

## 令和2年度入学者選抜学力検査問題

〈前期日程〉

## 理 科

(医学部 医学科)

科 目	頁 数
物 理 基 礎・物 理	2 頁 ~ 8 頁
化 学 基 礎・化 学	11 頁 ~ 17 頁
生 物 基 礎・生 物	18 頁 ~ 28 頁

## 注 意 事 項 I

この冊子には物理、化学、生物の問題がのっている。そこから2科目を選択し、解答すること。

## 注 意 事 項 II

- 1 試験開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけない。
- 2 試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。
- 3 解答にかかる前に必ず受験番号を解答用紙に記入すること。
- 4 解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。  
所定の欄以外に記入したものは無効である。
- 5 問題冊子は持ち帰ってよい。

# 補 足 説 明

科目名 ( 理科 (物理基礎・物理) )

[補足説明]

問題冊子

1 において、

「周波数」は「振動数」と同じ意味である。

(この頁は空白)

## 物理基礎・物理

- 1 図1に示すように、密閉容器内に、ピストンが取り付けられたシリンダーが設置されている。シリンダーの開口端付近に設置されたスピーカーから特定の周波数の音波を発生させ、シリンダー内で生じる気柱の共鳴を観測する。図に示すように、シリンダーの開口端を原点とする右向きに座標  $x$  を導入する。密閉容器は十分に大きく、気柱の共鳴には影響を及ぼさないとする。また、容器による共鳴は無視できるとする。以下の実験はいずれも、容器内の圧力が  $p$  [Pa]、温度が  $T$  [K] の条件で行う。気柱の共鳴において開口端補正は無視できるとし、以下の問いに答えよ。

### 実験1

容器内を密度  $\rho_1$  [kg/m<sup>3</sup>] の単原子分子理想気体(気体1とする)で満たした状態で、スピーカーから周波数  $f$  [Hz] の音波を発生しながら、ピストンを  $x = 0$  の位置から徐々に右に動かしたところ、 $x = L$  [m] においてはじめて気柱の共鳴が観測された。

### 実験2

容器内を密度  $\rho_2$  [kg/m<sup>3</sup>] の二原子分子理想気体(気体2とする)で満たした状態で、周波数  $f$  の音波を用いて実験1と同様の操作を行ったところ、 $x = L'$  [m] ( $L' < L$ ) においてはじめて気柱の共鳴が観測された。さらにピストンを右に動かしていくと次に共鳴が観測されたのは  $x = L$  であった(実験1ではじめて共鳴が観測されたピストンの位置と同じ)。

問1 気柱が共鳴しているとき、気柱の両端で反射した  $x$  軸の右向きに進む音波と左向きに進む音波が重なり合って定常波が生じている。いま、媒質の各点のつり合いの位置を  $x$  軸上にとり、音波による媒質の各点の変位を  $y$  軸にとってグラフに表すとする。ただし、 $x$  軸の正の向きへの変位を  $y$  軸の正の向きにとるものとする。実験1および実験2において、ピストンの位置が  $x = L$  のときに生じる定常波の様子を表しているグラフを図2の(a)~(f)から選び、記号で答えよ。なお、図中の実線と破線は、それぞれ異なる瞬間の変位の波形であり、媒質の各点における変位の上限または下限を表している。

問2 気体1中の音速  $v_1$  [m/s] および気体2中の音速  $v_2$  [m/s] を、 $f$ 、 $L$  を用いて表せ。

問3  $L'$  を、 $L$  を用いて表せ。

### 実験3

実験2に引き続いて、容器内を密度  $\rho_2$  の気体2で満たし、ピストンを  $x = L$  に固定したまま、スピーカーから発せられる音波の周波数を  $f$  から徐々に低くしていったところ、次に共鳴が観測されたのは周波数が  $f'$  [Hz] のときであった。

