التمرين الأول : (4,0 ن)

■ ①

ليكن m و n عنصرين من $\mathbb{R}^*$

ليكن : $\left(m+\frac{1}{m}\ ;\ m-\frac{1}{m}\right)$ و $\left(n+\frac{1}{n}\ ;\ n-\frac{1}{n}\right)$ عنصرين من E

لدينا :

$$\left(m+\frac{1}{m}\ ;\ m-\frac{1}{m}\right)*\left(n+\frac{1}{n}\ ;\ n-\frac{1}{n}\right)$$
$$=\left(mn+\frac{1}{mn}\ ;\ mn-\frac{1}{mn}\right)$$

بما أن : $n\neq 0$ و $m\neq 0$ فإن : $mn\neq 0$

و منه : $\left(mn+\frac{1}{mn}\ ;\ mn-\frac{1}{mn}\right)\epsilon\, E$

و بالتالي : $*$ قانون تركيب داخلي في E .

■ ② أ

ليكن $\varphi(m)$ و $\varphi(n)$ عنصرين من E

لدينا حسب السؤال ① : $\varphi(m)*\varphi(n)=\varphi(mn)$

إذن φ تشاكل من $(\mathbb{R}^*,\times)$ نحو $(E,*)$

ليكن A عنصرا من E . إذن حسب تعريف المجموعة E :

$$(\exists!\, m\epsilon\mathbb{R}^*)\ ;\ \varphi(m)=A$$

و منه : φ تقابل من $(\mathbb{R}^*,\times)$ نحو $(E,*)$

و بالتالي φ تشاكل تقابلي من $(\mathbb{R}^*,\times)$ نحو $(E,*)$

■ ② ب

نعلم أن التشاكل التقابلي يحافظ على بنية الزمرة .

لدينا $(\mathbb{R}^*,\times)$ زمرة تبادلية عنصرها المحايد هو العدد 1 و كل عنصر a يقبل مماثلا $\frac{1}{a}$ بالقانون $\times$.

و بما أن φ تشاكل تقابلي فإن :

$(E,*)$ زمرة تبادلية عنصرها المحايد هو $\varphi(1)$ و كل عنصر $\varphi(m)$ يقبل مماثلا $\varphi\left(\frac{1}{m}\right)$ بالقانون $*$.

و لدينا : $\varphi(1)=(2,0)$

و $\varphi\left(\frac{1}{m}\right)=\left(m+\frac{1}{m}\ ;\ -m+\frac{1}{m}\right)$

■ ③ أ

ليكن (x,y) عنصرا من F

إذن : $\begin{cases} x\geq 2 \\ y^2=x^2-4\end{cases}$

نطرح السؤال : هل يوجد عدد حقيقي موجب m بحيث : $m+\frac{1}{m}=x$

و للإجابة على هذا السؤال نبين أن المعادلة

$m+\frac{1}{m}=x$ تقبل على الأقل حلا موجبا m

لدينا : $m+\frac{1}{m}=x$

$$\Leftrightarrow\quad m^2-mx+1=0$$

لدينا : $\Delta=x^2-4=(x-2)(x+2)$

بما أن : $x\geq 2$ فإن : $\Delta>0$

و منه المعادلة تقبل حلين مختلفين m_1 و m_2

$$m_1=\frac{1+\sqrt{\Delta}}{2}\quad \text{و}\quad m_2=\frac{1-\sqrt{\Delta}}{2}$$

الحل m_1 عدد حقيقي موجب قطعا إذن فإشارة الحل الثاني m_2 لا تهمنا علما أنه تم إيجاد حل موجب للمعادلة

نستنتج إذن أن :

$$(\forall x\geq 0),(\exists m>0)\ ;\ x=m+\frac{1}{m}$$

و لدينا : $y^2=x^2-4$

إذن : $y=\pm\sqrt{x^2-4}$

$$=\pm\sqrt{m^2+\frac{1}{m^2}+2-4}=\pm\sqrt{\left(m-\frac{1}{m}\right)^2}=\pm\left(m-\frac{1}{m}\right)$$

نختار : $y=\left(m-\frac{1}{m}\right)$

إذن : $(x,y)=\left(m+\frac{1}{m},m-\frac{1}{m}\right)\epsilon\,\mathbb{R}^2\ \ /\ \ m>0$

عكسيا : ننطلق من : $\left(m+\frac{1}{m},m-\frac{1}{m}\right)\epsilon\,\mathbb{R}^2\ \ /\ \ m>0$

لنبرهن أن المتراجحة $m+\frac{1}{m}\geq 2$

تقبل حلولا من أجل $m>0$.

المتراجحة تكافئ : $\frac{m^2+1}{m}\geq 2$

نضرب طرفي المتراجحة في العدد الموجب m نحصل على :

$$m^2+1 \geq 2m$$

يعني : $m^2-2m+1 \geq 0$ أي : $(m-1)^2 \geq 0$

و هذه العبارة صحيحة كيفما كان العدد الحقيقي m .

و بالأخص من أجل $m>0$

خلاصة :

$$F=\{(x,y)\in\mathbb{R}^2 \ / \ x\geq 2 \text{ و } y^2=x^2-4\}$$
$$=\left\{\left(m+\frac{1}{m},m-\frac{1}{m}\right)\in\mathbb{R}^2 \ / \ m>0\right\}$$

■ ③ ب

من بين عناصر المجموعة F نجد الزوج $(2,0)$. إذن : $F\neq\emptyset$

و من الصيغة الثانية للمجموعة F نستنتج أن : $F\subset E$

لأن : $m>0 \implies m\in\mathbb{R}^*$

و بالتالي : $\boxed{F \text{ جزء غير فارغ من } E}$ (1)

ليكن X_m و X_n عنصرين من F بحيث :

$$\begin{cases} X_m=\left(m+\frac{1}{m};m-\frac{1}{m}\right) \ ; \ m>0 \\ X_n=\left(n+\frac{1}{n};n-\frac{1}{n}\right) \ ; \ n>0 \end{cases}$$

