МАШИННЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ СТРУКТУР
(Вычислительные системы)
1986 год Выпуск 118

УДК 517.948

ТЕОРИЯ РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. II

Ю.И.Кулаков

В первой части [1] был поставлен вопрос: диктуется ли выбор числа основных физических единиц только соображениями удобства или это число определяется самой природой физического мира - всей совокупностью известных физических законов?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо прежде всего понять, что такое физическая величина, что такое физический закон и как возникают новые физические понятия и величины при переходе в новую область физических явлений.

1. Физические величины. Физика, в отличие, например, от математики, постоянно имеет дело с именованными величинами: с временем t, расстоянием l, скоростью v, ускорением a, с массой m, силой $\mathcal{F}$, энергией E, температурой T, энтропией S, с магнитной индукцией B, электрическим сопротивлением R, емкостью C, индуктивностью L и т.д. и т.п. Объектом изучения физики являются различные множества реальных физических объектов, имеющих, разумеется, нечисловую природу.

Такими множествами являются, например:

- множество тел, размеры которых малы по сравнению с их взаимными расстояниями (множество "точек");
- множество событий, происходящих в одной точке;
- множество событий, происходящих в разных точках;
- множество равномерных и равноускоренных движений;
- множество материальных тел произвольной природы;
- множество физических полей, сообщающих телам ускорение (акселераторов);
- множество термодинамических состояний одной и той же термодинамической системы;

- множество проводников;
- множество источников поля и т.д. и т.п.

В соответствии с теорией физических структур [2] самая общая задача, стоящая перед физикой, состоит в установлении и описании отношений между различными физическими объектами, принадлежащими к одному или двум различным множествам. При этом особую роль играет физический эксперимент, позволяющий поставить в соответствие каждой паре физических объектов вещественное число, т.е. реализовать числовую функцию двух нечисловых переменных - физических объектов взятых либо из двух различных множеств $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{N}$, либо из одного $\mathfrak{M}$, т.е. а: $\mathfrak{M} \times \mathfrak{N} \to \mathbb{R}$ или соответственно а: $\mathfrak{M} \times \mathfrak{N} \to \mathbb{R}$.

Так, например, такими экспериментально измеряемыми числовыми функциями являются:

- промежуток времени $T_{\alpha\beta}$ между двумя событиями $\alpha, \beta \in \mathfrak{M}$,
- расстояние l_{ik} между двумя точками $i, k \in \mathfrak{M}$;
- ускорение $a_{i\alpha}$ тела $i \in \mathfrak{M}$ под действием акселератора $\alpha \in \mathfrak{N}$;
- электрический ток $\mathcal{J}_{i\alpha}$ через проводник $i \in \mathfrak{M}$ под действием источника электрического тока $\alpha \in \mathfrak{N}$;
- сила $\mathcal{F}_{i\alpha}$, действующая на заряженное тело $i \in \mathfrak{M}$ в электрическом поле $\alpha \in \mathfrak{N}$;
- масса $m_{i\alpha}$ вещества определенного химического состава i, вызывающая некоторый измеряемый физический эффект и т.д. и т.п.

Итак, заметим, что в согласии с теорией физических структур, исходными (первоначальными) понятиями являются некоторые физические величины, описывающие отношения между двумя объектами и представляющие собой с точки зрения математики числовую функцию двух нечисловых переменных - двух физических объектов $(i, \alpha) \in \mathfrak{M} \times \mathfrak{N}$ (или $(i, k) \in \mathfrak{M} \times \mathfrak{M}$). Такие двухиндексные величины назовем первичными физическими величинами.

Следующей задачей, которой приходится постоянно заниматься в теории физических структур, является "расщепление" информации об отношении между объектами i и α (или i и k), заключенной в первичной физической величине $a_{i\alpha}$, на информацию о "свойствах" объекта i и "свойствах" объекта α, т.е.

Отношение между i и α — $a_{i\alpha} \to b_i$ свойства объекта

$a_{i\alpha} \to c_\alpha$ свойства объекта

первичная физическая величина — вторичная физическая величина

Возникающие при таком расщеплении вторичные физические величины, которые описывают свойства самих физических объектов, с точки зрения математики представляют собой числовые функции одной нечисловой переменной.

Так, например, вторичными физическими величинами являются: декартовы координаты точки x_i, y_i, z_i, скорость v_α, ускорение a_α, масса m_i, сила $\mathcal{F}_\alpha$, сопротивление проводника R_i, электродвижущая сила ε_α и внутреннее сопротивление ρ_α источника тока, электрический заряд q_i, напряженность электрического поля E_α, магнитная индукция B_α, количество вещества N_α, атомный вес A_i и т.д. и т.п.

Заметим, что одна и та же физическая величина может выступать в одних случаях как первичная, а в других - как вторичная[x].

В качестве физического примера рассмотрим, с одной стороны, ускорение тела i под действием акселератора α. В этом случае ускорение $a_{i\alpha}$ является первичной физической величиной.

С другой стороны, рассмотрим множество равноускоренных движений $\mathcal{U} = \{u, v, \ldots\}$. Пусть измеряемыми величинами будут t_i, t_k, t_m, ... - времена произвольных событий $i, k, m, \ldots$ и x_{ui}, x_{uk}, x_{um}, ... - координаты точки, находящейся в состоянии равноускоренного движения u в момент событий $i, k, m, \ldots$

Тогда имеем:

$$x_{ui} = x_{0u} + v_{0u} t_i + a_u \frac{t_i^2}{2},$$

$$x_{uk} = x_{0u} + v_{0u} t_k + a_u \frac{t_k^2}{2},$$

$$x_{um} = x_{0u} + v_{0u} t_m + a_u \frac{t_m^2}{2}.$$

Отсюда получаем:

---

x) Это может быть тогда, когда $a(u)$ - числовая функция одной нечисловой переменной, где $u = u(i, \alpha)$, в свою очередь, является нечисловой функцией двух нечисловых переменных, т.е. $a(u) = a(u(i, \alpha)) = \tilde{a}(i, \alpha)$.

$$a_u = 2\cdot\frac{\begin{vmatrix} 1 & t_i & x_{ui} \\ 1 & t_k & x_{uk} \\ 1 & t_m & x_{um} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & t_i & t_i^2 \\ 1 & t_k & t_k^2 \\ 1 & t_m & t_m^2 \end{vmatrix}}$$

как вторичную физическую величину, характеризующую состояние равноускоренного движения u .

