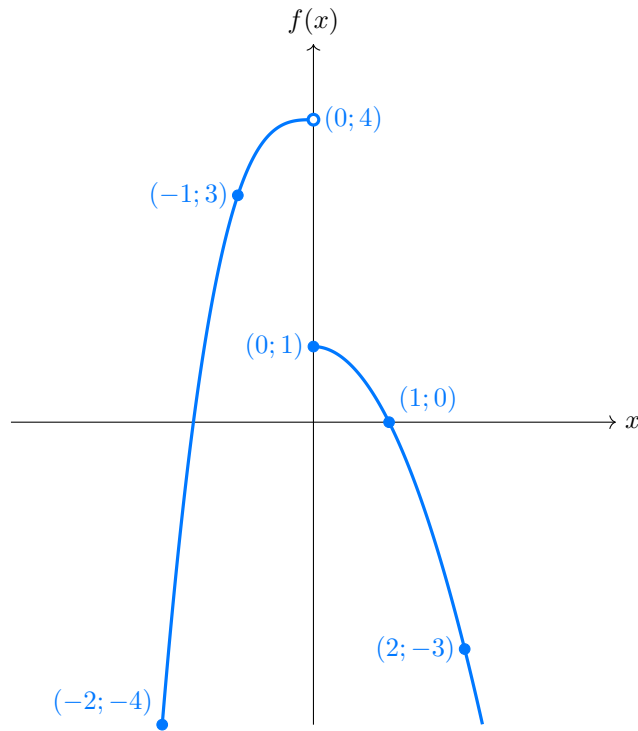
Lời giải bài 17:

1.



Hình 0.53: Đồ thị của $\begin{cases} x+1 & \text{nếu } x \leq 1 \\ 2 & \text{nếu } x > 1 \end{cases}$

2.



Hình 0.54: Đồ thị của $\begin{cases} x^3 + 4 & \text{nếu } x < 0 \\ -x^2 + 1 & \text{nếu } x \geq 0 \end{cases}$

Để ý rằng $f(x)$ đứt đoạn tại giá trị $x = 0$. Cụ thể, $f(x)$ không nhận giá trị $x^3 + 4$ khi $x = 0$. Tuy nhiên, không thể vẽ điểm ngay liền trước nó (không có số âm lớn nhất), nên người ta hay dùng đường tròn rỗng để biểu thị điểm đứt đoạn này.

3. Trước hết, cần xác định các giá trị của $x \geq -2$ để $\frac{5}{x^2+1}$ là số nguyên. Do với mọi $x \in \mathbb{R}$ thì

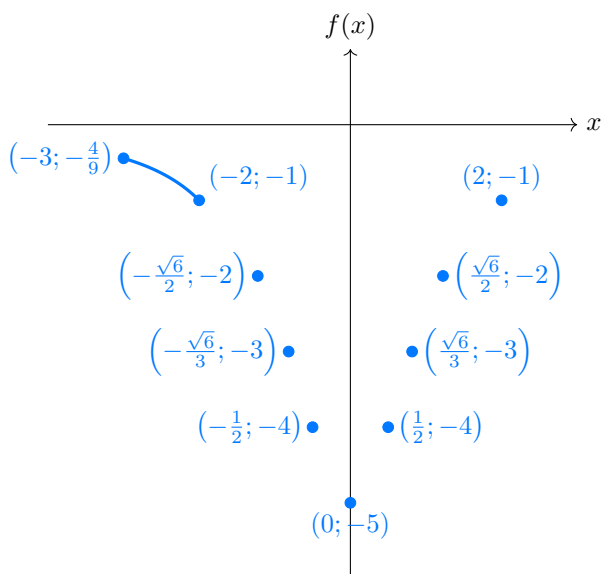
$$x^2 \geq 0 \iff x^2 + 1 \geq 1 > 0 \iff 5 \geq \frac{5}{x^2 + 1} > 0.$$

Mà cần phải để $\frac{5}{x^2+1} \in \mathbb{N}$ cho nên $\frac{5}{x^2+1} \in \{1; 2; 3; 4; 5\}$. Với để ý đến điều kiện $x \geq -2$, kẻ bảng để xác định các giá trị có thể của x :

$\frac{5}{x^2+1}$	1	2	3	4	5
x^2+1	5	$\frac{5}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{5}{4}$	1
x^2	4	$\frac{3}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$	1
x	$\{-2; 2\}$	$\{-\sqrt{\frac{3}{2}}; \sqrt{\frac{3}{2}}\}$	$\{-\sqrt{\frac{2}{3}}; \sqrt{\frac{2}{3}}\}$	$\{-\frac{1}{2}; \frac{1}{2}\}$	0

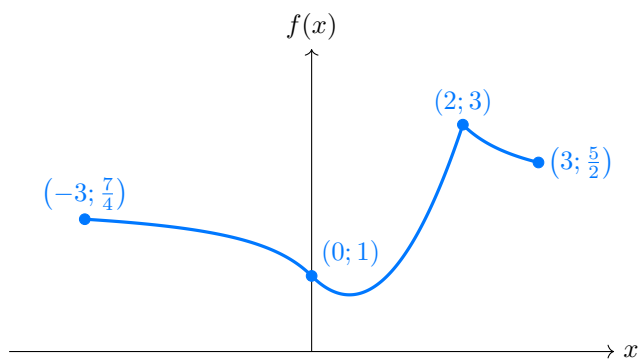
Bảng 0.17: Bảng giá trị của $\frac{5}{x^2+1}$ với x

Từ đây, có được đồ thị của $f(x)$:



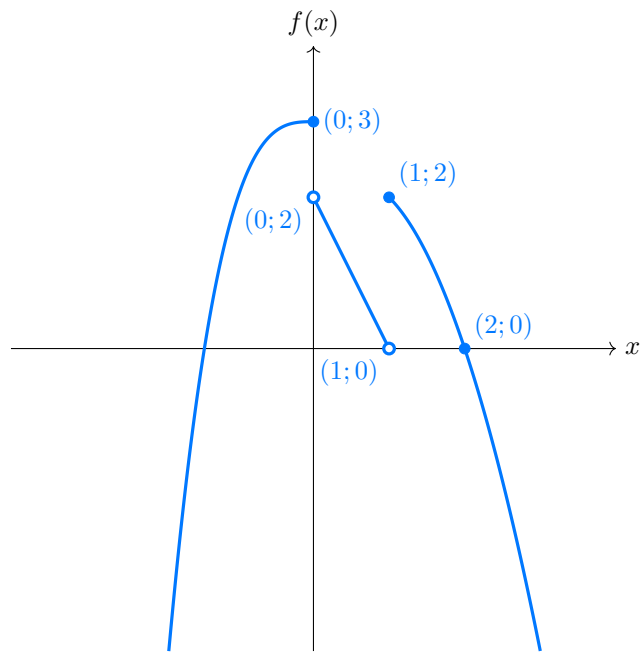
Hình 0.55: Đồ thị của
$$\begin{cases} -\frac{4}{x^2} & \text{nếu } -2 > x \geq -3 \\ -\frac{5}{x^2+1} & \text{nếu } x \geq -2 \text{ thực để} \\ & \frac{5}{x^2+1} \text{ là số nguyên} \end{cases}$$

4.