لدينا :

$$X_m*(X_n)'=\left(m+\frac{1}{m};m-\frac{1}{m}\right)*\left(n+\frac{1}{n};-n+\frac{1}{n}\right)$$
$$=\left(\frac{m}{n}+\frac{1}{\frac{m}{n}};\frac{m}{n}-\frac{1}{\frac{m}{n}}\right)=X_{\left(\frac{m}{n}\right)}$$

بما أن : $m>0$ و $n>0$ فإن : $\frac{m}{n}>0$ و منه $X_{\left(\frac{m}{n}\right)}\in F$

أي : $\boxed{(X_m)*(X_n)'\in F}$ (2)

من (1) و (2) نستنتج أن : $(F,*)$ زمرة جزئية من $(E,*)$.

التمرين الثاني : (3,0 ن)

■ (I) ①

لدينا p و 3 عددان أوليان .

إذن $3\wedge p=1$ و منه 3 لا تقسم p

و بالتالي حسب مبرهنة $(Fermat)$: $p^{3-1}\equiv 1[3]$

■ (I) ② أ

نعلم أن العدد الأولي الزوجي الوحيد هو 2

و بما أن p عدد أولي و أكبر من 5 فإنه بالضرورة p سيكون عددا فرديا.

إذن : $(\exists q\in\mathbb{N})$; $p=2q+1$

يعني : $(\exists q\in\mathbb{N})$; $p^2=(2q+1)^2$

يعني : $(\exists q\in\mathbb{N})$; $p^2=4q^2+4q+1$

يعني : $(\exists q\in\mathbb{N})$; $p^2-1=4q(q+1)$

■ (I) ② ب

لدينا : $(\exists q\in\mathbb{N})$; $p^2-1=4q(q+1)$

و لدينا q و $(q+1)$ عددان صحيحان طبيعيان متتابعان .

إذن أحدهما فردي و الآخر زوجي .

و منه الجداء $q(q+1)$ عدد زوجي دائما .

يعني : $(\exists m\in\mathbb{N})$; $q(q+1)=2m$

إذن : $(\exists m\in\mathbb{N})$; $p^2-1=4(2m)$

أي : $(\exists m\in\mathbb{N})$; $p^2-1=8m$

و منه : $8 \ / \ (p^2-1)$ أي : $\boxed{p^2\equiv 1[8]}$

■ (I) ③

في البداية وجب التذكير بالخاصية التالية :

إذا كان : p_1 و p_2 و ... و p_k أعداد أولية و كانت n_1 و n_2 و ... و n_k أعدادا صحيحة طبيعية بحيث : $(\forall i)$; $(p_i)^{n_i} \ / \ a$

فإن : $\boxed{\left(\prod_{i=1}^{k} {p_i}^{n_i}\right) / \ a}$

لدينا : $24=2^3\times 3^1$

و لدينا كذلك حسب نتائج الأسئلة السابقة : $8/(p^2-1)$ و $3/(p^2-1)$

يعني : $2^3/(p^2-1)$ و $3^1/(p^2-1)$

و نعلم أن 3 و 2 عددان أوليان

إذن حسب الخاصية أعلاه : $2^3\times 3^1/(p^2-1)$

يعني : $24/(p^2-1)$

و بالتالي : $p^2\equiv 1[24]$

و أشير إلى أنه يوجد شكل آخر للخاصية المذكورة و هو كالتالي :

$$\begin{cases} m/a \\ n/a \\ m\wedge n=1\end{cases} \Longrightarrow \quad mn/a$$

■ (II) ①

لدينا a عدد صحيح طبيعي بحيث : $a\wedge 24=1$

نفصل بين حالتين :

<u>الحالة الأولى : إذا كان a عددا أوليا.</u>

لدينا : $2\wedge 24\neq 1$ و $3\wedge 24\neq 1$ و $5\wedge 24\neq 1$

إذن : a عدد أولي أكبر من 5

و منه حسب نتائج الفقرة (I): $a^2\equiv 1[24]$

<u>الحالة الثانية : إذا كان a غير أولي</u>

ليكن $(p_1^{n_1}p_2^{n_2}\cdots p_k^{n_k})$ تفكيك العدد a إلى جداء عوامل أولية

بما أن $a\wedge 24=1$ أي : $a\wedge(2^3 3^1)=1$

فإن : جميع الأعداد الأولية p_1 و p_2 و ... و p_k تخالف 2 و تخالف 3

و منه : $(\forall i\in[\![1,k]\!])\ ;\ p_i\geq 5$

إذن يمكننا استعمال نتائج الفقرة الأولى من التمرين.

لدينا : $p_1^2\equiv 1[24]$ إذن : $(p_1^2)^{n_1}\equiv 1[24]$

و لدينا : $p_2^2\equiv 1[24]$ إذن : $(p_2^2)^{n_2}\equiv 1[24]$

و لدينا : $p_3^2\equiv 1[24]$ إذن : $(p_3^2)^{n_3}\equiv 1[24]$

$\vdots \qquad\qquad \vdots$

و لدينا : $p_k^2\equiv 1[24]$ إذن : $(p_k^2)^{n_k}\equiv 1[24]$

عند المرور إلى الجداء نحصل على : $p_1^{2n_1}p_2^{2n_2}p_3^{2n_3}\cdots p_k^{2n_k}\equiv 1[24]$

و منه : $\left(p_1^{n_1}p_2^{n_2}p_3^{n_3}\cdots p_k^{n_k}\right)^2\equiv 1[24]$

و بالتالي : $\boxed{a^2\equiv 1[24]}$

■ (II) ②

سوف نستعمل البرهان بالخلف.