Упомянутое расщепление может быть осуществлено лишь при наличии определенного типа скрытой симметрии между физическими объектами,приводящей к существованию того или иного фундаментального физического закона.

2. Фундаментальный физический закон. Поясним,что такое фундаментальный физический закон.

Существуют две формы, в которых может быть выражен фундаментальный физический закон, - каноническая и феноменологически инвариантная.

Фундаментальные физические законы в канонической форме хорошо известны. Это

I) второй закон механики Ньютона

$$m_i a_{i\alpha} = \mathcal{F}_\alpha \quad ; \tag{1}$$

2) закон Ома для всей цепи

$$\mathcal{J}_{i\alpha} = \frac{\varepsilon_\alpha}{R_i + \rho_\alpha} \quad ; \tag{2}$$

3) теорема Пифагора

$$l_{ik}^2 = (x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 + (z_i - z_k)^2 \quad ; \tag{3}$$

4) основной закон электростатики

$$\mathcal{F}_{i\alpha}^{(Э)} = q_i E_\alpha \ ; \tag{4}$$

5) закон Ампера в электродинамике

$$\mathcal{F}_{i\alpha}^{(M)} = I_i l_i B_\alpha \; ; \tag{5}$$

6) основной закон термодинамики $dU = TdS - pdV$, который может быть переписан в конечной форме:

$$A_{ik}^{ST} = T_k(S_i - S_k) + U_k - U_i , \tag{6}$$

где $A_{ik}^{ST} = -\int_i^k pdV = -\int_i^{i^*} p_{S=S_i} dV = -\int_{i^*}^k p_{T=T_k} dV$ – работа, совершаемая над термодинамической системой при переходе из состояния i в состояние i^* по адиабате и из состояния i^* в k по изотерме и т.д.

Однако все эти хорошо известные законы могут быть переписаны в другой – феноменологически инвариантной форме. Эту форму назовем более первичной, так как она выражается через измеряемые на опыте первичные физические величины.

Фундаментальный физический закон в феноменологически инвариантной форме представляет собой универсальное соотношение между измеряемыми на опыте двухиндексными первичными физическими величинами $a_{i\alpha}$, относящимися к конечному числу r физических объектов из первого множества $\mathfrak{M}$ и к числу s физических объектов из второго множества $\mathfrak{N}$ [3].

Заметим, что пара целых натуральных чисел (r,s) , определяющая конкретный вид фундаментального физического закона, называется рангом физической структуры на множестве $\mathfrak{M}\times\mathfrak{N}$.

Так, например, второй закон механики (I) может быть переписан в виде:

$$\forall i,k \in \mathfrak{M} \qquad r = 2,$$

$$\forall \alpha,\beta \in \mathfrak{N} \qquad s = 2,$$

$$D_{ik,\alpha\beta}(a_{i\alpha},a_{i\beta},a_{k\alpha},a_{k\beta}) = \begin{vmatrix} a_{i\alpha} & a_{i\beta} \\ a_{k\alpha} & a_{k\beta} \end{vmatrix} = 0 , \tag{7}$$

где $a_{i\alpha}$ – одна из компонент трехмерного ускорения $a^\mu = \frac{dV^\mu}{dt} = \frac{d^2x^\mu}{dt^2}$ (μ = I,2,3) в случае нерелятивистской механики и одна из компонент 4-ускорения $a^s = \frac{du^s}{d\tau}$, где $u^s = \frac{dx^s}{d\tau}$ (s = 0,I,2,3), в случае релятивистской механики.

Закон Ома (2) переписывается в виде:

$$\forall i,k,m \in \mathfrak{M} \qquad r = 3,$$
$$\forall \alpha,\beta \in \mathfrak{N} \qquad s = 2,$$
$$D_{ikm,\alpha\beta}(I_{i\alpha}, I_{i\beta}, I_{k\alpha}, I_{k\beta}, I_{m\alpha}, I_{m\beta}) =$$
$$= \begin{vmatrix} 1 & I_{i\alpha} & I_{i\beta} \\ 1 & I_{k\alpha} & I_{k\beta} \\ 1 & I_{m\alpha} & I_{m\beta} \end{vmatrix} = 0, \qquad (8)$$

где $I_{i\alpha} = \dfrac{1}{\mathcal{J}_{i\alpha}}$, $\mathcal{J}_{i\alpha}$ – электрический ток через проводник i при подключении к нему источника тока α.

Закон электростатики (4) и закон Ампера (5) имеют тот же самый ранг (2,2), что и закон Ньютона (I) и записываются в виде,аналогичном (7):

$$\forall i,k \in \mathfrak{M} \qquad r = 2,$$
$$\forall \alpha,\beta \in \mathfrak{N} \qquad s = 2,$$
$$D_{ik,\alpha\beta}(\mathcal{F}_{i\alpha}, \mathcal{F}_{i\beta}, \mathcal{F}_{k\alpha}, \mathcal{F}_{k\beta}) = \begin{vmatrix} \mathcal{F}_{i\alpha} & \mathcal{F}_{i\beta} \\ \mathcal{F}_{k\alpha} & \mathcal{F}_{k\beta} \end{vmatrix} = 0, \qquad (9)$$

где $\mathcal{F}_{i\alpha}$ – одна из компонент 3–силы.