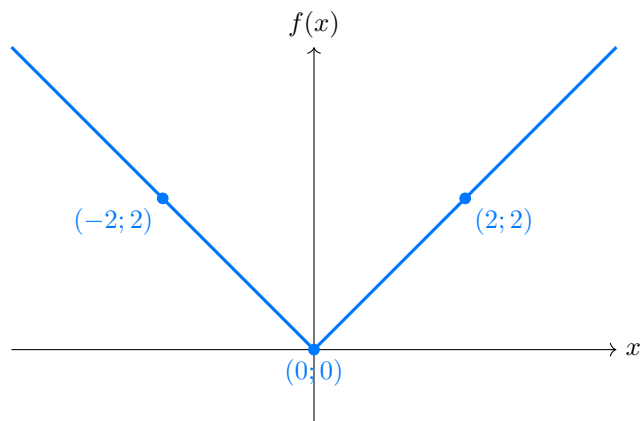
Hình 0.56: Đồ thị của
$$\begin{cases} \frac{2x-1}{x-1} & \text{nếu } -3 \leq x < 0 \\ (x+1)^2 - 3x & \text{nếu } 0 \leq x < 2 \\ \frac{2x-1}{x-1} & \text{nếu } 2 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

5.



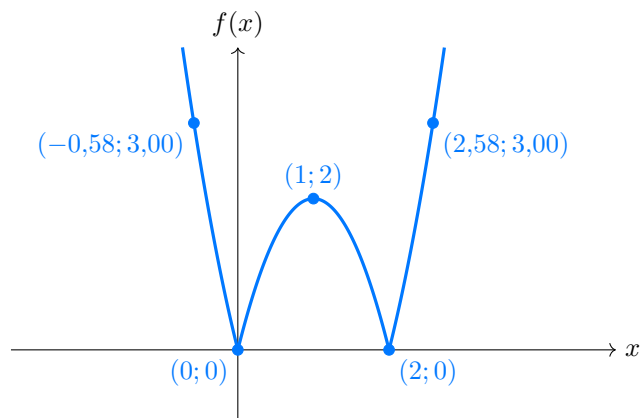
Hình 0.57: Đồ thị của
$$\begin{cases} x^3 + 3 & \text{nếu } x \leq 0 \\ -2x + 2 & \text{nếu } 0 < x < 1 \\ 2 + x - x^2 & \text{nếu } x \geq 1 \end{cases}$$

6.



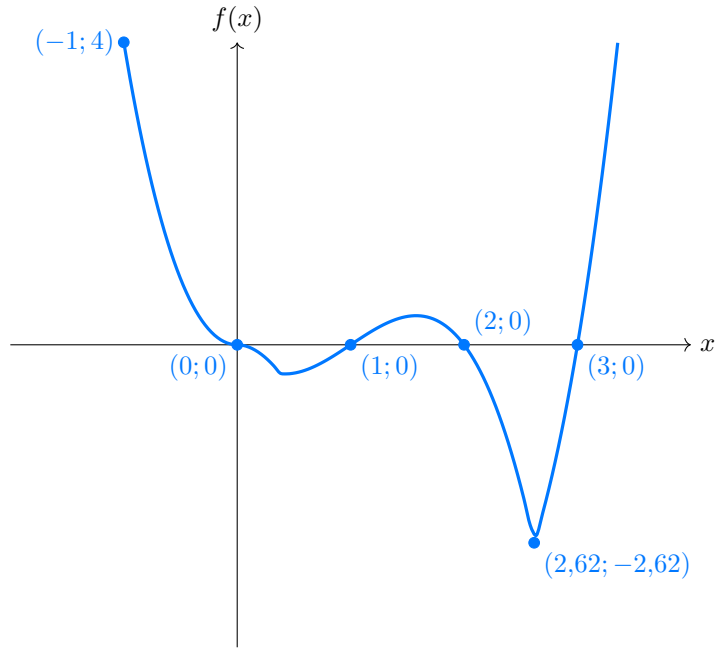
Hình 0.58: Đồ thị của $|x|$

7.



Hình 0.59: Đồ thị của $|2x^2 - 4x|$

8.



Bài 18: Cho a và b là hai số thực. Chứng minh rằng $|a||b| = |ab|$.

Lời giải bài 18:

Để chứng minh $|a||b| = |ab|$ ngắn gọn, chúng ta thực hiện kẻ bảng:

Điều kiện	$\begin{cases} a \geq 0 \\ b \geq 0 \end{cases}$	$\begin{cases} a \geq 0 \\ b < 0 \end{cases}$	$\begin{cases} a < 0 \\ b \geq 0 \end{cases}$	$\begin{cases} a < 0 \\ b < 0 \end{cases}$
$ a , b $	$\begin{cases} a = a \\ b = b \end{cases}$	$\begin{cases} a = a \\ b = -b \end{cases}$	$\begin{cases} a = -a \\ b = b \end{cases}$	$\begin{cases} a = -a \\ b = -b \end{cases}$
$ a b $	ab	$(-a)b = -ab$	$a(-b) = -ab$	$(-a)(-b) = ab$
Dấu của ab	≥ 0	< 0	< 0	≥ 0
$ ab $	ab	$-ab$	$-ab$	ab

Bảng 0.18: Bảng so sánh $|a||b|$ và $|ab|$

Qua bảng, chúng ta luôn có $|a||b| = |ab|$. Chúng ta có điều phải chứng minh.

Bài 19: Cho số thực a . Chứng minh rằng

- $|a| \geq a$;
- $|a|^2 = a^2$.

Lời giải bài 19:

1. Khi $a \geq 0$ thì $|a| = a$. Trong trường hợp còn lại, nếu $a < 0$, chúng ta có $-a > 0$. Do đó $|a| > a$.
 Vậy $|a| \geq a$ với mọi a thực.

2.

$$\begin{aligned}
 |a|^2 &= |a| \cdot |a| = |a \cdot a| = |a^2| \\
 &= a^2 \quad (a^2 \text{ thì luôn không âm}).
 \end{aligned}$$

Chúng ta qua đó có điều phải chứng minh.

Bài 20: Chứng minh rằng với a và b là hai số thực thì $|a| + |b| \geq |a + b|$.

Lời giải bài 20:

Chúng ta có những đẳng thức và bất đẳng thức sau:

$$\begin{cases} |a|^2 = a^2 \\ |b|^2 = b^2 \\ |a||b| = |ab| \geq ab \end{cases} .$$

Qua đó,

$$\begin{aligned}
 |a|^2 + 2|a||b| + |b|^2 &\geq a^2 + 2ab + b^2 \\
 &\iff (|a| + |b|)^2 \geq (a + b)^2 \\
 &\iff (|a| + |b|)^2 - |a + b|^2 \geq 0 \\
 &\iff (|a| + |b| - |a + b|)(|a| + |b| + |a + b|) \geq 0.
 \end{aligned} \tag{0.20}$$

Do $|a|$, $|b|$, $|a + b|$ đều không âm nên $|a| + |b| + |a + b| \geq 0$. Cho nên:

$$\begin{aligned}
 (0.20) &\iff |a| + |b| - |a + b| \geq 0 \\
 &\iff |a| + |b| \geq |a + b|.
 \end{aligned}$$

Đây là điều phải chứng minh.

