

物理

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設問	解答番号	正解	配点	自己採点	
第1問	問1	1	④	5		
	問2	2	①	3		
		3	①	3		
	問3	4	③	5		
	問4	5	④	5		
	問5	6	③	5		
第1問 自己採点小計				(26)		
第2問	問1	7	⑦	5		
	問2	8	②	4		
	問3	9	⑥	4		
	問4	10	③	4		
	問5	11	②	4		
	問6	12	④	5※1		
		13	⑤			
第2問 自己採点小計				(26)		
第3問	A	問1	14	③	5	
		問2	15	②	5	
	B	問3	16	②	5※2	
		問4	17	③	5	
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	問1	18	⑦	4		
	問2	19	②	3		
		20	④	3		
		21	①	3		
	問3	22	⑦	4		
	問4	23	②	5※3		
	問5	24	③	3		
		25	②	3		
第4問 自己採点小計				(28)		
自己採点合計				(100)		

(注)

- 1 ※1は両方正解の場合のみ点を与える。
- 2 ※2は①, ③, ④のいずれかを解答した場合は2点を与える。
- 3 ※3は⑤, ⑧のいずれかを解答した場合は3点を与える。

【解説】

第1問 小問集合

問1 Aさんが荷物を受け取る直前と直後において、Aさんと荷物に作用する水平方向の力は、Aさんと荷物の間に作用する力(内力)のみである。したがって、水平方向で運動量が保存される。

$$m \cdot v_0 + 11m \cdot v = (m + 11m) \cdot \frac{3}{2}v$$

$$\therefore v_0 = 7v$$

1の答 ④

問2 シリンダー A 内の気体は断熱変化で圧縮され、シリンダー B 内の気体は等温変化で圧縮される。熱力学第一法則より、A 内の気体は外部から仕事をされた分、内部エネルギーが増加するので、温度が上昇するが、B 内の気体は等温変化なので温度は変化しない。したがって、気体の温度はシリンダー A 内の方が高い。

2の答 ①

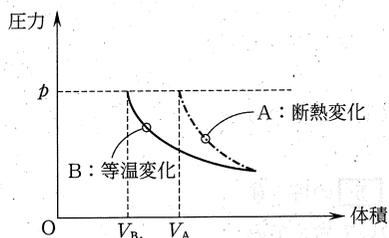
この状態変化の間、ピストンに各シリンダー内の気体から作用する力は、常につり合った状態で変化する。シリンダーの断面積は同じであるから、各気体の圧力も常に等しい状態で変化する。気体定数を R 、各気体の物質量を n 、状態変化後の各気体の共通の圧力を p とし、A、B 内の気体の体積と温度をそれぞれ V_A 、 V_B 、 T_A 、 T_B とすると、状態方程式は、

$$A: pV_A = nRT_A \quad B: pV_B = nRT_B$$

となる。 $T_A > T_B$ より、 $V_A > V_B$ となり、変化後の体積はシリンダー A 内の方が大きい。

3の答 ①

次の図のように、断熱変化と等温変化の圧力-体積グラフから、共通の圧力では、体積が $V_A > V_B$ となることを確かめてもよい。



問3 極板間の誘電率を ϵ 、極板間隔を d とする。問題の図3の状態でのコンデンサーの電気容量 C は $C = \epsilon \frac{S}{d}$ と表せ、問題の図4の状態での電気容量 C' は $C' = \epsilon \frac{xS}{d} = xC$ と表せる。よって、 C に比べて C' は x 倍となる。

【ポイント】

運動量保存則

物体系に外力がはたらかない場合、物体系の運動量が保存する。

熱力学第一法則

$$\Delta U = Q + W$$

ΔU : 内部エネルギーの変化

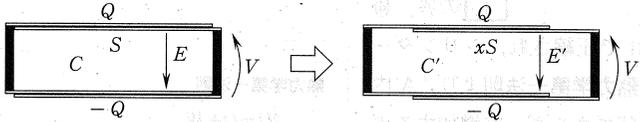
Q : 気体が吸収した熱量

W : 気体が外部からされた仕事

図3の状態でのコンデンサーの電圧を V ，電場(電界)の強さを E とし，図4の状態での電圧を V' ，電場の強さを E' とする。図3から図4の状態に変化しても極板の電荷 Q は変わらないので， $Q=CV=C'V'$ となる。また，コンデンサー内部の電場は一樣なので， $V=Ed$ ， $V'=E'd$ が成り立ち，

