

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA CÔNG NGHỆ



BÁO CÁO TIẾN ĐỘ GIẢI ĐỀ THI OLYMPIC TOÁN SINH VIÊN 2024

HƯỚNG TỚI KỲ THI OLYMPIC TOÁN SINH VIÊN 2025

Giảng viên tập huấn: ThS. Nguyễn Quân Bá Hồng
Sinh viên thực hiện: Phan Vĩnh Tiến – 220170017

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, NGÀY 30 THÁNG 1 NĂM 2025

Mục lục

1	Đề thi Đại số	2
2	Đề thi Giải tích	13

1 Đề thi Đại số

Bài toán B.1 + A.1.

Cho a là một số thực, A là ma trận phụ thuộc vào a

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a+1 & a+2 & 0 \\ a+3 & 1 & 0 & a+2 \\ a+2 & 0 & 1 & a+1 \\ 0 & a+2 & a+3 & 1 \end{pmatrix}.$$

- Tìm hạng của ma trận A khi $a = -1$.
- Tìm tất cả các số thực a sao cho A có định thức dương.
- Biện luận số chiều của không gian nghiệm của hệ phương trình tuyến tính $AX = 0$ theo a (ở đây X là vector cột ứng với các tọa độ lần lượt là x, y, z, t).

Lời giải.

- Khi $a = -1$ thì

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Từ đây suy ra $r(A) = 3$.

- Theo khai triển Laplace, ta có

$$\begin{aligned} \det(A) &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & a+2 \\ 0 & 1 & a+1 \\ a+2 & a+3 & 1 \end{vmatrix} - (a+1) \begin{vmatrix} a+3 & 0 & a+2 \\ a+2 & 1 & a+1 \\ 0 & a+3 & 1 \end{vmatrix} + (a+2) \begin{vmatrix} a+3 & 1 & a+2 \\ a+2 & 0 & a+1 \\ 0 & a+2 & 1 \end{vmatrix} \\ &= \left(\begin{vmatrix} 1 & a+1 \\ a+3 & 1 \end{vmatrix} + (a+2) \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ a+2 & a+3 \end{vmatrix} \right) \\ &\quad - (a+1) \left(\begin{vmatrix} a+3 & 0 \\ a+2 & 1 \end{vmatrix} - (a+3) \begin{vmatrix} a+3 & a+2 \\ a+2 & a+1 \end{vmatrix} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + (a+2) \left(\begin{vmatrix} a+3 & 1 \\ a+2 & 0 \end{vmatrix} - (a+2) \begin{vmatrix} a+3 & a+2 \\ a+2 & a+1 \end{vmatrix} \right) \\
 & = \left(1 - (a+3)(a+1) - (a+2)^2 \right) - (a+1)(a+3) - (a+2)^2 \\
 & \quad + \left((a+1)(a+3) - (a+2)^2 \right) \begin{vmatrix} a+3 & a+2 \\ a+2 & a+1 \end{vmatrix} \\
 & = -4a^2 - 16a - 13 - \begin{vmatrix} a+3 & a+2 \\ a+2 & a+1 \end{vmatrix} \\
 & = -4a^2 - 16a - 12 \\
 & = -4(a+1)(a+3).
 \end{aligned}$$

Như vậy $\det(A) > 0 \iff -4(a+1)(a+3) > 0 \iff -3 < a < -1$.

(c) Với $a = -1$, theo câu (a) ta có $r(A) = 3$ nên số chiều của không gian nghiệm bằng $4 - r(A) = 1$.

Với $a = -3$, ta có

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & -2 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & -2 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

từ đây suy ra $r(A) = 3$ nên số chiều của không gian nghiệm bằng $4 - r(A) = 1$.

Với $a \neq -1, -3$ thì $\det(A) \neq 0$ nên hệ phương trình $AX = 0$ có nghiệm duy nhất nên số chiều của không gian nghiệm bằng 0.

Nhận xét. Đây là một bài toán cơ bản về ma trận. Câu (a) và (b) yêu cầu các tính toán cơ bản về định thức và hạng của ma trận. Câu (c) liên quan đến tính chất số chiều của không gian nghiệm của phương trình thuần nhất bằng số ẩn tự do, bằng với số hàng toàn 0 khi đưa ma trận hệ số về ma trận bậc thang, và bằng hiệu giữa số ẩn và hạng của ma trận hệ số.

Bài toán B.2.

Cho A, B là hai ma trận vuông

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 & -2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

- (a) Tìm một ma trận thực P có cấp bằng 2, sao cho $P^{-1}AP$ là ma trận đường chéo.
(b) Tìm một ma trận thực R có cấp bằng 2, định thức bằng 1, sao cho $R^{-1}AR = B$.

Lời giải.

- (a) Xét ma trận $P = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ có $\det(P) = 2\sqrt{2} \neq 0$ nên P khả nghịch.

Khi đó

$$P^{-1} = \frac{1}{\det(P)} \cdot \text{adj}(P) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{2} \\ -1 & \sqrt{2} \end{pmatrix},$$

trong đó $\text{adj}(P)$ là ma trận phụ hợp của ma trận P .