Фундаментальный закон трехмерной евклидовой геометрии записывается в следующем виде:

$$\forall i,k,m,n,p \in \mathfrak{M} \qquad r = 5,$$
$$\forall r,s,t,u,v \in \mathfrak{M} \qquad s = 5,$$
$$D^{1}_{ikmnp,rstuv}(l^2_{ir},\ldots) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & l^2_{ir} & l^2_{is} & l^2_{it} & l^2_{iu} & l^2_{iv} \\ 1 & l^2_{kr} & l^2_{ks} & l^2_{kt} & l^2_{ku} & l^2_{kv} \\ 1 & l^2_{mr} & l^2_{ms} & l^2_{mt} & l^2_{mu} & l^2_{mv} \\ 1 & l^2_{nr} & l^2_{ns} & l^2_{nt} & l^2_{nu} & l^2_{nv} \\ 1 & l^2_{pr} & l^2_{ps} & l^2_{pt} & l^2_{pu} & l^2_{pv} \end{vmatrix} = 0. \qquad (10)$$

Основной закон равновесной термодинамики в феноменологически инвариантной форме выглядит следующим образом:

$$\forall i,k,m \in \mathcal{M} \qquad r = 3,$$
$$\forall r,s,t \in \mathcal{M} \qquad s = 3,$$

$$D^1_{ikm,rst}(A_{ir},\dots) = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & A_{ir} & A_{is} & A_{it} \\ 1 & A_{kr} & A_{ks} & A_{kt} \\ 1 & A_{mr} & A_{ms} & A_{mt} \end{vmatrix} = 0 \qquad (11)$$

при дополнительном условии $\forall k \in \mathcal{M} \quad A_{kk} = 0$.

3. Общая схема возникновения физических величин. Рассмотрим теперь механизм образования тех или иных физических величин.

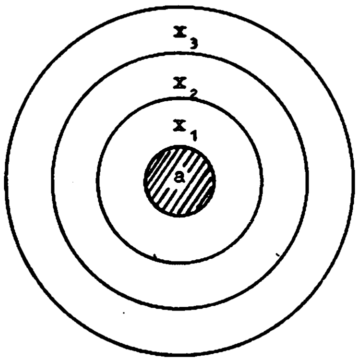

Рис.I

Можно представить себе простейшую схему (см. рис.I). Пусть a - исходные фундаментальные физические величины, x_1 - производные физические величины первого поколения, x_2 - производные физические величины второго поколения и т.д.

Тогда будем иметь следующие зависимости:

$$x_1 = f_1(a) = \mathcal{F}_1(a),$$
$$x_2 = f_2(a,x_1) = f_2(a, \mathcal{F}_1(a)) = \mathcal{F}_2(a),$$
$$x_3 = f_3(a,x_1,x_2) = f_3(a, \mathcal{F}_1(a), \mathcal{F}_2(a)) = \mathcal{F}_3(a),$$
$$\dots$$

Таким образом, согласно этой схеме все физические величины $x_1, x_2, x_3, \dots$ первого, второго и третьего и т.д. поколений в конечном счете могут быть получены простой композицией из конечного числа исходных физических величин a, которые "руками" вносятся в физику откуда-то извне.

Однако, как показывает опыт, физика в целом, сохраняя подобную иерархическую структуру, имеет несколько иное строение.

Схема образования физических величин становится более богатой, когда на определенном этапе, после того как простая компо -

зиция от a к $x_1, x_2, \ldots$ исчерпывает свои возможности, возникает новый механизм образования фундаментальных физических величин, вливающий "новое вино в старые меха" механизма композиции.

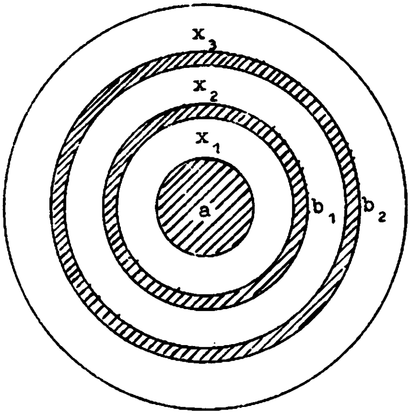

Рис. 2

В общем виде такая схема представлена на рис.2. Пусть a - исходные фундаментальные физические величины, возникающие из эмпирических "реликтовых" величин как некоторые феноменологические инварианты, x_1 - производные физические величины первого поколения, возникающие из a в результате простой композиции, b_1 - фундаментальные физические величины первого поколения, возникающие на базе x_1 как феноменологические инварианты, x_2 - производные физические величины второго поколения, возникающие из a, x_1, b_1 в результате простой композиции, b_2 - фундаментальные физические величины второго поколения, возникающие на базе x_2 как феноменологические инварианты, и т.д.

Тогда

$$x_1 = f_1(a) = \mathcal{F}_1(a),$$

$$x_2 = f_2(a, x_1, b_1) = f_2(a, \mathcal{F}_1(a), b_1) = \mathcal{F}_2(a, b_1),$$

$$x_3 = f_3(a, x_1, b_1, x_2, b_2) =$$

$$= f_3(a, \mathcal{F}_1(a), b_1, \mathcal{F}_2(a, b_1), b_2) = \mathcal{F}_3(a, b_1, b_2),$$

$$\ldots$$

Как показывает опыт, именно по этой схеме и строятся все физические величины.

4. Образование исходных фундаментальных физических величин - длины и времени. В качестве исходных фундаментальных физических величин a выступает пара - длина L и время T.

