

UE4 – Physique

Annales Classées

ÉLECTROSTATIQUE

SUJET

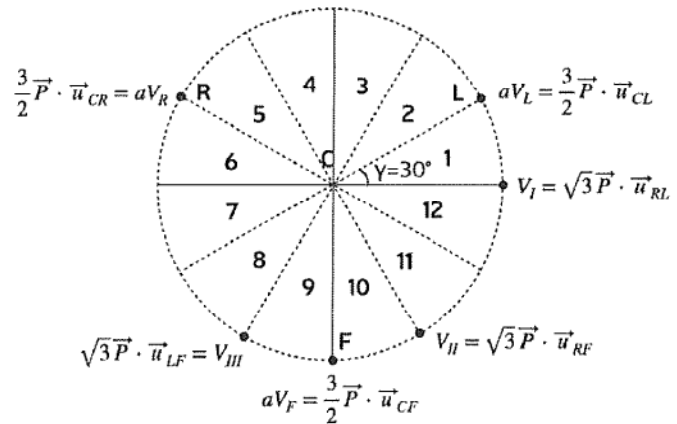
Inversion d'onde T cardiaque

Dans un électrocardiogramme une inversion d'onde T peut signaler un épisode antérieur d'ischémie du myocarde. On relève les potentiels électriques suivants au pic de l'onde T inversée d'un patient.

direction	aV_L	V_F	aV_R	V_{II}	aV_F	V_{III}
mV	0.8	1.3	-1.1	0.9	0.3	-0.3

Le schéma ci-contre donne les directions et valeurs des différentes dérivation mesurées dans le plan frontal pour un dipôle cardiaque $\vec{p}$. Le vecteur $\vec{P} = \frac{\vec{p}}{4\pi\epsilon r^2}$ prend en compte la permittivité ϵ diélectrique du milieu et la distance r des points de mesure au centre électrique C du cœur. Les vecteurs $\vec{u}$ sont tous unitaires.

Le dipôle cardiaque résulte des inversions de polarisation des membranes des myocytes. Celles-ci ont une épaisseur $L = 8 \text{ nm}$ et une différence de potentiel électrique au repos entre l'intérieur (V_i) et l'extérieur (V_e) égale à $V_i - V_e = -90 \text{ mV}$. On donne la charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ de l'électron.



Question 1 On s'intéresse au champ électrique $\vec{E}$ dans la membrane d'un myocyte au repos. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. Le champ $\vec{E}$ pointe vers l'intérieur de la cellule.
- B. Le champ $\vec{E}$ pointe vers l'extérieur de la cellule.
- C. $|\vec{E}| = 7,2 \times 10^{-7} \text{ V/m}$
- D. $|\vec{E}| = 1,1 \times 10^7 \text{ V/m}$
- E. $|\vec{E}| = 1,1 \times 10^{10} \text{ V/m}$

Question 2 On s'intéresse à la polarité de la membrane d'un myocyte au repos. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. Il n'y a pas de charges électriques sur la paroi externe de la membrane.
- B. Il y a un excès d'ions positifs sur la paroi externe de la membrane.
- C. Il y a un excès d'ions négatifs sur la paroi externe de la membrane.
- D. Il y a un excès d'ions positifs sur la paroi interne de la membrane.
- E. Il y a un excès d'ions négatifs sur la paroi interne de la membrane.

Question 3 Lors de l'activation d'un myocyte, le potentiel membranaire monte à $V_i' - V_e' = -40$ mV . Calculer l'énergie potentielle électrique ΔE échangée par un ion Ca^{2+} pendant la traversée de la membrane activée. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. L'ion Ca^{2+} pénètre dans la cellule.
- B. L'ion Ca^{2+} sort de la cellule.
- C. L'ion Ca^{2+} perd $\Delta E = 1,3 \times 10^{-20}$ J
- D. L'ion Ca^{2+} perd $\Delta E = 6,4 \times 10^{-21}$ J
- E. L'ion Ca^{2+} gagne 80 meV.