$$Q=CEd=C'E'd \quad \therefore E'=\frac{C}{C'}E=\frac{1}{x}E$$

したがって， E と比べて E' は $\frac{1}{x}$ 倍となる。

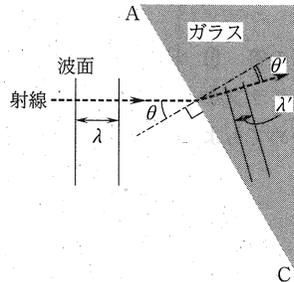


4 の答 ③

問4 空気中における光の波長を λ ，ガラスの屈折率を n とすれば，ガラス中における光の波長 λ' は $\lambda'=\frac{\lambda}{n}$ と表せる。ここで $n>1$ であるから， $\lambda'<\lambda$ となり，空気中に比べガラス中の波長は短くなる。光は辺 AB を通過するとき直進するが，辺 AC を通過するとき屈折する。辺 AC での入射角を θ ，屈折角を θ' とすると，屈折の法則より，

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta'} = \frac{n}{1} \quad \therefore \sin \theta' = \frac{\sin \theta}{n}$$

上式より， $\theta'<\theta$ となる。

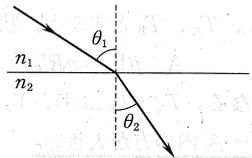


光の進行方向を表す射線は，波面と直交する。以上のことから波面の様子を表す図として適当なものは④である。

5 の答 ④

問5 次図のように，キャリアが正の電荷の場合について考えてみる。フレミングの左手の法則より，キャリアは磁場から y 軸の負の向きにローレンツ力を受けるので，面 a 側は正に帯電する。一方，面 b 側は負に帯電し，この正負の帯電により y 軸の正の向きに強さが E の電場が生じる。キャリアはローレンツ力に加えて，生じた電場から y 軸の正の向きに力を受け，これらがつり合った状態(定常状態)で x 軸の正の向きに直進している。

屈折の法則



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

n_1, n_2 : 絶対屈折率

θ_1, θ_2 : 入射角, 屈折角

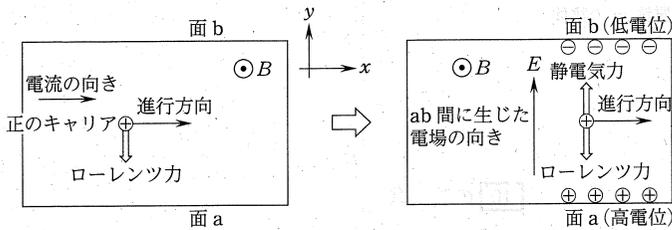
ローレンツ力

$$f=qvB$$

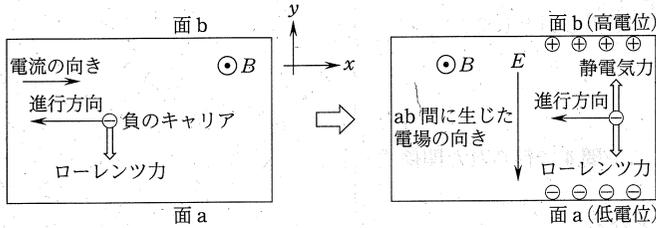
q : 電気量の大きさ

v : 磁場に垂直な速度成分

B : 磁束密度の大きさ



キャリアが負の電荷の場合は、次図のように、面 a と面 b の帯電は逆転する。



問題では、面 a に対する面 b の電位が負であり、面 a が面 b より高電位になっているので、キャリアの電荷が正であると判断できる。また、定常状態ではローレンツ力 qvB と静電気力 qE がつり合っているので、

