

Заря



Как физикам следует объяснять программисту задачу численной симуляции на примере уравнения волн

- Ища дифференциальное уравнение гармонических колебаний, которое послужит для компьютерной численной модели колебаний некой величины можно найти следующие формулы, правильные с точки зрения физики но абсолютно бесполезные для создания модели и только запутывающие программиста, который пытается разобраться в проблеме.
- Пример 1 из https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5
- $\Delta u = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ что просто так не сообщит ничего полезного а также может вызвать головную боль при попытке разобраться что такое Δ и почему применяют такую запись. Также запутает то что сразу не указано что значат величины например u это колеблющаяся величина которую выразили через функцию $u(x,t)$

- на самом деле намного понятнее было бы хотя бы
- $$\frac{\partial^2 u(x,y,z,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x,y,z,t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u(x,y,z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x,y,z,t)}{\partial t^2}$$
- Кроме того так сразу интуитивно понятно, что x, y, z означают пространственные координаты И при наличии меньшей размерности понятно что слагаемое с несуществующей координатой пропадает.
- Пусть для краткости у нас будет только одно измерение
- $$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2};$$
 пусть $\frac{1}{v^2} = c^2$ константа
- Физический смысл дифференциалов надо понимать следующим образом
- $\frac{\partial u}{\partial t} \rightarrow$ скорость изменения величины u во времени
- $\frac{\partial u}{\partial x} \rightarrow$ скорость или разность изменения величины u в пространстве
- $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \rightarrow$ скорость изменения скорости, или ускорение величины u во времени
- $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \rightarrow$ ускорение величины u «в пространстве»

перевод в дискретную форму

- перевод дифференциалов в дискретную форму происходит по правилам:

- первая производная

- $\frac{du(i,n)}{dt} = v_i^{n+1} = \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau}$; где

- i - координата точки
- n - время

- u_i^{n+1} - это значение величины u после n -го шага во времени в координате i

- u_i^n - тоже самое до n -го шага во времени;

- v_i^{n+1} - скорость (изменение величины);

- τ — постоянный шаг по физическому времени (или другой величине, например при $\frac{du}{dx}$ будет единичный шаг в пространстве равный размеру клетки); индексы внизу - относительный номер шага.

- вторая производная это ускорение одной точки во времени

- $\frac{d^2u(i,n)}{dt^2} = \frac{dv_i^n}{dt} = \frac{v_i^{n+1} - v_i^n}{\tau} = \frac{u_i^{n+1} - 2u_i^n + u_i^{n-1}}{\tau^2},$

Формула колебаний в 1 измерении (2)

- подставив в формулу волн будет $\frac{u_i^{n+1} - 2u_i^n + u_i^{n-1}}{\tau^2} = c^2 \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$
- решим это для u_i^{n+1} : $u_i^{n+1} = 2u_i^n - u_i^{n-1} + \left(\frac{c\tau}{h}\right)^2 (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n)$
- Разберёмся, что тут представляют из себя части
 - предыдущая скорость $v_i^n = u_i^n - u_i^{n-1}$
 - тогда $u_i^{n+1} = u_i^n + v_i^n + \left(\frac{c\tau}{h}\right)^2 (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n)$
 - ускорение $a_i^n = \left(\frac{c\tau}{h}\right)^2 (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n)$ - сила на коэффициент
 - *sevvfhzfy hfpzjsnt до соседей* $nbr_i^n = (u_{i+1}^n - u_i^n) + (u_{i-1}^n - u_i^n)$
 - общий коэффициент $c^* = \left(\frac{c\tau}{h}\right)^2$
 - тогда $v_i^{n+1} = v_i^n + a_i^n$; $u_i^{n+1} = u_i^n + v_i^{n+1}$
- Примечания
 - силу трения слетует применять к предыдущей скорости например так $(u_i^n - u_i^{n-1}) * k$; k примерно от 0.99 до 0.998
 - если координата находится с краю и какого то соседа нет, то расстояние до неё просто пропадает из формулы

Формула колебаний в 2 (3) измерениях

- оператор лапласа для многих измерений выглядит как несколько уравнений - каждое для отдельного измерения пространства с

- $\Delta u_x = \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} (+ \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2})$

- $\Delta u_y = \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} (+ \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2})$

- $\Delta u_z = \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} (+ \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2})$

- в случае скалярной величины $u_x = u_y = u_z = u$ уравнение будет

- $\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} (+ \frac{\partial^2 u}{\partial z^2})$

- не «не расщепляется» по измерениям пространства если только в формуле не фигурируется набла (и т.п) которые расщепят его.