問4  $f'$  を、 $f$  を用いて表せ。

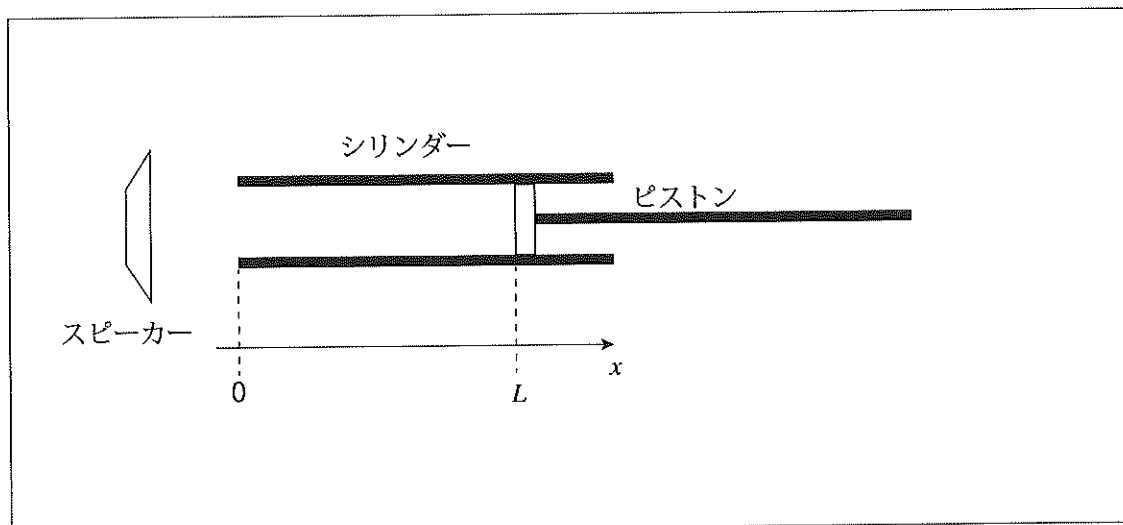


図 1

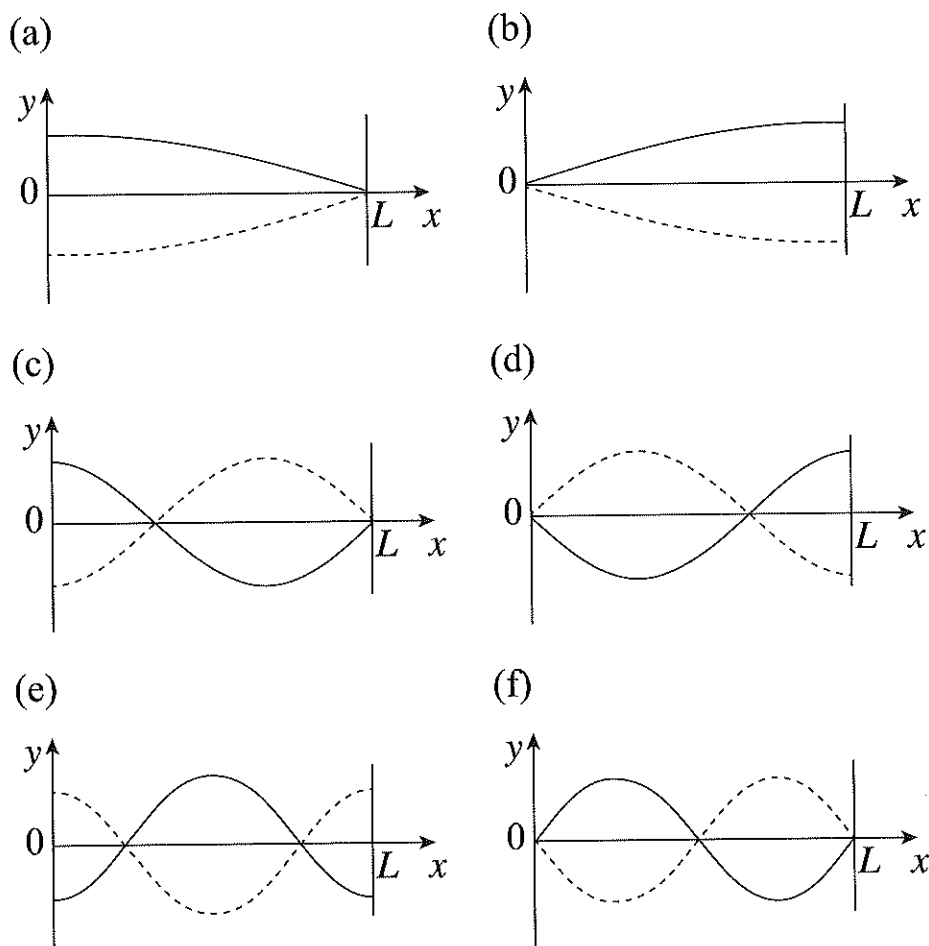


図 2

理想気体では分子間に働く力は無視できるため、内部エネルギーは分子の運動エネルギーの和から求められる。単原子分子では並進運動(3方向)について、また、二原子分子では重心の並進運動(3方向)と重心を中心とする回転運動(2つの軸方向)についての運動エネルギーの和で表される。なお、二原子分子については原子間結合の伸縮運動は無視できるものとする。

問 5 気体 1 および気体 2 について、それぞれ、1 mol の内部エネルギー  $U$  [J/mol] を、温度  $T$  および気体定数  $R$  [J/(mol·K)] を用いて表せ。

問 6 気体 1 および気体 2 について、それぞれ、定積モル比熱  $C_V$  [J/(mol·K)]、定圧モル比熱  $C_P$  [J/(mol·K)]、および、比熱比  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$  を求めよ。必要であれば気体定数  $R$  を用いよ。

問 7 圧力  $p$  の気体中の音速  $v$  [m/s] は次式で表される。

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

ここで、 $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] は気体の密度、 $\gamma$  は比熱比である。気体 1 と気体 2 の密度の比  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$  の値を有効数字 3 桁で数値として求めよ。