نفترض وجود الأعداد a_1 و a_2 و.... و a_{23}

بحيث : $a_k\wedge 24=1$; $(\forall k\in[\![1,23]\!])$ و $a_1^2+\cdots+a_{23}^2=23997$

لدينا كل عدد a_k أولي مع 24

إذن حسب السؤال (II) ① $\begin{cases} a_1^2\equiv 1[24] \\ a_2^2\equiv 1[24] \\ \vdots \\ a_{23}^2\equiv 1[24]\end{cases}$

عند المرور إلى الجمع بين هذه المتفاوتات نحصل على :

$$a_1^2+a_2^2+a_3^2+\cdots+a_{23}^2\equiv 23[24]$$

$$\Leftrightarrow \quad \boxed{23997\equiv 23[24]}\ (1)$$

نستعين بالآلة الحاسبة لنحصل على : $\boxed{23997\equiv 21[24]}$ (2)

من (1) و (2) نستنتج أن : $23\equiv 21[24]$

يعني : $2\,/\,24$ و هذا مستحيل بطبيعة الحال

و بالتالي : لا وجود لأعداد a_1 و a_2 و ⋯ و a_{23} أولية مع 24

و تحقق : $a_1^2+a_2^2+\cdots+a_{23}^2=23997$

<u>التمرين الثالث : (8,5 ن)</u>

■ (I) ① أ

لدينا :

$$\lim_{x\to 0^+} f(x)=\lim_{x\to 0^+}(x+2)e^{\frac{-2}{x}}=2\times e^{-\infty}=0=f(0)$$

إذن f متصلة على اليمين في الصفر .

■ (I) ① ب

لدينا : $\displaystyle\lim_{x\to 0^+}\frac{f(x)-f(0)}{x-0}=\lim_{x\to 0^+}\frac{(x+2)e^{\frac{-2}{x}}}{x}$

$$\Leftrightarrow \quad \lim_{x\to 0^+}\frac{f(x)-f(0)}{x-0}=\lim_{x\to 0^+}\left(1+\frac{2}{x}\right)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$=\lim_{x\to 0^+}e^{\frac{-2}{x}}-\lim_{x\to 0^+}\left(\frac{-2}{x}\right)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$=0-\lim_{\substack{u\to-\infty \\ u=\frac{-2}{x}}}ue^{u}$$

$$=0-0=\ 0=f_d^{'}(0)$$

■ (I) ① ج

ليكن x عنصرا من $[0,+\infty[$

لدينا : $f(x) = (x+2)e^{\frac{-2}{x}}$

إذن : $f'(x) = e^{\frac{-2}{x}} + \left(\frac{-2}{x}\right)'(x+2)e^{\frac{-2}{x}}$

$$\Leftrightarrow \quad f'(x) = e^{\frac{-2}{x}} + \frac{2}{x^2}(x+2)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$\Leftrightarrow \quad f'(x) = \left(\frac{2x+4+x^2}{x^2}\right)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$\Leftrightarrow \quad f'(x) = \left(\frac{x^2+2x+1+3}{x^2}\right)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$\Leftrightarrow \quad f'(x) = \left(\frac{(x+1)^2+3}{x^2}\right)e^{\frac{-2}{x}} > 0$$

إذن f دالة تزايدية قطعا على المجال $[0,+\infty[$.

■ (I) ② أ

$$\Leftrightarrow \quad \lim_{x\to+\infty} f(x) = \lim_{x\to+\infty} \underbrace{(x+2)}_{+\infty}\, \underbrace{e^{\frac{-2}{x}}}_{1} = +\infty$$

■ (I) ② ب

ليكن t عددا حقيقيا موجبا

نضع : $\begin{cases} \varphi(t) = 1-t \\ \psi(t) = 1-t+\dfrac{t^2}{2} \\ h(t) = e^{-t} \end{cases}$

إذن : $\begin{cases} \varphi'(t) = -1 \\ \psi'(t) = t-1 \\ h'(t) = -e^{-t} \end{cases}$

لدينا : $t \geq 0$ إذن : $-t \leq 0$

و منه : $-e^{-t} \leq -1$ يعني : $h'(t) \leq \varphi'(t)$

و بما أن : $h(0) = \varphi(0) = 1$

فإن : $\forall\, t \in [0,+\infty[\;\; ; \;\; h(t) \leq \varphi(t)$

يعني : $\boxed{\forall\, t \in [0,+\infty[\;\; ; \;\; e^{-t} \leq 1-t}$ (1)

من النتيجة (1) نستنتج أن : $-e^{-t} \geq t-1$

إذن : $h'(t) \geq \psi'(t)$

و بما أن : $h(0) = \psi(0) = 1$

فإن : $h(t) \geq \psi(t)$

يعني : $\boxed{\forall\, t \in [0,+\infty[\;\; ; \;\; e^{-t} \geq 1-t+\frac{t^2}{2}}$ (2)

من (1) و (2) نستنتج أن :

$$\forall\, t \in [0,+\infty[\;\; ; \;\; 1-t \leq e^{-t} \leq 1-t+\frac{t^2}{2}$$

و بالتالي : $\boxed{\forall\, t \in [0,+\infty[\;\; ; \;\; 0 \leq e^{-t}+t-1 \leq \frac{t^2}{2}}$

■ (I) ② ج

ليكن $x > 0$ إذن $\frac{2}{x} > 0$

و منه حسب السؤال ② ب $0 \leq e^{\frac{-2}{x}} + \frac{2}{x} - 1 \leq \frac{1}{2}\left(\frac{2}{x}\right)^2$

و منه : $\left(1-\frac{2}{x}\right) \leq e^{\frac{-2}{x}} \leq \left(1-\frac{2}{x}+\frac{2}{x^2}\right)$

نضرب طرفي هذا التأطير في العدد الموجب $(x+2)$ نحصل على :

$$(x+2)\left(1-\frac{2}{x}\right) \leq (x+2)e^{\frac{-2}{x}} \leq (x+2)\left(1-\frac{2}{x}+\frac{2}{x^2}\right)$$

