

Dérivation des équations de continuité :

- masse,
- des substances chimiques,
- quantité de mouvement,
- énergie interne,
- charge électrique,
- entropie.

Thermodynamique

Bonjour et bienvenue aux cours de thermodynamique. Dans la présentation précédente, nous avons obtenu la forme générale de l'équation de continuité pour une observable extensive d'un milieu continu dans cette partie de cours. Nous utiliserons cette forme générale pour dériver les équations de continuité pour les variables d'état d'un milieu continu, ainsi que les équations de continuité pour d'autres observables extensives d'intérêt particulières. Plus précisément, nous présenterons la dérivation des équations de continuité pour la masse pour des substances chimiques. Pour la quantité de mouvement. Pour l'énergie interne. Pour la charge électrique et finalement pour l'entropie.

Notes

Summary



0m 05s

Equations de continuité thermodynamique

- Rappel :

$$\frac{d}{dt} \int_V f(\mathbf{x}, t) dV + \int_V \nabla \cdot \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) f(\mathbf{x}, t) dV = - \int_V \nabla \cdot (\mathbf{j}_f(\mathbf{x}, t)) dV + \int_V \pi_f(\mathbf{x}, t) dV. \quad (9)$$

- Nous considérons un mélange de r substances chimiques, en présence de n réactions chimiques.
- La vitesse angulaire de son centre de masse est supposée nulle : $\omega(t) = 0$.
- Le principe de *conservation de la masse* requiert qu'il n'y ait pas de densité de source ni de courant de masse.
- Alors, l'équation de continuité, appliquée à la densité de la masse, résulte en

Thermodynamique

Nous rappelons la forme générale de l'équation de continuité pour une observable extensive F majuscule. Dans cette équation, f minuscule représente la densité d'objets ab extensives f dans le présent de la dérivée matérielle de la densité, tandis que si f représente la densité de courant pour f et f représente la densité de choses pour. Nous considérons un mélange de substances chimiques en présence de réactions chimiques. Ceci est le milieu continu que nous proposons à l'éthique concernant cette milieu. La vitesse angulaire de son centre de masse est supposée nulle. Nous écrivons alors que oméga de tête est égal à zéro. Nous commençons avec l'équation de continuité pour la masse. Le principe de conservation de la masse requiert qu'il n'y ait pas de densité de source ni de courant de masse. Alors l'équation de continuité appliquée à la densité de la masse résulte directement en cette équation.

Notes

Summary



0m 48s

Equations de continuité thermodynamique

- Rappel :

$$\dot{f}(\mathbf{x}, t) + f(\mathbf{x}, t) \nabla \cdot \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) = -\nabla \cdot (\mathbf{j}_f(\mathbf{x}, t)) + \pi_f(\mathbf{x}, t). \quad (9)$$

- Nous considérons un mélange de r substances chimiques, en présence de n réactions chimiques.
- La vitesse angulaire de son centre de masse est supposée nulle : $\omega(t) = 0$.
- Le principe de *conservation de la masse* requiert qu'il n'y ait pas de densité de source ni de courant de masse.
- Alors, l'équation de continuité, appliquée à la densité de la masse, résulte en

$$\dot{m} + m \nabla \cdot \mathbf{v} = 0. \quad (10)$$

Thermodynamique

Dans cette équation, M représente la densité de la masse de mélange.

Notes

Summary



1m 48s

- Pour les substances chimiques, l'équation de continuité donne :

$$\dot{n}_A + n_A \nabla \cdot \mathbf{v} = -\nabla \cdot \mathbf{j}_A + \pi_A, \quad A = 1, \dots, r.$$

- densité de source de la substance A : $\pi_A = \sum_{a=1}^n \omega_a \nu_{aA}$
↑ Coefficients stoechiométriques
↓ taux de la réaction a : $\frac{d\xi_a}{dt}$
- densité de courant de la substance A : \mathbf{j}_A

$$\dot{n}_A + n_A \nabla \cdot \mathbf{v} = -\nabla \cdot \mathbf{j}_A + \sum_{a=1}^n \omega_a \nu_{aA}. \quad (11)$$