Bài 21: Giải các phương trình sau trên ẩn x thực:

- | | |
|---|--|
| 1. $\lfloor x \rfloor = 4$; | 4. $3\lceil x \rceil^2 - 4\lceil x \rceil - 4 = 0$; |
| 2. $\lceil \frac{x}{4} \rceil = -2$; | 5. $\lfloor x + 2 \rfloor^3 - \lfloor x \rfloor = 2$; |
| 3. $2\lfloor -2x - 3 \rfloor - 1 = 1$; | 6. $\lfloor \frac{x}{3} \rfloor + \lfloor \frac{x}{5} \rfloor = 7$. |

Lời giải bài 21:

1. Giả sử $x \geq 5$. Khi đó, số nguyên lớn nhất không vượt quá x sẽ phải đạt giá trị tối thiểu là 5, và suy ra $\lfloor x \rfloor \geq 5$.

Giả sử $x < 4$. Nếu như vậy, số nguyên lớn nhất không vượt quá x cũng không thể từ 4 trở lên. Do vậy, $\lfloor x \rfloor < 5$.

Ngoài ra, dễ thấy rằng nếu $4 \leq x < 5$ thì $\lfloor x \rfloor = 4$ theo định nghĩa. Vậy tập nghiệm của phương trình là $[4; 5)$.

Tổng quát hóa, chúng ta sẽ có $\lfloor x \rfloor = a \iff a \leq x < a + 1$ với $a \in \mathbb{N}$.

2. Với một lập luận tương tự như phần trước, chúng ta có

$$\begin{aligned}
 \lceil \frac{x}{4} \rceil &= -2 \\
 &\iff -3 < \frac{x}{4} \leq -2 \\
 &\iff -12 < x \leq -8.
 \end{aligned}$$

Tập nghiệm của phương trình là $(-12; -8]$.

3.

$$\begin{aligned}
 2\lfloor -2x - 3 \rfloor - 1 &= 1 \\
 &\iff \lfloor -2x - 3 \rfloor = 1 \\
 &\iff 1 \leq -2x - 3 < 2 \\
 &\iff -2 \geq x > -\frac{5}{2}.
 \end{aligned}$$

Tập nghiệm của phương trình là $(-\frac{5}{2}; -2]$.

4.

$$\begin{aligned}
 3\lceil x \rceil^2 - 4\lceil x \rceil - 4 &= 0 \\
 &\iff (3\lceil x \rceil + 2)(\lceil x \rceil - 2) = 0 \\
 &\iff \begin{cases} \lceil x \rceil = -\frac{2}{3} \\ \lceil x \rceil = 2 \end{cases}.
 \end{aligned}$$

Do kết quả của hàm trần luôn là số nguyên nên chỉ có một trường hợp

$$\lceil x \rceil = 2 \iff 1 < x \leq 2.$$

Vậy tập nghiệm của phương trình là $(1; 2]$.

5.

Đặt $y = \lfloor x \rfloor$ với $y \in \mathbb{N}$. Theo định nghĩa, y là số nguyên lớn nhất không vượt quá x . Theo một cách nói khác, y là số nguyên duy nhất thỏa mãn $y \leq x < y + 1$. Cộng 2 vào tất cả các vế, chúng ta có $y + 2 \leq x + 2 < y + 3$. Nhận thấy rằng, $z = y + 2$ là số nguyên duy nhất thỏa mãn $z \leq x + 2 < z + 1$, hay z là số nguyên lớn nhất không quá $x + 2$. Do vậy,

$$\lfloor x + 2 \rfloor = y + 2 = \lfloor x \rfloor + 2. \quad (0.21)$$

Sử dụng điều kiện này để biến đổi phương trình:

$$\begin{aligned} & \lfloor x + 2 \rfloor^3 - \lfloor x \rfloor = 2 \\ \iff & (\lfloor x \rfloor + 2)^3 - (\lfloor x \rfloor + 2) = 0 \\ \iff & (\lfloor x \rfloor + 2) \left((\lfloor x \rfloor + 2)^2 - 1 \right) = 0 \\ \iff & (\lfloor x \rfloor + 2) (\lfloor x \rfloor + 1) (\lfloor x \rfloor + 3) = 0 \\ \iff & \begin{cases} \lfloor x \rfloor = -1 \\ \lfloor x \rfloor = -2 \\ \lfloor x \rfloor = -3 \end{cases} \\ \iff & \begin{cases} -1 \leq x < 0 \\ -2 \leq x < -1 \\ -3 \leq x < -2 \end{cases} \\ \iff & -3 \leq x < 0. \end{aligned}$$

Qua đó, chúng ta có nghiệm $x \in [-3; 0)$.

6. Nếu $x \geq 15$,

$$\begin{cases} \frac{x}{3} \geq 5 \\ \frac{x}{5} \geq 3 \end{cases} \implies \begin{cases} \lfloor \frac{x}{3} \rfloor \geq 5 \\ \lfloor \frac{x}{5} \rfloor \geq 3 \end{cases} \implies \left\lfloor \frac{x}{3} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{x}{5} \right\rfloor \geq 8.$$

Nếu $x < 15$, một cách tương tự, chúng ta cũng có

$$\begin{cases} \frac{x}{3} < 5 \\ \frac{x}{5} < 3 \end{cases} \implies \begin{cases} \lfloor \frac{x}{3} \rfloor < 5 \\ \lfloor \frac{x}{5} \rfloor < 3 \end{cases}.$$

Do $\lfloor \frac{x}{3} \rfloor$ và $\lfloor \frac{x}{5} \rfloor$ đều là số nguyên cho nên

$$\begin{cases} \lfloor \frac{x}{3} \rfloor \leq 4 \\ \lfloor \frac{x}{5} \rfloor \leq 2 \end{cases} \implies \left\lfloor \frac{x}{3} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{x}{5} \right\rfloor \leq 6.$$

Qua hai trường hợp, chúng ta thấy không có x để $\left\lfloor \frac{x}{3} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{x}{5} \right\rfloor = 7$. Vậy phương trình vô nghiệm.

1.

Cơ bản của xử lý số liệu trong vật lí

Bài 22: Khoảng cách trung bình từ trái đất đến mặt trời là $1,5 \cdot 10^8$ km. Giả sử quỹ đạo của trái đất quanh mặt trời là tròn và mặt trời được đặt tại gốc của hệ quy chiếu.

1. Tính tốc độ di chuyển trung bình của trái đất quanh mặt trời dưới dạng dặm trên giờ (1 dặm = 1,6093 km).
2. Ước lượng góc θ giữa véc-tơ vị trí của trái đất bây giờ và vị trí sau đó 4 tháng.
3. Tính khoảng cách giữa hai vị trí đó.

Lời giải bài 22:

1. Giả sử trái đất quay quanh mặt trời trong 365,25 ngày. Quãng đường mà trái đất đi được trong thời gian này là chu vi của quỹ đạo tròn $2\pi \cdot 1,5 \cdot 10^8$ km. Từ đó, chúng ta có thể tính được tốc độ trung bình của trái đất quanh mặt trời là $\frac{2\pi \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}}{365,25 \text{ ngày}}$. Thực hiện quy đổi để được:

$$\frac{2\pi \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}}{365,25 \text{ ngày}} \cdot \frac{1 \text{ dặm}}{1,6093 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ ngày}}{24 \text{ h}} = \boxed{6,4 \cdot 10^4 \frac{\text{dặm}}{\text{h}}}.$$

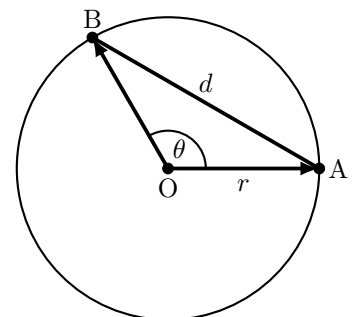
2. Trái đất quay quanh mặt trời trong 12 tháng, tương đương với một góc quay 360° so với gốc là mặt trời. Coi như các tháng có độ dài như nhau. Ta có θ chính là góc quay của trái đất trong 4 tháng, tương đương với:

$$\theta = \frac{360^\circ}{12 \text{ tháng}} \cdot 4 \text{ tháng} = \boxed{120^\circ}.$$

3.