Kiểm tra bằng phép nhân ma trận, ta thấy

$$P^{-1}AP = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & 0 \\ 0 & -\sqrt{2} \end{pmatrix}$$

là ma trận đường chéo.

- (b) Xét ma trận $Q = \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$ có $\det(Q) = 1 \neq 0$ nên Q khả nghịch.

Khi đó

$$Q^{-1} = \frac{1}{\det(Q)} \cdot \text{adj}(Q) = \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ -1 & 1 \end{pmatrix},$$

trong đó $\text{adj}(Q)$ là ma trận phụ hợp của ma trận Q .

Kiểm tra bằng phép nhân ma trận, ta thấy

$$Q^{-1}AQ = \begin{pmatrix} 0 & -2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} = B.$$

Nhận xét. Câu (a) là một bài toán chéo hóa ma trận cơ bản. Câu (b) giải được bằng cách đồng nhất hệ số và giải hệ phương trình. Ma trận Q cần tìm có dạng tổng quát $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$, khi đó

điều kiện đầu tiên là $\det(Q) = 1$ hay $ad - bc = 1$. Ngoài ra, $Q^{-1} = \frac{1}{\det(Q)} \cdot \text{adj}(Q) = \text{adj}(Q) = \begin{pmatrix} d & -b \\ -c & a \end{pmatrix}$. Khi đó bằng phép nhân ma trận, ta có $Q^{-1}AQ = \begin{pmatrix} 2cd - ab & 2d^2 - b^2 \\ a^2 - 2c^2 & ab - 2cd \end{pmatrix}$ nên từ đó ta phải có

$$\begin{pmatrix} 2cd - ab & 2d^2 - b^2 \\ a^2 - 2c^2 & ab - 2cd \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

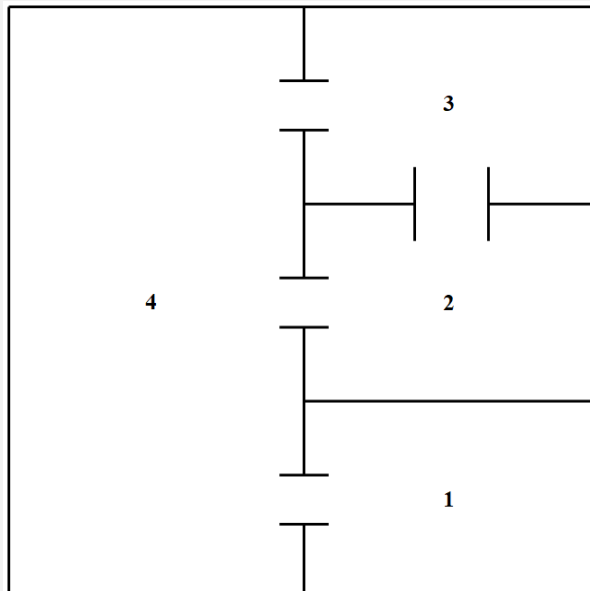
Ta chọn a, b, c, d thỏa mãn hệ phương trình

$$\begin{cases} ad - bc = 1 \\ 2cd - ab = 0 \\ 2d^2 - b^2 = -2 \\ a^2 - 2c^2 = -1 \\ ad - 2cd = 0 \end{cases},$$

từ đó tìm được một bộ (a, b, c, d) thỏa mãn hệ phương trình trên là $(1, -2, 1, -1)$.

Bài toán B.3 + A.2.

Có 200 con muỗi trong một căn hộ gồm 4 phòng với hệ thống cửa nối các phòng như hình vẽ.



Biết rằng, mỗi phút, mỗi con muỗi chỉ ở lại trong phòng nó đang ở hoặc bay sang một phòng bên cạnh. Ngoài ra, người ta thống kê được rằng, với mỗi phòng, có 40% số muỗi ở lại phòng đó, còn trong số muỗi bay ra khỏi phòng thì số lượng muỗi bay sang mỗi

phòng bên cạnh đó là bằng nhau. Chẳng hạn, trong số các con muỗi bay từ phòng 3 sang phòng khác, thì có một nửa bay sang phòng 2, một nửa sang phòng 4.

- a) Giả sử sau một phút số muỗi ở các phòng 1, phòng 2, phòng 3 và phòng 4 tương ứng là 24, 50, 52 và 74. Tính số muỗi ở mỗi phòng tại thời điểm ban đầu.
- b) Gọi trạng thái ổn định là trạng thái mà kể từ đó trở đi số muỗi ở mỗi phòng đều không đổi. Tính số lượng muỗi tương ứng của mỗi phòng tại trạng thái ổn định đó.

Lời giải.

Gọi a_0, b_0, c_0, d_0 lần lượt là số muỗi ban đầu của phòng 1, 2, 3, 4; a_n, b_n, c_n, d_n lần lượt là số muỗi của phòng 1, 2, 3, 4 sau phút thứ n .

