



# Международная система единиц

- Прошлое
- Настоящее
- Будущее



# Развитие международной системы единиц

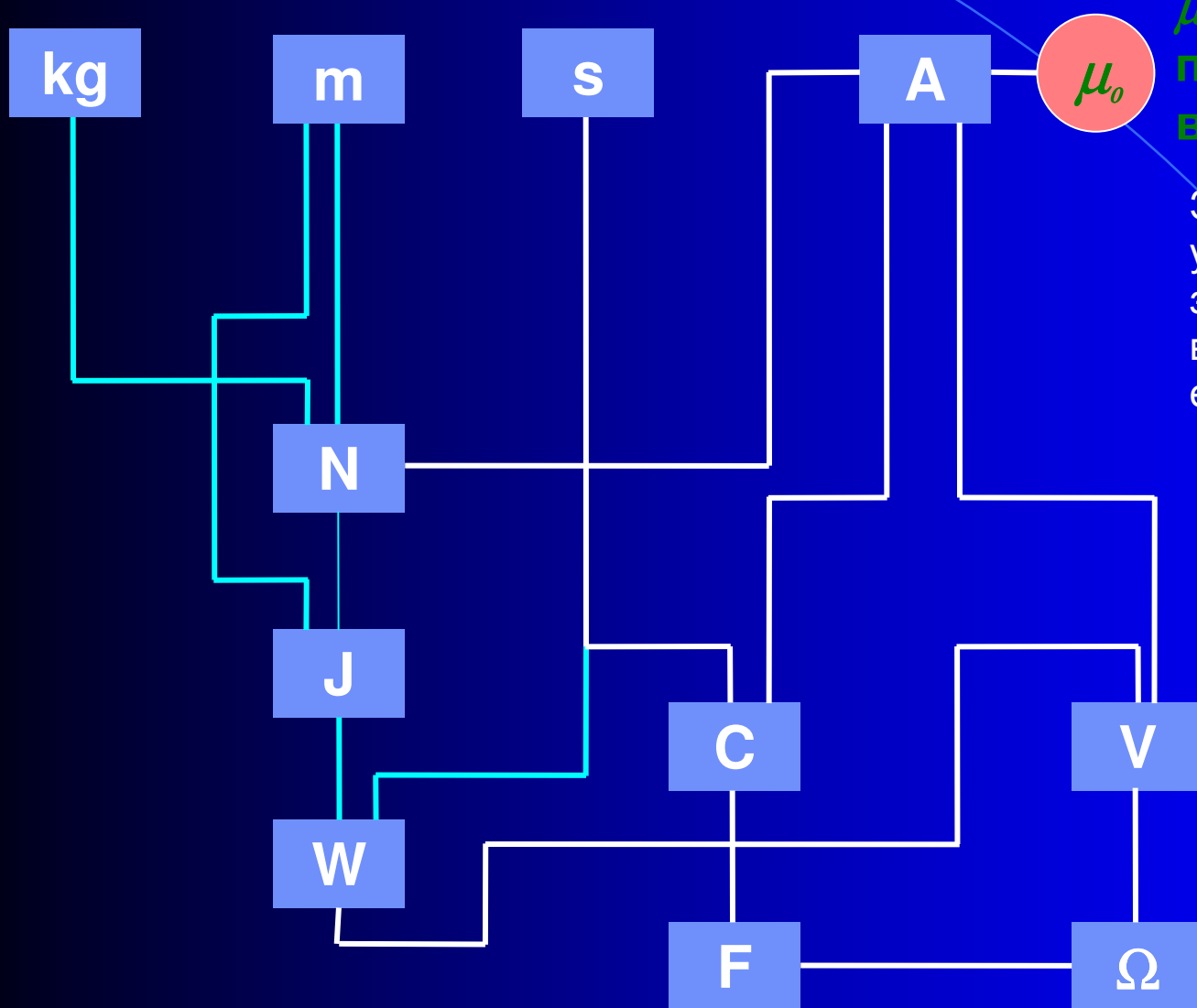
- Появилась одновременно с метрической конвенцией 1875 г.
- Первоначально вся система основывалась четырех единицах kg, m, s и K (1889 г). Они были определены независимо.
- В 1928 году был добавлен ампер.
- В 1967 году была переопределена секунда (по сверхтонкому расщеплению цезия 133).
- В 1983 был переопределен метр через скорость света и секунду.
- В 1990 введено представление вольта и ома через квантовые эффекты.