Thermodynamique

Nous continuons avec les équations de continuité pour les substances chimiques du mélange. Pour les substances chimiques, l'équation de continuité dont cette relation nous avons est relation des sept types de relation pour chaque substance chimique. Dans cette relation, n a représente la densité de la substance chimique A . De plus, π_H représente la densité des souches de la substance A . Elle est due à de l'action chimique. Elle est donnée par cette relation. Dans cette relation on méga a et le taux de la réaction chimique, elle est donnée comme la différentielle temporelle du versement de la réaction chimique. Si nous écrivons alors que oméga est égal à Dexia sur des terres, de plus c'est ce coefficient nous a sont le coefficient éthico métrique lié à la substance chimique à. Finalement, Guy A . Représente la densité de courant de la substance chimique à si. Nous utilisons l'expression pour la densité de soufre de la substance. Dans cette équation, nous arrivons à l'équation de continuité pour la substance chimique a . Nous avons alors r équation de ce type pour les substances chimiques du mélange.

Notes

Summary



Equations de continuité thermodynamique

- La densité de masse de mélange est liée aux densités des r substances par

$$m = \sum_{A=1}^r m_A n_A. \quad (12)$$

- m_A : densité d'une unité de A (*masse molaire*), $m_A = \frac{\partial m}{\partial n_A} = \text{cte.}$

- Des deux dernières équations, nous arrivons à

$$\dot{m} + m \nabla \cdot \mathbf{v} = - \nabla \cdot \left(\sum_{A=1}^r m_A \mathbf{j}_A \right) + \sum_{a=1}^n \omega_a \left(\sum_{A=1}^r m_A \nu_{aA} \right) = 0. \quad (13)$$

densité de courant de masse

densité de source de masse

Thermodynamique

D'ailleurs, nous remarquons que la densité de masse de mélange m est liée aux densités de masse m_A et aux densités d'air, substances par cette relation. Ici m_A représente la densité dynamique de la substance chimique. Autrement dit, c'est la masse molaire de la substance chimique A . Elle est définie comme la dérivée partielle de la densité et de la masse de mélange m par rapport à la densité de la substance chimique n_A , la masse molaire d'une substance chimique est constante. Maintenant, nous considérons les équations de continuité de substances chimiques. Plus précisément, nous considérons l'équation de continuité pour la substance chimique a et nous multiplions chaque terme de cette équation par la masse molaire de la substance chimique a . Nous faisons cela pour toutes les équations de continuité et ensuite nous en prenons la somme. Ce résultat peut être combiné avec cette équation. Dans cette manière, nous pouvons dériver l'équation de continuité pour la masse. En résumé des deux dernières équations, nous arrivons à cette équation qui n'est rien d'autre que l'équation de continuité pour la masse, et alors elle doit être égale à zéro. Sur base de la structure de cette équation, c'est à dire entre parenthèses et d'identifier comme la densité de courant de masse. De plus, c'est elle si elle est à définir comme la densité de source de masse.

Notes

Summary



3m 11s

Equations de continuité thermodynamique

- Selon le principe de *conservation de la masse*, il n'y a pas de densité de source ni de courant de masse :

$$\sum_{A=1}^r m_A \mathbf{j}_A = 0, \quad (14) \quad \text{et} \quad \sum_{A=1}^r m_A \nu_{aA} = 0, \quad a = 1, \dots, n. \quad (15)$$

Loi de Lavoisier

- Introduisons la vitesse \mathbf{v}_A de la substance A qui satisfait la relation :

$$\mathbf{v}_A n_A = \mathbf{v} n_A + \mathbf{j}_A. \quad (16)$$

- A l'aide des dernières relations, la vitesse du milieu est donnée par :