- $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} (+ \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$; где $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = a_{x_i}^n = \frac{u_{i+1,j,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i-1,j,k}^n}{h^2}$

Формула колебаний в 2 (3) измерениях -2

- $$\frac{u_{i+1,j,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i+1,j,k}^n}{c^2 \frac{h^2}{\tau^2}} + \frac{u_{i,j+1,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j-1,k}^n}{h^2} \left(+ \frac{u_{i,j,k+1}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j,k-1}^n}{h^2} \right) =$$

- решим это для $u_{i,j,k}^{n+1}$:

- $$u_{i,j,k}^{n+1} = 2u_{i,j,k}^n - u_i^{n-1} + \left(\frac{c\tau}{h}\right)^2 ((u_{i+1,j,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i+1,j,k}^n) + (u_{i,j+1,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j-1,k}^n) + (u_{i,j,k+1}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j,k-1}^n))$$

- то есть мы складываем вторые разности по каждой координате

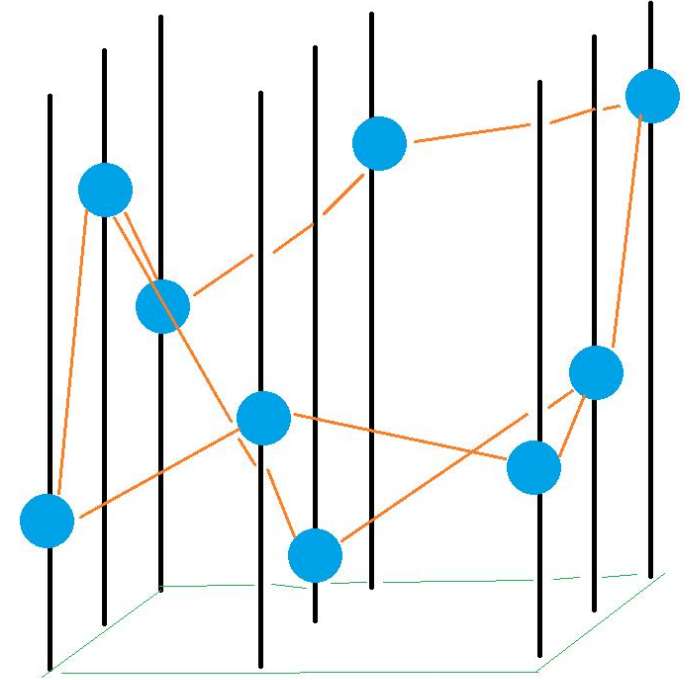
составление алгоритма модели

- Формулу выше уже можно перевести в алгоритм обновления величин и на каждом шаге
- $a_i^n = C(u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n) \leftarrow$ ускорение или сила считается из второй разности по массиву*
- $v_i^{n+1} = v_i^n + a_i^n;$
- $u_i^{n+1} = u_i^n + v_i^{n+1}$
- *в программе величины представляются массивами на каком то одном временном шаге, например все координаты $u^n = [u_0^n, u_1^n, \dots, u_i^n, \dots]$
- в ходе симуляций часто встречается операция разности между двумя соседними элементами:
- первая разность от: $diff(u^n) = [u_1^n - u_0^n, u_2^n - u_1^n, \dots, u_{i+1}^n - u_i^n, \dots] = h \frac{du^n}{dx}$
- вторая разность это та же самая операция к первой

$$diff2(u^n) = [u_2^n - 2u_1^n + u_0^n, \dots, u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n, \dots] = h^2 \frac{d^2 u^n}{dx^2}$$