# Первоначальная иерархия единиц, SI



# Электрические единицы



$\mu_0$  - магнитная  
проницаемость  
вакуума

Значок  $\mu_0$  еще не  
употребляли, но его  
значение  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/м  
входило в определения  
единиц

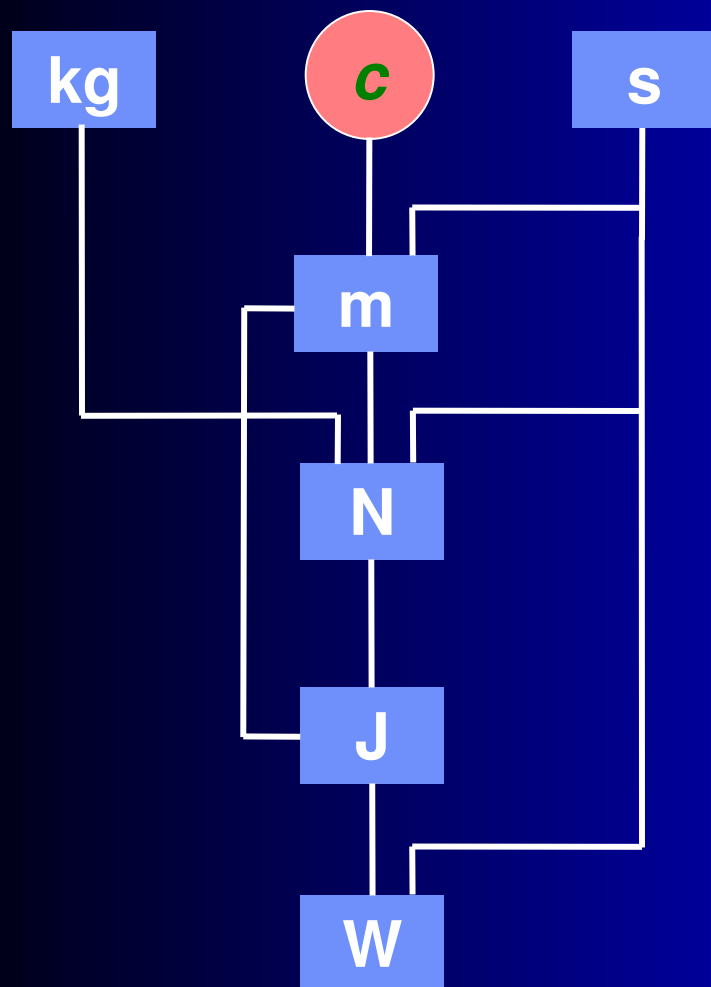
Другие  
соотношения  
между  
производными  
единицами не  
показаны



# Иерархия единиц SI

## Фундаментальные постоянные

$c$  - скорость света



## Единицы SI

$s$  - сверхтонкое расщепление Cs

$m$  - метр

$kg$  – масса эталона МБМВ

$N$  - ньютон (сила)

$J$  - джоуль (работа или энергия)