Gọi A là vị trí của trái đất bây giờ, B là vị trí của trái đất sau 4 tháng theo như hình 1.1. Coi một đơn vị trên tọa độ bằng độ dài bán kính của quỹ đạo tròn, tức là $r = 1,5 \cdot 10^8$ km. Ta có tọa độ điểm A là $(1; 0)$. Tọa độ điểm B là $(\cos(120^\circ); \sin(120^\circ)) = \left(-\frac{1}{2}; \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$. Từ đó, chúng ta có khoảng cách giữa hai vị trí đó là:

$$d = r \cdot \sqrt{\left(1 - \left(-\frac{1}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = \boxed{2,6 \cdot 10^8 \text{ km}}.$$



Hình 1.1: Quỹ đạo trái đất

Bài 23: Khối lượng riêng (bằng khối lượng của vật chia cho thể tích của vật đó) của nước là $1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

1. Tính giá trị này theo ki-lô-gam trên mét khối.
2. 1,00 lít nước nặng bao nhiêu ki-lô-gam, bao nhiêu pao (lb)? Biết $1 \text{ lb} = 0,45 \text{ kg}$ (chính xác).

Lời giải bài 23:

1. Thực hiện quy đổi, chúng ta có:

$$\begin{aligned} 1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} &= \left(1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^3 \\ &= \boxed{1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}. \end{aligned}$$

2. Khối lượng của 1,00 lít nước là

$$\begin{aligned} 1,00 \text{ L} \cdot \left(1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) &= 1,00 \text{ L} \cdot \left(1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \\ &= \boxed{1,00 \cdot 10^0 \text{ kg}}. \end{aligned}$$

Theo đơn vị pao (lb), chúng ta có:

$$1,00 \cdot 10^0 \text{ kg} = 1,00 \cdot 10^0 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ lb}}{0,45 \text{ kg}} = \boxed{2,22 \cdot 10^0 \text{ lb}}.$$

Bài 24: Trong hệ thời gian cổ Trung Hoa, từ triều đại Thanh trở về trước (trừ một số năm), một ngày được chia thành 100 khắc. Sau triều đại này (trừ một số năm), một ngày được chia thành 96 khắc. Coi một ngày có 24 giờ và mọi số liệu là chính xác tuyệt đối.

1. Tính số giây (hệ đo lường hiện đại) trong một khắc trong cả hai thời kì.
2. Tính tỉ lệ về độ dài của hai khắc trong hai thời kì.

Lời giải bài 24:

1. Số giây trong một ngày là

$$24 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ phút}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{60 \text{ giây}}{1 \text{ phút}} = 86400 \text{ giây}.$$

Từ triều đại Thanh trở về trước, số giây trong một khắc là

$$\frac{86400 \text{ giây}}{100 \text{ khắc}_{\text{trước}}} = \boxed{864 \frac{\text{giây}}{\text{khắc}_{\text{trước}}}}.$$

Sau triều đại Thanh, số giây trong một khắc là

$$\frac{86400 \text{ giây}}{96 \text{ khắc}_{\text{sau}}} = \boxed{900 \frac{\text{giây}}{\text{khắc}_{\text{sau}}}}.$$

2 Tỉ lệ độ dài thời gian một khắc trước và sau là

$$\frac{1 \text{ khắc}_{\text{trước}}}{1 \text{ khắc}_{\text{sau}}} = \frac{1 \text{ khắc}_{\text{trước}}}{1 \text{ khắc}_{\text{sau}}} \cdot \frac{864 \text{ giây}}{1 \text{ khắc}_{\text{trước}}} \cdot \frac{1 \text{ khắc}_{\text{sau}}}{900 \text{ giây}} = \boxed{0,96}.$$

Bài 25: Một vòng đĩa tròn như trong hình 1.2 có đường kính 4,50 cm rỗng ở giữa một lỗ đường kính 1,25 cm. Đĩa dày 1,50 mm. Biết rằng đĩa được làm từ chất liệu có khối lượng riêng là $8600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Tính khối lượng vòng đĩa theo gram.

Lời giải bài 25:

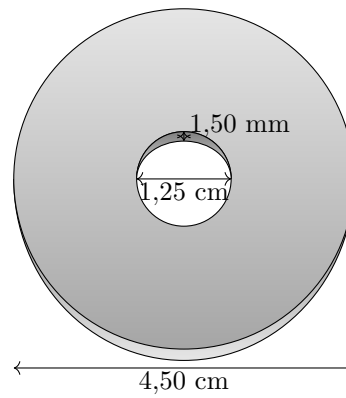
Đặt $D = 4,50 \text{ cm} = 4,50 \times 10^{-2} \text{ m}$, $d = 1,25 \text{ cm} = 1,25 \times 10^{-2} \text{ m}$, $h = 1,50 \text{ mm} = 1,50 \times 10^{-3} \text{ m}$ và $\mathcal{D} = 8600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 8,6 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{10^3 \text{ g}}{\text{kg}} = 8,6 \times 10^6 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$.

Nhận thấy rằng đĩa có dạng trụ, diện tích mặt đáy là

$$S = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}.$$

Thể tích của đĩa là $V = S \cdot h = \frac{\pi \cdot h \cdot (D^2 - d^2)}{4}$. Nhân với khối lượng riêng, chúng ta có khối lượng của đĩa là

$$m = \mathcal{D} \cdot V = \frac{\pi \cdot h \cdot \mathcal{D} \cdot (D^2 - d^2)}{4}.$$



Hình 1.2: Vòng đĩa tròn

Thay số trực tiếp với sự để ý đến số chữ số có nghĩa, chúng ta có kết quả $m = 1,89 \times 10^1 \text{ kg}$.

Bài 26: Khối lượng của một chất lỏng được mô hình hóa bởi phương trình $m = A \cdot t^{0,8} - B \cdot t$. Nếu như t được tính bằng giây và m được tính bằng ki-lô-gram, thì đơn vị của A và B là gì?

Lời giải bài 26:

Để có thể cộng trừ các phần tử, chúng cần phải có cùng đơn vị. Do vậy, đơn vị của $A \cdot t^{0,8}$ và $B \cdot t$ là kg. Từ quy tắc nhân chia các đơn vị, chúng ta có:

$$\begin{cases} A \cdot s^{0,8} &= \text{kg} \\ B \cdot s &= \text{kg} \end{cases} \iff \begin{cases} A &= \frac{\text{kg}}{s^{0,8}} \\ B &= \frac{\text{kg}}{s} \end{cases}.$$

Vậy đơn vị của A là $\frac{\text{kg}}{s^{0,8}}$ và đơn vị của B là $\frac{\text{kg}}{s}$.