Nhận xét rằng sau mỗi phút, phòng 1 có 40% số muỗi ở lại, cùng với 20% số muỗi của phòng 4 bay ra (do 60% số muỗi phòng 4 bay sang phòng 1, 2, 3) nên ta có phương trình

$$a_{n+1} = 0.4a_n + 0.2d_n.$$

Lập luận tương tự, ta thiết lập được hệ phương trình

$$\begin{cases} a_{n+1} = 0.4a_n + 0.2d_n \\ b_{n+1} = 0.4b_n + 0.3c_n + 0.2d_n \\ c_{n+1} = 0.3b_n + 0.4c_n + 0.2d_n \\ d_{n+1} = 0.6a_n + 0.3b_n + 0.3c_n + 0.4d_n \end{cases}.$$

(a) Theo giả thiết, ta có

$$\begin{cases} 0.4a_0 + 0.2d_0 = 24 \\ 0.4b_0 + 0.3c_0 + 0.2d_0 = 50 \\ 0.3b_0 + 0.4c_0 + 0.2d_0 = 52 \\ 0.6a_0 + 0.3b_0 + 0.3c_0 + 0.4d_0 = 74 \end{cases}.$$

Xét ma trận bổ sung và thực hiện biến đổi sơ cấp theo dòng

$$\begin{pmatrix} 0.4 & 0 & 0 & 0.2 & 24 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 50 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 52 \\ 0.6 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 74 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0.4 & 0 & 0 & 0.2 & 24 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 50 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 52 \\ 0 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 38 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0.4 & 0 & 0 & 0.2 & 24 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 50 \\ 0 & 0 & 0.175 & 0.05 & 14.5 \\ 0 & 0 & 0.075 & -0.05 & 0.5 \end{pmatrix} \\ \sim \begin{pmatrix} 0.4 & 0 & 0 & 0.2 & 24 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 50 \\ 0 & 0 & 0.175 & 0.05 & 14.5 \\ 0 & 0 & 0 & -1/14 & -40/7 \end{pmatrix}.$$

Từ đó ta có được $(a_0, b_0, c_0, d_0) = (20, 40, 60, 80)$.

(b) Ở trạng thái ổn định, ta có

$$\begin{cases} a_n = 0.4a_n + 0.2d_n \\ b_n = 0.4b_n + 0.3c_n + 0.2d_n \\ c_n = 0.3b_n + 0.4c_n + 0.2d_n \\ d_n = 0.6a_n + 0.3b_n + 0.3c_n + 0.4d_n \end{cases} \iff \begin{cases} 0.6a_n - 0.2d_n = 0 \\ 0.6b_n - 0.3c_n - 0.2d_n = 0 \\ 0.3b_n - 0.6c_n + 0.2d_n = 0 \\ 0.6a_n + 0.3b_n + 0.3c_n - 0.6d_n = 0 \end{cases}.$$

Xét ma trận hệ số và biến đổi sơ cấp theo dòng

$$\begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0 & -0.2 \\ 0 & 0.6 & -0.3 & -0.2 \\ 0 & 0.3 & -0.6 & 0.2 \\ 0.6 & 0.3 & 0.3 & -0.6 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0 & -0.2 \\ 0 & 0.6 & -0.3 & -0.2 \\ 0 & 0.3 & -0.6 & 0.2 \\ 0 & 0.3 & 0.3 & -0.4 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0 & -0.2 \\ 0 & 0.6 & -0.3 & -0.2 \\ 0 & 0 & -0.45 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0.45 & -0.3 \end{pmatrix} \\ \sim \begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0 & -0.2 \\ 0 & 0.6 & -0.3 & -0.2 \\ 0 & 0 & -0.45 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -1/3 \\ 0 & 1 & 0 & -2/3 \\ 0 & 0 & 1 & -2/3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Từ đó nghiệm tổng quát của hệ phương trình trên là $(a_n, b_n, c_n, d_n) = \left(\frac{1}{3}a, \frac{2}{3}a, \frac{2}{3}a, a\right)$ với mọi số thực a . Mặt khác, vì tổng số muối trong các phòng không đổi và bằng $24 + 50 + 52 + 74 = 200$ nên $\frac{1}{3}a + \frac{2}{3}a + \frac{2}{3}a + a = 200$, kéo theo $a = 75$. Như vậy số muối ở trạng thái ổn định trong phòng 1, 2, 3, 4 lần lượt là 25, 50, 50, 75.

Nhận xét. Đây là một bài toán xích Markov chuyển trạng thái cơ bản, mấu chốt là phân tích được các giả thiết của bài toán và suy ra được hệ phương trình truy hồi ở trên. Bài toán dạng này có thể còn có câu hỏi rằng sau x phút (5 phút, 10 phút,...) số muối của mỗi phòng tương ứng là bao nhiêu? Để giải quyết bài toán dạng này, ta viết lại hệ phương trình dưới dạng phương trình ma trận như sau

$$\begin{pmatrix} a_{n+1} \\ b_{n+1} \\ c_{n+1} \\ d_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.175 & 0.05 \\ 0 & 0 & 0 & -1/14 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \\ c_n \\ d_n \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \\ c_n \\ d_n \end{pmatrix}.$$