問 8 缶に充填されたヘリウムガス(安全のために約 20 % の酸素を混合したもの)を人が吸引して発声すると、通常の空気を吸ったときと比べて声の高さが変わるという玩具が販売されている。この現象を、以上の結果を踏まえて考察した以下の文について、空欄(a)~(f)を埋めよ。ただし、(a)には数値(有効数字 3 桁)を、(b)~(e)には周波数  $f$  を用いた式を、(f)には整数または分数を記入せよ。なお、以下の文中の  $L$  と  $f$  は実験 1 の条件を満たすものである。

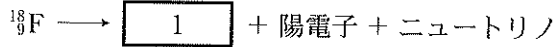
簡単のため、充填されたガスを純粋なヘリウムとみなし、気体 1 に対応させる。また、空気の主成分は窒素と酸素であり、その物理的性質は二原子分子理想気体で近似できるため、空気を気体 2 に対応させる。ヘリウムおよび空気の標準状態の密度は、それぞれ、0.179 kg/m<sup>3</sup> および 1.29 kg/m<sup>3</sup> であり、密度の比は  $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \boxed{\text{(a)}}$  となっており、問 7 で計算した値に近い。また、口から声帯までを長さ  $L$  の閉管とみなし、声帯から発せられる音波によって気柱の共鳴が生じると仮定する<sup>(注)</sup>。

いま、声帯から周波数  $3f$  以下の連続的な周波数分布をもつ音波が発せられたとする。このとき、共鳴条件を満たす周波数は複数あり、このような周波数 ( $\leq 3f$ ) をすべて挙げると、ヘリウム(気体 1)中では  $\boxed{\text{(b)}}$ 、空気(気体 2)中では  $\boxed{\text{(c)}}$  である。これらの音が共鳴により大きく聞こえる。基本振動の周波数はヘリウム中では  $\boxed{\text{(d)}}$ 、空気中では  $\boxed{\text{(e)}}$  となる。空気中と比べてヘリウム中では基本振動の周波数が  $\boxed{\text{(f)}}$  倍となり、1 オクターブ以上高い声になる。

