

平成31年度第1次募集（平成30年10月入学含む）  
新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程入学者選抜試験問題  
一般入試

環境科学専攻  
自然システム科学  
E1

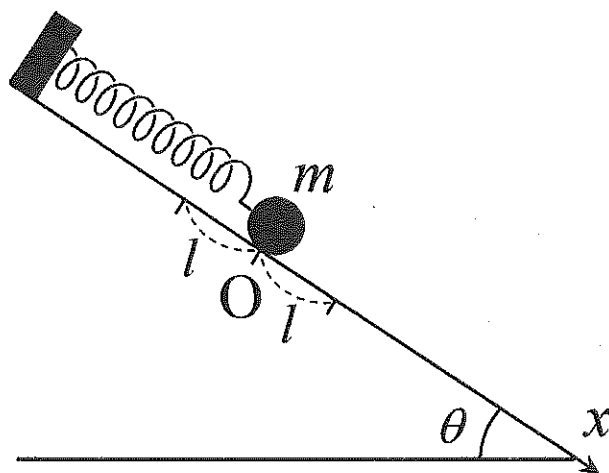
専門科目（基礎自然科学）

注意事項

- 1 この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはならない。
- 2 問題冊子は、表紙をのぞき全部で14ページある。
- 3 物理学（[1], [2]）、化学（[3], [4]）、生物学（[5], [6]）、地学（[7], [8]）の[1]～[8]から3問を選択し、解答すること。
- 4 解答は、解答用紙の「問題番号」記入欄に解答する問題番号を記入してから、その頁に記入すること。ただし、解答欄が足りない場合は、裏面を使用すること。
- 5 受験番号は、各解答用紙の指定された箇所に必ず記入すること。
- 6 解答時間は、120分である。
- 7 下書きは、問題冊子の余白を使用すること。

[ 1 ] 以下の問1～問4に答えよ。

以下の図に示すように、傾斜角 $\theta$ の滑らかな斜面上に、上端を固定されたばね定数 $k$ のばねがあり、その下端に質量 $m$ の錘をつけたら、ばねは $l$ だけ伸びた。この釣り合いの位置を原点 $O$ として、斜面に沿って下向きに $x$ 軸を取る。また重力加速度を $g$ とする。



図

- 問1 釣り合いの位置原点 $O$ におけるばねの伸び $l$ を求めよ。
- 問2 釣り合いの位置原点 $O$ から、錘を斜面に沿って $l$ だけ引いて放すと、錘は単振動を始めた。錘が原点 $O$ から距離 $x$ にあるときの運動方程式を示せ。
- 問3 錘を放した時を $t = 0$ として、時刻 $t$ での錘の位置 $x$ と速さ $v$ を求めよ。
- 問4 この運動において、運動エネルギーとばねの弾性エネルギーの和が保存されていることを示せ。