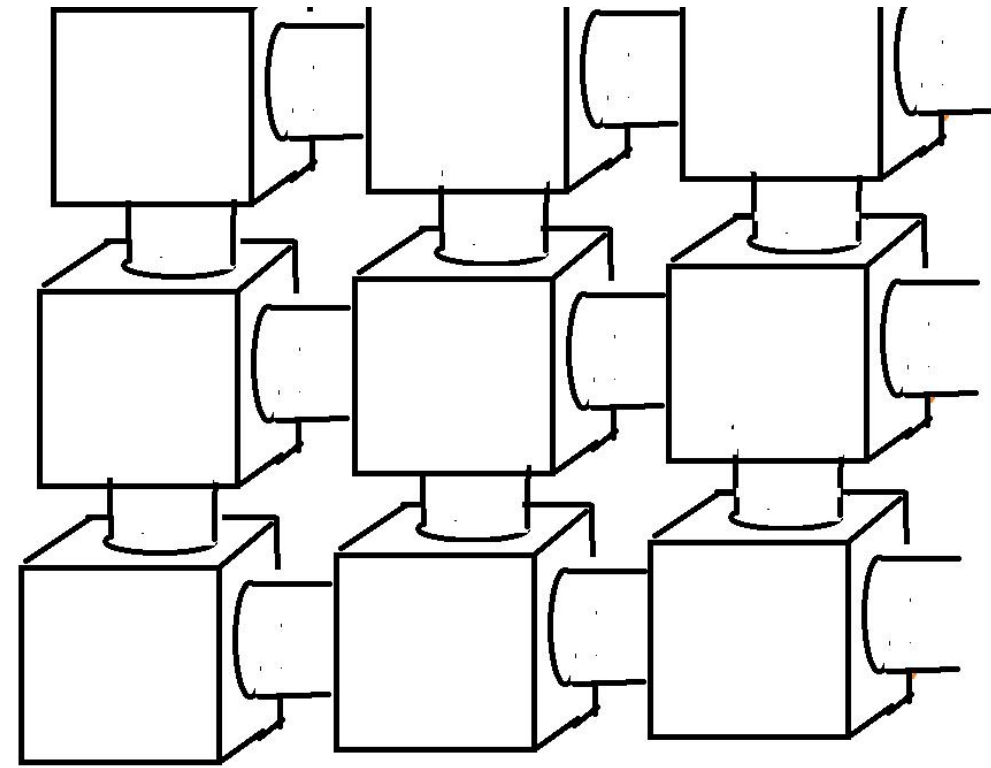
Физическое представление дискретной модели

- Лучше всего чтобы физик, при постановке задачи программиста давал тому не только понятные формулы но и физическое представление дискретной модели, то есть модель, состоящая из массива некоторых отдельных объектов, взаимодействия между которыми мы считаем по алгоритму модели. Например, в случае 2д- волн это примерно будто БИ
- некие объекты, например шарики закреплены так что могут без трения двигаться вверх и в низ вдоль одного измерения (колеблющаяся величина)
- шарики соединены упругими резинками, с двумя соседними сбоку и вдаль, что образует двумерную сеть.
- что каждый шарик резинки тянут тем больше, чем больше растянута резинка.



Задача- сделать то же самое для уравнения навье стокса для симуляции жидкости

- Начнём с физического представления
- пространство разделено на баки с жидкостью, соединённых трубами в 2Д сеть
- вода может перетекать между баками по трубам но каждый бак всегда заполнен(уравнение непрерывности)
- некоторая часть воды в каждом баке окрашена (чтобы визуализировать движение)
- взаимодействия между баками описывается дискретными версиями уравнений неразрывности и навье стокса