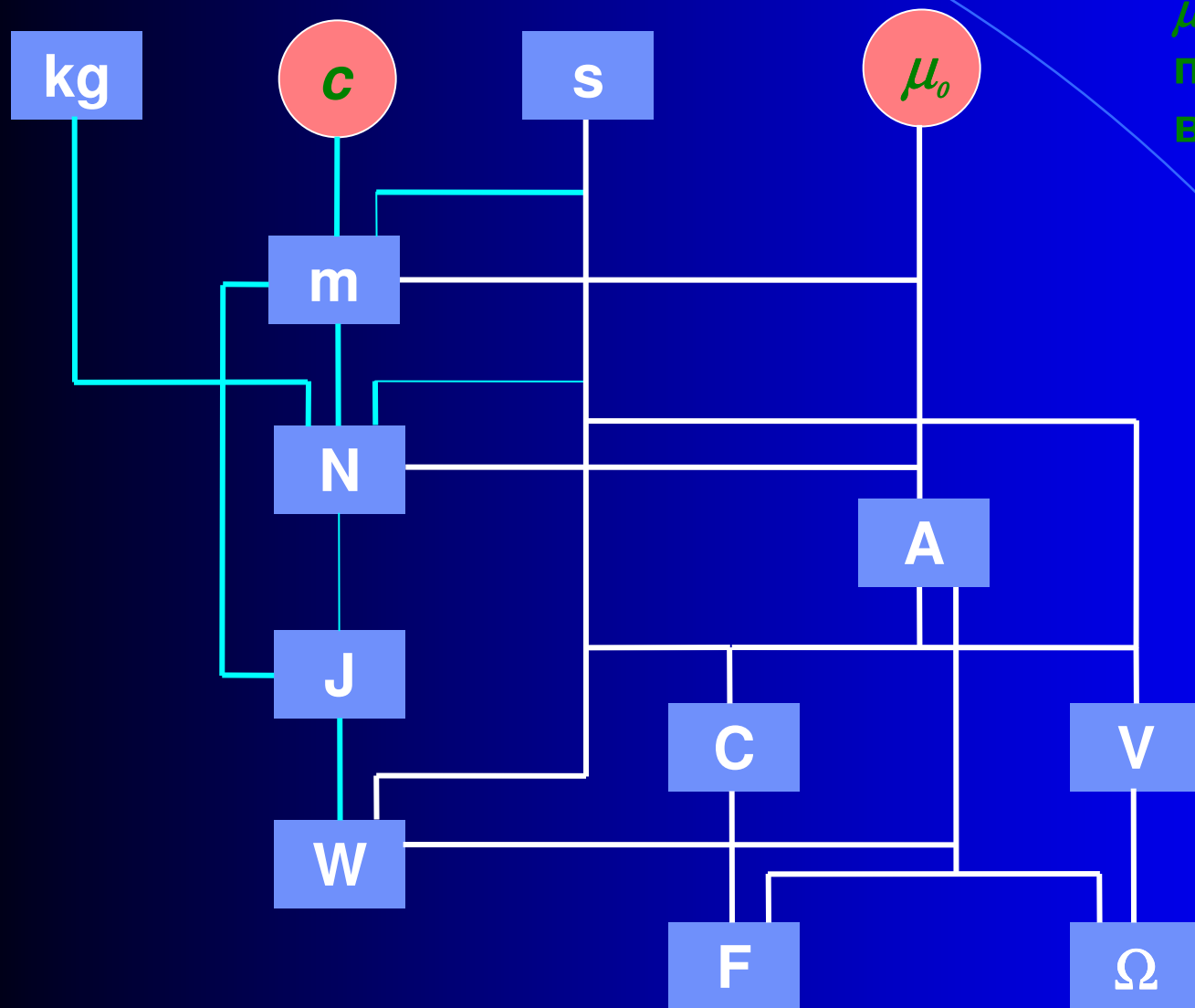
$W$  - ватт (мощность)