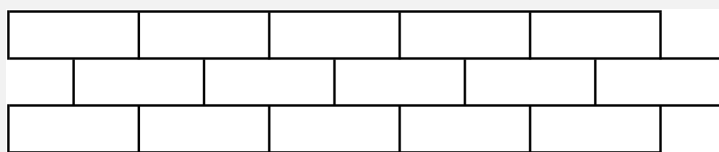
Tính số muối của từng phòng sau x phút, tức cần tính

$$\begin{pmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \\ d_x \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} a_{x-1} \\ b_{x-1} \\ c_{x-1} \\ d_{x-1} \end{pmatrix} = A^2 \begin{pmatrix} a_{x-2} \\ b_{x-2} \\ c_{x-2} \\ d_{x-2} \end{pmatrix} = \dots = A^x \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \\ c_0 \\ d_0 \end{pmatrix},$$

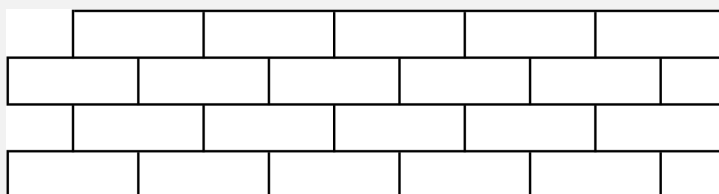
đến đây quy về việc tính lũy thừa ma trận A^x là xong.

Bài toán B.4.

- (a) Có bao nhiêu cách chọn ra 3 viên gạch, mỗi viên từ một hàng trong hình sau đây, sao cho không có hai viên gạch nào được lấy ra nằm kề nhau (hai viên gạch được gọi là kề nhau nếu có chung một phần của một cạnh)?



- (b) Có bao nhiêu cách chọn ra 3 viên gạch, mỗi viên từ một hàng trong hình sau đây, sao cho không có hai viên gạch nào được lấy ra nằm kề nhau?



Lời giải.

Bài toán B.5 + A.4.

Với x, y, z là các số thực, đặt

$$A(x, y, z) = \det \begin{pmatrix} x & y & z \\ y & z & x \\ z & x & y \end{pmatrix}$$

- (a) Tìm một không gian con V của \mathbb{R}^3 với $\dim(V) = 2$ thỏa mãn $A(x, y, z) = 0$ với mọi $(x, y, z) \in V$. Tìm một cơ sở của không gian V vừa tìm được.
- (b) Tồn tại hay không các số nguyên x, y, z sao cho $A(x, y, z) = 24$?

Lời giải.

- (a) Theo khai triển Laplace, ta có

$$\begin{aligned} A(x, y, z) &= x \begin{vmatrix} z & x \\ x & y \end{vmatrix} - y \begin{vmatrix} y & x \\ z & y \end{vmatrix} + z \begin{vmatrix} y & z \\ z & x \end{vmatrix} \\ &= x(yz - x^2) - y(y^2 - zx) + z(xy - z^2) \\ &= 3xyz - (x^3 + y^3 + z^3) \\ &= (x + y + z)(xy + yz + zx - x^2 - y^2 - z^2). \end{aligned}$$

Ta có

$$A(x, y, z) = 0 \iff \begin{cases} x + y + z = 0 \\ xy + yz + zx - x^2 - y^2 - z^2 = 0 \end{cases}$$

Nhận xét rằng $xy + yz + zx - x^2 - y^2 - z^2 = 0 \iff (x - y)^2 + (y - z)^2 + (z - x)^2 = 0 \iff x = y = z$ nên để không gian con V cần tìm có $\dim(V) = 2$ thì V là không gian nghiệm của phương trình $x + y + z = 0$. Phương trình có nghiệm tổng quát $(x, y, z) = (-y - z, y, z) = y(-1, 1, 0) + z(-1, 0, 1)$ với mọi $y, z \in \mathbb{R}$ nên V có một cơ sở là $\{(-1, 1, 0), (-1, 0, 1)\}$.

- (b) Giả sử tồn tại các số nguyên x, y, z thỏa mãn $A(x, y, z) = 24$ hay

$$\begin{aligned} (x + y + z)(xy + yz + zx - x^2 - y^2 - z^2) &= 24 \\ \iff (x + y + z) \left(3(xy + yz + zx) - (x + y + z)^2 \right) &= 24 \\ \iff 3(x + y + z)(xy + yz + zx) - (x + y + z)^3 &= 24. \end{aligned}$$

Vì 24 chia hết cho 3 nên vế trái cũng phải chia hết cho 3, kéo theo $(x + y + z)^3$ phải chia

hết cho 3 hay $x + y + z$ chia hết cho 3. Khi đó $3(xy + yz + zx) - (x + y + z)^2$ chia hết cho 3, kéo theo $(x + y + z)(3(xy + yz + zx) - (x + y + z)^2)$ chia hết cho 9. Như vậy 24 cũng phải chia hết cho 9, thế nhưng đây là điều mâu thuẫn. Vậy điều giả sử là sai, hay không tồn tại x, y, z để $A(x, y, z) = 24$.