уравнение несжимаемости

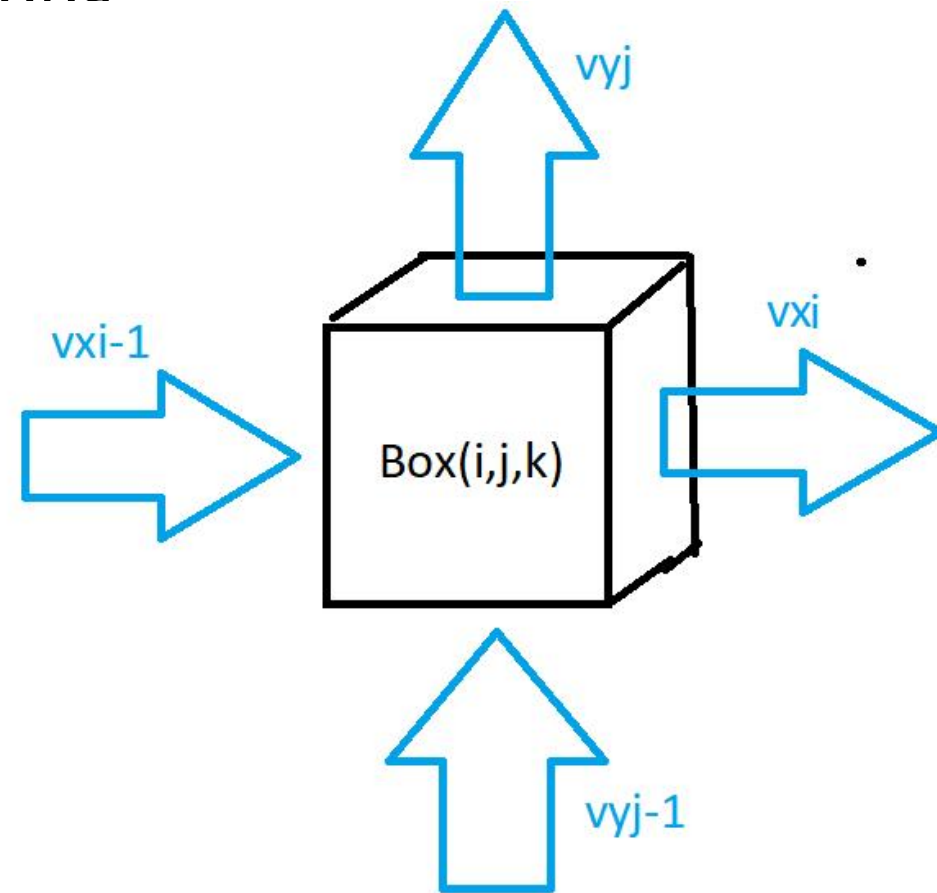
- начнём с того что попроще с несжимаемости
- $\text{div}(v) = 0$ несжимаемости
- дивергенция это сумма производной по всем измерениям величины которая имеет вектор по этим измерениям

- тогда в дискретном виде уравнение несжимаемости будет

$$\bullet \text{div}(v) = \frac{v_{x_i}^n - v_{x_{i-1}}^n}{h} + \frac{v_{y_j}^n - v_{y_{j-1}}^n}{h} \left(+ \frac{v_{z_k}^n - v_{z_{k-1}}^n}{h} \right) =$$

- мы конечно взяли одинаковый шаг по всем координатам поэтому можно сократить как

$$\bullet v_{x_i}^n - v_{x_{i-1}}^n + v_{y_j}^n - v_{y_{j-1}}^n \left(+ v_{z_k}^n - v_{z_{k-1}}^n \right)$$



- оператор набла это оператор образующий три уравнения с производной по каждой координате на месте себя

$$\nabla p = \left[\frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{\partial p}{\partial z} \right],$$

$$(v\Delta) = v_x \frac{\partial}{\partial x} + v_y \frac{\partial}{\partial y} + v_z \frac{\partial}{\partial z}$$

$$(v\Delta)v = \begin{bmatrix} v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \\ v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \\ v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{bmatrix}$$

уравнение навье стокса

- $\frac{\partial v}{\partial t} = - (v \nabla) v + \nu \Delta v - \frac{1}{\rho} \nabla p + F$

- где ρ - постоянная плотность (константа)
- F - внешняя сила (задаётся)
- (вопрос - какое тут ν - ?)

• тогда ускорение потока по оси x в координате i во времени n :

- $\frac{\partial v_x}{\partial t} = - v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x$

- $\frac{\partial v_y}{\partial t} = - v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} - v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + F_y$

$$\bullet \ a_{x_i}^n = \frac{v_{x_{i,j}}^n - v_{x_{i,j}}^{n-1}}{\tau} =$$

Дальше старое

Переводим дифур в программу 2

- Ускорение, или любая вторая производная:

$$\bullet \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{v_1 - v_0}{dt} = \frac{\frac{x_1 - x_0}{\tau} - \frac{x_0 - x_{-1}}{\tau}}{\tau} = m \frac{x_1 + x_{-1} - 2x_0}{\tau^2} = f(x_0, t), \text{ где}$$

- x_1, x_0, x_{-1} - координаты на вычисляемом, последнем и предпоследнем шаге
- x_a означает значение функции $x(a)$
- часто u_i^n обозначают $u(n, i)$ где i это координата а n время

- *ВЫЧИСЛИМ x_1*

$$\bullet x_1 = 2x_0 - x_{-1} + \frac{dt^2}{m} f(x, t) = x_0 - v_0 * dt + \frac{dt^2}{m} f(x_0, t)$$