# Электрические единицы

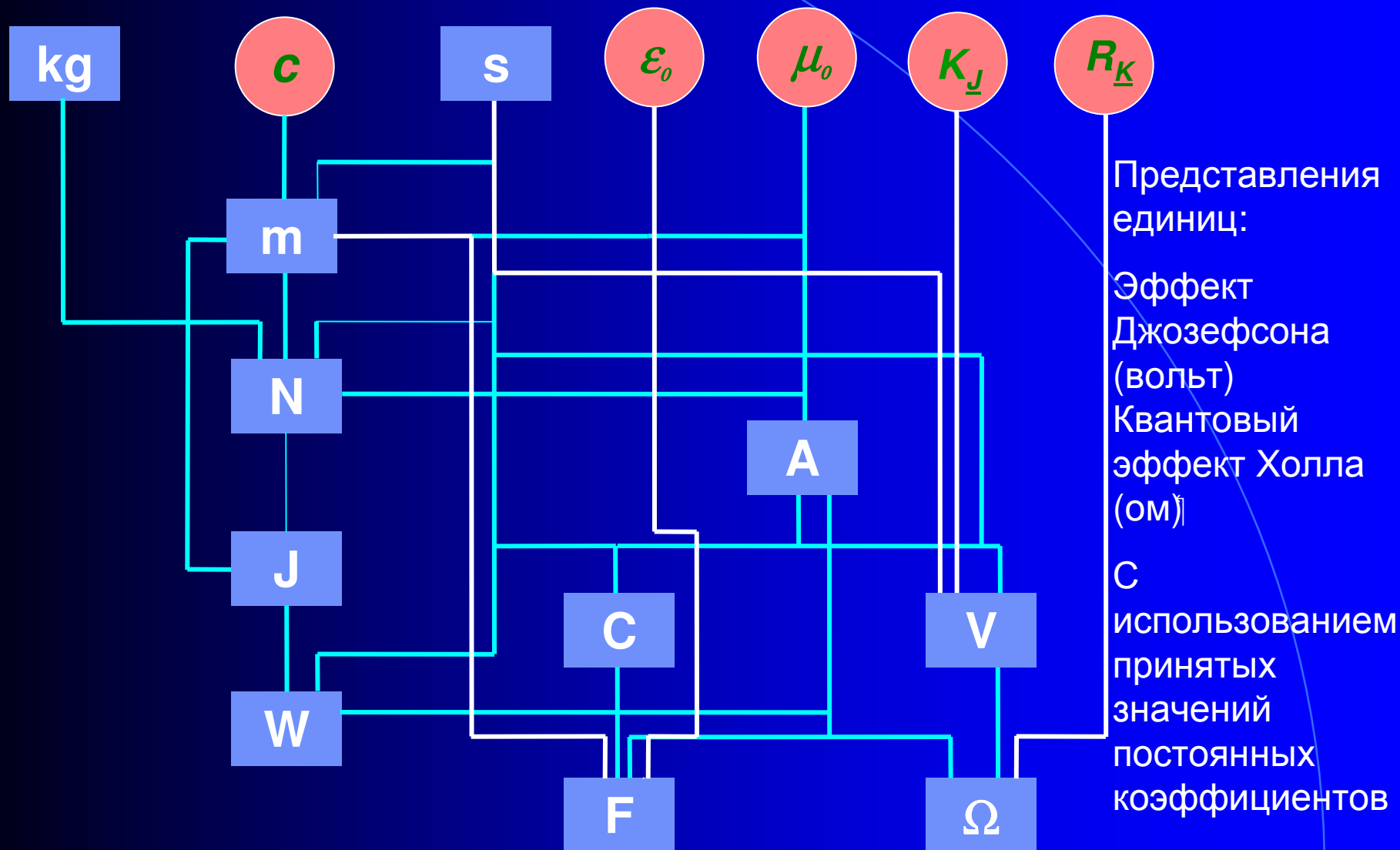
$\mu_0$  - магнитная  
проницаемость  
вакуума

$\mu_0$  считается точно  
равной  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/м





# Электрические единицы с 1990 года





# Реформа СИ

- Призвана сделать систему независимой от вещественных эталонов, логичной и последовательной.
- SI будет основана только на фундаментальных физических постоянных, размеры которых есть и всегда будут результатом наиболее точных измерений.
- Будут признаны соотношения между физическими постоянными, доказанные современной физикой.
- Предполагаемые изменения имеют преимущества, но с ними связаны и некоторые проблемы