(注) 実際の発声の仕組みはもっと複雑である。

(この頁は空白)

2 図3のような陽電子断層撮影法(PET)は、生体の内部を画像化することができる。がんを含む特定の組織はブドウ糖を多く取り込む性質がある。ブドウ糖分子の水酸基を放射性同位体  $^{18}\text{F}$  に置き換えた薬剤を体内に注射すると、この薬剤は体内でブドウ糖のように振る舞い、 $^{18}\text{F}$  は



という反応によって陽電子(電子の反粒子)を放出する。この反応の半減期は110分である。放出された陽電子は、物質中の原子を電離しながら進み、エネルギーを失い数 mm 程度でほぼ停止する。ほぼ停止した陽電子は付近の電子と対消滅し、2つの $\gamma$ 線が放出される。図4のように、PETの装置では、多数の $\gamma$ 線検出器が円周に沿って被験者を取り囲むように配置されている。対消滅によって放出される2つの $\gamma$ 線は、ほぼ同時に2つの検出器によって検知され、対消滅が起きた場所を推定することができる。対消滅が頻繁に起きる場所にはブドウ糖が多く分布し、がんなどの組織の場所が分かる。以下、対消滅が起きた場所を推定する方法について考える。

最初に、電子と陽電子の運動量の和がゼロの場合を考える。運動量の和がゼロである場合、2つの $\gamma$ 線は互いに反対方向に放出される。このため、対消滅が起きた場所は、 $\gamma$ 線を検知した検出器を結ぶ直線上となる。同じ場所で対消滅が繰り返し起こると、図4に示したように、対消滅ごとに異なる方向に $\gamma$ 線が放出され、異なる直線が得られる。このような直線群の交点が、頻繁に対消滅の起きる場所となる。

実際には、電子と陽電子の運動量の和はゼロにはならない。簡単のために、図5のように速さ  $v$ (m/s)で運動している電子が、静止している陽電子と衝突し、対消滅する場合を考える。このとき、2つの $\gamma$ 線は電子の速度方向から角度 $\theta$ (rad)ずれた方向に放出される。図6のように、対消滅がPET装置の中心で起きたとすると、 $\gamma$ 線を検知した2つの検出器を結ぶ直線は、対消滅が起きた場所から距離  $d$ (m)だけ離れている。距離  $d$ を調べることで、PET装置で推定される対消滅の位置の精度を評価することができる。

電子および陽電子の質量を  $m = 9 \times 10^{-31}$  kg、 $\gamma$ 線の速さを  $c = 3 \times 10^8$  m/s、PET装置の直径を  $D = 0.6$  mとする。また、質量とエネルギーの等価性によって質量  $M$ (kg)の粒子はエネルギー  $Mc^2$ を持ち、 $\gamma$ 線の運動量  $P$ (J·s/m)とエネルギー  $E$ (J)には  $P = \frac{E}{c}$ の関係がある。 $\gamma$ 線検出器は十分細かく配置されており、検出器は十分に小さいものとして、以下の問いに答えよ。