- *То есть тут*

$$\bullet v_1 = v_0 + \frac{dt}{m} f(x_0, t)$$

$$\bullet a_1 = \frac{dt}{m} f(x_0, t)$$

Введение в дискретную симуляцию

- Большинство физических величин, возьмём абстрактную величину x , не могут измениться мгновенно, а обладают
 - скоростью изменения $v1 = (x1 - x0) / dt$,
 - и ускорением $a1 = (v1 - v0) / dt$
- где
 - x, v, a с индексом 1 - величины данного шага, 0 - предыдущего
 - dt - промежуток физического времени до шага, можно брать 1
- ускорение a зависит от абстрактной «силы» умноженной на некий коэффициент. Формула для силы может меняться в разных задачах, но остальное - формулы скорости и координаты останутся неизменными.
- Формулы выше можно написать в другом виде:
 - $a1 = f(x, t)$
 - $v1 = v0 + a1 * dt$
 - $x1 = x0 + v1 * dt$

Переводим дифур в программу

- Просто программистам без скилла чтения и понимания физики и дифуров трудно понять что написано в формулах волшебными значками.
- Приведём тут как перевести дифур в текст программы безо всякой воды и неточных объяснений на кучу страниц.
- Возмём простой пример. Закон Ньютона описывается дифуром
- $m \frac{d^2x}{dt^2} = F(x, t);$
 - в простом случае $ma = F$
 - где m- масса
 - вторая производная координаты x по времени t - ускорение a
 - F(x,t) - любая сила
- Переводим в дискретную форму. Мы считаем промежуток времени маленьким, поэтому величина изменяется в этом промежутке равномерно.
- Скорость, или любая первая производная $v_1 = \frac{dx}{dt} = \frac{x_1 - x_0}{\tau}$
- где τ - физическая разница во времени между шагами

Формула колебаний в 0 измерениях

- Базовый принцип колебаний в том, что чем больше некая величина u сосредоточена в точке - по отношению нуля при колебаниях в 0 измерениях или по отношению разности с каждым из соседей в неких измерениях, тем больше действует сила, которая хочет переместить эту величину в ноль или в соседнюю позицию.
- Из этих соображений уже можно построить формулу колебаний в 0 измерениях, что соответствует например колебаниям груза на пружине или маятника:
 - $a = -c * x$
 - $v += a$
 - $u += v$
- Тут считается $dt = 1$ или входит в коэффициент c . Покажем как это переводится в нотацию дифура.
 - $u_1 = u_0 + v_0 + a_1 = u_0 + u_0 - u_{-1} - c * u_0$
 - $\frac{u_1 - 2u_0 + u_{-1}}{dt^2} = -c * u_0$, c^* это коэффициент без dt
 - Видим что слева дискретная форма 2-й производной:
 - $\frac{d^2 u(t)}{dt^2} = -c^* u(t)$, соответствует физической формуле колебания груза на пружине по закону Гука где $u(t)$ -отклонение от покоя

Формула колебаний в 1 измерении

- имеет обычный вид $\frac{d^2 u(x,t)}{dt^2} = c^2 \frac{d^2 u(x,t)}{dx^2}$; $u(x,t) = u_x^t$
- где $c = \frac{1}{v}$ v- скорость волны.
- Тривиальным решением, без дополнительных условий будет
- $u(x,t) = \cos(x+vt)$ или \sin .
- Переведём эту формулу в дискретный вид
- ускорение одной точки во времени $\frac{d^2 u(i,n)}{dt^2} = \frac{u_i^{n+1} - 2u_i^n + u_i^{n-1}}{\tau^2}$, где
 - i - координата точки
 - n - время
- «ускорение» одной точки по координате - если мы как бы движемся по x в какой то один момент времени
- $\frac{d^2 u(x,t)}{dx^2} = \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$
 - h - физическое расстояние между двумя точками

Формула колебаний в 2 измерениях

- Отличается всего лишь тем, что добавляется 2 разницы расстояния ещё по одной координате, и так далее для больших измерений

Модель продольных колебаний

Уравнение гидродинамики - физическая суть

- Смотри дифференциал по dt это следствие, причина которого дифференциал по dx . Например из разницы скоростей в соседних клетках возникает разница в плотности на следующем шаге (неразрывность)
- из разницы в скорости и давлении в соседних клетках возникает разница в скорости на следующем шаге
- откуда берётся давление или разность давления p

Уравнение гидродинамики - неразрывности

- $\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} = c$ (*additional pressure or 0*)

- $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0$ — ?