Question 4 Le schéma ci-dessus indique les numéros de 1 à 12 des différents secteurs angulaires sondés par les mesures de l'électrocardiogramme. Indiquer dans quel secteur se situe le dipôle cardiaque au pic de l'onde T du patient. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. secteur 1
- B. secteur 6
- C. secteur 9
- D. secteur 12
- E. aucun car le dipôle est nul.

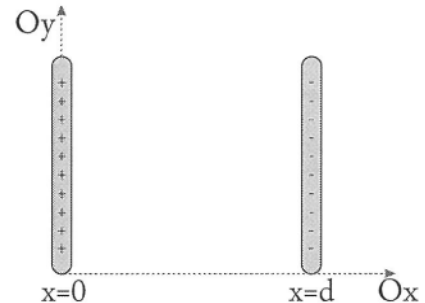
Question 5 Calculer la norme du vecteur $\vec{P}$ au pic de l'onde T. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $|\vec{P}| = 0$ mV
- B. $0.7 \leq |\vec{P}| \leq 0.8$ mV
- C. $1.1 \leq |\vec{P}| \leq 1.4$ mV
- D. $1.7 \leq |\vec{P}| \leq 2.0$ mV
- E. $2.0 \leq |\vec{P}| \leq 2.3$ mV

2021 Session 1

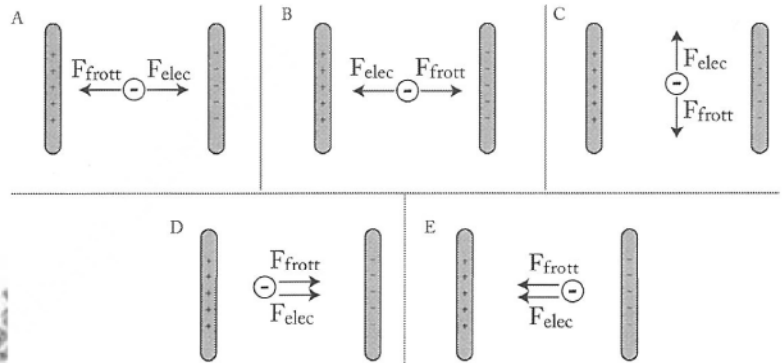
Électrophorèse de biomolécules

L'électrophorèse est une technique courante pour identifier des biomolécules. On place celles-ci dans une cuve parallélépipédique remplie d'un gel de viscosité η et de permittivité ε . Deux plaques parallèles, portant des densités surfaciques de charge $+\sigma$ et $-\sigma$ égales et opposées, sont placées sur deux faces opposées de la cuve pour former un condensateur de largeur d , créant un champ électrostatique de norme $|\vec{E}| = \sigma / \varepsilon$ dans le gel. La différence de potentiel entre les plaques vaut $\Delta V = |V(0) - V(d)| = 500 \text{ V}$. Les biomolécules, de charge Q négative, migrent horizontalement dans la cuve sous l'action des forces électriques et de frottement visqueux. On repère leur position par fluorescence dans le référentiel xOy du fond de la cuve (cf la vue de dessus ci-contre).



On néglige les interactions électriques entre les molécules présentes dans la cuve devant la force électrique due au condensateur. On néglige également les phénomènes de diffusion. La charge de l'électron vaut $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Question 18 Indiquer le schéma représentant correctement les forces agissant sur une biomolécule de charge $Q < 0$. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**



- A. Schéma A
- B. Schéma B
- C. Schéma C
- D. Schéma D
- E. Schéma E

Question 19 Exprimer le potentiel électrostatique $V(x)$ à une position x entre les plaques chargées. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $V(x)$ décroît de $x=0$ à $x=d$.
- B. $V(x)$ croît de $x=0$ à $x=d$.
- C. $V(x) = -\frac{\sigma}{\varepsilon}x$
- D. $V(x) = V(0) + \frac{\sigma}{\varepsilon}x$
- E. $V(x) = V(0) - \frac{\sigma}{\varepsilon}x$