Nhận xét. Mấu chốt trong bài toán này là tìm ra được đẳng thức $x^3 + y^3 + z^3 - 3xyz = (x + y + z)(x^2 + y^2 + z^2 - xy - yz - zx)$. Đến đây nếu đã vững tính chất về không gian vector thì câu (a) được giải quyết gọn gàng. Câu (b) liên quan tới tính chia hết của số nguyên, mấu chốt là biến đổi $x^2 + y^2 + z^2 - xy - yz - zx = (x + y + z)^2 - 3(xy + yz + zx)$ và nhận xét được $x + y + z$ chia hết cho 3. Nếu thay số 24 bởi một bội của 9, thì quy về giải phương trình nghiệm nguyên, bằng cách tách số ở vế phải thành tích của 2 số nguyên.

Giả sử cần tìm x, y, z để $A(x, y, z) = 9$. Để ý rằng $xy + yz + zx - x^2 - y^2 - z^2 = -\frac{1}{2}((x - y)^2 + (y - z)^2 + (z - x)^2) < 0$ và tương tự trên ta có được $x + y + z$ chia hết cho 3 nên ta chỉ xét trường hợp $x + y + z = xy + yz + zx - x^2 - y^2 - z^2 = -3$. Từ đây $3(xy + yz + zx) - (x + y + z)^2 = -3$ nên tính được $xy + yz + zx = 2$. Không mất tính tổng quát, giả sử x là số nhỏ nhất trong ba số (trường hợp nếu $x + y + z > 0$ thì giả sử x là số lớn nhất). Khi đó $x < 0$, vì nếu $x \leq 0$ thì $x + y + z \leq 0$ mâu thuẫn với $x + y + z = -3 < 0$. Như vậy ta đã thu hẹp được tập giá trị của x , đến đây xét từng giá trị x . Ứng với mỗi giá trị của x , từ $x + y + z = -3$ tính được $y + z$; từ $x(y + z) + yz = 2$ tính được yz , từ đó tính được xyz . Khi có được $x + y + z, xy + yz + zx, xyz$ thì áp dụng Viete đảo để tìm x, y, z .

Bài toán A.3.

Cho $P(x)$ là một đa thức với hệ số thực thỏa mãn $(x - 1)P(x + 1) = (x + 2)P(x)$.

- (a) Chứng minh rằng $P(x)$ có ít nhất ba nghiệm thực phân biệt.
- (b) Tìm tất cả các đa thức $P(x)$ với hệ số thực thỏa mãn điều kiện trên.

Lời giải.

- (a) Cho $x = -1$ thì có $P(-1) = 0$. Cho $x = 1$ thì có $P(1) = 0$. Cho $x = 0$ thì có $2P(0) = -P(1) = 0$ nên $P(0) = 0$. Như vậy $P(x)$ có ít nhất ba nghiệm thực là $-1, 0, 1$.
- (b) Trước hết ta chứng minh bổ đề sau: Nếu đa thức $Q(x)$ hệ số thực thỏa mãn $Q(x) = Q(x + 1)$ thì $Q(x) \equiv c$ với c là hằng số.

Thật vậy, giả sử $Q(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$ ($a_n \neq 0$). Xét đa thức $T(x) = Q(x) - a_0$ thì ta có $T(0) = 0$. Mặt khác $T(x + 1) = Q(x + 1) - a_0 = Q(x) - a_0 = T(x)$ nên từ đó ta có $T(m) = T(m - 1) = \dots = T(1) = T(0) = 0$ với mọi m nguyên dương nên

$T(x)$ có vô số nghiệm, do đó $T(x) \equiv 0$. Như vậy $Q(x) \equiv a_0$ hay $Q(x) \equiv c$ với c là hằng số.

Quay trở lại bài toán, từ câu (a) thì $P(x)$ có ba nghiệm $-1, 0, 1$ nên $P(x) = x(x-1)(x+1)Q(x)$. Thay vào hệ thức ở đề bài, ta có

$$(x-1)(x+1)x(x+2)Q(x+1) = (x+2)x(x-1)(x+1)Q(x) \iff Q(x+1) = Q(x).$$

Áp dụng bổ đề vừa chứng minh, ta có $Q(x) \equiv c$ nên $P(x) \equiv cx(x-1)(x+1)$ với c là hằng số thực. Thử lại, đa thức này thỏa mãn yêu cầu đề bài.

Nhận xét. Đây là một bài toán cơ bản về đa thức, sử dụng các tính chất về nghiệm của đa thức. Khi đề bài cho một hệ thức liên quan đến đa thức, một cách rất tự nhiên khi bắt tay vào làm là thế một vài giá trị đặc biệt để tìm ra tính chất nào đó của đa thức, mà ở đây là tìm ra được ba nghiệm của $P(x)$, chính là mấu chốt để giải quyết câu (b).

Bài toán A.5.

Cặp ma trận thực, vuông cùng cấp (A, B) , được gọi là **tốt** nếu cả hai đều khả nghịch và thỏa mãn $AB - BA = B^2A$.