- давайте сделаем дискретную модель для плотности ρ для точки i во времени n

- $\frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^n}{\tau} + \frac{\rho_{i+1}^n u_{i+1}^n - \rho_i^n u_i^n}{h} = 0$

- $\rho_i^{n+1} = \rho_i^n - \frac{\tau}{h} (\rho_i^n u_i^n - \rho_{i-1}^n u_{i-1}^n)$ - не работает

- А если сделать из первой формулы надо свободные коэффициенты брать средним арифметическим

- $\frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^n}{\tau} + \frac{u_i^n + u_{i+1}^n}{2} \frac{\rho_{i+1}^n - \rho_i^n}{h} + \frac{\rho_i^n + \rho_{i+1}^n}{2} \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{h} = 0$

- $\frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^n}{\tau} + \frac{u_i^n \rho_{i+1}^n + u_{i+1}^n \rho_{i+1}^n - u_i^n \rho_i^n - u_{i+1}^n \rho_i^n + u_{i+1}^n \rho_i^n - u_i^n \rho_{i+1}^n + u_{i+1}^n \rho_{i+1}^n - u_i^n \rho_{i+1}^n}{2h} = 0$

- $\frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^n}{\tau} + \frac{2u_{i+1}^n \rho_{i+1}^n - 2u_i^n \rho_i^n}{2h} = 0$

Уравнение гидродинамики - скорости

- $\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2 + p)}{\partial x} = 0$

- $u \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0$

- но из уравнения неразрывности $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0$, тогда

- $\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$

- для каждой координаты по ДУ эйлера

- $-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x = \frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x}$

- короче, проще всего $\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2 + p)}{\partial x} = F_x$

- $\frac{\rho_i^{n+1} u_i^{n+1} - \rho_i^n u_i^n}{\tau} + \frac{\rho_{i+1}^n (u_{i+1}^n)^2 + p_{i+1}^n - \rho_i^n (u_i^n)^2 - p_i^n}{h} = \frac{F_{i+1} + F_i}{2} = F_{i+1/2}$

- $\rho_i^{n+1} u_i^{n+1} = \tau F_{i+1/2} + \rho_i^n u_i^n - \frac{\tau}{h} (\rho_{i+1}^n (u_{i+1}^n)^2 - \rho_i^n (u_i^n)^2 + p_{i+1}^n - p_i^n)$

- $\rho_i^{n+1} = \rho_i^n - \frac{\tau}{h} (\rho_{i+1}^n u_{i+1}^n - \rho_i^n u_i^n)$

Выбор материала тяжёлой облицовки

Элемент	скорость звука, м/с	Плотность г/см3	Твёрдость по Моосу
Алюминий	5100	2,7	3
Бериллий	13000	1,848	5.5
Бор	16200	2,3	9.5
Вольфрам	5174	19,3	9.0
Германий	5400	5,327	6.0
Железо	4910	7,874	4.0
Золото	1740	19,32	2.5
Иридий	4825	22,4	6.5
Медь	3570	8,96	3.0
Молибден	6190	10,2	5.5
Осмий	4940	22,5	7.0
Рений	4700	21,03	7.0
Свинец	2160	11,340	1.5
Углерод-алмаз	18350	3,5	10.0

- $\int_4^{\infty} \frac{x dx}{(x^2 + 9)\sqrt{x^2 - 16}}$
 - $\sqrt{x^2 - 16} = t \geq 0$
 - $x^2 - 16 = t^2$
 - $2x dx = 2t dt$
 - $x = 4 \Rightarrow t = 0$
 - $x = \infty \Rightarrow t = \infty$
- $\int_0^{\infty} \frac{t dt}{(t^2 + 25)t} = \int_0^{\infty} \frac{dt}{(t^2 + 25)} = \frac{1}{5} \arctan\left(\frac{t}{5}\right) \Big|_0^{\infty} =$
- $\frac{1}{5} \arctan(\infty) - \frac{1}{5} \arctan(0) = \frac{1}{5} \frac{\pi}{2} - 0 = \frac{\pi}{10}$