2.

Chuyển động

Bài 27: Một ô tô đi 40 km trên một đường thẳng với tốc độ không đổi $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Sau đó, nó đi thêm theo chiều đó 60 km với tốc độ không đổi $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Các giá trị đo được tính đến hai chữ số có nghĩa.

1. Tính vận tốc trung bình trên cả quãng đường.
2. Tính tốc độ trung bình trên cả quãng đường.
3. Nếu xe quay đầu trước khi đi 50 km lúc sau, giữ nguyên các số liệu khác, thì vận tốc trung bình và tốc độ trung bình có thay đổi không. Tại sao?
4. Vẽ đồ thị vị trí x theo thời gian t và từ đó chỉ ra cách tính vận tốc trung bình.

Lời giải bài 27:

Coi chiều chuyển động ban đầu là chiều dương.

1. Thời gian đi 40 km đầu là

$$40 \text{ km} \div 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,0 \text{ h}.$$

Thời gian đi 50 km sau là

$$60 \text{ km} \div 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,2 \text{ h}.$$

Do hai quãng đường là cùng chiều nên chúng ta có độ dịch chuyển của xe tổng cộng là

$$\Delta x = 40 \text{ km} + 60 \text{ km} = 100 \text{ km}$$

và tổng thời gian đi là

$$\Delta t = 1,0 \text{ h} + 1,2 \text{ h} = 2,2 \text{ h}.$$

Từ đó, chúng ta có vận tốc trung bình là

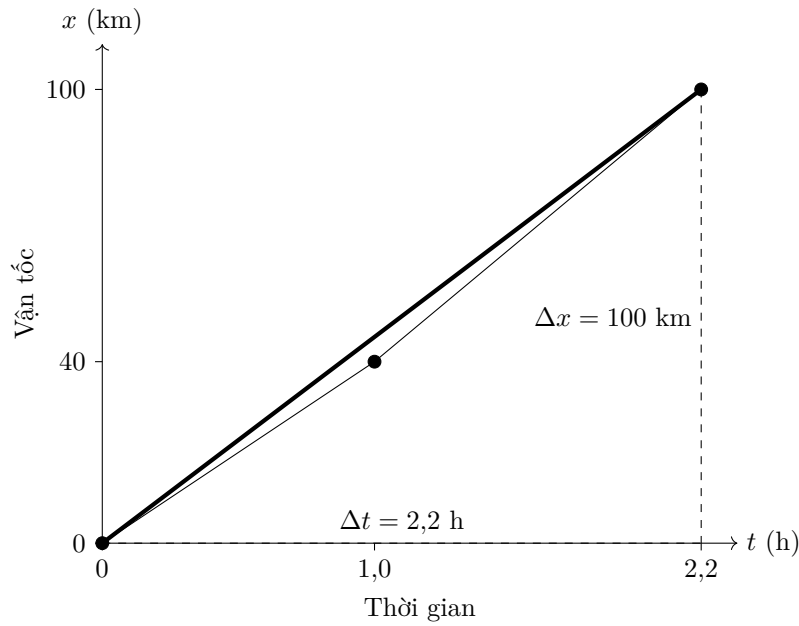
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \boxed{4,5 \times 10^1 \frac{\text{km}}{\text{h}}}.$$

2. Để thấy tổng quãng đường đi là $d = 100 \text{ km}$. Tốc độ trung bình là $\bar{s} = \frac{d}{\Delta t} = \boxed{4,5 \times 10^1 \frac{\text{km}}{\text{h}}}$.

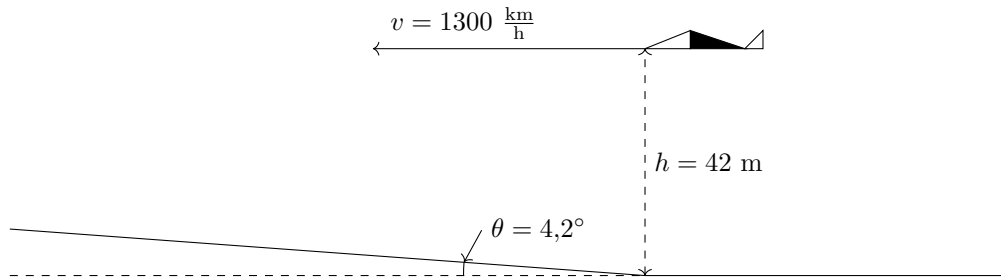
3. Thời gian không thay đổi. Có độ dịch chuyển thay đổi còn $\Delta x = 40 \text{ km} - 60 \text{ km} = -20 \text{ km}$ nhưng tổng quãng đường thì không. Do đó, tốc độ trung bình giữ nguyên nhưng vận tốc trung bình thay đổi.

4. Ta có đồ thị ở hình 2.1 bằng việc vẽ mối quan hệ $x(t)$ xong nối điểm đầu và điểm cuối. Vận tốc trung bình là độ dốc của đường thẳng nối hai điểm này.

Bài 28: Một máy bay phản lực đang bay ngang ở độ cao $h = 42$ mét. Đột nhiên nó bay vào vùng đất dốc lên góc $\theta = 4,2^\circ$ (xem hình 2.2). Với tốc độ bay là $v = 1300 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, thời gian tính từ lúc bay vào vùng đất dốc mà người phi công có để điều chỉnh máy bay là bao nhiêu? Tất cả các số liệu được đo đến hai chữ số có nghĩa.



Hình 2.1: Đồ thị vị trí xe-thời gian chạy



Hình 2.2: Vị trí máy bay trong vùng dốc lên

Lời giải bài 28:

Khoảng cách từ máy bay đến điểm va chạm với mặt đất là

$$d = \frac{h}{\tan(\theta)}.$$

Từ đó, chúng ta có được thời gian cho phép là

$$t = \frac{d}{v} = \frac{h}{v \tan(\theta)}.$$

Thay số trực tiếp, với để ý đến sự quy đổi $v = 1300 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1300 \frac{\text{km}}{\text{h}} \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 361 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, chúng ta có

$$t = \boxed{1,6 \times 10^0 \text{ s}}.$$

Bài 29: Cho biết vị trí của một vật chuyển động thẳng được xác định bằng $x(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + c$. Xác định vị trí, vận tốc và gia tốc của vật tại thời điểm $t = t_0$.