(a) Chứng minh rằng nếu (A, B) là một cặp ma trận tốt thì

$$B = A^{-1}(B^2 + B)A.$$

(b) Tìm một cặp ma trận tốt (A, B) với cấp của mỗi ma trận đều bằng 2.

(c) Tìm tất cả các số nguyên dương n sao cho tồn tại ít nhất một cặp ma trận tốt (A, B) với cấp của mỗi ma trận đều bằng n .

Lời giải.

(a) Từ giả thiết, ta có

$$\begin{aligned} AB - BA = B^2A &\iff AB = B^2A + BA \\ &\iff AB = (B^2 + B)A \\ &\iff A^{-1}AB = A^{-1}(B^2 + B)A \\ &\iff B = A^{-1}(B^2 + B)A. \end{aligned}$$

(b) Xét ma trận $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ và $B = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$. Vì $\det(A) = 1$, $\det(B) = -1$ đều khác 0 nên

A, B khả nghịch. Bằng tính toán, ta kiểm tra được hai ma trận này thỏa mãn hệ thức $AB - BA = B^2A$.

Nhận xét. Câu (a) là bài toán cơ bản về chứng minh hệ thức ma trận, ý tưởng giải tương đối tự nhiên. Câu (b) có ý tưởng giải giống với câu (b) của bài B.2. Trước hết ta để ý rằng từ $B = A^{-1}(B^2 + B)A$, lấy định thức hai vế thì $\det(B) = \det(B^2 + B)$, mà $\det(B) \neq 0$ do B khả nghịch nên $\det(B + I) = 1$. Như vậy ta chọn một ma trận B thỏa mãn $\det(B + I) = 1$ (ở đây ta chọn $B = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$) và tìm ma trận A thỏa mãn đẳng thức trên, dựa vào đồng nhất hệ số như câu (b) bài B.2.

2 Đề thi Giải tích

Bài toán B.1 + A.1.

Cho (a_n) là dãy số thực được xác định bởi các điều kiện

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = a_n + \frac{(-1)^n}{n!} \quad \forall n \geq 1.$$

- (a) Tìm tất cả các số nguyên dương n sao cho $a_n \geq \frac{1}{2}$.
- (b) Chứng minh rằng dãy số (a_n) hội tụ.
- (c) Giới hạn của dãy số (a_n) là một số hữu tỷ hay vô tỷ? Vì sao?

Lời giải.

- (a) Bằng tính toán, ta có $a_1 = 1, a_2 = 0, a_3 = \frac{1}{2}, a_4 = \frac{1}{3}, a_5 = \frac{3}{8}$. Ta sẽ chứng minh rằng $a_n < \frac{1}{2}$ với mọi $n > 3$.

Thật vậy, mệnh đề cần chứng minh đúng với $n = 4$ và $n = 5$. Giả sử mệnh đề đúng đến $n = 2k$ và $n = 2k + 1$ (trong đó $k \in \mathbb{Z}^+$), tức đã có $a_{2k} < \frac{1}{2}$ và $a_{2k+1} < \frac{1}{2}$. Ta có

$$a_{2k+2} = a_{2k+1} - \frac{1}{(2k+1)!} < \frac{1}{2}$$

và

$$a_{2k+3} = a_{2k+2} + \frac{1}{(2k+2)!} = a_{2k+1} - \frac{1}{(2k+1)!} + \frac{1}{(2k+2)!} = a_{2k+1} - \frac{2k}{(2k+2)!} < \frac{1}{2}.$$

Như vậy theo nguyên lý quy nạp toán học, $a_n < \frac{1}{2}$ với mọi $n > 3$. Do đó tất cả các số nguyên dương n thỏa mãn $a_n \geq \frac{1}{2}$ là 1 và 3.

- (b) Với mọi $n \geq 2$ ta có

$$a_n = a_{n-1} + \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} = a_{n-2} + \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{(-1)^{n-2}}{(n-2)!} = \dots = a_1 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(-1)^i}{i!} = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(-1)^i}{i!}.$$

Xét hàm số $f(x) = e^{-x}$. Ta thấy

$$f^{(n)}(x) = \begin{cases} -e^{-x}, & \text{nếu } n \text{ lẻ} \\ e^{-x}, & \text{nếu } n \text{ chẵn} \end{cases},$$

trong đó $f^{(n)}(x)$ là đạo hàm cấp n của hàm số f . Theo khai triển Maclaurin, ta có

$$f(x) = 1 + \frac{-1}{1!}x + \frac{1}{2!}x^2 + \cdots + \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!}x^{n-1} + \frac{(-1)^n \cdot e^{-c}}{n!}x^n,$$

trong đó c là số thực nào đó nằm giữa 0 và x .

Từ đây suy ra

$$\frac{1}{e} = f(1) = 1 + \frac{-1}{1!} + \frac{1}{2!} + \cdots + \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{(-1)^n \cdot e^{-c}}{n!} = a_n + \frac{(-1)^n \cdot e^{-c}}{n!},$$

với c là số thực nào đó thỏa mãn $0 < c < 1$, với mọi $n \geq 2$.