بعد النشر و التبسيط نحصل على : $\left(x-\frac{4}{x}\right) \leq f(x) \leq \left(x-\frac{2}{x}+\frac{4}{x^2}\right)$

إذن : $(\forall x > 0) \;\; ; \;\; \frac{-4}{x} \leq f(x)-x \leq \frac{-2}{x}+\frac{4}{x^2}$

■ (I) ② د

لدينا : $(\forall x > 0) \;\; ; \;\; \frac{-4}{x} \leq f(x)-x \leq \frac{-2}{x}+\frac{4}{x^2}$

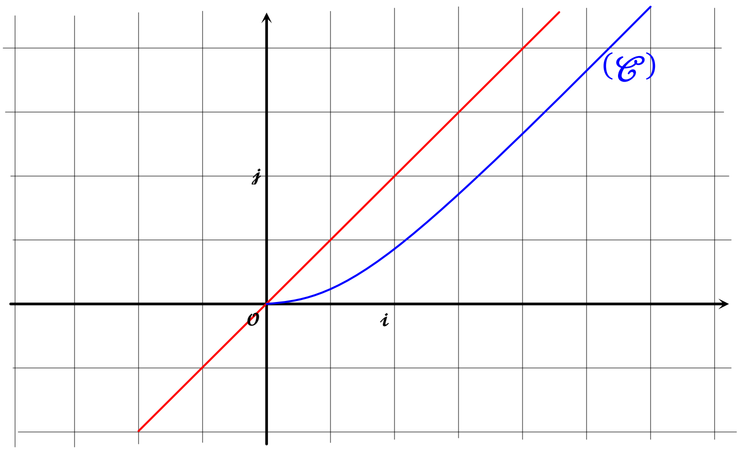
بما أن : $\lim_{x\to+\infty}\left(\frac{-4}{x}\right) = \lim_{x\to+\infty}\left(\frac{4}{x^2}-\frac{2}{x}\right) = 0$

فإن : $\boxed{\lim_{x\to+\infty} f(x)-x = 0}$ (1)

و لدينا حسب السؤال ② أ $\boxed{\lim_{x\to+\infty} f(x) = +\infty}$ (2)

من (1) و (2) نستنتج أن : $(\mathscr{C})$ يقبل مقاربا مائلا بجوار $+\infty$ معادلته $y = x$

■ (I) ③



■ (II) ① هـ

$$\lim_{x\to0^+}\frac{f_n(x)-f_n(0)}{x-0}=\lim_{x\to0^+}\frac{\left(x+\frac{2}{n}\right)e^{\frac{-2}{x}}}{x}$$

$$=\lim_{x\to0^+}\left(1+\frac{2}{nx}\right)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$=\lim_{x\to0^+}e^{\frac{-2}{x}}+\lim_{x\to0^+}\frac{1}{n}\frac{1}{\left(\frac{e^{\frac{2}{x}}}{\frac{2}{x}}\right)}$$

$$=0+\left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{+\infty}\right)=0$$

إذن f_n قابلة للاشتقاق على اليمين في الصفر.و لدينا : $(f_n)'_d(0)=0$

■ (II) ②

ليكن x عنصرا من $]0,+\infty[$.

لدينا : $f_n(x)=\left(x+\frac{2}{n}\right)e^{\frac{-2}{x}}$

و منه : $f_n'(x)=\left(e^{\frac{-2}{x}}\right)+\left(\frac{-2}{x}\right)'\left(x+\frac{2}{n}\right)e^{\frac{-2}{x}}$

$$=\left(e^{\frac{-2}{x}}\right)+\frac{2}{x^2}\left(x+\frac{2}{n}\right)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$=\left(1+\frac{2}{x^2}\left(x+\frac{2}{n}\right)\right)e^{\frac{-2}{x}}>0$$

إذن f_n دالة تزايدية قطعا على $]0,+\infty[$.

■ (II) ③ أ

لدينا f_n دالة متصلة و تزايدية قطعا على $]0,+\infty[$.

إذن f_n تقابل من المجال $]0,+\infty[$ نحو المجال $f_n(]0,+\infty[)$

و لدينا : $f_n(]0;+\infty[)=\left]\lim_{x\to0^+}f_n(x);\lim_{x\to+\infty}f_n(x)\right[=]0;+\infty[$

نضع : $\varphi_n(x)=f_n(x)-\frac{2}{n}$

لدينا : φ دالة متصلة و تزايدية قطعا على $]0,+\infty[$

لأن $\varphi_n'(x)=f_n'(x)>0$

إذن φ_n تقابل من المجال $]0,+\infty[$ نحو المجال

$$\left]\varphi_n(0);\lim_{x\to+\infty}\varphi_n(x)\right[=]0;+\infty[$$

و من هذا التقابل نستنتج وجود عدد وحيد a_n من المجال $]0,+\infty[$

بحيث : $\varphi_n(a_n)=0$

يعني : $f_n(a_n)=\frac{2}{n}$

■ (II) ③ ب

$$\left(f_{n+1}(x)-\frac{2}{n+1}\right)-\left(f_n(x)-\frac{2}{n}\right)$$

$$=\frac{2}{n(n+1)}+e^{\frac{-2}{x}}\left(\frac{-2}{n(n+1)}\right)$$

$$=\frac{-2}{n(n+1)}\left(e^{\frac{-2}{x}}-1\right)$$

و لدينا $x>0$ إذن $\frac{-2}{x}<0$

و منه : $e^{\frac{-2}{x}}<1$ يعني : $e^{\frac{-2}{x}}-1<0$

و بالتالي : $\frac{-2}{n(n+1)}\left(e^{\frac{-2}{x}}-1\right)>0$

و منه :

$$(\forall x>0),(\forall n\in\mathbb{N}^*)\ ;\ f_{n+1}(x)-\frac{2}{n+1}>f_n(x)-\frac{2}{n}$$