Thermodynamique

Mais selon les principes de conservation de la masse, il n'y a pas de densité de source ni de courant de masse. Ceci signifie que toutes les terres entre parenthèses du côté droit de l'équation précédente doivent être zéro. Nous arrivons alors à cette résultat. Cette inflation implique que les densités de courant des substances chimiques ne sont pas toutes indépendantes. Par contre, l'ex pondérés par les masses molaires des substances est égale à zéro. De plus, nous arrivons à cette équation. Cette équation implique que les coefficients géométriques liés à une réaction chimique ne sont pas tous indépendants. Par contre, l'extrême pondérée par les masses molaires des substances qui participent dans cette réaction est égal à zéro. Cette résultat est connu sous les noms loi de Lavoisier. Maintenant, nous utilisons la vitesse de la substance chimique qui satisfait la relation suivante. Autrement dit, la densité de courant de la substance chimique est donnée comme la différence entre la vitesse \mathbf{v} , a et vers multipliée par la densité de substance a . Nous pouvons maintenant introduire cette inflation dans cette expression pour obtenir une inflation pour la vitesse du mélange à l'aide de Daniel Relations.

Notes

Summary



4m 40s

Equations de continuité thermodynamique

- Selon le principe de *conservation de la masse*, il n'y a pas de densité de source ni de courant de masse :

$$\sum_{A=1}^r m_A \mathbf{j}_A = 0, \quad (14) \quad \text{et} \quad \sum_{A=1}^r m_A \nu_{aA} = 0, \quad a = 1, \dots, n. \quad (15)$$

Loi de Lavoisier

- Introduisons la vitesse \mathbf{v}_A de la substance A qui satisfait la relation :

$$\mathbf{v}_A n_A = \mathbf{v} n_A + \mathbf{j}_A. \quad (16)$$

- A l'aide des dernières relations, la vitesse du milieu est donnée par :

$$\mathbf{v} = \frac{\sum_{A=1}^r m_A n_A \mathbf{v}_A}{\sum_{A=1}^r m_A n_A} \implies \mathbf{v} = \frac{\sum_{A=1}^r m_A n_A \mathbf{v}_A}{m}. \quad (17)$$

Thermodynamique

La vitesse du milieu est donnée par cette expression et nous remarquons que cette air dans le dominateur côté droite de cette équation est égale à la densité de la masse du mélange. C'est qui nous fournit cette relation pour la vitesse du milieu, mais.

Notes

Summary



Equations de continuité thermodynamique

- La relation constitutive de la mécanique s'écrit $\mathbf{p} = m \mathbf{v}$, i.e.

$$\mathbf{p} = \sum_{A=1}^r m_A n_A \mathbf{v}_A. \quad (18)$$

- La densité de source de la quantité de mouvement est due aux forces de champs extérieurs : $\pi_p = \mathbf{f}^{\text{ext}}$.
- La densité de courant est l'opposé du *tenseur des contraintes*: $\mathbf{j}_p = -\boldsymbol{\tau}$.
- L'équation de continuité pour la quantité de mouvement s'écrit comme :

$$\dot{\mathbf{p}} + \mathbf{p} \nabla \cdot \mathbf{v} = \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{f}^{\text{ext}}. \quad (19)$$

Thermodynamique

Notes

Nous passons maintenant à l'équation de continuité pour la quantité de mouvement. La relation constitutive de la mécanique clipper est égale à $m \mathbf{v}$ étant la densité de la quantité de mouvement à l'aide de la version précédente. Pour la vitesse du milieu. La densité de quantité de mouvement en paix peut être écrite sous cette forme. Concernant l'équation de continuité pour la quantité de mouvement, la densité de souffle de la quantité de mouvement est due aux forces du champ extérieur. Nous écrivons alors. Pipette est égal à $\mathbf{f}^{\text{extérieur}}$. Un exemple d'une force de sang extérieure est la force de gravitation. D'ailleurs, la densité de courant est l'opposé du temps sec des contraintes. Nous écrivons alors que si \mathbf{p} est égal à moins au temps, étendre le tenseur de contraintes. L'essentiel des contraintes est lié aux forces des contacts qui sont exercés en milieu continu, c'est à dire aux forces qui sont exercées en surface occupée par le milieu continu. Les signes négatifs qui apparaît devant le tenseur des contraintes est introduit pour respecter la convention des signes que nous avons adoptée. L'équation de continuité alors que la quantité de mouvement s'écrit sous cette forme.