Do đó với mọi $n \geq 2$ thì

$$\left| a_n - \frac{1}{e} \right| = \frac{e^{-c}}{n!},$$

với c là số thực nào đó thỏa mãn $0 < c < 1$.

Trong đẳng thức trên, cho $n \rightarrow +\infty$, để ý rằng $\frac{e^{-c}}{n!} \rightarrow 0$, ta thu được $\lim_{n \rightarrow +\infty} a_n = \frac{1}{e}$. Như vậy dãy số (a_n) hội tụ.

(c) Theo câu (b), ta có $\lim_{n \rightarrow +\infty} a_n = \frac{1}{e}$ là một số vô tỷ.

Nhận xét. Đây là một bài toán giới hạn dãy số liên quan giới hạn của chuỗi số. Câu (a) là một câu cơ bản, đòi hỏi việc tính toán một số giá trị đầu của dãy số và kỹ năng chứng minh quy nạp. Câu (b) có thể tách dãy số đã cho làm hai dãy con chẵn và lẻ, từ đó sử dụng định nghĩa để chứng minh; cách giải đề xuất ở đây có phần gọn hơn, nhưng đòi hỏi phải nhận xét được dãy số đã cho liên quan đến khai triển Maclaurin của hàm $f(x) = e^{-x}$. Tuy nhiên cách giải được đề xuất ở đây lại hiệu quả trong việc chỉ ra chính xác giới hạn của dãy (a_n) là $\frac{1}{e}$.

Bài toán B.2 + A.2.

Cho $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ là hàm số được xác định bởi công thức

$$f(x) = \begin{cases} ax^2 + b, & \text{nếu } x \leq 0 \\ e^x + cx, & \text{nếu } x > 0 \end{cases},$$

trong đó a, b, c là các tham số thực.

- (a) Xác định a, b, c sao cho hàm f liên tục trên \mathbb{R} .
- (b) Xác định a, b, c sao cho hàm f khả vi trên \mathbb{R} .
- (c) Xác định a, b, c sao cho hàm f khả vi cấp hai trên \mathbb{R} .

Lời giải.

- (a) Với $x \leq 0$ thì $f(x) = ax^2 + b$, còn với $x > 0$ thì $f(x) = e^x + cx$ nên f liên tục tại mọi điểm khác 0. Do đó để f liên tục trên \mathbb{R} thì f cần phải liên tục tại 0.

Ta có

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} (ax^2 + b) = b, \quad \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^+} (e^x + cx) = 1 = f(0).$$

Để f liên tục tại 0 thì $\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = f(0)$ hay $b = 1$. Như vậy khi $b = 1$ và a, c tùy ý thì f liên tục trên \mathbb{R} .

- (b) Nhận xét rằng f khả vi tại mọi điểm khác 0. Do đó để f khả vi trên \mathbb{R} thì f cần phải khả vi tại 0. Điều này tương đương với

$$\begin{cases} f \text{ liên tục tại } 0 \\ \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(0)}{x} \text{ tồn tại} \end{cases}.$$

Theo câu (a), để f liên tục tại 0 thì $b = 1$.

Ta có

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{f(x) - f(0)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{ax^2 + b - b}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^-} ax = 0$$

và

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{f(x) - f(0)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{e^x + cx - 1}{x} = c + 1,$$

để ý rằng $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{e^x - 1}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{e^x}{1} = 1$ theo quy tắc l'Hospital.

Do đó để $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(0)}{x}$ tồn tại thì $\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{f(x) - f(0)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{f(x) - f(0)}{x}$ hay $c = -1$.

Như vậy, khi $b = 1, c = -1$ và a tùy ý thì f khả vi trên \mathbb{R} .

- (c) Để f khả vi cấp hai trên \mathbb{R} thì trước hết f phải khả vi cấp một trên \mathbb{R} . Theo câu (b), để

f khả vi cấp một trên \mathbb{R} thì $b = 1$, $c = -1$ và khi đó

$$f'(x) = \begin{cases} 2ax, & \text{nếu } x \leq 0 \\ e^x - 1, & \text{nếu } x > 0 \\ \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(0)}{x} = 0, & \text{nếu } x = 0 \end{cases}$$

Nhận xét rằng f khả vi cấp hai tại mọi điểm khác 0. Do đó để f khả vi cấp hai trên \mathbb{R} thì f cần phải khả vi cấp hai tại 0. Điều này tương đương với

$$\begin{cases} f' \text{ liên tục tại } 0 \\ \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f'(x) - f'(0)}{x} \text{ tồn tại} \end{cases}.$$

Ta có

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} f'(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} (2ax) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow 0^+} f'(x) = \lim_{x \rightarrow 0^+} (e^x - 1) = 0 = f'(0).$$

Vì $\lim_{x \rightarrow 0^-} f'(x) = \lim_{x \rightarrow 0^+} f'(x) = f'(0)$ nên f' liên tục tại 0.

Ta lại có

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{f'(x) - f'(0)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{2ax}{x} = 2a$$

và

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{f'(x) - f'(0)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{e^x - 1}{x} = 1.$$

Do đó để $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f'(x) - f'(0)}{x}$ tồn tại thì $\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{f'(x) - f'(0)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{f'(x) - f'(0)}{x}$ hay $a = \frac{1}{2}$.