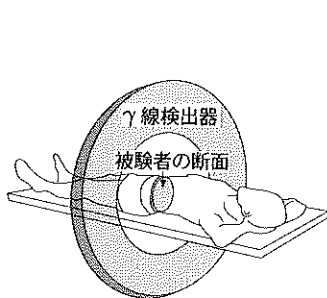


図3：PET装置の概要

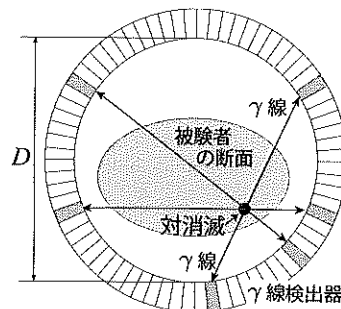


図4：■は $\gamma$ 線を検知した検出器。

□は $\gamma$ 線を検知していない検出器。

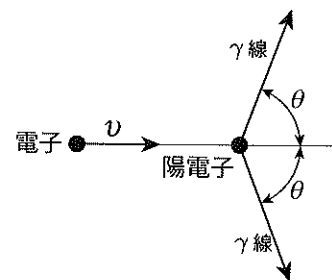


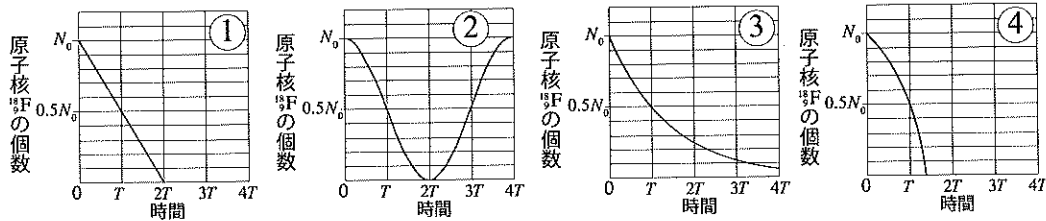
図5



問 1 1 に入る適切なものを次の選択肢から選び、①～⑥の番号で答えよ。

- ①  ${}^1_0\text{O}$       ②  ${}^{18}_8\text{O}$       ③  ${}^{18}_9\text{F}$       ④  ${}^{19}_9\text{F}$       ⑤  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$       ⑥  ${}^{20}_{11}\text{Ne}$

問 2 下線部 a) について、時刻ゼロにおいて放射性同位体  ${}^{18}\text{F}$  が一定量あったとすると、放射性同位体  ${}^{18}\text{F}$  の原子核の個数はどのように時間変化するか。時間変化を表すグラフとして適切なものを次の選択肢から選び、①～④の番号で答えよ。ただし、 $T$  [s] は半減期、 $N_0$  は時刻ゼロにおける原子核  ${}^{18}\text{F}$  の個数を表す。なお、 $N_0$  は十分大きな値であるとする。



問 3 下線部 b) について、2つの  $\gamma$  線が互いに反対方向に放出される理由を説明せよ。

問 4 下線部 c) について、電子の速度方向と  $\gamma$  線が放出される方向のなす角度  $\theta$  の余弦  $\cos \theta$  を電子の速さと  $\gamma$  線の速さの比  $\frac{v}{c}$  を用いて表せ。速さ  $v$  の電子の運動エネルギーは  $\frac{1}{2}mv^2$ 、運動量の大きさは  $mv$  としてよい。

対消滅を起こす電子が水素原子の基底状態にあるものとする。電子の運動はボーアの理論にしたがい、図7のように、半径  $r$  [m] の円軌道を、陽子から電気力を受けて、速さ  $v$  で回っているものとする。電気素量を  $e$  [C]、クーロンの法則の比例定数を  $k$  [ $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ ] として、円軌道上にある電子の位置エネルギー(基準は無限遠点)が

$$-k \frac{e^2}{r} = -4 \times 10^{-18} \text{ J}$$

であるとする。

問 5 下線部 d) について、対消滅する陽電子は静止しており、電子はボーアの理論における速さ  $v$  であるとして、距離  $d$  の値として最も適切なものを次の選択肢から選び、理由を説明して①～⑤の番号で答えよ。なお、図8のグラフから読み取った数値を用いてもよい。

- ①  $1 \mu\text{m}$       ②  $10 \mu\text{m}$       ③  $100 \mu\text{m}$       ④  $1 \text{ mm}$       ⑤  $10 \text{ mm}$