[ 2 ] 電磁誘導に関する以下の問 1, 問 2 に答えよ。

問 1 次の文章の [ ① ] ~ [ ⑩ ] に入る, 適切な式または語句を答えよ。

1831 年にファラデーは, 閉回路導線の近くで磁石を動かすと, 回路内に電流が生じることを発見した。これは磁場の時間的変化  $\frac{dB(\mathbf{r},t)}{dt}$  と電場  $\mathbf{E}(\mathbf{r},t)$  との間に関係があることを示す大発見で, 磁場の時間的変化により電場が誘導されるこの現象は, 電磁誘導と名付けられた。ファラデーがおこなった詳しい実験により, 閉回路を貫く磁束を  $\Phi$  とすると閉回路に生じる起電力  $V$  は,  $V =$  [ ① ] と表わされることが分かった。この時, この磁束  $\Phi$  には, 電磁誘導で発生した電流が作る磁場が含まれて [ ② ] ことに注意する必要がある。ファラデーが実験で直接示したことは, 磁場の時間的変化によって導線回路の内部に起電力が生じるということであったが, 近接作用の立場にたつと, 必ずしも回路の存在を必要としない。すなわち, 磁束  $\Phi$  の時間的な変化は, その周りの真空中における電場  $\mathbf{E}(\mathbf{r},t)$  を誘起することができる。それゆえ, 図 1 のような真空中のある閉曲線  $C$  を貫く磁束が時間変化すると, その  $C$  上にある電荷  $e$  の点電荷は, 電磁誘導で生じる電場  $\mathbf{E}(\mathbf{r},t)$  によって [ ③ ] の力を受ける。点電荷が閉曲線  $C$  を 1 周する時に, この力がする仕事は,  $C$  に沿った線積分となるから [ ④ ] と表すことができる。一方, 電磁誘導で生じる起電力  $V$  に [ ⑤ ] をかけたものはこの仕事に等しくなるので,  $V =$  [ ⑥ ] となり, [ ⑥ ] = [ ① ] が成り立つ。磁束  $\Phi$  は閉曲線  $C$  で囲まれる面  $S$  での磁場  $\mathbf{B}(\mathbf{r},t)$  に対する面積分となるから, 位置  $\mathbf{x}$  での面  $S$  の法線ベクトルを  $\mathbf{n}(\mathbf{x})$  とすると,  $\Phi =$  [ ⑦ ] と表すことができる。これを [ ① ] に代入すれば, 電場と磁場の関係式が得られる。ここで, ベクトル場  $\mathbf{A}(\mathbf{x})$  に対する任意閉曲線  $C$  上の線積分と  $C$  で囲まれる曲面  $S$  での面積分の中に成り立つストークスの定理  $\oint_C \mathbf{A}(\mathbf{x}) \cdot d\mathbf{x} = \iint_S \text{rot} \mathbf{A}(\mathbf{x}) \cdot d\mathbf{S}$  を使って [ ⑥ ] の線積分を面積分に変換すると, [ ⑧ ] となるので, 電場と磁場の関係式は面積分をつかって [ ⑧ ] = [ ① ] と表現できる。ここから磁場の時間変動  $\frac{\partial B(\mathbf{x},t)}{\partial t}$  は [ ⑨ ] と等しくなることを導くことができ, これは [ ⑩ ] 法則の微分形式と呼ばれる。

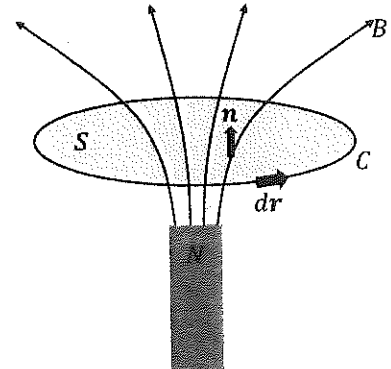


図 1

問2 時間変動磁場によって空間に誘起される電場を利用して電子を加速する装置はベータトロンと呼ばれている。図2のように、ベータトロンは透磁率の高い材料の内部を空洞にし、そこに励起用の1対のヘルムホルツコイルと、ドーナツ状の真空ガラス管が設置されている。コイルに交流電流

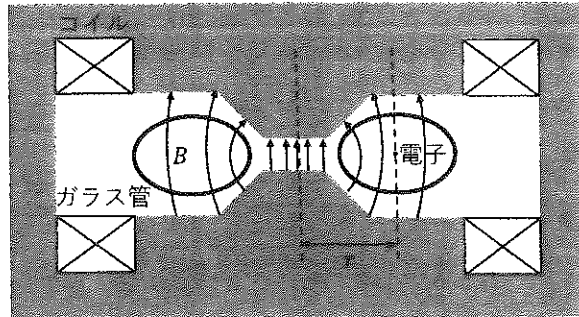


図2

を流すことでガラス管内に時間的変動磁場が生じ、それによってもたらされて誘起された電場で、電子はこのドーナツ状のガラス管内を加速され周回運動をする。質量の小さい電子は、交流電流の1/4サイクルの間に、ガラス管内を数万回周回することになるため、電磁誘導で生じる起電力がたとえ数10Vであったとしても、電子は10MeVオーダーの高エネルギーまで加速される。時刻  $t$ 、位置  $\mathbf{r}$  でのコイルによって発生する磁場を  $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$ 、誘導電場を  $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ 、電子の質量を  $m_e$ 、素電荷を  $e$  として以下の(1)～(3)に答えよ。ただし、運動する電子のつくる磁場は無視できるものとする。

