Numéro d'inscription :38909

Session 2018-2019

Fibre optique

I. Définition et propriétés:

1:Défintion:

Une fibre optique est un fil dont l'âme, très fine, en verre ou en plastique, a la propriété de conduire la lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux. Le principe de la fibre optique date du début du XXe siècle mais ce n'est qu'en 1970 qu'est développée une fibre utilisable pour les télécommunications

fppt.com

- 2:Propriétés:

Atténuation:

L’atténuation caractérise l’affaiblissement du signal au cours de la propagation.

On note P_0 et P_L les puissance à l’entrée et à la sortie de la fibre de longueur L.

La puissance est une fonction décroissante de la variable x qui représente l’abscisse (x est dans l’intervalle [0,L])

On a l’égalité suivante:

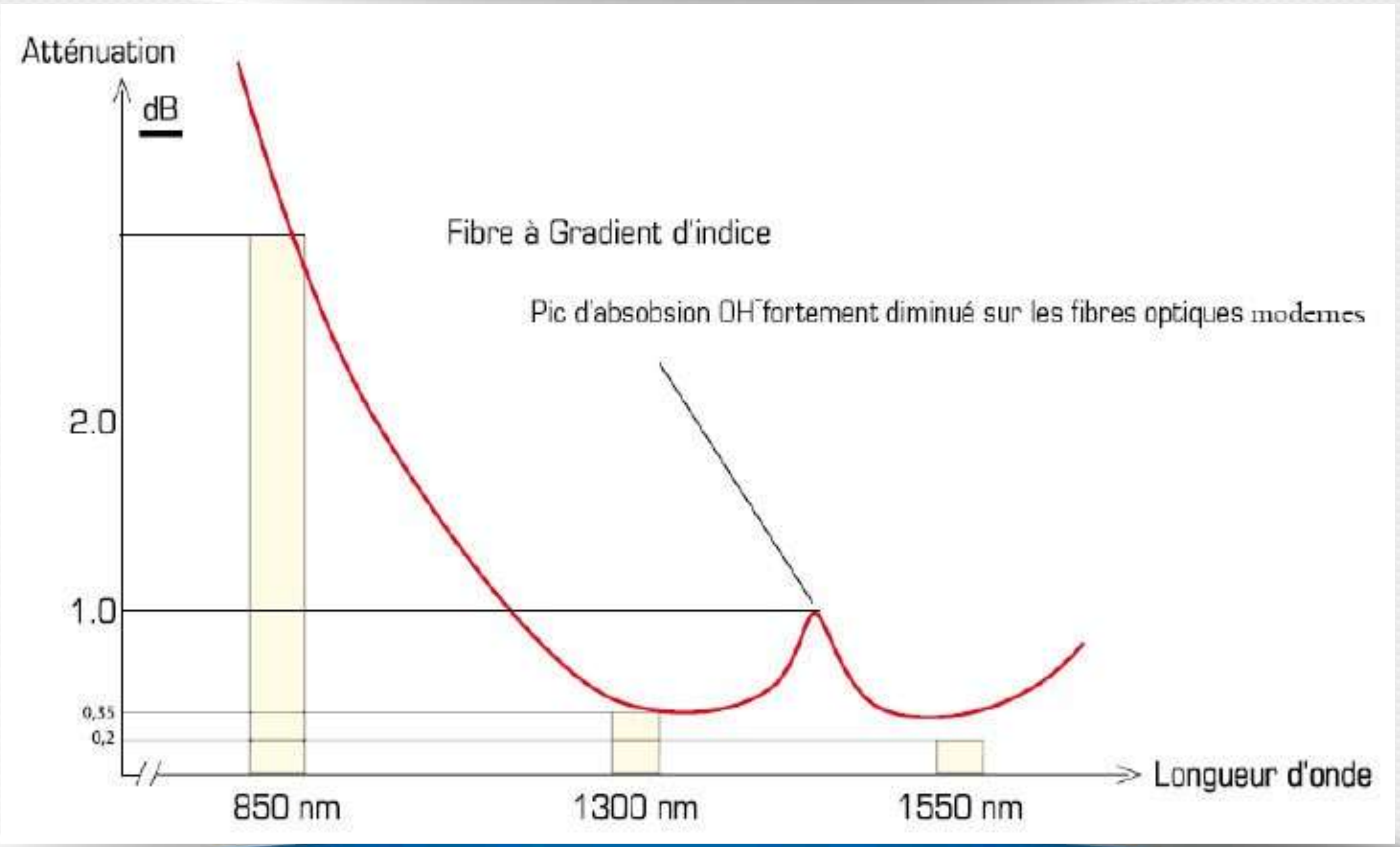
$$\boxed{\underline{P_L = P_0 e^{-ßL}}}$$