■ (II) ③ ج

لدينا : $f_{n+1}(x)-\frac{2}{n+1}>f_n(x)-\frac{2}{n}$

$$\Leftrightarrow\ \lim_{x\to+\infty}\left(f_{n+1}(x)-\frac{2}{n+1}\right)>\lim_{x\to+\infty}\left(f_n(x)-\frac{2}{n}\right)$$

$$\Leftrightarrow\ 0-f_n(a_{n+1})>0-f_n(a_n)$$

$$\Leftrightarrow\ f_n(a_{n+1})<f_n(a_n)$$

و بما أن f دالة تزايدية قطعا فإن : $a_{n+1}<a_n$

و منه المتتالية $(a_n)_n$ تناقصية . و بما أنها مصغورة بالعدد 0 فإنها متقاربة.

■ (II) ③ د

لدينا : $f_n(a_n)=\frac{2}{n}$

يعني : $\left(a_n+\frac{2}{n}\right)e^{\frac{-2}{a_n}}=\frac{2}{n}$

يعني : $\frac{\left(a_n+\frac{2}{n}\right)}{e^{\frac{2}{a_n}}}=\frac{2}{n}$

و منه : $2e^{\frac{2}{a_n}}=n\left(a_n+\frac{2}{n}\right)$

أي : $2e^{\frac{2}{a_n}}=na_n+2$

و منه : $\boxed{2e^{\frac{2}{a_n}}-2=na_n}$

■ (II) ③

نفترض أن : $a \neq 0$

لدينا : $2e^{\frac{2}{a_n}} - 2 = na_n$

و لدينا : $\lim\limits_{n\infty} na_n = (+\infty) \times a = +\infty$

و $\lim\limits_{n\infty}\left(2e^{\frac{2}{a_n}} - 2\right) = 2e^{\frac{2}{a}} - 2$

إذن : $2e^{\frac{2}{a}} - 2 = +\infty$

و هذا تناقض إذن : $a = 0$

■ (III) ① أ

ليكن x عددا حقيقيا موجبا بحيث : $x < 2x$

و ليكن t عددا حقيقيا بحيث : $x \leq t \leq 2x$

بما أن f تزايدية قطعا على $[0, +\infty[$

فإن : $f(x) \leq f(t) \leq f(2x)$

و بما أن f متصلة على المجال $[0, +\infty[$.

فإن : $\int_x^{2x} f(x)\,dt \leq \int_x^{2x} f(t)\,dt \leq \int_x^{2x} f(2x)\,dt$

يعني : $f(x)[t]_x^{2x} \leq F(x) \leq f(2x)[t]_x^{2x}$

أي : $\boxed{xf(x) \leq F(x) \leq xf(2x)}$

■ (III) ① ب

لدينا : $F(x) \geq xf(x)$

و نعلم أن : $\lim\limits_{x\to+\infty} f(x) = +\infty$

إذن : $\lim\limits_{x\to+\infty} xf(x) = +\infty$

و منه : $\lim\limits_{x\to+\infty} F(x) = +\infty$

■ (III) ② أ

ليكن x عنصرا من $[0, +\infty[$

لدينا f دالة متصلة على $[0, +\infty[$

إذن f تقبل دالة أصلية ψ بحيث : $\psi'(x) = f(x)$

لدينا :

$$F(x) = \int_x^{2x} f(t)\,dt = \int_x^{0} f(t)\,dt + \int_0^{2x} f(t)\,dt$$

$$= -\psi(x) + \psi(2x)$$

بما أن : $x \to 2x$ و $x \to \psi(x)$ قابلتين للإشتقاق على المجال $]0, +\infty[$

فإن F قابلة للإشتقاق على المجال $]0, +\infty[$.

و لدينا كذلك : $xf(x) \leq F(x) \leq xf(2x)$

يعني : $f(x) \leq \dfrac{F(x)}{x} \leq f(2x)$

يعني : $f(x) \leq \dfrac{F(x) - F(0)}{x - 0} \leq f(2x)$

لدينا : $\lim\limits_{x\to+\infty} f(x) = \lim\limits_{x\to+\infty} f(2x) = 0$

و منه : $\lim\limits_{x\to+\infty}\left(\dfrac{F(x) - F(0)}{x - 0}\right) = 0$

و بالتالي : f قابلة للإشتقاق على اليمين في الصفر و $F'_d(0) = 0$

■ (III) ② ب

لدينا حسب السؤال أ

$$F(x) = \psi(2x) - \psi(x)$$

إذن : $F'(x) = 2\psi'(2x) - \psi'(x)$

$$\Leftrightarrow \quad F'(x) = 2f(2x) - f(x)$$

$$\Leftrightarrow \quad F'(x) = 2(2x+2)e^{\frac{-1}{x}} - (x+2)e^{\frac{-2}{x}}$$

$$\Leftrightarrow \quad F'(x) = e^{\frac{-2}{x}}\left(2(2x+2)e^{\frac{1}{x}} - (x+2)\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad F'(x) = e^{\frac{-2}{x}}\left((4x+4)e^{\frac{1}{x}} - (x+2)\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad F'(x) = e^{\frac{-2}{x}}\left((x+2+3x+2)e^{\frac{1}{x}} - (x+2)\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad F'(x) = e^{\frac{-2}{x}}\left((x+2)e^{\frac{1}{x}} + (3x+2)e^{\frac{1}{x}} - (x+2)\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad F'(x) = e^{\frac{-2}{x}}\left((x+2)\left(e^{\frac{1}{x}} - 1\right) + (3x+2)e^{\frac{1}{x}}\right)$$

و لدينا كذلك حسب السؤال ② أ $F'_d(0) = 0$

■ (III) ③

بما أن : $x > 0$: فإن $e^{\frac{1}{x}} - 1 > 0$

و $(3x+2) > 0$ و $(x+2) > 0$

و منه : $F'(x) > 0$

و بالتالي : F دالة تزايدية قطعا على $]0,+\infty[$.