- (1) ガラス管内を軌道半径  $r$ 、速さ  $v$  で円運動する電子の、軌道の接線方向で成り立つ運動方程式を求めよ。
- (2) ガラス管内を軌道半径  $r$ 、速さ  $v$  で円運動する電子の、軌道の法線方向で成り立つ運動方程式を求めよ。
- (3) 電子を加速させる際は、電子の運動エネルギーが増大しても、電子の軌道半径  $r$  を一定に保つ必要がある。(1)、(2)の結果を使って、そのために必要な空洞部の磁束密度の条件を求めよ。ただし、 $t=0$  で  $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = 0$  とする。

[ 3 ] 以下の問 1 ～問 4 に答えよ。

問 1 水素原子における電子のエネルギー  $E_n$ , 球面調和関数  $Y_{00}$ , 1s 軌道の動径波動関数  $R_{10}$  は以下で与えられる。ここで,  $r$  は原子核の中心からの電子の距離であり,  $n$  は主量子数である。電子の静止質量  $m_e$ , 電気素量  $e$ , プランク定数  $h$ , 真空の誘電率  $\epsilon_0$ , ボーア半径  $a_0$  はいずれも定数である。以下の (1) ～ (5) に答えよ。

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n}\right)^2, \quad Y_{00} = \sqrt{\frac{1}{4\pi}}, \quad R_{10} = 2 \left(\frac{1}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{r}{a_0}\right)$$

- (1) 1s 軌道にある電子の方位量子数および磁気量子数をそれぞれ答えよ。
- (2) 基底状態における電子のエネルギーを求めよ。
- (3) 水素原子の 1s 軌道にある電子を 2s 軌道にまで励起させた。励起に必要な光エネルギー  $E_{\text{ex}}$  およびその波長  $\lambda$  を求めよ。
- (4) 動径分布関数  $P_{10}$  は 1s 軌道において原子核の中心からの距離  $r$  における電子の存在確率を与える関数である。 $P_{10}$  は次式で与えられることを示せ。

$$P_{10} = \frac{4r^2}{a_0^3} \exp\left(-\frac{2r}{a_0}\right)$$

- (5) (4) 式を使って, 水素原子の 1s 軌道にある電子の存在確率が最大となる  $r = a_0$  であることを示せ。

問2 次の(ア)～(ウ)のそれぞれの文章の記述が正しいか否かを「正」あるいは「誤」で答えよ。

- (ア) 多電子原子の電子配置を決める上で重要な要素として、主量子数、方位量子数、Pauliの排他原理、Hundの規則があげられる。
- (イ) 多電子原子の最外殻電子に対する有効核電荷数は、一般に同一周期では原子番号の増大に伴い増大するが、同族では高周期ほど低下する。
- (ウ) C, N, Oの2p軌道の電子に対する有効核電荷数は、原子番号の増大と共に増大するが、CからNへのその増加量は、NからOへの増加量よりも小さい。

問3 多電子原子の軌道電子が受ける有効核電荷数  $Z_{\text{eff}}$  は、内側の電子による遮蔽効果のために、核電荷数  $Z$  よりも小さい。 $Z_{\text{eff}}$  を次の規則I, 規則IIに従って計算することが可能である。以下の(1), (2)に答えよ。

規則I:

$ns, np$  軌道にある1個の電子に対する他の電子の遮蔽効果を考えるとき、 $ns, np$  軌道にある他の電子は35%、 $n-1$  殻の各電子は85%、さらにそれより内側軌道の電子は100%遮蔽する。

規則II:

$nd, nf$  軌道にある電子に対しては、他の  $nd, nf$  電子は35%、それより内側の軌道の電子は100%遮蔽する。

(1) 次の(ア)～(ウ)の原子またはイオンの電子配置を例にならってそれぞれ記せ。

(例)  $\text{Li} (Z=3) : (1s)^2(2s)^1$

(ア)  $\text{N} (Z=7)$       (イ)  $\text{Cl} (Z=17)$       (ウ)  $\text{Co}^{2+} (Z=27)$