Summary



6m 24s

Equations de continuité thermodynamique

- La relation constitutive de la mécanique s'écrit $\mathbf{p} = m \mathbf{v}$, i.e.

$$\mathbf{p} = \sum_{A=1}^r m_A n_A \mathbf{v}_A. \quad (18)$$

- La densité de source de la quantité de mouvement est due aux forces de champs extérieurs : $\pi_p = \mathbf{f}^{\text{ext}}$.
- La densité de courant est l'opposé du *tenseur des contraintes*: $\mathbf{j}_p = -\boldsymbol{\tau}$.
- L'équation de continuité pour la quantité de mouvement s'écrit comme :

$$\dot{\mathbf{p}} + \mathbf{p} \nabla \cdot \mathbf{v} = \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{f}^{\text{ext}}. \quad (19)$$

- A l'aide d'équation de continuité pour la masse, la dernière équation résulte en la 2ème loi de Newton :

$$m \dot{\mathbf{v}} = \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{f}^{\text{ext}}. \quad (20)$$

Thermodynamique

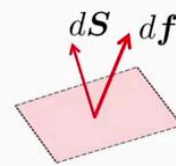
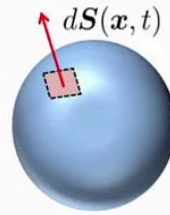
Maintenant, nous pouvons introduire dans cette relation la relation constitutive de la mécanique et ensuite appliquer les règles de la saynète pour la dérivée matérielle pédante de la densité des candidates de mouvement. Ensuite, nous pouvons introduire l'équation de continuité pour la masse. En résumé, à l'aide de l'équation de continuité pour la masse, la dernière équation résulte en la deuxième loi de Newton. Voilà la deuxième loi des moutons.

Notes

Summary



Equations de continuité thermodynamique



$$d\mathbf{f} = \boldsymbol{\tau} \cdot d\mathbf{S}$$

$\boldsymbol{\tau}$: tenseur des contraintes

Thermodynamique

Maintenant, nous élaborons un peu plus sur l'étincelle des contraintes. Nous considérons une surface occupée par le milieu continu et sous cette surface, nous prenons un élément infinitésimal. Le vecteur de cet élément infinitésimal est noté par $d\mathbf{S}$. Il y aura une force de contact infinitésimale exercée sur cet élément infinitésimal. Cette force de contact infinitésimale est notée par $d\mathbf{f}$. En général, la direction de cette force de contact infinitésimale est différente de la direction du vecteur $d\mathbf{S}$, mais il est convenable d'avoir une relation entre ces deux vecteurs. La relation la plus générale entre deux vecteurs est réalisée à l'aide d'un tenseur. Nous écrivons alors que $d\mathbf{f}$, la force de contact infinitésimale est égale au produit du tenseur des contraintes multiplié par le vecteur de $d\mathbf{S}$. Le tenseur est identifié comme l'étincelle des contraintes inertes, expressions pour que cet ancêtre est en cercle des tensions. Pour un milieu continu dont les particules élémentaires n'ont pas de rotation intrinsèque, nous pouvons démontrer, à l'aide du principe de conservation du moment, des quantités de mouvement que l'étincelle de contrainte est symétrique.

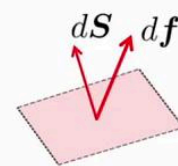
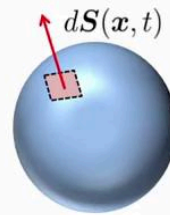
Notes

Summary



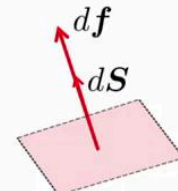
8m 14s

Equations de continuité thermodynamique



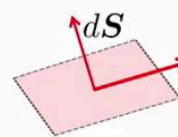
$$d\mathbf{f} = \boldsymbol{\tau} \cdot d\mathbf{S}$$