Question 20 Sous l'effet du champ électrique, les molécules prennent une forme allongée qu'on peut assimiler à un cylindre de longueur L . Lorsqu'elles vont à la vitesse v , elles subissent une force de frottement $|F_{fr}| = k\eta L|v|$ où k est une constante sans dimension. Après une phase transitoire de mise en mouvement en réponse au champ électrique, chaque molécule atteint une vitesse d'équilibre v_Q constante qui lui est propre. Exprimer $|v_Q|$. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. À charge Q égale, les molécules plus courtes migrent plus vite que les molécules plus longues.
- B. Toutes les molécules chargées migrent moins vite si on charge davantage le condensateur.
- C. $|v_Q| = \frac{|Q|\sigma}{\epsilon k \eta L}$
- D. $|v_Q| = \frac{|Q|\sigma}{2\epsilon k \eta L}$
- E. $|v_Q| = \frac{|Q|\sigma d^2}{4\pi\epsilon x^2 k \eta L}$

Question 21 On applique l'électrophorèse à des molécules d'ADN à simple brin, de longueur $L = Na$ pour un nombre N de nucléotides et une longueur a d'un nucléotide. Chaque nucléotide possède une charge négative $-e$. On s'intéresse à la vitesse d'équilibre $|v_{ADN}|$ constante des molécules d'ADN **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

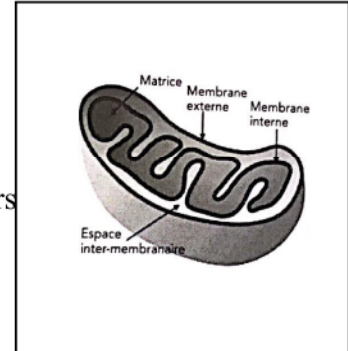
- A. $|v_{ADN}|$ augmente avec le nombre N de nucléotides.
- B. $|v_{ADN}|$ ne dépend pas du nombre N de nucléotides.
- C. $|v_{ADN}|$ augmente si la viscosité η augmente.
- D. $|v_{ADN}|$ est proportionnelle à ΔV .
- E. $|v_{ADN}|$ est proportionnelle à d .

Question 22 Calculer l'énergie W_{ADN} que reçoit une molécule d'ADN possédant $N = 3 \times 10^4$ nucléotides pour parcourir une distance $d/3$ dans la cuve. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $W_{ADN} = 3 \times 10^7$ eV
- B. $W_{ADN} = 1,5 \times 10^7$ eV
- C. $W_{ADN} = 10^7$ eV
- D. $W_{ADN} = 5 \times 10^6$ eV
- E. $W_{ADN} = 10^6$ eV

MEMBRANE INTERNE DE MITOCHONDRIE (questions 1 à 3)

Les mitochondries fournissent une grande partie des molécules ATP nécessaires aux besoins énergétiques d'une cellule. Une mitochondrie possède deux membranes séparant le milieu extérieur, un espace inter-membranaire et la matrice interne (cf schéma ci-contre). Des pompes chimiques sur la membrane interne maintiennent un excès de protons hors équilibre dans l'espace inter-membranaire et une différence de potentiel électrique $\Delta V = V_M - V_{EI} = -150 \text{ mV}$ entre la matrice (M) et l'espace inter-membranaire (EI). On assimile la membrane interne à un condensateur plan de capacité par unité de surface $C/S = 1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$. On s'intéresse au transfert d'énergie d'un proton de l'espace inter-membranaire à la matrice. Ce transfert en certains endroits de la membrane permet la synthèse d'ATP. On note $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ la charge élémentaire d'un proton.



Question n°1

On considère le champ électrique en divers endroits. **Indiquer la ou les propositions exactes:**

- A. Le champ dans la membrane interne est nul.
- B. Le champ dans l'espace inter-membranaire est nul.
- C. Le champ dans la matrice n'est pas nul.
- D. La valeur du champ varie linéairement dans l'épaisseur de la membrane interne.
- E. Le vecteur champ dans la membrane interne pointe vers la matrice.