(2) 前問(1)の(ア)～(ウ)のそれぞれにおける最外殻電子について、規則I, 規則IIに従って  $Z_{\text{eff}}$  を計算せよ。

問4 分子軌道は、基底系と呼ばれる原子軌道の線形結合近似によって表せる。  
 $O_2$ 分子の分子軌道は図のとおりである。以下の(1)~(3)に答えよ。

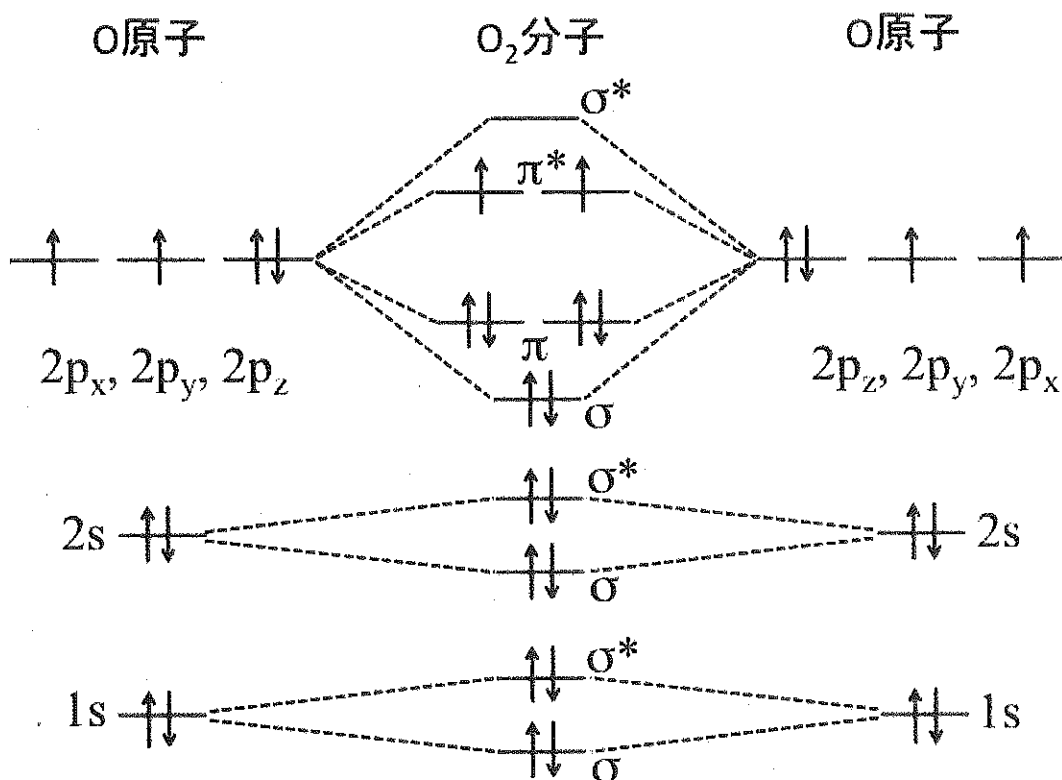


図. 酸素分子の分子軌道の概略図

- (1) 図中の\*を付した軌道は一般に何と呼ぶか。
- (2)  $O_2$ 分子の基底状態が常磁性をもつ理由を説明せよ。
- (3)  $O_2^-$ および $O_2^+$ の結合次数をそれぞれ計算せよ。

[4] 以下の問1, 問2に答えよ。

問1 1 molの理想気体の状態変化に関する以下の(1)～(4)に答えよ。ただし $P$ は圧力,  $V$ は体積,  $T$ は絶対温度をそれぞれ表すこととする。また気体定数を $R$ とし, 定積モル熱容量 $C_{V,m}$ と定圧モル熱容量 $C_{p,m}$ は理想気体の状態が変化しても一定の値をとることとする。答えとともに, 答えを導いた過程についても記述すること。

(1) 理想気体を状態1 ( $P_1, V_1, T_1$ ) から圧力一定のまま可逆的に加熱して状態2 ( $P_1, V_2, T_2$ ) まで変化させた場合のエントロピー変化を $\Delta S_1$ とする。 $\Delta S_1$ を表す式を, 式を導いた過程とともに答えよ。さらにこの状態変化にともないエントロピーが増大するか減少するかについても答えよ。