$\boldsymbol{\tau}$: tenseur des contraintes



$d\mathbf{f}$: normale

$\boldsymbol{\tau}$: diagonal



$d\mathbf{f}$: tangentielle

$\boldsymbol{\tau}$: déviatorique

Thermodynamique

De plus, il y a des cas particuliers concernant la direction de la force des contacts infinitésimal de F . Le premier cas particulier est quand la force de F a la même direction que la direction du vecteur de S . Dans ces cas, la force d'un contact infinitésimal de F est normale à l'élément infinitésimal ou elle est exercée. Dans sept cas, le temps, celle des contraintes en diagonale est en serre est diagonale. Quand le terme hors diagonale sont touchés guazzelli. Le fait d'une force de contact normal à la surface est accepté et le changement du volume du milieu, c'est à dire la compression ou l'expansion du milieu. Le deuxième cas particulier est quand la force de contact infinitésimale de F est normale avec RDS. Dans ces cas, DF est tangentielle à la surface ou elle est exercée, et nous pouvons de montrer que le tenseur de contraintes est des catholiques intenses R et de V catholiques quand sa trace est égale à zéro. La trace d'intense r est la somme de termes diagonaux des temps R . Le fait d'une force de contact tangentielle à la surface ou elle est exercée est la déformation du milieu. Dans ces cas là, nous disons que cette force de contact est une force de cisaillement.

Notes

Summary



9m 35s

Equations de continuité thermodynamique

- L'énergie totale est la somme de l'énergie interne et de l'énergie cinétique :

$$e = u + \frac{1}{2} m \mathbf{v} \cdot \mathbf{v}. \quad (21)$$

- L'équation de continuité pour l'énergie totale s'écrit sous la forme :

$$\dot{e} + e \nabla \cdot \mathbf{v} = -\nabla \cdot \mathbf{j}_e + \pi_e. \quad (22)$$

- $\pi_e = \mathbf{v} \cdot \mathbf{f}^{\text{ext}}$: travail des forces extérieures.
- $\mathbf{j}_e = -(\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) + \mathbf{j}_u$,
→ travail des contraintes → courant d'énergie interne, e.g. chaleur.

- La combinaison des trois dernières équations donne :

$$\dot{e} + e \nabla \cdot \mathbf{v} = \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) - \nabla \cdot \mathbf{j}_u + \mathbf{v} \cdot \mathbf{f}^{\text{ext}}.$$

Thermodynamique

Nous continuons maintenant avec l'équation de continuité pour l'énergie totale. L'énergie totale est la somme de l'énergie interne et de l'énergie cinétique est le même également pour les densités. Alors la densité d'énergie totale est la somme de la densité d'énergie interne U , plus la densité de l'énergie cinétique qui est représentée par ce terme. L'équation de continuité pour l'énergie totale s'est créée sous la forme suivante. Ici π_e est la densité de sources pour l'énergie totale. Elle est égale au travail de forces extérieures. Nous écrivons alors que π_e est le produit intérieur entre la vitesse et la force extérieure. De plus, la densité de courant est pour l'énergie totale et la somme de deux contributions. La première contribution s'exprime par ce terme qui est le travail de contrainte. La deuxième contribution s'exprime par ce terme qui est identifiée comme la densité de courant. Pour l'énergie interne, un courant d'énergie interne, pas de doute, un courant de chaleur par exemple. Maintenant, nous pouvons introduire dans l'équation de continuité pour l'énergie totale. Ces deux expressions. La combinaison des trois devient l'équation dans cette relation.

Notes

Summary



Equations de continuité thermodynamique

$$\left. \begin{aligned} \dot{e} + e \nabla \cdot \mathbf{v} &= \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) - \nabla \cdot \mathbf{j}_u + \mathbf{v} \cdot \mathbf{f}^{\text{ext}} \\ e &= u + \frac{1}{2} m \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\left(\dot{u} + \frac{1}{2} \dot{m} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} + m \mathbf{v} \cdot \dot{\mathbf{v}} \right) + \left(u + \frac{1}{2} m \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \right) \nabla \cdot \mathbf{v} = \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) - \nabla \cdot \mathbf{j}_u + \mathbf{v} \cdot \mathbf{f}^{\text{ext}}$$