Сами эти величины, являясь исходными для всех остальных физических величин, в свою очередь, возникают на базе измеряемых на опыте (с помощью приборов μ и ρ, принадлежащих к достаточно широкому классу и имеющих, вообще говоря, нелинейные шкалы χ_μ и χ_ρ) "реликтовых" квазивремени $\tau_{\alpha\beta,\mu}$ и квазирасстояния $\lambda_{ik,\rho}$ [4] как феноменологические инварианты:

$$a_{T,\alpha\beta} \equiv T^2_{\alpha\beta} = \chi_\mu(\tau^2_{\alpha\beta,\mu}),$$

$$a_{L,ik} \equiv l^2_{ik} = \chi_\rho(\lambda^2_{ik,\rho}).$$

Заметим, что сам факт существования времени $T_{\alpha\beta}$ и расстояния l_{ik}, инвариантных относительно выбора измерительных приборов (часов и линейки), основан на существовании двух независимых физических структур: физической структуры ранга (3,3) на множестве событий $\mathfrak{N} = \{\alpha,\beta,\ldots\}$:

$$\forall \alpha,\beta,\gamma;\delta,\varepsilon,\rho \in \mathfrak{N}$$

$$D^1_{\alpha\beta\gamma,\delta\varepsilon\rho}(a_{T,\alpha\beta},\ldots, a_{T,\gamma\rho}) = 0$$

и физической структуры ранга (5,5) на множестве точек $\mathfrak{M} = \{i,k,\ldots\}$:

$$\forall i,k,m,n,p \in \mathfrak{M} \qquad r = 5,$$

$$\forall r,s,t,u,v \in \mathfrak{M} \qquad s = 5,$$

$$D^1_{ikmnp,rstuv}(a_{L,ir}, a_{L,is},\ldots, a_{L,pv}) = 0 .$$

Производными физическими величинами первого поколения x_1 являются все физические величины, фигурирующие в евклидовой геометрии (декартовы координаты, площадь, объем, угол и т.п.), в теории относительности (интервал, скорость света c), в кинематике (3-скорость и ускорение, собственное время, 4-скорость и ускорение), в теории рассеяния (объемная плотность частиц, поток частиц, плотность потока частиц).

5. <u>Возникновение фундаментальной физической величины первого поколения - массы.</u> Следующий шаг в образовании новых физических величин связан с новым весьма важным понятием - массой, фундаментальной физической величиной первого поколения, которая возникает как феноменологический инвариант на базе ускорения.

Отметим, что масса возникает в физике не в виде определенного соотношения, содержащего в конечном итоге путь и время, как это имеет место для x_1 – производных физических величин первого поколения (скорости, ускорения, площади, объема и т.п.), а как один из двух феноменологических инвариантов физической структуры (2,2) на множестве тел $\mathfrak{M}$ и множестве $\mathfrak{N}$ акселераторов, когда в качестве исходной функции $a: \mathfrak{M}\times\mathfrak{N}\to\mathbb{R}$ берется ускорение $a_{i\alpha}$ тела i под действием акселератора α.

Поскольку механизм возникновения массы как фундаментальной физической величины первого поколения остается тем же самым и для возникновения фундаментальных физических величин второго поколения (электрического заряда, температуры, количества вещества), рассмотрим его несколько подробнее.

Итак, имеем два множества: множество тел $\mathfrak{M}=\{i,k,\dots\}$ и множество акселераторов (ускорителей) $\mathfrak{N}=\{\alpha,\beta,\dots\}$.

В качестве исходного принципа принимается факт существования на множестве $\mathfrak{M}\times\mathfrak{N}$ физической структуры ранга (2,2), где роль "расстояния" $a: \mathfrak{M}\times\mathfrak{N}\to\mathbb{R}$ играет ускорение (трехмерное $\frac{dv^\lambda}{dt}$ для нерелятивистской и четырехмерное $\frac{du^s}{d\tau}$ для релятивистской механики).

Доказывается [5], что между ускорениями $a_{i\alpha}, a_{i\beta}, a_{k\alpha}, a_{k\beta}$ должна иметь место следующая связь:

$$\forall i,k \in \mathfrak{M} \quad r = 2,$$
$$\forall \alpha,\beta \in \mathfrak{N} \quad s = 2,$$
$$D^1_{ik,\alpha\beta}(a_{i\alpha}, a_{i\beta}, a_{k\alpha}, a_{k\beta}) = \begin{vmatrix} a_{i\alpha} & a_{i\beta} \\ a_{k\alpha} & a_{k\beta} \end{vmatrix} = 0. \qquad (12)$$

Из (12) следует существование двух феноменологических инвариантов: одного, зависящего только от акселераторов α и β (не зависящего от тел i и k):

$$\varphi_{\alpha\beta} = \frac{a_{i\alpha}}{a_{i\beta}} = \frac{a_{i'\alpha}}{a_{i'\beta}} = \frac{a_{M\alpha}}{a_{M\beta}}, \qquad (13)$$

где $i, i', M \in \mathfrak{M}$, M – "эталонное тело", i' – "пробное тело", и другого, зависящего только от тел i и k (не зависящего от акселераторов α и β):

$$\psi_{ik} = \frac{a_{i\alpha}}{a_{k\alpha}} = \frac{a_{i\alpha'}}{a_{k\alpha'}} = \frac{a_{iF}}{a_{kF}}, \qquad (14)$$

где $\alpha, \alpha', F \in \mathcal{N}$, F – "эталонный акселератор", α' – "пробный акселератор".