(2) 体積一定の条件下で, この理想気体の状態を状態2から状態3 ( $P_3, V_2, T_1$ ) まで, 状態1と同じ温度になるまで可逆的に変化させた。この場合のエントロピー変化 $\Delta S_2$ をあらわす式を, 上と同様に式を導いた過程とともに答えよ。

(3) この理想気体を温度一定のまま状態3から可逆的に変化させてもとの状態1まで変化させた。このときの理想気体の内部エネルギー変化 $\Delta U$ , 理想気体が外界から得る熱 $q$ , 理想気体が外界からなされる仕事 $w$ , エントロピー変化 $\Delta S_3$ を式で示せ。

(4) 上記(1)～(3)の結果から, エントロピーが状態量であることを示せ。



問2 1,10-フェナントロリン (以下 phen と略す。) は、 $\text{Fe}^{2+}$  と選択的に反応して生成定数の非常に大きな赤色錯体  $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$  を生じるため、 $\text{Fe}^{2+}$  を吸光光度法で定量する場合の呈色試薬として広く用いられている。この phen を用いた吸光光度法に関する以下の (1) ~ (5) に答えよ。ただし鉄の原子量を 55.85 とする。

(1) 吸光光度法とはどのような分析法であるかを 60 字程度で説明せよ。

(2)  $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$  を含む水溶液が、右の図 1 に示すような光を吸収しない透明な容器 (セル) の中に入っていると仮定する。このセルに対して強度  $I_0$  の光を照射したところ、 $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$  によりその一部が吸収され、セルから出てくる透過光の強度が  $I$  となった。この場合に得られる透過率 ( $T$ ) と吸光度 ( $A$ ) を、 $I$  と  $I_0$  を用いてそれぞれ数式で示せ。

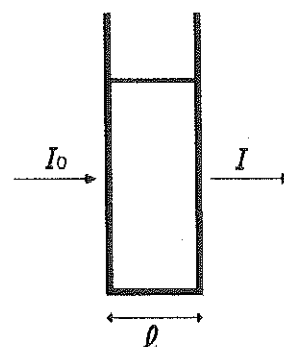


図 1

(3)  $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$  の濃度が  $C$  ( $\text{mol dm}^{-3}$ ) である水溶液を図 1 のセルに入れて吸光度を測定した。光が通過する層の厚さ (光路長) を  $l$ 、 $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$  のモル吸光係数を  $\epsilon$  としたとき、吸光度  $A$  を  $C$ 、 $l$ 、 $\epsilon$  で表せ。

(4)  $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$  を含む水溶液の吸収スペクトルを図 2 に示した。phen を用いて  $\text{Fe}^{2+}$  を定量する場合に最も適した波長を、下の (ア) ~ (オ) から選び、さらにそのように判断した理由を 50 字程度で答えよ。

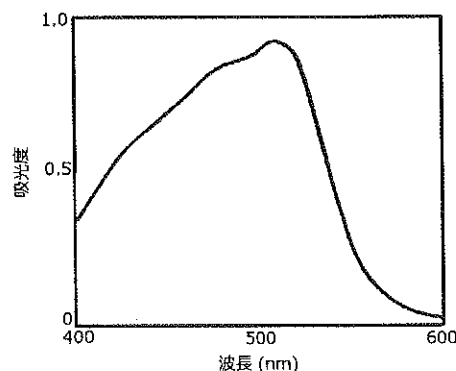


図 2

- (ア) 400 nm (イ) 480 nm (ウ) 510 nm  
 (エ) 580 nm (オ) 600 nm

(5) 塩酸酸性とした 2.00 ppm の  $\text{Fe}^{2+}$  溶液 25.00  $\text{cm}^3$  に対し、 $6.0 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$  の phen 溶液を 10  $\text{cm}^3$  加えた。この溶液に対してさらに酢酸緩衝溶液を加えて pH を 5.0 に調整したのち、全体の体積を 50.00  $\text{cm}^3$  に定容した。30 分ほど静置したのち、この溶液の一部を光路長 1.00 cm のセルにとり、試薬ブラ

ンクを対象として波長 $\lambda$ で吸光度を測定したところ、その吸光度は0.200であった。波長 $\lambda$ における $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ のモル吸光係数を求めよ。