On néglige tout d'abord la viscosité de l'eau

Question n°2

Comparer La variation ΔE_p d'énergie potentielle d'un proton passant de l'espace inter-membranaire à la matrice. **Indiquer la ou les propositions exactes :**

- A. La force électrique est motrice.
- B. La force électrique est résistive.
- C. $\Delta E_p = -0,15 \text{ eV}$
- D. $\Delta E_p = 0$
- E. $\Delta E_p = +0,15 \text{ eV}$

Question n°3

Calculer la densité surfacique Σ de protons (nombre de protons par unité de surface) qui polarisent la paroi externe de la membrane interne. **Indiquer la proposition exacte :**

- A. $\Sigma \approx 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-2}$
- B. $\Sigma \approx 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-2}$
- C. $\Sigma \approx 9 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-2}$
- D. $\Sigma \approx 9 \cdot 10^{15} \text{ m}^{-2}$
- E. $\Sigma \approx 4 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-2}$

2017

Stimulateurs et défibrillateurs cardiaques

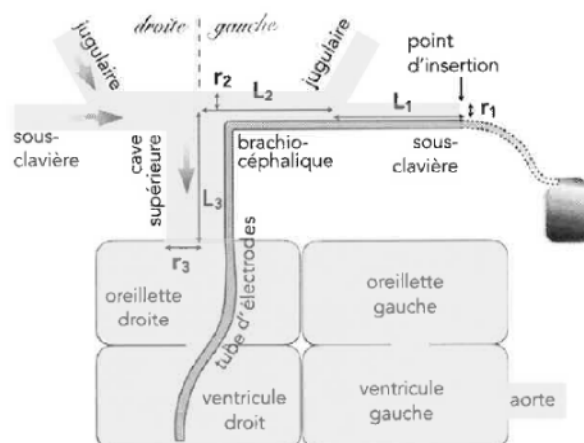
On implante dans l'organisme des dispositifs de surveillance et de correction du rythme cardiaque. On compare un stimulateur (pacemaker) qui délivre continûment de faibles impulsions électriques pour compenser des battements trop lents, et un défibrillateur qui délivre un fort choc électrique au ventricule si ses battements s'emballent (fibrillation, tachycardie). Les deux dispositifs sont munis de condensateurs plans qui déchargent rapidement leur différence de potentiel au bout de longues électrodes disposées sur les parois internes des cavités cardiaques. Les électrodes qui délivrent les impulsions et qui sondent l'état électrique du cœur sont contenues dans un tube souple qu'on insère dans la veine sous-clavière gauche. Le tube remonte par la veine brachio-céphalique gauche, puis par la veine cave supérieure jusqu'à l'oreillette droite et au ventricule droit du cœur (voir le schéma ci-dessous). À gauche comme à droite, les veines sous-clavière et jugulaire alimentent la veine brachio-céphalique. Les deux veines brachio-céphaliques se rejoignent pour alimenter la veine cave supérieure et l'oreillette droite.

Pour une circulation optimale, avec ou sans dispositif, le cœur du patient doit avoir un débit $Q_c = 6$ litres par minute, une fréquence $\nu_c = 1$ Hz, une tension moyenne artérielle $p_A = 0,13$ atm en sortie du ventricule gauche dans l'aorte et une tension moyenne veineuse $p_V = 0,01$ atm à l'entrée de l'oreillette droite.

On donne les caractéristiques suivantes :

- Condensateur plan du stimulateur de capacité $C = 5 \cdot 10^{-9}$ F et fournissant une différence de potentiel électrique $|\Delta V| = 2$ V à ses bornes lorsqu'il est pleinement chargé,
- Condensateur plan du défibrillateur de capacité $C' = 20 \times C$ et fournissant une différence de potentiel électrique $|\Delta V'| = 400 \times |\Delta V|$ à ses bornes lorsqu'il est pleinement chargé,
- Tube cylindrique d'électrodes, de rayon $r = 1$ mm et qui parcourt une longueur $L_1 = 5$ cm dans la veine sous-clavière, $L_2 = L_1$ dans la veine brachio-céphalique et $L_3 = L_1$ dans la veine cave supérieure.
- Les veines sont cylindriques et de rayon constant sur les longueurs considérées, de rayon $r_1 = 4$ mm pour la veine sous-clavière, $r_2 = (3/2) \times r_1$ pour la veine brachio-céphalique et $r_3 = 3 \times r_1$ pour la veine cave supérieure.