Возьмем в (13) в качестве β эталонный акселератор F и в (14) в качестве k эталонное тело M, тогда:

$$\varphi_{\alpha F} = \frac{a_{i'\alpha}}{a_{i'F}} \tag{15}$$

и

$$\psi_{iM} = \frac{a_{i\alpha'}}{a_{M\alpha'}} . \tag{16}$$

Прежде всего уточним, что мы понимаем под ускорением $a_{i\alpha}$. Дело в том, что под символом $a_{i\alpha}$ скрываются, вообще говоря, две различные физические величины: эмпирическое ускорение

$$a_{i\alpha} \equiv \tilde{a}(i, \alpha; \omega)$$

– показание акселерометра (прибора для измерения ускорения) с произвольной линейной шкалой ω, при ускорении тела i под действием акселерометра α, и "безразмерное" ускорение

$$a_{i\alpha} \equiv a(i, \alpha; A) = \frac{\tilde{a}(i, \alpha; \omega)}{\tilde{a}(A; \omega)} ,$$

где A – "эталонное ускорение" (как правило, определяемое через эталон длины L и эталон времени T).

Таким образом, феноменологические инварианты $\varphi_{\alpha F}$ и ψ_{iM} можно переписать в виде:

$$\varphi_{\alpha F} = \frac{a(i', \alpha; A)}{a(i', F; A)} = \frac{\tilde{a}(i', \alpha; \omega)}{\tilde{a}(i', F; \omega)} ,$$

$$\psi_{iM} = \frac{a(i, \alpha'; A)}{a(M, \alpha'; A)} = \frac{\tilde{a}(i, \alpha'; \omega)}{\tilde{a}(M, \alpha'; \omega)} .$$

Определим "безразмерную" силу соотношением

$$\mathcal{F}(\alpha, F) = \varphi_{\alpha F} = \frac{a(i', \alpha; A)}{a(i', F; A)} = \frac{\tilde{a}(i', \alpha; \omega)}{\tilde{a}(i', F; \omega)} , \tag{17}$$

а "безразмерную" массу соотношением

$$m(i, M) = \frac{1}{\psi_{iM}} = \frac{a(M, \alpha'; A)}{a(i, \alpha'; A)} = \frac{\tilde{a}(M, \alpha'; \omega)}{\tilde{a}(i, \alpha'; \omega)} . \tag{18}$$

"Эмпирическую" силу и массу зададим по определению как

$$\tilde{\mathcal{F}}(\alpha; i', \omega) = \tilde{a}(i', \alpha; \omega) , \tag{19}$$

$$\widetilde{m}(i;\alpha', \omega) = \frac{1}{\widetilde{a}(i,\alpha';\omega)} . \tag{20}$$

Так как [I]

$$\widetilde{\mathcal{F}}(\alpha;i', \omega) = \mathcal{F}(\alpha,F)\widetilde{\mathcal{F}}(F;i', \omega) = \mathcal{F}(\alpha,F)[F]_{i',\omega} ,$$

$$\widetilde{m}(i;\alpha', \omega) = m(i,M)\widetilde{m}(M;\alpha', \omega) = m(i,M)[M]_{\alpha',\omega} ,$$

то размерности силы и массы определяются следующим образом:

$$[F]_{i',\omega} = \widetilde{\mathcal{F}}(F;i', \omega) = \widetilde{a}(i',F;\omega) ,$$

$$[M]_{\alpha',\omega} = \widetilde{m}(M;\alpha', \omega) = \frac{1}{\widetilde{a}(M,\alpha';\omega)} .$$

Итак, второй закон механики Ньютона (I) можно переписать в канонической форме в двух вариантах: либо в форме, инвариантной относительно выбора "измерительных приборов" (пробного тела i', пробного акселератора α' и шкалы акселерометра ω):

$$\forall i, i' \in \mathfrak{M} \qquad \forall \alpha,\alpha' \in \mathfrak{N} \qquad \forall \omega \in \mathfrak{P}$$

$$\widetilde{m}(i;\alpha', \omega)\widetilde{a}(i,\alpha;\omega) = \frac{1}{\widetilde{a}(i',\alpha';\omega)}\widetilde{\mathcal{F}}(\alpha;i', \omega) , \tag{21}$$

либо в форме, инвариантной относительно выбора эталонов M,F,A:

$$\forall i,M \in \mathfrak{M} \qquad \forall \alpha,F \in \mathfrak{N} \qquad \forall A \in \mathfrak{A}$$

$$m(i,M)a(i,\alpha;A) = a(M,F;A)\mathcal{F}(\alpha,F) . \tag{22}$$

При этом связь между размерностями массы, силы и ускорения имеет вид:

$$\forall i',M \in \mathfrak{M} \qquad \forall \alpha',F \in \mathfrak{N} \qquad \forall \omega \in \mathfrak{P}$$

$$a(M,F;A)\widetilde{a}(i',\alpha';\omega)[M]_{\alpha',\omega}[A]_{\omega} = [F]_{i',\omega} . \tag{23}$$

Если выбрать эталонный акселератор F специальным образом $F=(M,A)$ так, чтобы

$$\forall M \in \mathfrak{M} \qquad \forall A \in \mathfrak{A}$$

$$a(M,F(M,A);A)=1$$

и проградуировать шкалу акселерометра $\omega(i',\alpha')$ в зависимости от выбора пробного тела i' и пробного акселератора α' так, чтобы

$$\tilde{a}(i',\alpha';\ \omega(i',\alpha')) = 1\ ,$$

то только в этом случае второй закон механики Ньютона примет свой привычный вид:

$$m(i;M)a(i,\alpha;A) = \mathcal{F}(\alpha;F(M,A))$$

или

$$\tilde{m}(i;\alpha',\omega(i',\alpha'))\tilde{a}(i,\alpha;\ \omega(i',\alpha')) = \tilde{\mathcal{F}}(\alpha;i',\omega(i',\alpha'))\ .$$

Уравнение размерности в этом случае имеет вид:

$$[M]_{\alpha',\omega(i',\alpha')}[A]_{\omega(i',\alpha')} = [F]_{i',\omega(i',\alpha')}\ .$$

Итак, мы определили эмпирическую силу $\tilde{\mathcal{F}}$ как физическую величину, равную эмпирическому ускорению $\tilde{a}$ (см. (I9)), а эмпирическую массу $\tilde{m}$ как величину, обратную эмпирическому ускорению (см. (20)), т.е. $\tilde{\mathcal{F}} = \tilde{a}$ и $\tilde{m} = \frac{1}{\tilde{a}}$.