[ 6 ] 生物の進化に関する以下の問1，問2に答えよ。

問1 真核細胞への進化におけるミトコンドリアと色素体の獲得に関する細胞内共生説では，ミトコンドリアは好気性細菌の，色素体は  の共生が，それぞれのオルガネラの由来と考えられている。以下の(1)～(4)に答えよ。

- (1)  に入る適切な生物名を答えよ。
- (2) ミトコンドリアと色素体が，共に共生由来とされる根拠を1つ述べよ。
- (3) ミトコンドリアと色素体の共生のどちらが先に起きたかについて，その理由を示しながら説明せよ。
- (4) ミトコンドリアの獲得は，生物の多細胞化に必要な出来事であったとされる。その理由を述べよ。

問2 地球の歴史では，植物は，動物より先に水中から陸上へと進出したとされる。以下の(1)～(4)に答えよ。

- (1) 生物が陸上で生息することを困難にしていた障壁は何か，主なものを2つ述べよ。
- (2) 植物が動物よりも先に陸上に進出することができた理由としては，どのようなことが挙げられているか，主な理由を2つ述べよ。
- (3) 陸上に進出し始めた頃の植物にとっては，陸上では有性生殖が困難であるという問題点を抱えていたが，それは何か。またそれを克服するために，植物はどのような生殖様式を獲得したのか，説明せよ。
- (4) 以下の(ア)～(ウ)のような環境因子は植物にとって有害である。(ア)～(ウ)の中から1つを選び，その環境因子がなぜ植物にとって有害であるのか述べ，その時，植物はどのような防御反応を起こすことが知られているのか，説明せよ。  
(ア) 重金属  
(イ) 低温  
(ウ) 病原体(ウイルスや菌類)

[ 7 ] 以下の問1, 問2に答えよ。

問1 次の(1)～(4)に答えよ。

- (1) 原始の地球大気の主成分は, 水蒸気, 二酸化炭素, 窒素だったと考えられる。現在の地球大気の主成分が窒素や酸素である理由を説明せよ。
- (2) 北半球の対流圏上層の偏西風は冬季の日本上空で最も強い。その理由を説明せよ。
- (3) 排水口に流れ込む水の回転の向きは, 北半球や南半球によらず, 時計回り, 反時計回りのいずれも起こる。その理由を説明せよ。
- (4) 条件付不安定とはどのような大気の状態を表すか, 空気塊が上昇する例で説明せよ。

問2 図のP点における(a)収束発散 $Div$ , (b)渦度 $\zeta$ を計算せよ。AB間, CD間の距離はそれぞれ200[km]とする。ABCD各点において, 矢印はおおよその風向を表し, 数値(単位は $[ms^{-1}]$ )は東西風成分 $u$ , 南北風成分 $v$ に分解した風速(添え字はABCD各点に対応)を示している。 $x$ 軸は東西方向,  $y$ 軸は南北方向を示す。収束発散 $Div$ の式, 渦度 $\zeta$ の式を図の下に示す。

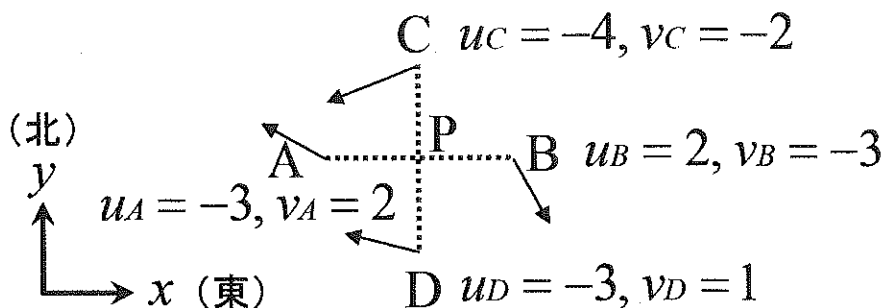


図 P点周辺のABCD各点の風向風速の分布図

$$Div = \frac{\Delta u}{\Delta x} + \frac{\Delta v}{\Delta y} \quad \zeta = \frac{\Delta v}{\Delta x} - \frac{\Delta u}{\Delta y}$$