$$qvB = qE \quad \therefore E = vB$$

6 の答 ③

第2問 万有引力

問1 月は地球の周りで半径 L 、速さ v の等速円運動をしているので、その加速度の大きさは $\frac{v^2}{L}$ で、向きは円軌道の中心方向である。

7 の答 ⑦

問2 月の質量を m とする。月に作用する円運動の向心力は、月と地球の間に作用する万有引力であるから、運動方程式は、

$$m \frac{v^2}{L} = G \frac{mM}{L^2} \quad \therefore v = \sqrt{\frac{GM}{L}}$$

8 の答 ②

問3 地球の影が地球の大きさと同じであると考えている。月が、その影の中心部分を直線的に直径 $2R$ 分だけ通過した時間が Δt である。したがって、月の速さ v は $v = \frac{2R}{\Delta t}$

9 の答 ⑥

問4 質量 m の物体が地表で受ける重力 mg は、その物体が地球から受ける万有引力である。地球の大きさと比べて物体は質点と見なせるので、物体と地球の中心間の距離は、地球の半径 R となる。したがって、 $mg = G \frac{mM}{R^2}$ が成り立ち、これより $GM = gR^2$

円運動の向心加速度

半径 r 、速さ v 、角速度 ω で等速円運動している物体の中心向きの加速度 a (向心加速度)は、

$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

万有引力の法則

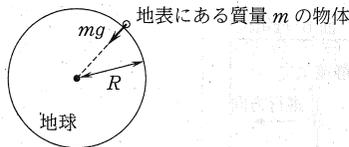
$$f = G \frac{mM}{r^2}$$

f : 二物体間に作用する万有引力の大きさ

G : 万有引力定数

m, M : 二物体の質量

r : 二物体の中心間距離



10 の答 ③

問5 月が通過した地球の影の大きさを地球の直径の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍として、

月の速さ v を再計算すると、 $v = \frac{2R}{\sqrt{2}\Delta t} = \frac{\sqrt{2}R}{\Delta t}$ となる。これと問2で求めた月の速さ $v = \sqrt{\frac{GM}{L}}$ が等しいとして、

$$\frac{\sqrt{2}R}{\Delta t} = \sqrt{\frac{GM}{L}}$$

これより、 $L = \frac{GM}{2R^2}\Delta t^2$ となるが、ここで問4で得られた関係式 $GM = gR^2$ を代入すると、 $L = \frac{g\Delta t^2}{2}$ となる。

11 の答 ②

問6 2022年11月の観測データから、月食にかかった時間 Δt は、地球の影に月が入り始めた時刻18時09分から出始めた時刻20時42分までの153分である。問5の結果より、

$$L = \frac{g}{2}\Delta t^2 = \frac{9.8}{2}(153 \times 60)^2 = 4.12 \cdots \times 10^8 \text{ m} \doteq 4 \times 10^5 \text{ km}$$

実際の月の平均公転半径は約 $3.8 \times 10^5 \text{ km}$ なので、10%未満の誤差で計算ができていることがわかる。

12 の答 ④

13 の答 ⑤

第3問 薄膜干渉・ブラッグ反射

A

問1 空気(屈折率1)、膜(屈折率 n_1)、ガラス(屈折率 n_2)の屈折率の大小関係は $1 < n_1 < n_2$ であるので、光線aと光線bの反射による位相の変化はともに $\pi_{\text{ア}}$ であり、反射による位相の変化は相殺している。膜の厚みを d とすれば、光線aと光線bの光路差は $2n_1d$ で、これらの反射光が強めあうためには、干渉条件

$$2n_1d = m\lambda = 2m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (m \text{ は整数})$$

が成立すればよい。したがって、このとき光路差は $\frac{\lambda}{2}$ の偶数イ倍になっている。

14 の答 ③

問2 問1の干渉条件を波長 λ について解くと、

$$\lambda = \frac{2n_1d}{m}$$

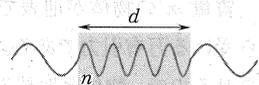
光路差

光路長(光学距離)の差

光路長(光学距離)