На первый взгляд может показаться, что мы свели новые физические величины - силу и массу - к известному ранее ускорению. Однако это не так! Все дело в тех нечисловых аргументах i и α, от которых зависит ускорение. Ускорения $\tilde{a}=\tilde{a}(i',\alpha;\omega)$ и $\tilde{a}=\tilde{a}(i,\alpha';\omega)$ здесь являются одной и той же известной из кинематики и измеряемой с помощью линейки и часов числовой функцией двух принципиально новых, по сравнению с кинематикой, нечисловых аргументов - материального тела i и акселератора α. Причем оба случая различаются своими аргументами - в одном случае i' - пробное тело, а α - измеряемый акселератор, а другом - i - измеряемое тело, а α' - пробный акселератор.

При этом мы лишь используем понятие ускорения, определенного и измеряемого на множестве событий и геометрических точек, для описания отношений между объектами новой физической природы - материальных тел и акселераторов.

Короче говоря, здесь главным действующим лицом является не ускорение, играющее роль измерительного прибора, не сама функция, а ее нечисловые аргументы - тела i и акселераторы α, и именно на них переносится весь центр тяжести проблемы построения новых физических понятий - массы и силы.

6. Возникновение фундаментальных физических величин второго поколения. После образования производных механических величин

(производных физических величин второго поколения - силы, импульса, энергии, момента импульса, давления, вязкости и т.д. и т.п.) путем простого перехода от a (длины и времени), x_1 (скорости и ускорения) и b_1 (массы) возникает необходимость в новых фундаментальных физических величинах b_2 для описания таких новых областей физики как электродинамика, термодинамика, физика вещества.

В отличие от одной фундаментальной физической величины первого поколения - массы, независимых фундаментальных величин второго поколения - три. Это - электрический заряд (или ток), энтропия (или температура) и количество вещества.

Все они возникают как феноменологические инварианты из факта существования трех независимых физических структур.

Здесь мы ограничимся рассмотрением лишь одной фундаментальной физической величины второго поколения - электрического заряда. Электрический заряд может быть введен в физику на базе производных физических величин второго поколения (на базе силы) совершенно аналогично тому, как это было сделано с массой.

Рассмотрим два множества: множество тел $\mathfrak{M} = \{i, k, \dots\}$, находящихся в различных зарядовых состояниях (множество зарядов), и множество электрических полей $\mathfrak{N} = \{\alpha, \beta, \dots\}$.

Будем исходить из факта существования на множестве $\mathfrak{M} \times \mathfrak{N}$ физической структуры ранга (2,2), где роль "расстояния" $a: \mathfrak{M} \times \mathfrak{N} \to \mathbb{R}$ играет сила $\mathcal{F}_{i\alpha}$, с которой электрическое поле действует на заряд i. Очевидно (см. [5]), что между четырьмя силами $\mathcal{F}_{i\alpha}$, $\mathcal{F}_{i\beta}$, $\mathcal{F}_{k\alpha}$, $\mathcal{F}_{k\beta}$ должно иметь место следующее соотношение:

$$\forall i, k \in \mathfrak{M} \qquad r = 2,$$

$$\forall \alpha, \beta \in \mathfrak{N} \qquad s = 2,$$

$$D^1_{ik,\alpha\beta}(\mathcal{F}_{i\alpha}, \mathcal{F}_{i\beta}, \mathcal{F}_{k\alpha}, \mathcal{F}_{k\beta}) = \begin{vmatrix} \mathcal{F}_{i\alpha} & \mathcal{F}_{i\beta} \\ \mathcal{F}_{k\alpha} & \mathcal{F}_{k\beta} \end{vmatrix} = 0. \qquad (24)$$

Из (24) следует существование двух феноменологических инвариантов:

$$\varphi_{\alpha\beta} = \frac{\mathcal{F}_{i'\alpha}}{\mathcal{F}_{i'\beta}} \quad \text{и} \quad \phi_{ik} = \frac{\mathcal{F}_{i\alpha'}}{\mathcal{F}_{k\alpha'}} .$$

Введем эталоны - эталонный заряд $Q \in \mathfrak{M}$ и эталонное поле $Э \in \mathfrak{N}$. Положим в $\varphi_{\alpha\beta}$ вместо β эталонное поле Э, а в ϕ_{ik} вместо k эталонный заряд Q. Тогда

$$\varphi_{\alpha Э} = \frac{\mathcal{F}_{i'\alpha}}{\mathcal{F}_{i'Э}} \qquad \text{и} \qquad \phi_{iQ} = \frac{\mathcal{F}_{i\alpha'}}{\mathcal{F}_{Q\alpha'}} ,$$

где i' – некоторый фиксированный пробный заряд, α' – некоторое фиксированное пробное электрическое поле.

Определим "безразмерную" напряженность электрического поля как

$$E_{\alpha Э} = \varphi_{\alpha Э} = \frac{\mathcal{F}_{i'\alpha}}{\mathcal{F}_{i'Э}} = \frac{\tilde{\mathcal{F}}(i',\alpha;\varphi)}{\tilde{\mathcal{F}}(i',Э;\varphi)}$$

и "безразмерный" электрический заряд как

$$q_{iQ} = \phi_{iQ} = \frac{\mathcal{F}_{i\alpha'}}{\mathcal{F}_{Q\alpha'}} = \frac{\tilde{\mathcal{F}}(i,\alpha';\varphi)}{\tilde{\mathcal{F}}(Q,\alpha';\varphi)},$$

где φ – динамометр (прибор для непосредственного измерения силы) с произвольной линейной шкалой φ.