C’est la loi de Beer-Lambert

ß est une constante positive qui caractérise l’atténuation linéaire de signal dans la fibre optique exprimée en dB/Km

L’atténuation dépend de la nature de matériau utilisé pour la fabrication de fibre optique et plusieurs autres facteurs (diffusion de Rayleigh, longueur d’onde …)

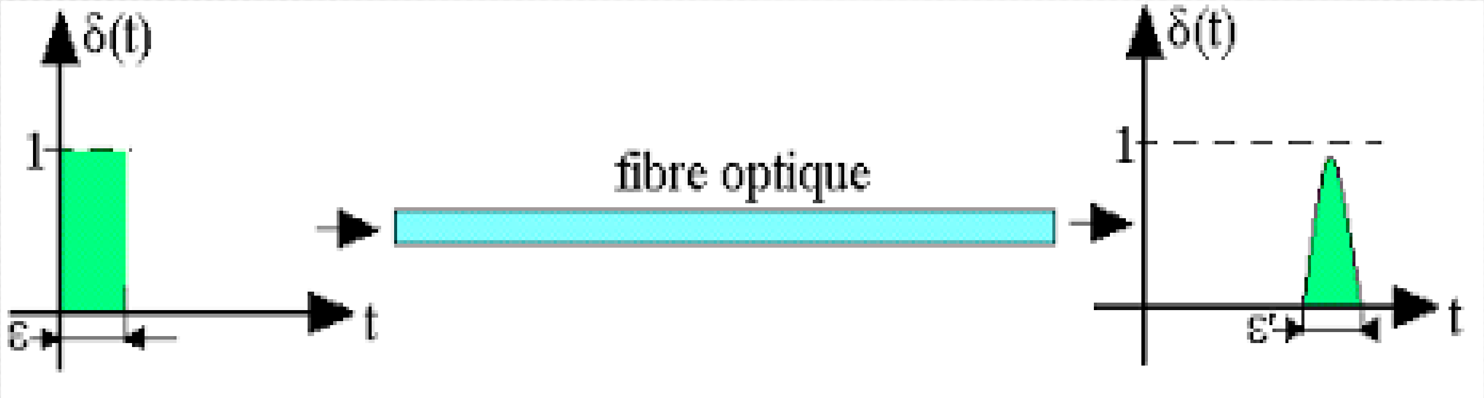
fppt.com


Atténuation
dB
Fibre à Gradient d'indice
Pic d'absobsion OH⁻fortement diminué sur les fibres optiques modernes
2.0
1.0
0,35
0,2
Longueur d'onde
850 nm
1300 nm
1550 nm

fppt.com

- Dispersion chromatique:

La dispersion chromatique est exprimée en ps/(nm·km) et caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil.