Như vậy, khi $a = \frac{1}{2}$, $b = 1$, $c = -1$ thì f khả vi cấp hai trên \mathbb{R} .

Nhận xét. Đây là một bài toán cơ bản về tính liên tục và khả vi của hàm số. Để giải quyết bài toán này đòi hỏi phải nắm vững tính chất về tính liên tục và tính khả vi.

Để hàm số f liên tục tại điểm $x = x_0$ thì f phải thỏa mãn đồng thời ba điều kiện

- (i) f xác định tại x_0 ;
- (ii) $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ tồn tại;
- (iii) $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0)$.

Còn để hàm số f khả vi tại điểm $x = x_0$ thì f phải thỏa mãn đồng thời hai điều kiện

(i) f liên tục tại điểm $x = x_0$;

(ii) $\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$ tồn tại.

khi đó $\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$ là đạo hàm của hàm số f tại điểm $x = x_0$ hay $f'(x_0)$.

Bài toán B.3 + A.3.

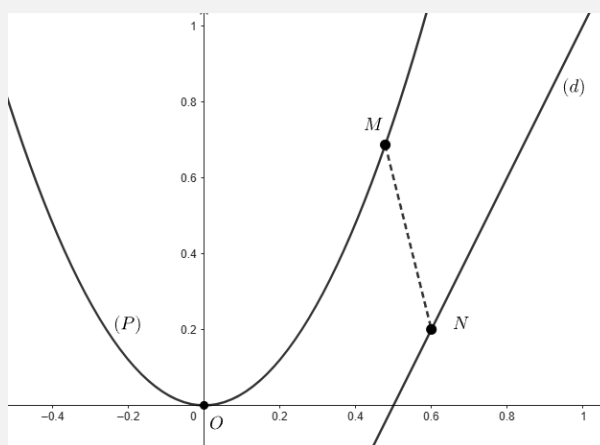
Hình vẽ bên thể hiện một phần đường thẳng (d) có phương trình

$$y = 2x - 1$$

và một phần parabol (P) có phương trình

$$y = 3x^2$$

trong mặt phẳng tọa độ Oxy .



(a) Đường thẳng (d) và parabol (P) có cắt nhau không? Vì sao?

(b) Cho các điểm $M \in (P)$ và $N \in (d)$. Tìm giá trị nhỏ nhất của khoảng cách MN .

Lời giải.

Bài toán B.4.

Cho $f : [0; 1] \rightarrow \mathbb{R}$ là một hàm số liên tục trên $[0; 1]$ và khả vi trong $(0; 1)$.

(a) Chứng minh rằng nếu $f(1) = 0$ thì tồn tại một số thực $x_0 \in (0; 1)$ sao cho

$$|f(x_0)| \leq 2024|f'(x_0)|.$$

(b) Chứng minh rằng nếu $f(1) = 0$ và

$$|f(x)| \geq 2024|f'(x)| \text{ với mọi } x \in (0; 1)$$

thì f là hàm hằng.

(c) Khẳng định trong ý (b) có còn đúng không nếu ta không giả thiết $f(1) = 0$ (nếu câu trả lời là "có", hãy chứng minh; nếu câu trả lời là "không", hãy chỉ ra ví dụ về một hàm số f)?

Lời giải.

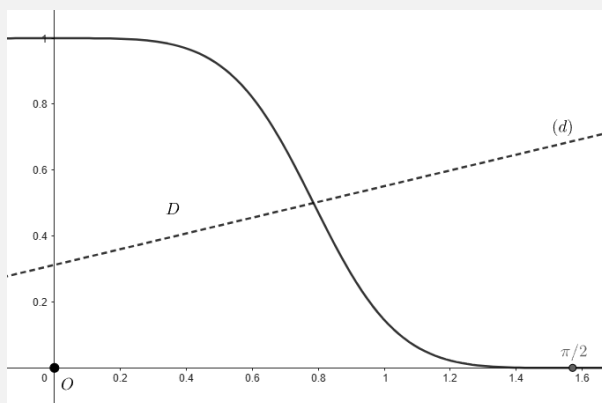
Bài toán B.5.

Cho D là một phần của mặt phẳng tọa độ Oxy gồm những điểm có tọa độ $(x; y)$ mà

$$0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$$

và

$$0 \leq y \leq \frac{(\cos x)^4}{(\sin x)^4 + (\cos x)^4} \text{ với } 0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}.$$



(a) Tính diện tích của D .

(b) Cho (d) là một đường thẳng đi qua hai điểm $\left(\frac{\pi}{4}; \frac{1}{2}\right)$ và $(0; a)$ với $0 < a < 1$. Người ta muốn cắt D dọc theo (d) để thu được hai phần rời nhau có cùng diện tích (hình vẽ trong bài thể hiện một cách cắt dọc theo đường nét đứt). Coi việc cắt không làm ảnh hưởng đến diện tích của D . Xác định giá trị của a tương ứng với một cách cắt thỏa mãn yêu cầu.

Lời giải.