Lời giải bài 29:

Vị trí của vật tại $t = t_0$ là

$$x(t_0) = \boxed{a \cdot t_0^2 + b \cdot t_0 + c}.$$

Vận tốc của vật tại $t = t_0$ là

$$v(t_0) = \left. \frac{dx(t)}{dt} \right|_{t=t_0} = \boxed{2a \cdot t_0 + b}.$$

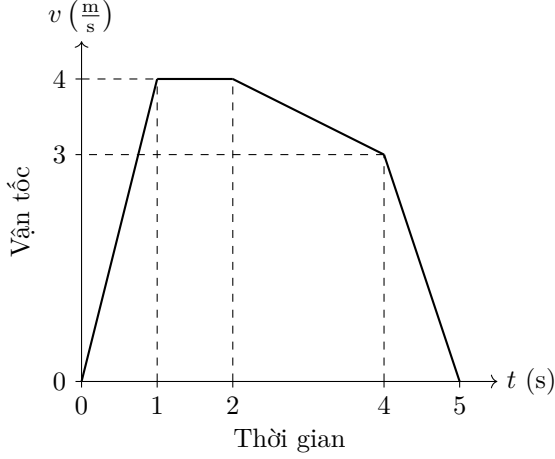
Gia tốc của vật tại $t = t_0$ là

$$a(t_0) = \left. \frac{dv(t)}{dt} \right|_{t=t_0} = \boxed{2a}.$$

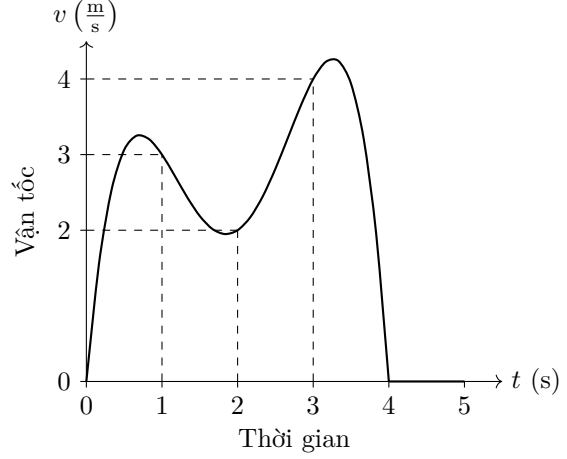
Bài 30: Phác họa đồ thị vị trí - thời gian và gia tốc thời gian của một người chạy bộ nếu đồ thị vận tốc - thời gian của người đó được biểu diễn trên đồ thị

1. hình 2.3;
2. hình 2.4.

Các số liệu được coi như chính xác tuyệt đối. Bạn có thể giả sử người đó bắt đầu chạy từ vị trí $x = 0$.



Hình 2.3: Phần 1



Hình 2.4: Phần 2

Lời giải bài 30:

1. Ta chia quá trình chạy làm 4 phần.

- Phần 1 ($0 \leq t \leq 1$ s): Vận tốc tăng đều từ 0 đến $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Chuyển động là nhanh dần với gia tốc không đổi là $a(t)|_{t \in [0 \text{ s}; 1 \text{ s}]} = \frac{v(1 \text{ s}) - v(0 \text{ s})}{1 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Sau khoảng thời gian t , độ dịch chuyển là $x(t)|_{t \in [0 \text{ s}; 1 \text{ s}]} - x(0 \text{ s}) = \frac{a(t)|_{t \in [0 \text{ s}; 1 \text{ s}]} \cdot t^2}{2} + v(t)|_{t \in [0 \text{ s}; 1 \text{ s}]} \cdot t$. Từ đó chúng ta có $x(t) = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2$ với $0 \leq t \leq 1$ s và $x(1 \text{ s}) = 2 \text{ m}$.

- Phần 2 ($1 \leq t \leq 2$ s): Vận tốc không đổi ở $v(t)|_{t \in [1 \text{ s}; 2 \text{ s}]} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (chuyển động thẳng đều).

Qua đó, chúng ta có $x(t)|_{t \in [1 \text{ s}; 2 \text{ s}]} = x(1 \text{ s}) + v(t)|_{t \in [1 \text{ s}; 2 \text{ s}]} \cdot (t - 1 \text{ s}) = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t - 2 \text{ m}$ và $x(2 \text{ s}) = 6 \text{ m}$.

Phần 3 ($2 \leq t \leq 4$ s) và phần 4 ($4 \leq t \leq 5$ s) làm tương tự như phần 1. Ta được

$$\begin{cases} a(t)|_{t \in [2 \text{ s}; 4 \text{ s}]} &= -\frac{1}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ a(t)|_{t \in [4 \text{ s}; 5 \text{ s}]} &= -3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{cases}$$

và qua đó

$$\begin{cases} x(t)|_{t \in [2 \text{ s}; 4 \text{ s}]} &= -\frac{1}{4} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (t - 2 \text{ s})^2 + 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (t - 2 \text{ s}) + 6 \text{ m} \\ x(t)|_{t \in [4 \text{ s}; 5 \text{ s}]} &= -\frac{3}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (t - 4 \text{ s})^2 + 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (t - 4 \text{ s}) + 13 \text{ m} \end{cases}$$

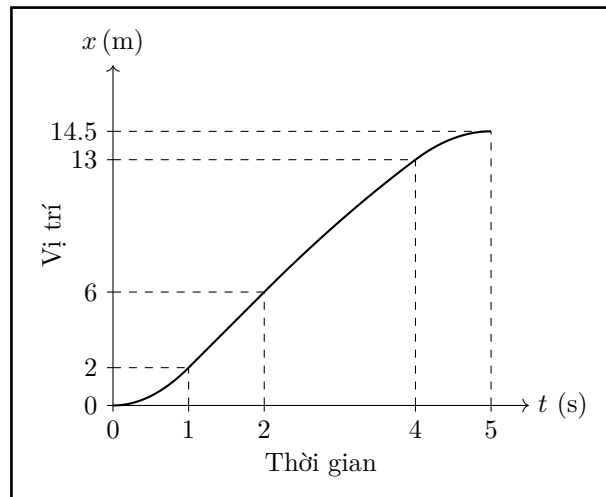
$$\Leftrightarrow \begin{cases} x(t)|_{t \in [2 \text{ s}; 4 \text{ s}]} &= -\frac{1}{4} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2 + 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t - 3 \text{ m} \\ x(t)|_{t \in [4 \text{ s}; 5 \text{ s}]} &= -\frac{3}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2 + 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t - 23 \text{ m} \end{cases}$$

Cuối cùng, chúng ta có thể biểu diễn vị trí của người chạy trên đồ thị như hình 2.5.

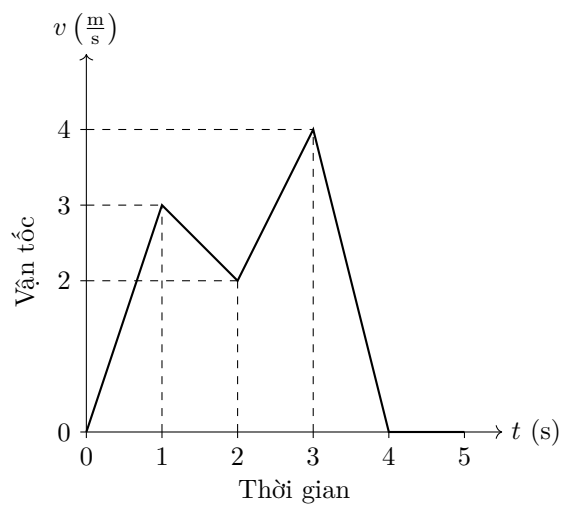
2. Chúng ta có thể phác họa đồ thị vị trí - thời gian bằng việc xấp xỉ đồ thị vận tốc - thời gian dưới dạng đường gấp khúc nối các điểm đã biết thể hiện ở 2.6.