Эмпирические напряженность электрического поля и электрический заряд определим как

$$\tilde{E}(\alpha;i',\varphi) = \tilde{\mathcal{F}}(i',\alpha;\varphi)$$

и

$$\tilde{q}(i;\alpha',\varphi) = \tilde{\mathcal{F}}(i,\alpha';\varphi) .$$

Заметим, что разные по своей природе физические величины – интенсивная напряженность электрического поля и экстенсивный электрический заряд определены одинаково как физические величины, равные соответствующим силам $\tilde{\mathcal{F}}(i',\alpha;\varphi)$ и $\tilde{\mathcal{F}}(i,\alpha';\varphi)$. Однако существенно – каким силам. Здесь наиболее ясно видно, какую важную роль играет в образовании новых фундаментальных физических понятий рассмотрение эмпирических данных как числовых функций от тех или иных нечисловых аргументов.

Так как

$$\tilde{E}(a;i',\varphi) = E(\alpha,Э)\tilde{E}(Э;i',\varphi) = E(\alpha,Э)[Э]_{i',\varphi}$$

и

$$\tilde{q}(i;\alpha',\varphi) = q(i,Q)\tilde{q}(Q;\alpha',\varphi) = q(i,Q)[Q]_{\alpha',\varphi} ,$$

то размерности напряженности электрического поля и заряда определяются следующим образом:

$$[Э]_{i',\varphi} = \tilde{E}(Э;i',\varphi) = \tilde{\mathcal{F}}(i',Э;\varphi)\,,$$

$$[Q]_{\alpha',\varphi} = \tilde{q}(Q;\alpha',\varphi) = \tilde{\mathcal{F}}(Q,\alpha';\varphi)\quad.$$

Итак, основной закон электростатики (24) можно переписать в канонической форме в двух вариантах: либо в форме, инвариантной относительно выбора "измерительных приборов" (пробного электрического поля α', пробного заряда i' и шкалы динамометра φ):

$$\forall i,i' \in \mathfrak{M} \qquad \forall \alpha,\alpha' \in \mathfrak{N} \qquad \forall \varphi \in \mathfrak{P}$$

$$\tilde{\mathcal{F}}(i,\alpha;\varphi) = \frac{1}{\tilde{\mathcal{F}}(i',\alpha';\varphi)}\,\tilde{q}(i;\alpha',\varphi)\tilde{E}(\alpha;i',\varphi)\ ,$$

либо в форме, инвариантной относительно выбора эталонов:

$$\forall i,Q \in \mathfrak{M} \qquad \forall \alpha,Э \in \mathfrak{N} \qquad \forall F \in \mathfrak{A}$$

$$\mathcal{F}(i,\alpha;F) = \mathcal{F}(Q,Э;F)q(i,Q)E(\alpha,Э)\ .$$

При этом связь между размерностями напряженности электриче - ского поля, заряда и силы имеет вид:

$$\forall i',Q \in \mathfrak{M} \qquad \forall \alpha',Э \in \mathfrak{N} \qquad \forall \varphi \in \mathfrak{P}$$

$$[F]_{\varphi} = \frac{1}{\mathcal{F}(Q,Э;F)\tilde{\mathcal{F}}(i',\alpha';\varphi)}\,[Q]_{\alpha',\varphi}\,[Э]_{i',\varphi}\ .$$

Если выбрать эталонное поле $Э = Э(Q,F)$ так, чтобы

$$\forall Q \in \mathfrak{M} \qquad \forall F \in \mathfrak{A}$$

$$\mathcal{F}(Q,Э(Q,F);F) = 1\ ,$$

и проградуировать шкалу динамометра $\varphi(i',\alpha')$ в зависимости от i' и α' так, чтобы $\tilde{\mathcal{F}}(i',\alpha';\varphi(i',\alpha')) = 1$, то только в этом случае основной закон электростатики приобретает свой привычный вид:

$$\mathcal{F}(i,\alpha;F) = q(i,Q)E(\alpha,Э(Q,F))$$

или

$$\tilde{\mathcal{F}}(i,\alpha;\varphi(i',\alpha')) = \tilde{q}(i;\alpha',\varphi(i',\alpha'))\tilde{E}(\alpha;i',\varphi(i',\alpha'))\ .$$

Уравнение размерности в этом случае имеет вид:

$$[F]_{\varphi(i',\alpha')} = [Q]_{\alpha',\varphi(i',\alpha')}[Э]_{i',\varphi(i',\alpha')}\ .$$

7. Конкретная схема возникновения физических величин. Итак, с позиций теории физических структур все физические величины, будучи тесно связанными между собой, образуют некоторую иерархическую систему, в которой можно выделить ряд слоев, отделяющих физические величины различных поколений (рис.3).

Прежде всего мы можем выделить множество событий - физических объектов с минимальными, но зато универсальными свойствами. (На интуитивном уровне можно сказать, что событие - это любое явление произвольной природы, локализуемое в пространстве и времени.)

На множестве событий, происходящих в одной точке пространства (точнее, на одной мировой линии), существует физическая структура ранга (3,3), порождающая исходную фундаментальную физическую величину - одномерное собственное время.

На множестве одновременных событий (точнее, на множестве параллельных мировых линий) существует другая, независимая от первой, физическая структура ранга (5,5), порождающая вторую исходную фундаментальную физическую величину - расстояние - в трехмерном евклидовом пространстве.

На множестве произвольных событий существует физическая структура ранга (6,6), "склеенная" из физических структур одномерного времени и трехмерного евклидова пространства, порождающая теорию относительности.

Заметим, что поскольку при этом не происходит выхода за пределы известного множества событий, постольку и не возникает новых фундаментальных физических величин.