媒質内を進む光波が、同時間で真空を進む距離。

厚さが d で屈折率が n の媒質では、光路長は nd となる。



となり、 λ は次数 m に反比例することがわかる。膜 A, B のそれぞれの厚さ d と n_1 の値を代入すると、

$$A: \lambda = \frac{2 \times 1.4 \times 1.0 \times 10^{-7}}{m} = \frac{2.8}{m} \times 10^{-7} \text{ [m]}$$

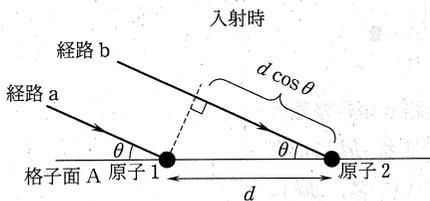
$$B: \lambda = \frac{2 \times 1.4 \times 3.0 \times 10^{-7}}{m} = \frac{8.4}{m} \times 10^{-7} \text{ [m]}$$

これらを次数 m に対してグラフに表したものは②である。

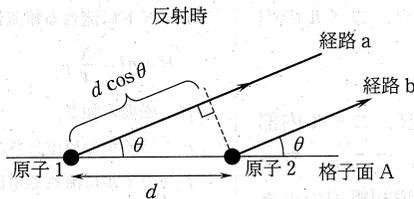
15 の答 ②

B

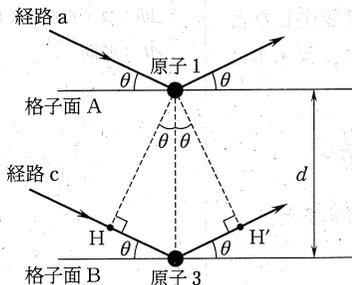
問3 次図のように、X線が格子面 A の原子1と原子2に入射するとき、経路 a に比べて経路 b の X 線の方が格子面 A に到達するまでに $d \cos \theta$ だけ長い距離を進行している。



一方、X線が格子面 A で反射したあと、経路 b に比べて経路 a の X 線の方が格子面 A から $d \cos \theta$ だけ長い距離を進行している。以上より、経路 a と経路 b の経路差は相殺して 0 となる。

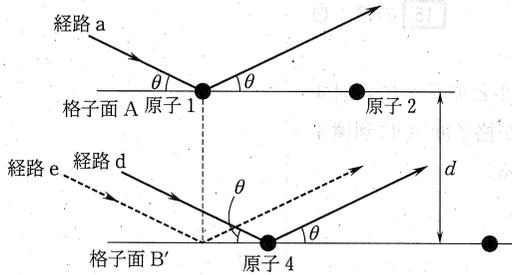


また、格子面 A の原子1に入射する X 線の経路 a と格子面 B の原子3に入射する X 線の経路 c について考える。経路 a に比べて経路 c の X 線の方が、次図の $H \rightarrow$ 原子3 $\rightarrow H'$ の経路 $2d \sin \theta$ だけ長い距離を進行している。したがって、経路 a と経路 c の経路差は $2d \sin \theta$ となる。



16 の答 ②

問4 まず、経路dと経路eの経路差について考える。問3の経路aと経路bの経路差は、格子面上の原子の間隔 d に依存せず、常に0となる。したがって、経路dを格子面B'上で平行移動した経路eと、経路dの経路差も0となる。このことから、経路aと経路dの経路差は、経路aと経路eの経路差に置き換えて考えることができる。



経路aと経路eの経路差は、問3の経路aと経路cの経路差と同じで $2d \sin \theta$ であり、この結果は原子の配置のずれ Δd に依存せず一定である。以上より、経路aと経路dについては、 Δd によらず、経路差は一定である。

17の答 ③

第4問 自己誘導・交流回路

問1 ソレノイドに流れる電流がつくる磁場の式より、コイルの内部に生じる磁場の強さ H は、 $H = \frac{N}{\ell} I$ となる。

コイルを貫く磁束 Φ は、磁束密度の大きさを B 、コイル内部の透磁率を μ とすれば、 $\Phi = BS = \mu HS$ と表せる。ここで、ファラデーの電磁誘導の法則より、コイルに生じる誘導起電力の大きさは、コイルを貫く磁束の単位時間あたりの変化 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ に比例する。したがって、磁束 Φ がコイルの面積 S に比例するので、誘導起電力の大きさも S に比例する。