Từ đây, thực hiện tương tự như phần 1 để có phương trình vị trí - thời gian

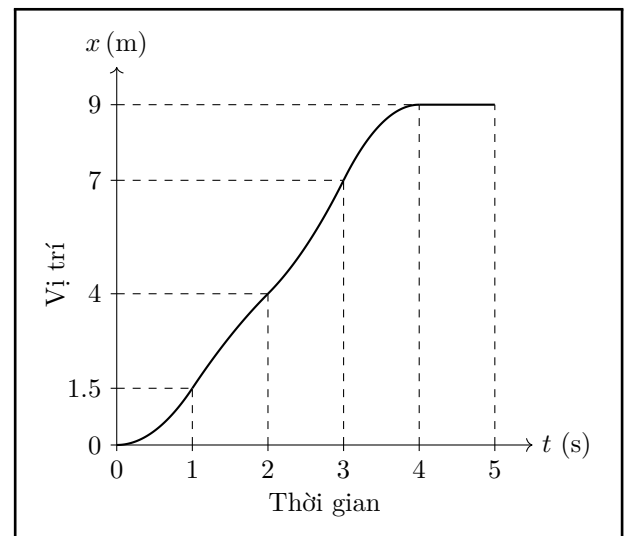
$$x(t) = \begin{cases} \frac{3}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2 & \text{với } 0 \leq t < 1 \text{ s} \\ -\frac{1}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2 + 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t - 2 \text{ m} & \text{với } 1 \leq t < 2 \text{ s} \\ 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2 - 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t + 4 \text{ m} & \text{với } 2 \leq t < 3 \text{ s} \\ -2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2 + 16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t - 23 \text{ m} & \text{với } 3 \leq t < 4 \text{ s} \\ 9 \text{ m} & \text{với } 4 \leq t \leq 5 \text{ s} \end{cases}$$



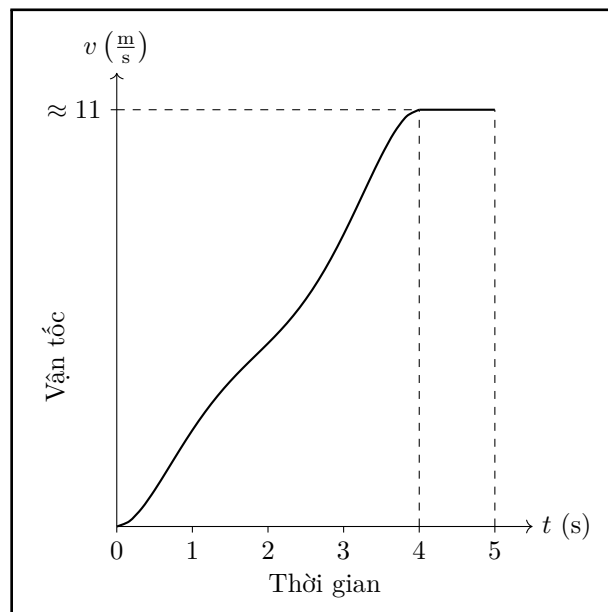
Hình 2.5: Đồ thị vị trí - thời gian cho phần 1



Hình 2.6: Vận tốc - thời gian xấp xỉ của phần 2



Hình 2.7: Vị trí - thời gian (xấp xỉ) cho phần 2



Hình 2.8: Đồ thị vị trí - thời gian cho phần 2

và chúng ta vẽ được đồ thị ở hình 2.7.

Trong thực tiễn, chúng ta hay xấp xỉ những quá trình không tuyến tính qua hữu hạn những điểm đo rồi nội suy tuyến tính (nối các điểm bằng các đoạn thẳng) như đã làm. Còn nhiều phương pháp nội suy nữa còn có thể được tìm thấy trong những tài liệu về phương pháp tính và giải tích số. Thông thường, với càng nhiều điểm thì độ chính xác càng lớn.

Trong trường hợp mà bạn nhận ra phương trình vận tốc - thời gian được cho là

$$v(t) = \begin{cases} \frac{-t \left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}^5} \cdot t^3 - 31 \frac{\text{m}}{\text{s}^4} \cdot t^2 + 77 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \cdot t - 68 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)}{6} & \text{với } 0 \leq t < 4 \\ 0 & \text{với } 4 \leq t \leq 5 \end{cases}$$

thì bạn có thể thực hiện nguyên hàm trên hàm này để tính được vị trí vật là

$$x(t) = \begin{cases} \frac{-t^2 \left(48 \frac{\text{m}}{\text{s}^5} \cdot t^3 - 465 \frac{\text{m}}{\text{s}^4} \cdot t^2 + 1540 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \cdot t - 2040 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)}{360} & \text{với } 0 \leq t < 4 \\ \frac{496}{45} \text{ m} & \text{với } 4 \leq t \leq 5 \end{cases}$$

và chúng ta có đồ thị như hình 2.8.

Bài 31: Hai xe hơi có tốc độ lần lượt là $v_1 = 50,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ và $v_2 = 60,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ đi ngược chiều với nhau trên một con đường hẹp. Hai xe phát hiện lẫn nhau khi khoảng cách giữa hai xe là $d = 400 \text{ m}$. Cả hai xe đồng thời giảm tốc với cùng một gia tốc hãm đều là a . Tính giá trị tối thiểu của a nếu biết hai xe không xảy ra va chạm. Số liệu được đo tới 3 chữ số có nghĩa.

Lời giải bài 31:

Gọi quãng đường đi được trong khi hãm phanh của hai xe lần lượt là d_1 và d_2 .

Trong quá trình hãm đến vận tốc bằng 0, tổng quãng đường đi của cả hai xe phải không vượt quá khoảng cách d . Vì vậy, chúng ta có bất đẳng thức

$$d_1 + d_2 \leq d.$$

Trong khi đó, quãng đường xe thứ nhất đã di chuyển là $d_1 = \frac{0^2 - v_1^2}{2(-a)} = \frac{v_1^2}{2a}$. Tương tự, chúng ta có quãng đường mà xe thứ hai di chuyển trong khoảng thời gian này là $d_2 = \frac{v_2^2}{2a}$. Từ đó, thay vào phương trình ở trên để được

$$\frac{v_1^2}{2a} + \frac{v_2^2}{2a} \leq d \iff a \geq \frac{v_1^2 + v_2^2}{2d}.$$

Thay số trực tiếp, chúng ta có gia tốc hãm tối thiểu phải là $7,63 \times 10^3 \frac{\text{km}}{\text{h}^2}$.

Bài 32: Để dừng xe ban đầu bạn cần một thời gian phản ứng để bắt đầu phanh, rồi xe mới đi chậm dần nhờ có một gia tốc hãm không đổi. Giả sử quãng đường đi được trong hai pha này là 186 ft nếu vận tốc ban đầu là $50 \frac{\text{dặm}}{\text{h}}$. Còn trong một trường hợp khác, quãng đường đi được trong hai pha này là 80 ft nếu vận tốc ban đầu là $30 \frac{\text{dặm}}{\text{h}}$. Biết thời gian phản ứng là cố định và 1 dặm = 5280 ft, tính thời gian phản ứng và độ lớn của gia tốc hãm.

Lời giải bài 32:

Gọi thời gian phản ứng là t_p , vận tốc đầu là v_0 , gia tốc hãm là a .