Pour simplifier les calculs, on considère qu'en présence du tube d'électrodes dans une veine de rayon r_i , la partie libre pour la circulation sanguine est équivalente à un tuyau cylindrique de rayon $r_i - r$.



Question n°1

On considère le champ électrique et le potentiel électrique entre les armatures planes et parallèles des condensateurs.

(Indiquer **la ou les** propositions exactes)

- A. Le champ entre les armatures est uniforme.
- B. Le champ décroît linéairement de l'armature positive à l'armature négative.
- C. Le potentiel entre les armatures est uniforme.
- D. Le potentiel décroît linéairement de l'armature positive à l'armature négative.
- E. Le potentiel croît linéairement de l'armature positive à l'armature négative.

Question n°2

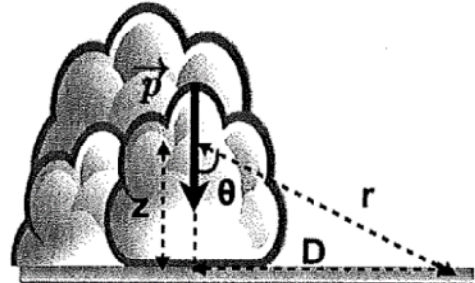
Calculer le rapport des charges électriques de l'armature positive du condensateur du stimulateur (Q) et du défibrillateur (Q') lorsqu'ils sont pleinement chargés.

(Indiquer **la** proposition exacte)

- A. $Q'/Q = 8000$
- B. $Q'/Q = 400$
- C. $Q'/Q = 200$
- D. $Q'/Q = 100$
- E. $Q'/Q = 50$

Tempêtes de poussières

Hors du dôme, les astronautes doivent éviter les impressionnantes tempêtes de poussières qui endommagent leur matériel et système de ventilation. Elles surviennent brusquement et recouvrent une région en quelques heures. Les nuages de poussières sont chargés électriquement, négativement en altitude et positivement près du sol. L'ensemble forme l'équivalent d'un dipôle électrique de norme p , vertical, centré à une altitude $z = 2$ km, qui peut servir à détecter à l'avance l'arrivée de la tempête. On repère la position du dôme à une distance D de la base du dipôle (voir schéma). Les astronautes mesurent en permanence la différence de potentiel dV mesurée entre deux points près du sol distants d'une distance dD petite devant D . On note ϵ_0 la permittivité diélectrique de l'air.



11. Question

Exprimer la valeur du potentiel électrique $V(D)$ à une distance D loin du dipôle. Cocher **la ou les** propositions vraies:

- A. $V(D) = p \cos\theta / (4\pi\epsilon_0 r^2)$
- B. $V(D) = p \cos\theta / (4\pi\epsilon_0 r)$
- C. $V(D) = p z / (4\pi\epsilon_0 r^2)$
- D. $V(D) = p D / (4\pi\epsilon_0 [z^2 + D^2])$
- E. $V(D) = p z / (4\pi\epsilon_0 [z^2 + D^2]^{3/2})$

12. Question

Montrer que pour une distance $D \gg z$, le potentiel $V(D)$ devient proportionnel à D^α avec un exposant α qu'on précisera. En déduire la relation entre la différence relative de potentiel dV/V et le rapport dD/D . Cocher **la ou les** propositions vraies:

- A. $V(D) \propto D^{-1}$
- B. $V(D) \propto D^{-2}$
- C. $V(D) \propto D^{-3}$
- D. $dV/V = \alpha dD/D$
- E. $dV/V = -\alpha dD/D$

13. Question

Une alarme se déclenche quand $|dV/V| \geq 1\%$ entre les points de mesure distants de $dD = 50$ m. En déduire la distance D de la tempête au déclenchement de l'alarme. Cocher **la** proposition vraie:

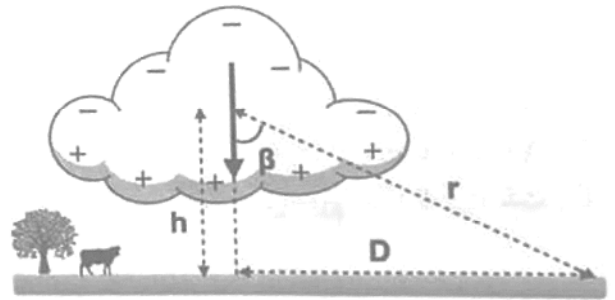
- A. 15 km
- B. 10 km
- C. 5 km
- D. 1 km
- E. 500 m

Annales Classées Supplémentaires

2023 Session 2

Risque d'orage

Les nuages d'orage sont chargés électriquement, négativement en altitude et positivement près du sol. L'ensemble forme l'équivalent d'un dipôle électrique $\vec{p}$, vertical, centré à une altitude h fixe. On repère la position du nuage à une distance D de la base du dipôle et on mesure la différence de potentiel dV entre deux points près du sol distants d'une distance dD petite devant D . On note ϵ la permittivité diélectrique de l'air et r la distance qui sépare le point de mesure du centre du dipôle.



Question 14 Exprimer la valeur du potentiel électrique $V(D)$ à la distance D . **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $V(D) = \frac{p \cos \beta}{4\pi\epsilon r}$
- B. $V(D) = \frac{p \cos \beta}{4\pi\epsilon r^2}$
- C. $V(D) = \frac{ph}{4\pi\epsilon r^2}$
- D. $V(D) = \frac{ph}{4\pi\epsilon(h^2 + D^2)^{3/2}}$
- E. $V(D) = \frac{pD}{4\pi\epsilon(h^2 + D^2)}$

Question 15 Montrer que pour une distance $D \gg h$, le potentiel $V(D)$ varie selon D^α avec un exposant α qu'on précisera. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $V(D) \propto D$
- B. $V(D) \propto D^{-1}$
- C. $V(D) \propto D^{-3/2}$
- D. $V(D) \propto D^{-2}$
- E. $V(D) \propto D^{-3}$

Question 16 En déduire la relation entre les différences relatives de potentiel dV/V et de distance dD/D . On compare les différences de potentiel entre les pattes d'un oiseau posé au sol (ΔV_o), d'un chien (ΔV_c) et d'une vache (ΔV_v), tous situés à la distance D de l'orage. On donne les distances maximales entre les pattes de chacun : $L_o = 2$ cm pour l'oiseau, $L_c = 60$ cm pour le chien, $L_v = 1,6$ m pour la vache. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte (s) :**

- A. L'animal le plus exposé à un danger électrique est le chien
- B. L'animal le moins exposé à un danger électrique est l'oiseau
- C. $\Delta V_c / \Delta V_o = 27\,000$
- D. $\Delta V_v / \Delta V_o = 6\,400$
- E. $\Delta V_v / \Delta V_c = 2,7$

Valeurs et approximations numériques

Développements limités pouvant éventuellement être utiles si $x \ll 1$:

$$(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$$

$$e^x \approx 1 + x$$

$$\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2}$$

Valeurs approchées de logarithmes décimaux, $\log_{10} N$, de logarithmes népériens, $\ln N$, d'exponentielles, e^N , pouvant éventuellement être utiles :

N	$\log_{10} N$	$\ln N$	e^N
0	$-\infty$	$-\infty$	1
1	0	0	2,7
2	0,30	0,69	7,4
3	0,48	1,10	20,1
4	0,60	1,39	54,6
5	0,70	1,61	148
6	0,78	1,79	403
7	0,85	1,95	1 097
8	0,90	2,08	2 981
9	0,95	2,20	8 103
10	1	2,30	$2,203 \times 10^4$
11	1,04	2,40	$5,987 \times 10^4$
12	1,08	2,49	$1,628 \times 10^5$
13	1,11	2,57	$4,424 \times 10^5$
14	1,15	2,64	$1,203 \times 10^6$
15	1,18	2,71	$3,269 \times 10^6$
16	1,20	2,77	$8,886 \times 10^6$
17	1,23	2,83	$2,415 \times 10^7$
18	1,26	2,89	$6,566 \times 10^7$
19	1,28	2,94	$1,785 \times 10^8$
20	1,30	3,00	$4,852 \times 10^8$