و لدينا : $xf(x) \leq F(x) \leq xf(2x)$

و $\lim\limits_{x\to 0^+} xf(x) = \lim\limits_{x\to 0^+} xf(2x) = 0$

إذن : $\lim\limits_{x\to 0^+} F(x) = 0$

x	0 $\qquad\qquad\qquad\qquad$ $+\infty$
$F'(x)$	$+$
F	0 $\nearrow$ $+\infty$

التمرين الرابع : (4,5 ن)

■ ① أ

ننطلق من الكتابة : $f(iy) = iy$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{i(iy)-1}{(iy+1)^2} = iy$$

$$\Leftrightarrow \quad iy(iy+1)^2 = -y-1$$

$$\Leftrightarrow \quad iy(-y^2+2iy+1) = -y-1$$

$$\Leftrightarrow \quad -iy^3 + iy - 2y^2 = -y-1$$

$$\Leftrightarrow \quad i(-y^3+y) + (1-y) = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} (-y^3+y) = 0 \\ (1-y) = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} y(1-y)(1+y) = 0 \\ (1-y) = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} y = 0 \text{ أو } y = 1 \text{ أو } y = -1 \\ y = 1 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \quad \boxed{y = 1}$$

و بالتالي : $\boxed{f(i) = i}$

■ ① ب

ننطلق من الكتابة : $f(z) = z$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{iz-1}{z^2+2z+1} = z$$

$$\Leftrightarrow \quad z^3 + 2z^2 + z = iz - 1$$

$$\Leftrightarrow \quad z^3 + 2z^2 + (1-i)z + 1 = 0$$

هذه المعادلة تقبل حلا خاصا و هو العدد 1 و ذلك حسب السؤال أ

ننجز القسمة الأقليدية للحدودية $z^3 + 2z^2 + (1-i)z + 1$
على الحدودية $(z-i)$ نحصل على :

$$(z-i)(z^2 + (2+i)z + i) = 0$$

بتعميل ثلاثية الحدود $z^2 + (2-i)z + i$ نحصل على :

لدينا : $\Delta = (2-i)^2 - 4i = 3$

إذن ثلاثية الحدود تقبل جذرين z_1 و z_2 :

$$z_1 = -1 + \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i \quad \text{و} \quad z_2 = -1 - \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i$$

و بالتالي : المعادلة $f(z) = z$ تقبل ثلاثة حلول و هي : $z_0 = i$ و z_1 و z_2 .

■ ② أ

لدينا :

$$z_1 + 1 = \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i = \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) - i\sin\left(\frac{\pi}{6}\right)$$

$$= \cos\left(\frac{-\pi}{6}\right) + i\sin\left(\frac{-\pi}{6}\right)$$

$$= e^{\frac{-i\pi}{6}}$$

و بما أن : $\frac{11\pi}{6} \equiv \frac{-\pi}{6}\,[2\pi]$

فإن : $(1) \quad \boxed{z_1 + 1 = e^{\frac{-\pi i}{6}} = e^{\frac{11\pi}{6}}}$

و لدينا كذلك :

$$z_2 + 1 = \frac{-\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i = -\cos\left(\frac{\pi}{6}\right) - i\sin\left(\frac{\pi}{6}\right)$$

$$= \cos\left(\pi - \frac{\pi}{6}\right) - i\sin\left(\pi - \frac{\pi}{6}\right)$$

$$= \cos\left(\frac{5\pi}{6}\right) - i\sin\left(\frac{5\pi}{6}\right)$$

$$= \cos\left(\frac{-5\pi}{6}\right) + i\sin\left(\frac{-5\pi}{6}\right) = e^{\frac{-5i\pi}{6}}$$

و بما أن : $\dfrac{7\pi}{6} \equiv \dfrac{-5\pi}{6}[2\pi]$

فإن : $\boxed{z_2 + 1 = e^{\frac{-5i\pi}{6}} = e^{\frac{7i\pi}{6}}}$ (2)

■ 2 ب

ليكن $z_1 = re^{i\theta}$. لدينا حسب النتيجة (1) : $z_1 + 1 = e^{\frac{11\pi}{6}}$

$$\Leftrightarrow \quad z_1 + 1 = e^{\frac{11i\pi}{6}}$$

$$\Leftrightarrow \quad re^{i\theta} = e^{\frac{11i\pi}{6}} - 1$$

$$\Leftrightarrow \quad (S_1): \begin{cases} r\cos\theta = \cos\left(\frac{11\pi}{6}\right) - 1 \\ r\sin\theta = sin\left(\frac{11\pi}{6}\right) \end{cases}$$

لنحسب أولا r .

$$(r\cos\theta)^2 + (r\sin\theta)^2 = \left(\cos\left(\frac{11\pi}{6}\right) - 1\right)^2 + \left(\sin\left(\frac{11\pi}{6}\right)\right)^2$$

$$\Leftrightarrow \quad r^2 = \cos^2\left(\frac{11\pi}{6}\right) + 1 - 2\,cos\left(\frac{11\pi}{6}\right) + \sin^2\left(\frac{11\pi}{6}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad r^2 = 2\left(1 - cos\left(\frac{11\pi}{6}\right)\right)$$

نستعين بالعلاقة المثلثية التالية : $\cos(2\theta) = 2\cos^2\theta - 1$

نحصل على :

$$\Leftrightarrow \quad r^2 = 2\left(1 - 2cos^2\left(\frac{11\pi}{12}\right) + 1\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad r^2 = 4\left(1 - cos^2\left(\frac{11\pi}{12}\right)\right)$$

ثم نستعين بعد ذلك بالعلاقة المثلثية التالية : $\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$