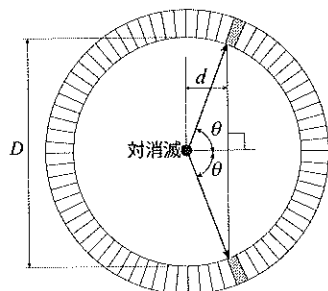


図 6

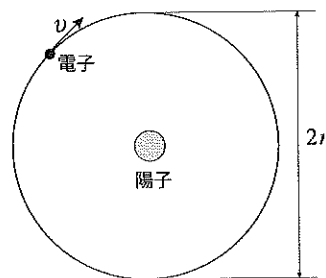
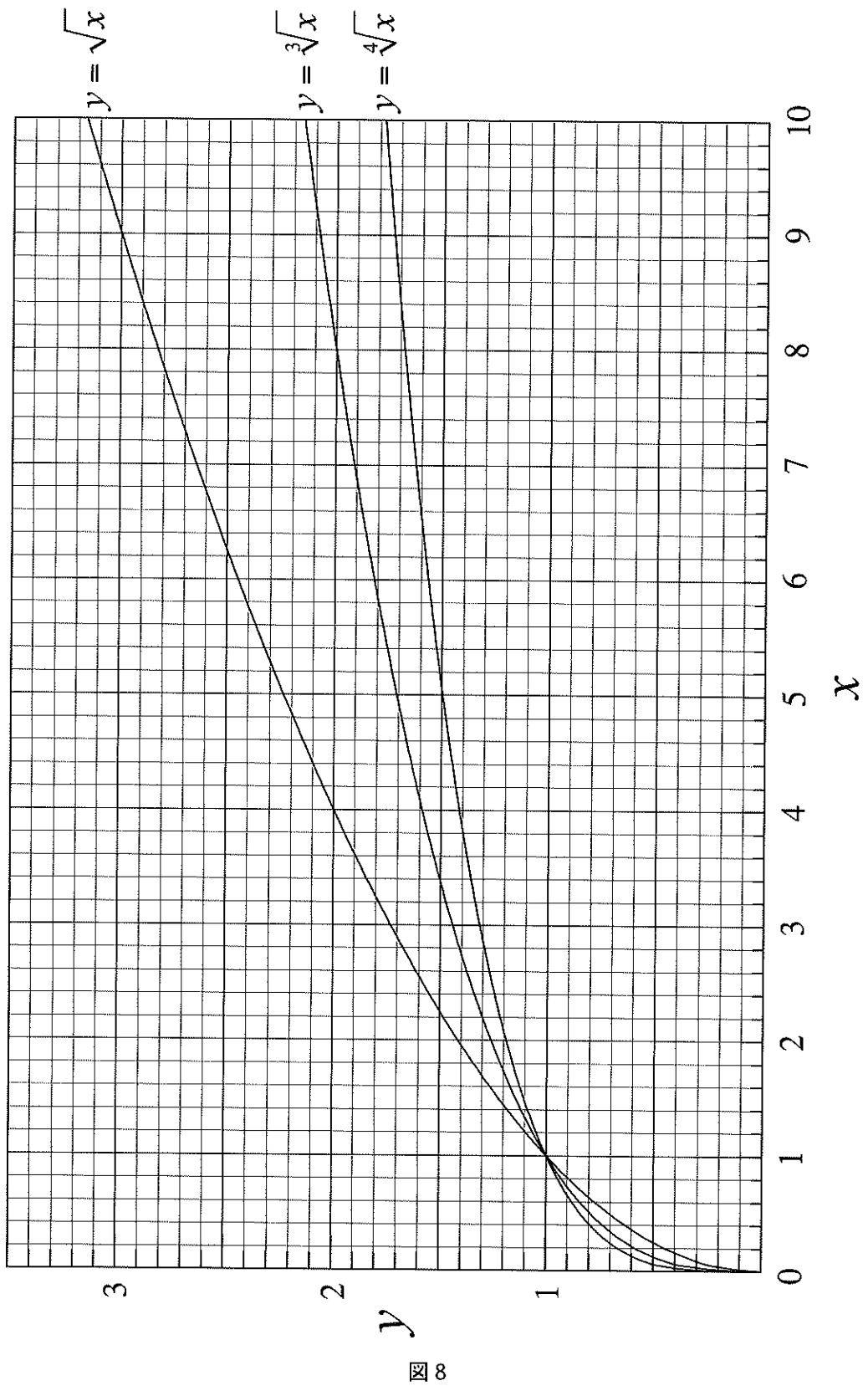


図 7



8