18の答 ⑦

[参考]

時間 Δt の間に、コイルに流れる電流が ΔI だけ変化したとする。このとき、ファラデーの電磁誘導の法則より、コイルに生じる誘導起電力 V を計算すると、

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta(\mu HS)}{\Delta t} = -\mu \frac{N^2}{\ell} S \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ここで、自己インダクタンスを $L = \mu \frac{N^2}{\ell} S$ と定義すると、

$$V = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

コイルに生じる誘導起電力は、自己インダクタンスに比例

ソレノイドに流れる電流がつくる磁場

$$H = nI = \frac{N}{\ell} I$$

H : 磁場の強さ

n : コイルの単位長さあたりの巻き数

I : コイルに流れる電流

N : コイルの全巻き数

ℓ : コイルの長さ

ファラデーの電磁誘導の法則

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

V : 誘導起電力

N : コイルの巻き数

$\Delta \Phi$: コイルを貫く磁束の変化

Δt : 時間

し、電流の単位時間あたりの変化に比例することがわかる。

問2 コイルに生じる自己誘導起電力 V は、自己インダクタンス L とコイルに流れる電流の単位時間あたりの変化 $\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$ に比例する。

19の答 ②

図3のグラフの接線の傾きは、コイルに流れる電流の単位時間あたりの変化 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ を表す。スイッチを閉じた瞬間、図3の時刻 $t=0\text{ s}$ におけるグラフの接線の傾きは、

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{2.0 \times 10^{-1}}{1 \times 10^{-4}} = 2 \times 10^3 \text{ A/s}$$

と読み取れる。また、コイルにかかる電圧 $|V|$ は、図4の時刻 $t=0\text{ s}$ において、 5.0 V である。

コイルにかかる電圧 $|V|$ は $|V| = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ と表されるので、

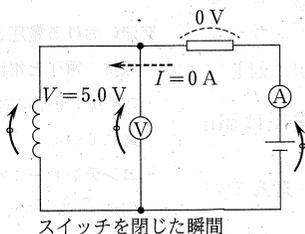
$$5.0 = L \times 2 \times 10^3 \quad \therefore L = 2.5 \times 10^{-3} \text{ H}$$

20の答 ④

スイッチを閉じてから十分に時間が経過したとき、電圧計の値は 0 V となっており、キルヒホッフの法則より、抵抗の電圧が直流電源の電圧と等しくなっている。

21の答 ①

問3 スwitchを閉じた瞬間の時刻 $t=0\text{ s}$ において、回路に流れる電流は 0 A なので、抵抗の電圧は 0 V となっている。また、電圧計は 5.0 V であるので、キルヒホッフの法則より、直流電源の電圧は 5.0 V であることがわかる。



次に、スイッチを閉じてから十分に時間が経過したとき、電圧計は 0 V となっており、図3から、コイルに流れる電流は $2.0 \times 10^{-1}\text{ A}$ と読み取れる。したがって、抵抗値を R とすれば、オームの法則より、

$$R = \frac{5.0}{2.0 \times 10^{-1}} = 25 \Omega$$

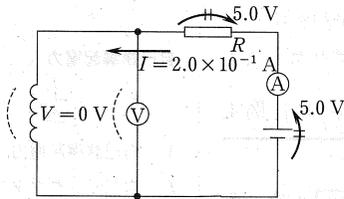
自己誘導起電力

$$V = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

V : 自己誘導起電力

L : 自己インダクタンス

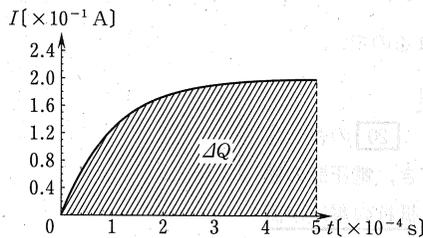
I : コイルに流れる電流



スイッチを閉じて十分に時間経過

22 の答 ⑦

問4 スイッチを閉じてから、電流値が一定とみなせる時刻 $t=5 \times 10^{-4} \text{ s}$ までに直流電源を通過した電気量 ΔQ は、各時刻における電流値 I と微小経過時間 Δt の積 $I \cdot \Delta t$ の和と与えられる。つまり図3の $I-t$ グラフで囲まれる面積が ΔQ を表す。