Описание

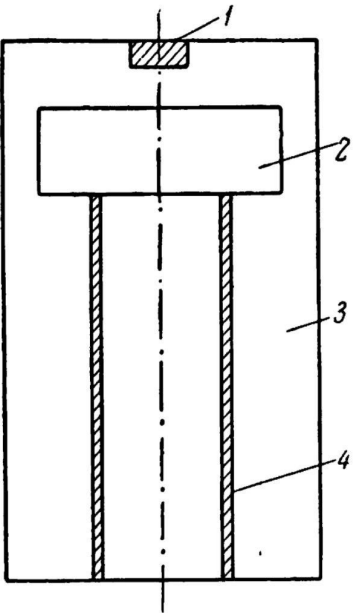


Рис. 194. Кумулятивный заряд: 1 — детонатор, 2 — массивная линза, 3 — заряд ВВ, 4 — кумулятивная облицовка.

- Для экспериментальной физики представляет большой интерес получение газовых и металлических струй, движущихся со скоростями порядка многих десятков километров в секунду. Помимо использования сильных электрических разрядов, приводящих к подобным скоростям движения плазмы, как это было показано в работах И. В. Курчатова и др., для получения столь высоких скоростей можно использовать методы кумуляции.
- В ряде работ американских учёных было показано, что при использовании в качестве облицовки цилиндрических трубок из легких металлов, боковая поверхность которых окружена достаточно толстым слоем ВВ, в головной части кумулятивной струи могут быть обеспечены скорости порядка нескольких десятков километров в секунду. Наибольшая скорость кумулятивной струи, равная 90 км/с, была достигнута при использовании трубок из бериллия, удельный вес которого составляет 1,848. Схематическое устройство такого кумулятивного заряда показано на рисунке выше.

- Darth Alpha Pir🔒🔒 X, [10.04.2022 21:28]

- [Forwarded from Darth Alpha Pir🔒🔒 X]

- Уравнения сохранения уравнения сохранения могут быть следующими:

- Закон сохранения вещества-

- $\rho(D-u)=\text{const}=A1$

- Сохранение количества движения- $\rho+\rho(D-u)^2=\text{const}=A2$

- Закон сохранения энергии- $\rho(D-u)[E+(D-u)^2/2]+\rho(D-u)=\text{const}=A3$

- Darth Alpha Pir🔒🔒 X, [10.04.2022 21:28]

- [Forwarded from Darth Alpha Pir🔒🔒 X]

- Где P-давление, ρ -плотность, E-уд.энергия, u-скорость движения газа, причем E может включать и химичэнергию.. все величины кроме скорости детонации меняются от точки к точке в зависимости от протекания химреакция, а скорость детонации будет константой

- Darth Alpha Pir🔒🔒 X, [10.04.2022 21:28]

- [Forwarded from Darth Alpha Pir🔒🔒 X]

- Эти уравнения очень просты и представляют собой простой смысл потока массы, суммы потока количества движения и импульса сил давления, а также суммы потока энергии тепловой, химической, кинетической и работы сил давления через поверхность, движущуюся со скоростью детонации вместе с детонационной волной, так что величина x-Dt на поверхности постоянна

- Darth Alpha Pir🔒🔒 X, [10.04.2022 21:28]

- [Forwarded from Darth Alpha Pir🔒🔒 X]

- При этом и выражения кинетической энергии и другие даны в системе координат наблюдателя движущегося со скоростью D вместе с волной, и кинетическая энергия массы частицы $\frac{1}{2}(D-u)^2$, а не $\frac{1}{2}u^2$

- Darth Alpha Pir🔒🔒 X, [10.04.2022 21:28]

- [Forwarded from Darth Alpha Pir🔒🔒 X]

- Но т.к выражение через плотность будет неудобно, можно перейти к переменной обратной плотности, удельному объему и тогда уравнения будут выглядеть по другому

- $(D-u)/v=A1=D/v(0),$

- $\rho+(D-u)^2/v=A2=p(0)+D^2/v(0)$

- $I+\frac{1}{2}(D-u)^2=A3/A1=I(0)+D^2/2$

- Ввели энтальпию $I=E+pv$ (кал/г или г·см²/с²·г)

- Darth Alpha Pir🔒🔒 X, [10.04.2022 21:28]

- [Forwarded from Darth Alpha Pir🔒🔒 X]