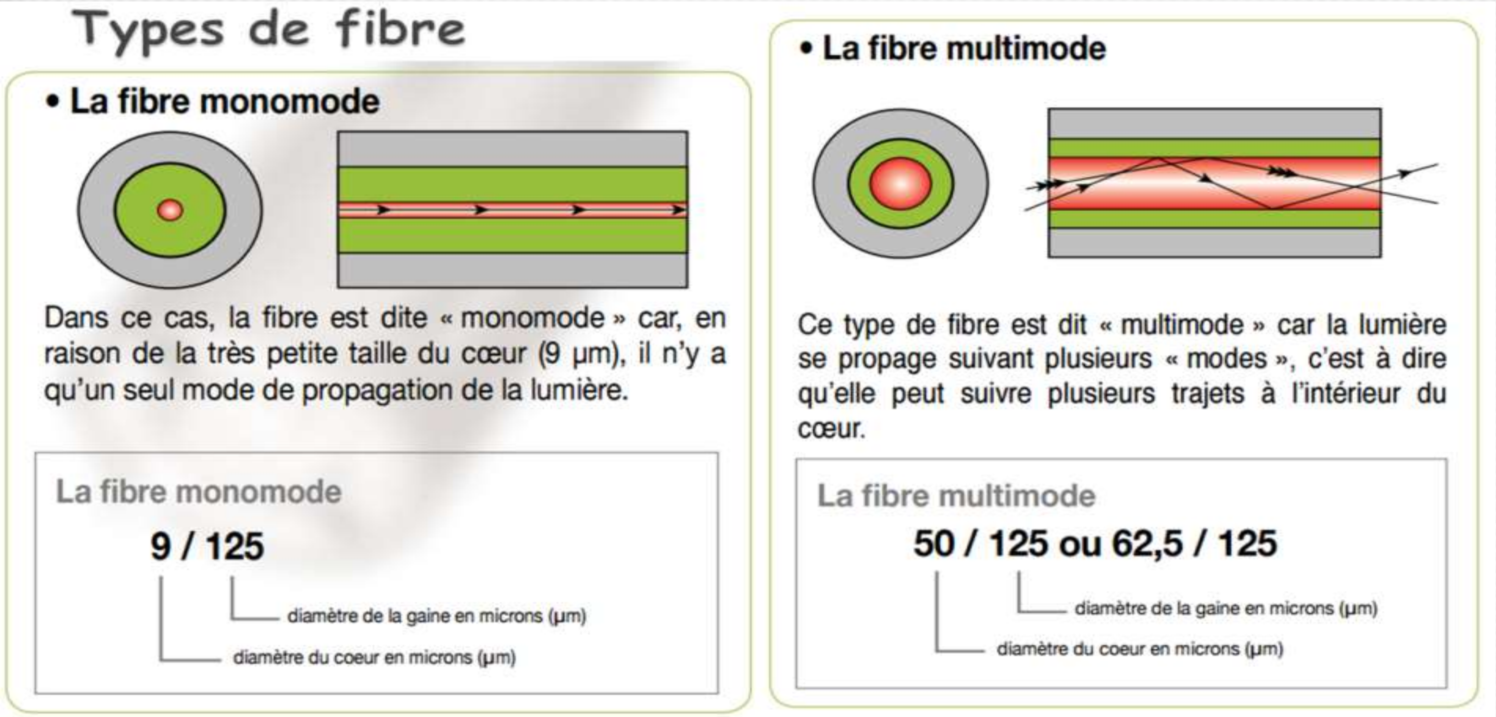


fppt.com

- **<u>Débit de transmission :</u>**

Le débit correspond à la quantité de données que peut transporter une fibre optique. Toutes les fibres n'ont pas les mêmes capacités et donc le même débit.

Une fibre monomode pourra notamment transporter beaucoup plus de données qu'une fibre multimode



- L**<u>a non-linéarité de la fibre:</u>**
  On dit qu'une fibre optique(en général un canal de transmission) est non-linéaire quand sa fonction de transfert dépend de signal d'entrée.

Cette caractéristique permet aussi de simplifier et d'accélérer les traitements des signaux, d'améliorer la largeur de la bande passante…

Parmi les effets non linéaires on peut citer l'effet Kerr optique

fppt.com

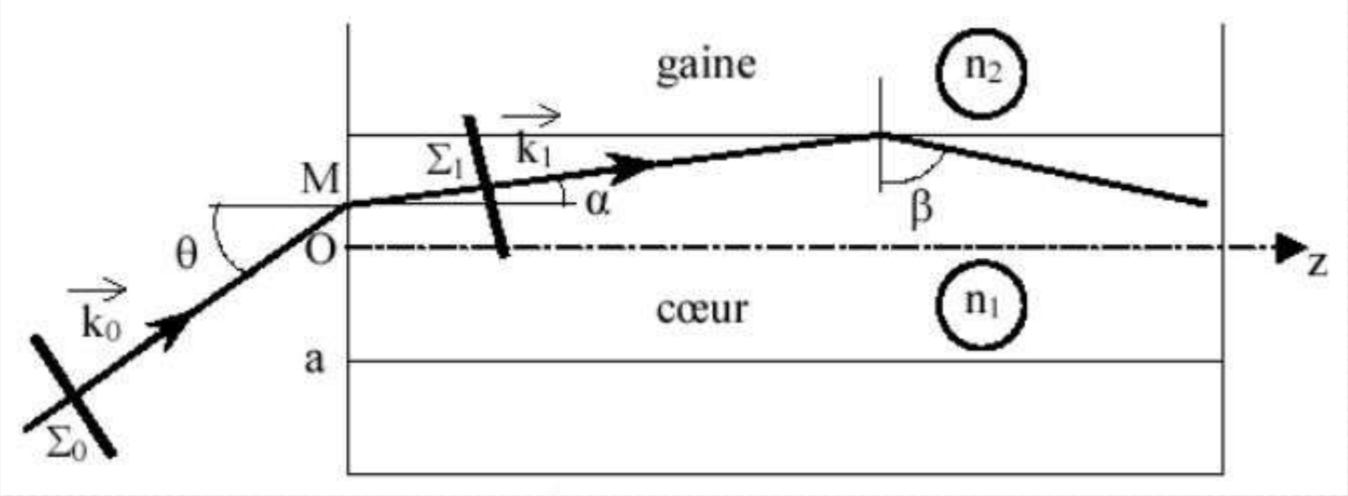
II. Principe de Fonctionnement:

- La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchie de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne). L’ensemble est généralement recouvert d’une gaine plastique de protection.

fppt.com

- La propagation de la lumière se fait de la manière suivante :

On suppose que la face d'entrée de la fibre est éclairée par un rayon de lumière monochromatique (λ_0 faisant un angle θ avec la normale. Nous allons chercher quelle valeur donner à θ pour qu'il y ait guidage



fppt.com

A l’entrée de la fibre on a :

$n_0 \sin\theta = n_1 \sin\alpha = n_1 \cos\beta = n_1 \sqrt{(1-\sin^2\beta)}$

Pour que le guidage soit possible, il faut que les rayons soient injectés dans la fibre sous un angle θ tel que l’angle β à l’interface cœur/gaine soit supérieur à l’angle limite

β_{lim} par : $n1 \sin(\beta_{lim}) = n2 \sin(\pi/2)$.

Soit : $\sin(\beta_{lim}) = n_2/n_1$

Le guidage est possible lorsque : $\beta > \beta_{lim}$

$\Rightarrow \sin^2\beta \geq \sin^2\beta_{lim}$

⇒ on définit par la suite (en prenant $n_0=1$) l’angle θ_{lim} par :

$\sin\theta_{lim} = \sqrt{(n^2_1 - n^2_2)}$

fppt.com

- Le guidage n'est alors possible que lorsque $\beta \leq \beta_{lim}$ c.à.d. :

$$\underline{\mathbf{|\theta| \leq \theta_{lim} = \sqrt{(n^2_1 - n^2_2)}}}$$

Cette inégalité s'appelle la <u>condition de guidage</u>

θ_{lim} s'appelle l'angle d'acceptance de la fibre optique

fppt.com

III. Effet Kerr optique :

- Les ondes électromagnétiques dans les matériaux se propagent à une vitesse qui est caractérisée par l'indice de réfraction du milieu. Si l'indice est indépendant du champ d'émission, le système est appelé linéaire. Dans certains cas, le les auto-interactions non linéaires des champs modifient la vitesse de propagation.
- Dans un milieu Kerr l’indice de réfraction dépendra linéairement de l’intensité du champ satisfaisant ainsi la loi suivante :

$$n=n_0+n_2|E|^2$$

Avec n_0: l’indice de réfraction linéair

n_2: un coefficient de non-linéarité

$|E|$: l’intensité du champ

fppt.com

IV. Les équations de maxwell dans un milieu diélectrique :

La fibre optique est un milieu de propagation diélectrique donc d'autres paramètres vont intervenir dans les équations de Maxwell.
Les équations s'écrivent de la façon suivante :

$$\overrightarrow{rot}(\vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$div(\overrightarrow{D}) = \rho_0$$

$$div\overrightarrow{B} = 0$$

$$\overrightarrow{rot}(\overrightarrow{B}) = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

fppt.com

- **D**:induction électrique(déplacement électrique) $\underline{D=\varepsilon_0 E+P}$ $(*)$

Avec P: la polarisation électrique induite $\underline{P=\varepsilon_0 \aleph E}$

ε_0:la permittivité électrique

$\aleph$:la susceptibilité électrique

E:champ électrique

B: champ magnétique $\underline{B=\mu_0(H+M)}$

Avec H: excitation magnétique

M:aimentation

fppt.com

☞**Remarque**:

L'équation ($*$) sera remplacé par **$D = \varepsilon_r \varepsilon_0 E$** dans la suite pour l'utiliser à démontrer l'équation de propagation de la lumière

avec ε_r la permittivité relative du milieu de propagation

fppt.com

V.Effet de la non-linéarité du milieu :