したがって、直流電源がした仕事 W は、図3のグラフと t 軸で囲まれた領域の面積と 5.0 V の積で得られる。

回路のエネルギー保存則を考えれば、直流電源がした仕事 W は、コイルに蓄えられるエネルギー U と抵抗で発生したジュール熱 J の和に等しい。したがって、 $W=U+J$ が成り立つ。

23 の答 ②

問5 交流における電圧と電流の位相の関係より、コンデンサーに流れる電流の位相は、コンデンサーにかかる電圧の位相に対して $\frac{\pi}{2}$ 進んでいる。図6より、コンデンサーにかかる電圧は \sin カーブで表されている。電流はこの電圧の位相より $\frac{\pi}{2}$ 進んでおり(時間的に4分の1周期分早い)、次図のように \cos カーブで表せる。したがって適当なグラフは②となる。この電流は、直列につながれたコイルにも共通に流れる。

電池がした仕事

$$W_E = \Delta Q \cdot E$$

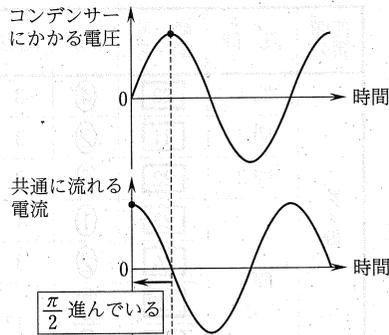
W_E : 電池がした仕事

ΔQ : 電池が運んだ電気量

E : 起電力

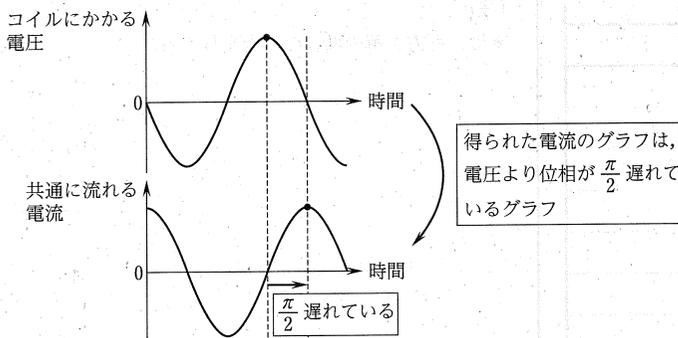
交流における電圧と電流の位相の関係

- ・抵抗 : 電圧と電流は同位相
- ・コイル : 電圧に対して電流の位相が $\frac{\pi}{2}$ 遅れている
- ・コンデンサー : 電圧に対して電流の位相が $\frac{\pi}{2}$ 進んでいる



24 の答 ③

コイルに流れる電流の位相は、コイルにかかる電圧(端子 c を基準とした端子 d の電位)の位相に対して $\frac{\pi}{2}$ 遅れている。コイルに流れる電流は 24 で得られた cos カーブであるが、これはコイルにかかる電圧より $\frac{\pi}{2}$ 遅れた(時間的に 4 分の 1 周期分遅い)結果である。よって、コイルにかかる電圧は次図のように $-\sin$ カーブで表せる。したがって、適当なグラフは ② となる。



25 の答 ②

[参考]

図 6 より、時刻 t において、コンデンサーにかかる電圧 v_c は、振幅を V_{0c} 、角周波数を ω とすると、 $v_c = V_{0c} \sin \omega t$ と表せる。コンデンサーに流れる電流 i の位相は、電圧 v_c の位相に比べて $\frac{\pi}{2}$ 進んでいるので、電流 i の振幅を I_0 とすれば、

$$i = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_0 \cos \omega t$$

この電流は、直列につながれたコイルにも共通に流れる。コイルにかかる電圧 v_L の位相は、流れる電流 i の位相に比べて $\frac{\pi}{2}$ 進んでいるので、電圧の振幅を V_{0L} とすれば、

$$v_L = V_{0L} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = -V_{0L} \sin \omega t$$