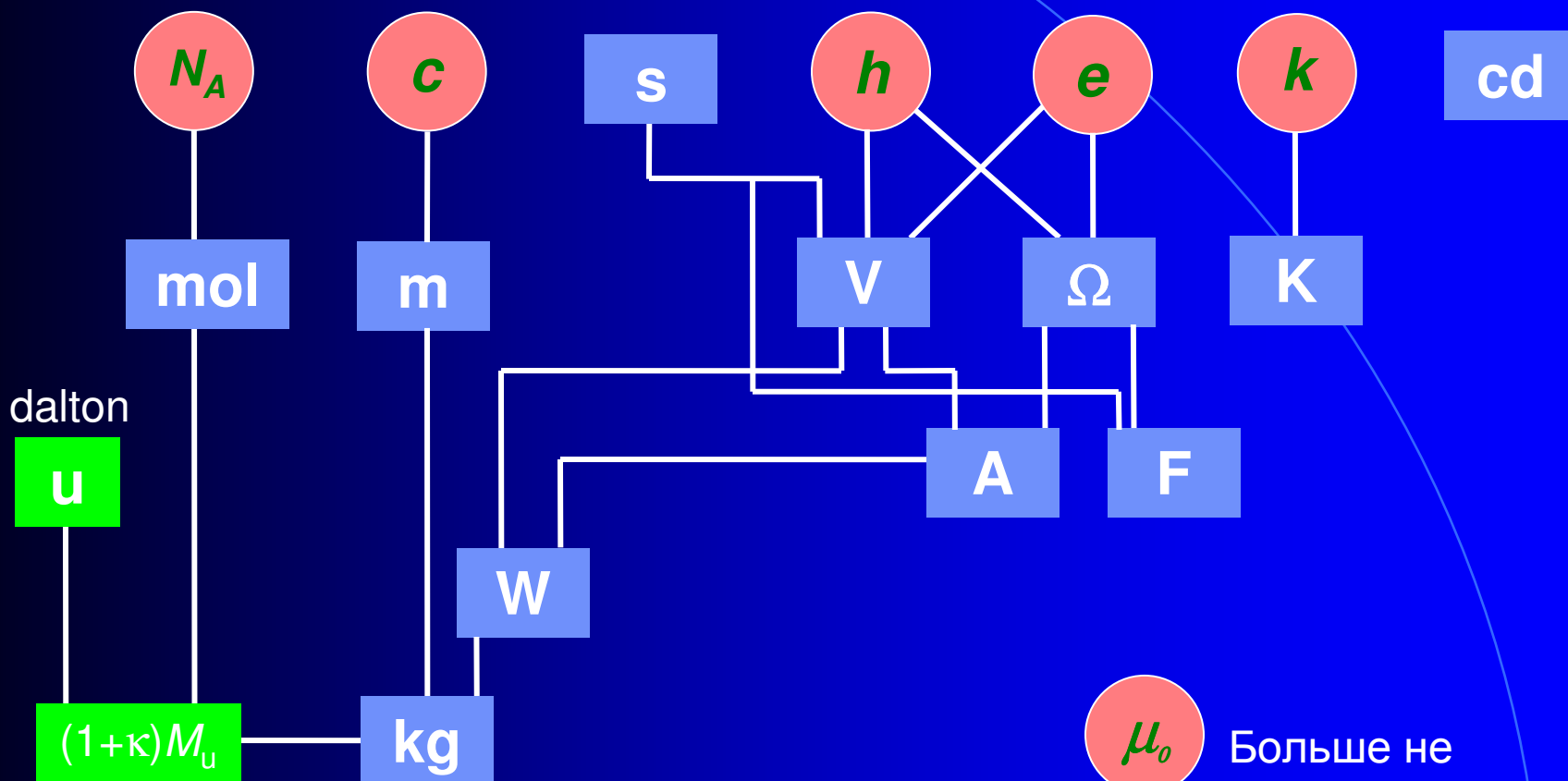
## Предлагаемые изменения

- Значения следующих постоянных фиксируются, как точные (без неопределенности)
  - Скорость света,  $c$  (уже сделано)
  - Постоянная Планка,  $h$
  - Элементарный заряд,  $e$
  - Постоянная Больцмана,  $k$
  - Постоянная Авогадро,  $N_A$

Шесть из семи основных единиц SI переопределяются следующим образом:



# Предлагаемая структура СИ



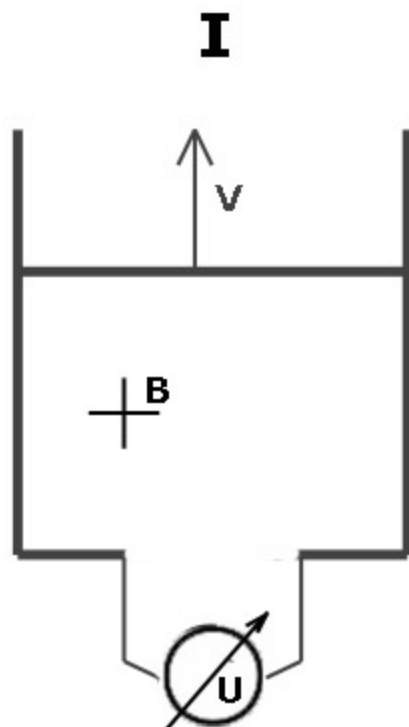
$1u = (1+\kappa)M_u/N_A$  *новое соотношение*

$\mu_0$  Больше не являются точно определенными

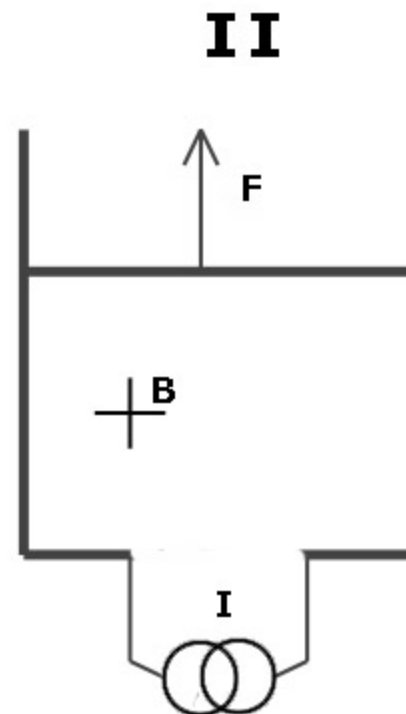
$\epsilon_0$  Больше не являются точно определенными