- Supposons que le champ électrique E soit d'intensité suffisamment forte pour qu'une non-linéarité apparaisse . La polarisation P s'écrit alors**:** $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{\varepsilon_0}(\aleph^{(1)}\boldsymbol{E}^{\boldsymbol{1}}(\boldsymbol{t}) + \aleph^{(2)}\boldsymbol{E}^{\boldsymbol{2}}(\boldsymbol{t}) + \aleph^{\boldsymbol{3}}\boldsymbol{E}^{\boldsymbol{3}}(\boldsymbol{t}) + \cdots)$
  Avec $\aleph^{(i)}$:la susceptibilité électrique d'ordre i
  On va considérer dans ce cas la non-linéarité est d'ordre 3 et que $\aleph^{(2)}$**=0**

➢ $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{\varepsilon_0}(\aleph^{(1)}\boldsymbol{E}^{\boldsymbol{1}}(\boldsymbol{t}) + \aleph^{\boldsymbol{3}}\boldsymbol{E}^{\boldsymbol{3}}(\boldsymbol{t}))$

fppt.com

VI: l'équation de propagation de la lumière ;

- En utilisant les équations précédentes et en tenant compte de l'effet Kerr dans la fibre optique l'équation de propagation de la lumière est:

$$\Delta\vec{E} - \frac{\mathrm{n_0}^2}{c^2}\frac{d^2\vec{E}}{d^2t} - 2\mu_0 \mathrm{n_0 n_2} |E|^2 \frac{d^2\vec{E}}{d^2t} = 0$$

fppt.com

- n_0: l’indice de réfraction linéaire de la fibre optique
- n_2: un coefficient de non-linéarité
- c:Célérité de la lumière
- Δ: l’opérateur Laplacien

fppt.com

- Pour résoudre cette équation on va supposer que le problème est unidimensionnel (on va noter cette dimension x)
- L'équation devient alors :

$$\frac{d^2\vec{E}}{dx^2} - \frac{\mathrm{n_0}^2}{c^2}\frac{d^2\vec{E}}{d^2t} - 2\mu_0 \mathrm{n_0} \mathrm{n_2} |E|^2 \frac{d^2\vec{E}}{d^2t} = 0$$

fppt.com

Conclusion:

- ☞ Le fibre optique est un milieu diélectrique
- ☞ Les équations de Maxwell dans un milieu diélectrique changent. Il faut faire apparaitre d'autres notions
- ☞ L'équation modélisant la propagation de la lumière dans le fibre optique dans ce cas dévient trop compliquée par rapport à celle dans le vide

fppt.com

fppt.com

fppt.com

fppt.com

fppt.com

- #!/usr/bin/env python3
- # -*- coding: utf-8 -*-
- """
- Created on 24 Février 2019
- @author: Houssem Jouili
- """
- import numpy as np
- n = 20;
- k = 10;
- dt = 0.02;
- dx = 1.0;
- dy = 1.0;
- h = np.ones((n+2,n+2))
- u = np.zeros((n+2,n+2))
- v = np.zeros((n+2,n+2))
- hx = np.zeros((n+1,n+1))
- ux = np.zeros((n+1,n+1))
- vx = np.zeros((n+1,n+1))
- hy = np.zeros((n+1,n+1))
- uy = np.zeros((n+1,n+1))
- vy = np.zeros((n+1,n+1))
- nsteps = 0

fppt.com

```
h[1,1] = .5;
def reflective():
    h[:,0] = h[:,1]
    h[:,n+1] = h[:,n]
    h[0,:] = h[1,:]
    h[n+1,:] = h[n,:]
    u[:,0] = u[:,1]
    u[:,n+1] = u[:,n]
    u[0,:] = -u[1,:]
    u[n+1,:] = -u[n,:]
    v[:,0] = -v[:,1]
    v[:,n+1] = -v[:,n]
    v[0,:] = v[1,:]
    v[n+1,:] = v[n,:]
def proses():
    #hx = (h[1:,:]+h[:-1,:])/2-dt/(2*dx)*(u[1:,:]-u[:-1,:])
    for i in range (n+1):
        for j in range(n):
            hx[i,j] = (h[i+1,j+1]+h[i,j+1])/2 - dt/(2*dx)*(u[i+1,j+1]-u[i,j+1])
            ux[i,j] = (u[i+1,j+1]+u[i,j+1])/2- dt/(2*dx)*((pow(u[i+1,j+1],2)/h[i+1,j+1]+
k/2*pow(h[i+1,j+1],2))- (pow(u[i,j+1],2)/h[i,j+1]+ k/2*pow(h[i,j+1],2)))
            vx[i,j] = (v[i+1,j+1]+v[i,j+1])/2 - dt/(2*dx)*((u[i+1,j+1]*v[i+1,j+1]/h[i+1,j+1]) -
(u[i,j+1]*v[i,j+1]/h[i,j+1]))
```