$$\Rightarrow (\dot{u} + u \nabla \cdot \mathbf{v}) + \frac{1}{2} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) (\overset{0}{\cancel{\dot{m}}} + m \nabla \cdot \mathbf{v}) + \mathbf{v} \cdot m \dot{\mathbf{v}} = \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) - \nabla \cdot \mathbf{j}_u + \mathbf{v} \cdot \mathbf{f}^{\text{ext}}$$

$$(\dot{u} + u \nabla \cdot \mathbf{v}) + \mathbf{v} \cdot m \dot{\mathbf{v}} = \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) - \nabla \cdot \mathbf{j}_u + \mathbf{v} \cdot \mathbf{f}^{\text{ext}}$$

$$m \dot{\mathbf{v}} = \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{f}^{\text{ext}}$$

Thermodynamique

Nous avons alors cette équation plus l'expression pour la densité d'énergie totale d'un milieu continu. Nous pouvons introduire cette expression dans cette équation et utiliser les règles de la chaîne pour la dérivée matérielle de la densité d'énergie totale. Ceci nous fournira cette équation. Maintenant, nous pouvons regrouper les termes des côtés gauche de cette équation. Pour arriver à cette relation. Nous remarquons que ces termes ici du côté gauche de cette équation est nul. En vue de l'équation de continuité pour la masse. Ceci nous fournit cette équation et maintenant nous remarquons que cette produit embedded apparaît également dans la deuxième loi de Newton. Voilà la deuxième loi du temps. Maintenant, nous pouvons multiplier chaque terme de la deuxième loi des moutons par V. Introduire les résultats dans cette équation.

Notes

Summary



12m 37s

$$\dot{u} + u \nabla \cdot \mathbf{v} = -\mathbf{v} \cdot (\nabla \cdot \boldsymbol{\tau}) + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) - \nabla \cdot \mathbf{j}_u,$$

- Identité mathématique :

$$\nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) = \mathbf{v} \cdot (\nabla \cdot \boldsymbol{\tau}) + \boldsymbol{\tau} : \tilde{\nabla} \mathbf{v}.$$

$$\tilde{\nabla} \mathbf{v} \equiv \frac{1}{2} \left(\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v^i}{\partial x_j} + \frac{\partial v^j}{\partial x_i} \right) : \text{ tenseur des déformations}$$

- A l'aide de cette identité mathématique, nous arrivons à l'équation de continuité pour l'énergie interne :

$$\dot{u} + u \nabla \cdot \mathbf{v} = -\nabla \cdot \mathbf{j}_u + \boldsymbol{\tau} : \tilde{\nabla} \mathbf{v}. \quad (23)$$

Thermodynamique

Nous arrivons alors à cette équation. Maintenant, nous pouvons combiner ces deux termes qui apparaissent du côté droite de cette équation. Ceci est réalisé à l'aide de l'identité mathématique suivante. Cette quantité qui apparaît ici est un opérateur différentiel sous les centres de vitesse. Il est alors intense R et il est donné par cette relation. Il est défini comme la moitié de la somme du gradient de vitesse de la transposée du gardien de vitesse. Cette avancée s'appelle pensée de deux formations. De plus, cette opération représente le double produit scalaire entre deux cancers. L'opération est la suivante. Nous multiplions chaque terme du premier cancer avec le terme équivalent du deuxième cancer et ensuite nous prenons la somme de ces produits. Ceci nous dont le double produit scalaire entre deux tenseurs à l'aide de cette identité est mathématique. Nous arrivons à l'équation de continuité pour l'énergie interne. Voilà l'équation de continuité pour l'énergie interne.

Notes

Summary



Equations de continuité thermodynamique

- L'équation de continuité appliquée à la charge électrique donne :

$$\dot{q} + q \nabla \cdot \mathbf{v} = -\nabla \cdot \mathbf{j}_q \quad (24)$$

pas de densité de source de charge électrique!

- \mathbf{j}_q : densité de courant électrique *conductif*,
- $q\mathbf{v}$: densité de courant électrique *convectif*,
- $\mathbf{j} = \mathbf{j}_q + q\mathbf{v}$: densité de courant électrique.
- La densité de la charge électrique q est liée aux densités des r substances :

$$q = \sum_{A=1}^r q_A n_A \quad (25)$$

- q_A : charge électrique d'une unité de la substance A : $q_A = \frac{\partial q}{\partial n_A} = cte$.