Trong khoảng thời gian phản ứng, xe đi được $v_0 t_p$. Và trong khoảng thời gian hãm, xe đi được $\frac{0^2 - v_0^2}{2(-a)} = \frac{v_0^2}{2a}$. Cho nên, tổng quãng đường đi được trong hai pha là

$$\Delta x = v_0 t_p + \frac{v_0^2}{2a} \quad (2.1)$$

Trước khi thay số, thực hiện quy đổi

$$50 \frac{\text{dặm}}{\text{h}} = 50 \frac{\text{dặm}}{\text{h}} \cdot \frac{5280 \text{ ft}}{1 \text{ dặm}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \approx 73 \frac{\text{ft}}{\text{s}},$$

tương tự, $30 \frac{\text{dặm}}{\text{h}} = 44 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$. Từ đó, thay số vào phương trình 2.1 để có hệ

$$\begin{cases} 186 \text{ ft} = 73 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \cdot t_p + \frac{(73 \frac{\text{ft}}{\text{s}})^2}{2a} \\ 80 \text{ ft} = 44 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \cdot t_p + \frac{(44 \frac{\text{ft}}{\text{s}})^2}{2a} \end{cases}.$$

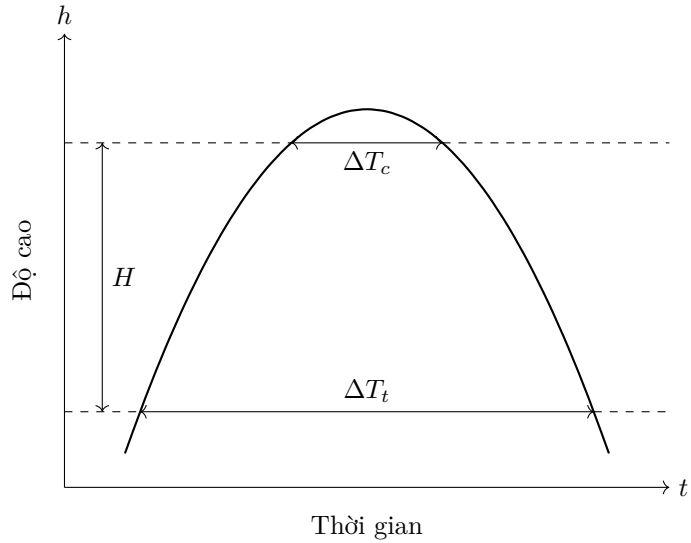
Giải hệ phương trình, chúng ta có thời gian phản ứng là $t_p = \boxed{0,97 \text{ s}}$ và gia tốc hãm là $a = \boxed{26 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}}$.

Bài 33: Tại Phòng Thí nghiệm Vật lý Quốc gia ở Anh, người ta thực hiện xác định gia tốc trọng trường g theo thí nghiệm sau: Ném một quả bóng thủy tinh lên theo chiều thẳng đứng trong ống chân không và cho nó rơi xuống. Gọi ΔT_t trên hình 2.9 là thời gian khoảng giữa hai lần quả bóng đi qua một điểm thấp nào đó. ΔT_c là khoảng thời gian giữa hai lần quả bóng đi qua một điểm cao hơn và H là khoảng cách giữa hai điểm. Chứng minh rằng

$$g = \frac{8H}{\Delta T_t^2 - \Delta T_c^2}.$$

Lời giải bài 33:

Gọi vận tốc khi bóng bắt đầu bay lên từ vị trí thấp là v_0 . Sau một khoảng thời gian ΔT_t , quả bóng quay lại vị trí cũ, do vậy, chúng ta có phương trình $0 = -\frac{g\Delta T_t^2}{2} + v_0\Delta T_t$. Thực hiện biến đổi tương đương để có



Hình 2.9: Đồ thị thời gian - độ cao của quả bóng thủy tinh

$$v_0 = \frac{g\Delta T_t}{2}.$$

Nhận thấy rằng đồ thị có tính đối xứng. Sử dụng điều đó, chúng ta tính được khoảng thời gian quả bóng lên một độ cao H là $t = \frac{\Delta T_t - \Delta T_c}{2}$. Qua đó, có được phương trình thứ hai là

$$H = -\frac{gt^2}{2} + v_0t = -\frac{g\left(\frac{\Delta T_t - \Delta T_c}{2}\right)^2}{2} + v_0\left(\frac{\Delta T_t - \Delta T_c}{2}\right).$$

Thế giá trị của v_0 vào phương trình và tiếp tục thực hiện biến đổi, chúng ta có:

$$\begin{aligned} H &= -\frac{g(\Delta T_t - \Delta T_c)^2}{8} + \frac{g\Delta T_t}{2} \left(\frac{\Delta T_t - \Delta T_c}{2}\right) \\ &= -g\left(\frac{\Delta T_t^2}{8} - \frac{\Delta T_t\Delta T_c}{4} + \frac{\Delta T_c^2}{8}\right) + g\left(\frac{\Delta T_t^2}{4} - \frac{\Delta T_t\Delta T_c}{4}\right) \\ &= g \cdot \frac{\Delta T_t^2 - \Delta T_c^2}{8} \\ \Leftrightarrow g &= \frac{8H}{\Delta T_t^2 - \Delta T_c^2}. \end{aligned}$$

Ta có điều phải chứng minh.

Bài 34: Một nghệ sĩ tung hứng các quả bóng lên theo phương thẳng đứng. Quả bóng sẽ lên cao hơn bao nhiêu nếu thời gian bóng trong không khí tăng gấp n lần ($n \in \mathbb{R}^+$)?

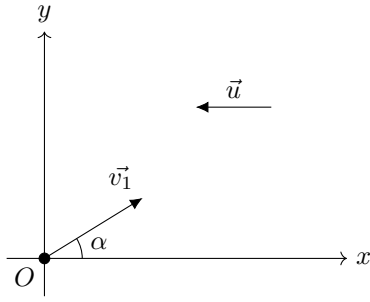
Lời giải bài 34:

Có thời gian để quả bóng bay từ tay lên trên vị trí cao nhất bằng một nửa thời gian bóng trong không khí. Nếu thời gian bóng trong không khí tăng gấp n lần so với thời gian trong không khí gốc, thì cùng chia cho 2, chúng ta cũng sẽ có thời gian bóng bay từ tay lên trên vị trí cao nhất cũng tăng gấp n lần so với thời gian gốc để bay lên vị trí cao nhất.

Gọi t_1 là thời gian gốc để bóng bay từ tay lên vị trí cao nhất, $t_2 = nt_1$ là thời gian bay khi đã tăng n lần. Gọi h_1, h_2 lần lượt là độ cao bóng đi được tương ứng với hai khoảng thời gian t_1, t_2 . Để ý rằng khi lên vị trí cao nhất thì vận tốc bóng là 0; chúng ta có hệ phương trình

$$\begin{cases} h_1 &= \frac{gt_1^2}{2} \\ h_2 &= \frac{gt_2^2}{2} = \frac{g(nt_1)^2}{2} \end{cases} \Rightarrow h_2 = n^2h_1.$$

Từ đó, quả bóng cao lên hơn được $\boxed{n^2 - 1}$ lần độ cao gốc.



Hình 2.10: Hình minh họa cho bài 35

Bài 35: Như trong hình 2.10, một vật nhỏ có khối lượng m chỉ di chuyển từ gốc O trong mặt phẳng Oxy được cung cấp một vận tốc ban đầu \vec{v}_1 trong vùng không gian có gió thổi với vận tốc $\vec{u} = -u\vec{e}_x$.

Tài liệu tham khảo

- [1] Agarwal, R.P., Perera, K., Pinelas, S. (2011). *History of Complex Numbers*. In: An Introduction to Complex Analysis. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0195-7_50