fppt.com

```
for i in range (n):
        for j in range(n+1):
            hy[i,j] = (h[i+1,j+1]+h[i+1,j])/2 - dt/(2*dy)*(v[i+1,j+1]-v[i+1,j])
            uy[i,j] = (u[i+1,j+1]+u[i+1,j])/2 - dt/(2*dy)*((v[i+1,j+1]*u[i+1,j+1]/h[i+1,j+1]) - (v[i+1,j]*u[i+1,j]/h[i+1,j]))
            vy[i,j] = (v[i+1,j+1]+v[i+1,j])/2 - dt/(2*dy)*((pow(v[i+1,j+1],2)/h[i+1,j+1] + k/2*pow(h[i+1,j+1],2)) - (pow(v[i+1,j],2)/h[i+1,j] + k/2*pow(h[i+1,j],2)))

    for i in range (1,n+1):
        for j in range(1,n+1):
            h[i,j] = h[i,j] - (dt/dx)*(ux[i,j-1]-ux[i-1,j-1]) - (dt/dy)*(vy[i-1,j]-vy[i-1,j-1])
            u[i,j] = u[i,j] - (dt/dx)*((pow(ux[i,j-1],2)/hx[i,j-1] + k/2*pow(hx[i,j-1],2)) - (pow(ux[i-1,j-1],2)/hx[i-1,j-1] + k/2*pow(hx[i-1,j-1],2))) - (dt/dy)*((vy[i-1,j]*uy[i-1,j]/hy[i-1,j]) - (vy[i-1,j-1]*uy[i-1,j-1]/hy[i-1,j-1]))
            v[i,j] = v[i,j] - (dt/dx)*((ux[i,j-1]*vx[i,j-1]/hx[i,j-1]) - (ux[i-1,j-1]*vx[i-1,j-1]/hx[i-1,j-1])) - (dt/dy)*((pow(vy[i-1,j],2)/hy[i-1,j] + k/2*pow(hy[i-1,j],2)) - (pow(vy[i-1,j-1],2)/hy[i-1,j-1] + k/2*pow(hy[i-1,j-1],2)))

#dh = dt/dt*(ux[1:,:]-ux[:-1,:])+ dt/dy*(vy[:,1:]-vy[:,:-1])
    reflective()
    return h,u,v
'''
for i in range (17):
    #print h
    proses(1)
'''
```

fppt.com

- a = n
- x = np.arange(n+2)
- y = np.arange(n+2)
- x,y = np.meshgrid(x,y)
- fig = plt.figure()
- ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
- def plotset():
-     ax.set_xlim3d(0, a)
-     ax.set_ylim3d(0, a)
-     ax.set_zlim3d(0.5,1.5)
-     ax.set_autoscalez_on(False)
-     ax.zaxis.set_major_locator(LinearLocator(10))
-     ax.zaxis.set_major_formatter(FormatStrFormatter('%.02f'))
-     cset = ax.contour(x, y, h, zdir='x', offset=0 , cmap=cm.hot)
-     cset = ax.contour(x, y, h, zdir='y', offset=n , cmap=cm.hot)
-     cset = ax.contour(x, y, h, zdir='z', offset=.5, cmap=cm.hot)
- plotset()
- surf = ax.plot_surface(x, y, h,rstride=1, cstride=1,cmap=cm.hot,linewidth=0,antialiased=False, alpha=0.7)
- fig.colorbar(surf, shrink=0.5, aspect=5)
- from matplotlib import animation
- def data(k,h,surf):
-     proses()
-     ax.clear()
-     plotset()
-     surf = ax.plot_surface(x, y, h,rstride=1, cstride=1,cmap=cm.hot,linewidth=0,antialiased=False, alpha=0.7)

fppt.com

- ani = animation.FuncAnimation(fig, data, fargs=(h,surf), interval=100, blit=False)
- ani.save('laser.mp4', bitrate=512)
- plt.show()

fppt.com