نحصل على : $r^2 = 4\sin^2\left(\frac{11\pi}{12}\right)$

و منه : $r = \pm 2\sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)$

نعلم أن معيار عدد عقدي يكون دائما عددا حقيقيا موجبا

إذن : $\boxed{r = 2\sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)}$

نعوض r بقيمته في المعادلة الثانية من النظمة (S_1) نحصل على :

$$2\sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)\sin\theta = \sin\left(\frac{11\pi}{6}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad 2\sin\theta = \frac{1}{2}\left(\frac{\sin\left(\frac{11\pi}{6}\right)}{\sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)}\right)$$

نستعين بالعلاقة المثلثية التالية : $\sin(2\varphi) = 2\cos(\varphi)\sin(\varphi)$

نحصل على :

$$\sin\theta = \left(\frac{\sin\left(\frac{11\pi}{6}\right)}{\sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{2\cos\left(\frac{11\pi}{12}\right)\sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)}{sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \sin\theta = \cos\left(\frac{11\pi}{12}\right) = \sin\left(\frac{11\pi}{12} + \frac{\pi}{2}\right) = \sin\left(\frac{17\pi}{12}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \sin\theta = \sin\left(\frac{17\pi}{12}\right)$$

$$\Rightarrow \quad \theta \equiv \frac{17\pi}{12}[2\pi]$$

و بالتالي : $\boxed{z_1 = 2\sin\left(\frac{11\pi}{12}\right)e^{\frac{17i\pi}{12}}}$

ليكن $z_2 = se^{i\varphi}$. لدينا حسب النتيجة (2) : $z_2 + 1 = e^{\frac{7i\pi}{6}}$

$$\Leftrightarrow \quad z_2 + 1 = e^{\frac{7i\pi}{6}}$$

$$\Leftrightarrow \quad z_2 = e^{\frac{7i\pi}{6}} - 1$$

$$\Leftrightarrow \quad se^{i\varphi} = e^{\frac{7i\pi}{6}} - 1$$

$$\Leftrightarrow \quad (S_2): \begin{cases} s\cos\varphi = \cos\left(\frac{7\pi}{6}\right) - 1 \\ s\sin\varphi = sin\left(\frac{7\pi}{6}\right) \end{cases}$$

بنفس الطريقة نحسب أولا s .

$$s^2 = 2\left(1 - cos\left(\frac{7\pi}{6}\right)\right) \underset{\text{بنفس الطريقة}}{\Leftrightarrow} s = \pm 2\sin\left(\frac{7\pi}{12}\right)$$

نعلم أن معيار عدد عقدي يكون دائما عددا حقيقيا موجبا

إذن : $\boxed{s = 2\sin\left(\frac{7\pi}{12}\right)}$

نعوض s بقيمته في المعادلة الثانية من النظمة (S_2) نحصل على :

$$2\sin\left(\frac{7\pi}{12}\right)\sin\varphi = \sin\left(\frac{7\pi}{6}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \sin\varphi = \frac{1}{2}\left(\frac{\sin\left(\frac{7\pi}{6}\right)}{\sin\left(\frac{7\pi}{12}\right)}\right) \underset{\text{الطريقة}}{\overset{\text{بنفس}}{=\!=\!=}} \sin\left(\frac{13\pi}{12}\right)$$

و منه : $\Rightarrow \quad \varphi \equiv \dfrac{13\pi}{12}[2\pi]$

و بالتالي : $\boxed{z_2 = 2\sin\left(\frac{7\pi}{12}\right)e^{\frac{13i\pi}{12}}}$

3 أ

لدينا : $z = e^{i\alpha}$ إذن : $|z| = 1$ و منه : $z\bar{z} = 1$

لدينا :

$$\overline{f(z)} = \overline{\left(\frac{iz-1}{(z+1)^2}\right)} = \frac{-i\bar{z}-1}{(\bar{z}+1)^2} = \frac{\bar{z}i(-1+iz)}{\bar{z}^2(1+z)^2}$$

$$= iz\left(\frac{-1+iz}{(1+z)^2}\right)$$

$$= izf(z)$$

3 ب

ننطلق من الكتابة : $f(z) + \overline{f(z)} = 0$

$$\Leftrightarrow \quad f(z) + izf(z) = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad (1+iz)f(z) = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} (1+iz) = 0 \\ f(z) = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} 1+iz = 0 \\ iz-1 = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} z = i \\ z = -i \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} e^{i\alpha} = e^{\frac{i\pi}{2}} \\ e^{i\alpha} = e^{\frac{-i\pi}{2}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \alpha \equiv \frac{\pi}{2}[\pi]$$

بما أن : $0 \leq \alpha \leq \pi$ إذن α تأخذ قيمة وحيدة و هي : $\frac{\pi}{2}$

و بالتالي : $\boxed{\alpha \equiv \frac{\pi}{2}}$

3 ج

لدينا : $z = e^{i\alpha}$

في هذا السؤال يجب استحضار جميع قواعد الحساب المثلثي.