Thermodynamique

Nous continuons avec l'équation des continuités pour la charge électrique. L'équation de continuité appliquée à la charge électrique. Dans cette expression, nous remarquons l'absence de densité et de source de charge électrique. De plus, la quantité x qui apparaît dans cette équation est la densité de courant électrique conducteur. D'ailleurs, le produit couvant entre la densité de la charge électrique et la vitesse est identifié comme la densité de courant électrique convectif. La somme de ces deux densités est égale à la densité de courant électrique qui est notée par G . De plus, nous remarquons que la densité de la recharge électrique est liée au densité d'air substances par cette relation. Ici, q_A représente la charge électrique d'une unité de la substance A . Elle est définie comme la dérivée partielle de la densité de charge électrique ou par rapport à la densité de la substance chimique n_A . Tout à la recharge électrique d'Unitaid et la substance A est constante. Maintenant, nous considérons l'équation de continuité pour la substance chimique A et nous multiplions chaque terme de cette équation par q_A ou a_A . Nous faisons ça pour toutes les équations de continuité des substances chimiques et nous prenons la somme alors cette somme à l'aide de cette équation. Nous donnera encore une fois l'équation de continuité pour la charge électrique.

Notes

Summary



Equations de continuité thermodynamique

- La combinaison de la dernière relation avec les équations de continuité pour les substances chimiques donne :

$$\dot{q} + q \nabla \cdot \mathbf{v} = -\nabla \cdot \left(\sum_{A=1}^r q_A \mathbf{j}_A \right) + \sum_{a=1}^n \omega_a \left(\sum_{A=1}^r q_A \nu_{aA} \right).$$

- L'identification de cette relation avec l'équation de continuité pour la charge électrique donne :

$$\mathbf{j}_q = \sum_{A=1}^r q_A \mathbf{j}_A, \quad (27)$$

et

$$\sum_{A=1}^r q_A \nu_{aA} = 0, \quad a = 1, \dots, n. \quad (26)$$

Thermodynamique

En résumé, la combinaison de la dernière relation avec les équations de continuité pour les substances chimiques dans cette équation. Cette équation n'est rien d'autre que l'équation de continuité pour la charge électrique alors. Cet air entre parenthèses est identifié comme la densité de courant électrique productif, tandis que ce terme est identifié comme la densité de chauffe ou la caractéristique qui est égale à zéro. En résumé, l'identification de cette relation avec l'équation de continuité pour la recharge électrique. Nous dans cette équation ainsi que cette équation.

Notes

Summary



Equations de continuité thermodynamique

- L'équation de continuité pour l'entropie s'écrit sous la forme :

$$\dot{s} + s \nabla \cdot \mathbf{v} = -\nabla \cdot \mathbf{j}_s + \pi_s. \quad (28)$$

- \mathbf{j}_s : densité de courant d'entropie (interaction du milieu avec son extérieur).
- π_s : densité de source d'entropie au sein du milieu.
- Le deuxième principe de thermodynamique requiert que :

$$\pi_s \geq 0.$$

Thermodynamique

Et nous concluons cette présentation avec l'équation des continuités pour l'entropie. L'équation de continuité pour l'entropie s'écrit sous la forme suivante. Dans cette relation, \mathbf{j}_s représente la densité de courant d'entropie et le nulle interaction du milieu avec champ extérieur. De plus, π_s représente la densité de choc d'entropie au sein du milieu et le double de processus hors équilibre au sein du milieu. La deuxième principe de thermodynamique requiert que la densité de source d'entropie soit en négatif. Nous sommes aussi arrivés à la fin de cette partie du cours de thermodynamique. Dans la prochaine partie, nous utiliserons les équations de continuité pour les variables d'état que nous avons dérivées dans cette partie du cours pour réaliser le bilan énergétique local de milieu continu.

Notes

Summary



17m 18s