# “Электрический килограмм”

(с использованием ватт-весов)



$$U = d\Phi/dz \cdot dz/dt = d\Phi/dz \cdot V$$



$$F = d\Phi/dz \cdot I$$

$$FV = IU$$



# “Электрический килограмм”

Воспроизведение массы по постоянной Планка с помощью ватт-весов, эффекта Джозефсона и квантового эффекта Холла.

Заменив в формулах  $R_H = R_K / N$  и  $U = nf / K_J$  постоянные  $R_K$  и  $K_J$  их выражениями  $h/e^2$  и  $e/2h$  соответственно, получаем:

1. Из ватт-весов:

$$Vmg = I * U \text{ (скорость измеряется независимо)} \Rightarrow m = (I * U) / Vg$$

2. Из эффекта Джозефсона:  $\alpha = U / (hf/2e)$

3. Из квантового эффекта Холла:  $\beta = (U_2/I) / (h/e^2)$

$$m = (2\alpha\alpha_2\beta f^2 / Vg) * h$$



## Преимущества

- Размеры единиц будут значительно стабильнее, чем в случае вещественных эталонов
- Неопределенность значений многих других фундаментальных постоянных будет существенно снижена
- Неопределенность размеров многих единиц, в основном, электрических, снизится, а согласованность улучшится
- Современные представления практических вольт и ома станут легальными единицами SI. Исчезнет двойственность в определениях электрических единиц.
- Лучшее использование уникальной линейности, присущей устройствам на эффекте Джозефсона, криогенном компараторе тока и т.п.
- Новая система должна хорошо работать и в будущем, если существенно не изменится существующая сейчас физическая картина мира.
- При ее введении не требуется существенных изменений практических средств измерений, в том числе существующих эталонов



## Недостатки

---

- Масса нынешнего прототипа килограмма приобретет неопределенность около 0,2 ppm
- Тройная точка воды приобретет неопределенность ( $\sim 0.25$  mK)
- Один моль  $^{12}\text{C}$  не будет точно равен 12 g
- $\mu_0$  и  $\epsilon_0$  более не будут точными числами и приобретут неопределенность ( $< 10^{-8}$ )
- Новые определения единиц могут тяжело восприниматься большинством населения
- Многие учебники, книги и статьи станут не совсем корректными
- Чтобы объяснить суть изменений обществу, потребуются большие усилия



## Неудобства

- Формулировки определений некоторых единиц будут содержать слишком большие или малые коэффициенты -
  - kg в терминах частоты -  $10^{41}$  Hz
  - кельвин через  $kT = \sim 10^{-23}$  джоуля
  - ампер =  $1/(1.602\ 156\ 53 \times 10^{-19}) e / s$   
(e – элементарный заряд)
- Теоретическое определение килограмма не соответствует его практической реализации
- Сложность понимания определений большинством населения



# Возможные определения килограмма

(kg-1a) Килограмм – это масса тела, энергитический эквивалент которой равен энергии набора фотонов с суммарной частотой  $[(299\ 792\ 458)^2/662\ 606\ 93] \times 10^{41}$  герц.

(kg-1b) Килограмм – это масса тела, для которого частота де Бройля - Комптона точно равна  $[(299\ 792\ 458)^2/(6.626\ 069\ 3 \times 10^{-34})]$  Гц.

(kg-2) Единица массы килограмм такова, что постоянная Планка точно равна  $6.626\ 069\ 3 \times 10^{-34}$  джоулей на секунду.





## Возможные определения кельвина

(К-1) Кельвин равен изменению термодинамической температуры, в результате которого термическая энергия  $kT$  изменяется точно на  $1.380\,650\,5 \times 10^{-23}$  джоуля.

(К-2) Размер единицы термодинамической температуры кельвина выбирается таким, чтобы постоянная Больцмана была равна точно  $1.380\,650\,5 \times 10^{-23}$  джоулей на кельвин.