لدينا : $f(z) = f\left(e^{i\alpha}\right) = \dfrac{ie^{i\alpha}-1}{(e^{i\alpha}+1)^2}$

و لدينا : $\left(e^{i\alpha}+1\right)^2 = (\cos\alpha + i\sin\alpha + 1)^2$

$$\Leftrightarrow \quad \left(e^{i\alpha}+1\right)^2 = (\cos\alpha + i\sin\alpha + 1)^2$$

$$= \left(2\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1 + 2i\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 1\right)^2$$

$$= \left(2\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 2i\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)^2$$

$$= \left(2\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + i\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right)^2$$

$$= 4\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\left(e^{\frac{i\alpha}{2}}\right)^2$$

$$= \boxed{4\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)e^{i\alpha}}$$

إذن : $f(z) = \dfrac{ie^{i\alpha}-1}{4\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)e^{i\alpha}} = \left(\dfrac{1}{2\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)\left(\dfrac{ie^{i\alpha}-1}{2e^{i\alpha}}\right)$

سنحاول الآن إيجاد الشكل المثلثي للتعبير : $\left(\dfrac{ie^{i\alpha}-1}{2e^{i\alpha}}\right)$

نضع : $\left(\dfrac{ie^{i\alpha}-1}{2e^{i\alpha}}\right) = r\cos(\varphi) + i\,r\sin(\varphi)$

$$\Leftrightarrow \quad e^{-i\alpha}\left(ie^{i\alpha}-1\right) = 2r\cos(\varphi) + 2i\,r\sin(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad i - e^{-i\alpha} = 2r\cos(\varphi) + 2i\,r\sin(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad i - \cos(-\alpha) - i\sin(-\alpha) = 2r\cos(\varphi) + 2i\,r\sin(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad i - \cos(\alpha) + i\sin(\alpha) = 2r\cos(\varphi) + 2i\,r\sin(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad -\cos(\alpha) + i\left(1+\sin(\alpha)\right) = 2r\cos(\varphi) + i\left(2r\sin(\varphi)\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \begin{cases} -\cos(\alpha) = 2r\cos(\varphi) \\ 1+\sin(\alpha) = 2r\sin(\varphi) \end{cases}$$

لدينا : $(2r\cos\varphi)^2 + (2r\sin\varphi)^2 = 4r^2$

$$\Leftrightarrow \quad (-\cos\varphi)^2 + \left(1+\sin(\alpha)\right)^2 = 4r^2$$

$$\Leftrightarrow \quad 2\left(1+\sin(\alpha)\right) = 4r^2$$

$$\Leftrightarrow \quad 2\left(1-\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{2}\right)\right) = 4r^2$$

$$\Leftrightarrow \quad 2\left(1-2cos^2\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)+1\right)=4r^2$$

$$\Leftrightarrow \quad 4\left(1-cos^2\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)\right)=4r^2$$

$$\Leftrightarrow \quad 4sin^2\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)=4r^2$$

$$\Leftrightarrow \quad r=\pm sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)$$

بما أن معيار عدد عقدي يكون دائما عدد موجبا

و بما أن : $0<\frac{\pi}{4}<\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}<\frac{3\pi}{4}<\pi$

لأن : $0\leq\alpha<\pi$

فإن : $\boxed{r=sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)}$ (1)

نعوض r بقيمته في المعادلة الأولى من النظمة نجد :

$$-cos(\alpha)=2sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)cos(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad cos(\pi-\alpha)=2sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)cos(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad sin\left(\pi-\alpha+\frac{\pi}{2}\right)=2sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)cos(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad sin\left(\frac{3\pi}{2}-\alpha\right)=2sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)cos(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad sin\left(2\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)\right)=2sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)cos(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \ 2sin\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)cos\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)=2sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)cos(\varphi)$$

$$\Leftrightarrow \quad cos(\varphi)=\frac{2sin\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)cos\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)}{2sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)}$$

و لدينا :
$$sin\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)=sin\left(\pi-\frac{3\pi}{4}+\frac{\alpha}{2}\right)=sin\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\alpha}{2}\right)$$

و منه :
$$cos(\varphi)=\frac{2\cancel{sin\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\alpha}{2}\right)}cos\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)}{2\cancel{sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)}}=cos\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)$$

إذن : $\boxed{\varphi\equiv\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)[2\pi]}$ (2)

من (1) و (2) نستنتج أن : $\left(\frac{ie^{i\alpha}-1}{2e^{i\alpha}}\right)=sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)e^{i\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)}$

و بالتالي :
$$\boxed{f(z)=\underbrace{\left(\frac{sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)}{2cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)}_{\text{المعيار } r}e^{i\underbrace{\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)}_{\text{العمدة } \varphi}}}$$

■ **4**

بما أن $|z|=1$ فإن z يكتب على الشكل $e^{i\alpha}$.

لدينا : $\Re e\big(f(z)\big)=\frac{1}{2}$

$$\Leftrightarrow \quad \Re e\left(\left(\frac{sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)}{2cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)e^{i\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)}\right)=\frac{1}{2}$$

$$\Leftrightarrow \quad \left(\frac{sin\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{\pi}{4}\right)}{2cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)\cos\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{1}{2}$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{\left(sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)cos\left(\frac{\pi}{4}\right)+cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\right)}{cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\times\frac{\left(cos\left(\frac{3\pi}{4}\right)cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)+sin\left(\frac{3\pi}{4}\right)sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)}{1}=1$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}\frac{\sqrt{2}}{2}\left(sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)+cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\left(sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)-cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)}{cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}=1$$

$$\frac{sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)-\cancel{sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}+\cancel{sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}-cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}=2$$

$$\Leftrightarrow \quad sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)-cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)=2cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad 1-2cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)=2cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad 1=4cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{1}{4}$$

$$\Leftrightarrow \quad cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{-1}{2} \quad \text{أو} \quad cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{1}{2}$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{\alpha}{2}\equiv\frac{2\pi}{3}[\pi] \quad \text{أو} \quad \frac{\alpha}{2}\equiv\frac{\pi}{3}[\pi]$$

$$\Leftrightarrow \quad \alpha\equiv\frac{4\pi}{3}[\pi] \quad \text{أو} \quad \alpha\equiv\frac{2\pi}{3}[\pi]$$

$$\Leftrightarrow \quad z_1=e^{\frac{4i\pi}{3}} \quad \text{أو} \quad z_2=e^{\frac{2i\pi}{3}}$$

$$\Leftrightarrow \quad z_1=\frac{-1}{2}-i\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{أو} \quad z_2=\frac{-1}{2}+i\frac{\sqrt{3}}{2}$$

■ و الحمد لله رب العالمين ■