Рассматривая множество упорядоченных событий, мы переходим к кинематике. Однако и в этом случае не возникает новых фундаментальных физических величин по той же самой причине. Заметим, что возникающие при этом производные физические величины появляются каждый раз поодиночке (например, сначала скорость через известные путь и время, затем ускорение через уже известные скорость и время).

Ситуация существенно меняется когда мы вступаем в новую область физики. В п.5 было показано, что на базе кинематики - на базе ускорения

$$a_{i\alpha} = \frac{\mathcal{F}_\alpha}{m_i}$$

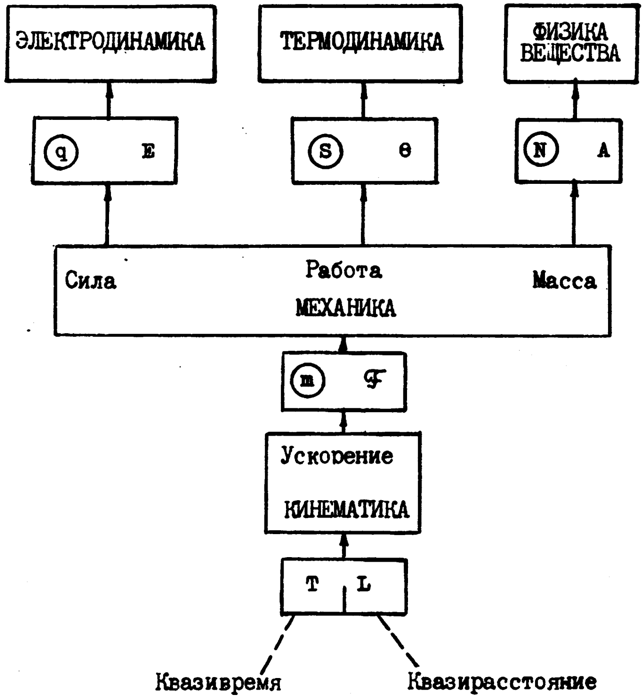

Рис.3. Иерархическая система физических величин различных поколений.

одновременно возникают две новые физические величины - экстенсивная масса m (на рис.3 обведенная кружком) и интенсивная сила $\mathcal{F}$, описывающие новые физические объекты - соответственно материальные тела и акселераторы. Приняв массу в качестве новой фундаментальной физической величины - фундаментальной физической величины первого поколения, мы уже безо всякого труда, естественным путем сможем построить все понятия и производные физические величины механики, гидродинамики, теории упругости и теории тяготения.

Но когда мы вновь пересекаем незримую границу, отделяющую механику от электродинамики, термодинамики, физики вещества, тогда естественный и простой путь последовательного образования новых величин снова оказывается бессильным породить новые физические величины и возникает необходимость уже на базе механических понятий строить новые феноменологические инварианты.

Так, на базе физической величины силы

$$\mathcal{F}_{i\alpha} = q_i E_\alpha$$

возникают экстенсивный электрический заряд q (на рис.3 обведенный кружком) и интенсивная напряженность электрического поля E в электродинамике; на базе работы

$$A^{(S)}_{ik} = -(T_i - T_k)(S_i - S_k)$$

возникают экстенсивная энтропия S и интенсивная температура T (или θ) в термодинамике; на базе массы

$$m_{i\alpha} = N_i A_\alpha$$

возникает экстенсивное количество вещества N и интенсивный атомный вес A в физике вещества.

Существование физических величин различных поколений означает наличие определенной иерархии, на различных ступенях которой находятся различные достаточно автономные разделы общей физики.

Так, например, формулировка законов электродинамики невозможна без основного понятия механики - силы. Механика, в свою очередь, невозможна без понятия кинематики - ускорения. Чтобы построить кинематику необходимо использовать основное понятие хронометрии - время и основное понятие геометрии - расстояние.

Но чтобы построить термодинамику, нет необходимости опираться на понятия электродинамики, и наоборот. Это означает, что и электродинамика и термодинамика являются разделами общей физики, находящимися на одной ступеньке иерархической лестницы (см.рис.3).

Итак, можно утверждать, что в каждой области физических явлений существует какое-то минимальное число фундаментальных несводимых друг к другу физических величин. Так,в хронометрии достаточно взять одну фундаментальную физическую величину время T ; в геометрии - расстояние L ; в теории относительности и кинематике - T,L ; в механике, гидродинамике, теории упругости и теории тяготения - T,L,M (масса); в электродинамике - T,L,M,I (электрический ток); в термодинамике - T,L,M,θ (температура); в физике вещества - T,L,M,N (количество вещества). Принимая в каждом разделе общей физики определенный набор фундаментальных физических величин, выберем соответствующие эталоны, в результате чего получим определенную систему единиц.

Поскольку размерности фундаментальных и производных величин связаны между собой простыми алгебраическими соотношениями, мы можем построить новую систему единиц, эквивалентную исходной,сохранив неизменным лишь число основных единиц, но выбрав в качестве основных величины, бывшие ранее производными.

Так,в табл.I приведены размерности различных механических величин в различных системах единиц, эквивалентных исходной системе TLM.В качестве новых исходных величин A_G, B_h, C_c можно взять любые физические величины с размерностями

$$[A_G] = T^{-2}L^3M^{-1},$$

$$[B_h] = T^{-1}L^2M,$$

$$[C_c] = T^{-1}L$$

соответственно. В табл.2 приведены размерности различных электромеханических величин в нескольких различных системах единиц,эквивалентных исходной системе TLMI . При этом производные физические величины q,E,D,ε,B,H,μ связаны с электрическим током I , временем t , расстоянием l и длиной окружности L , площадью сферы S и силами $\mathcal{F}_e$, $\mathcal{F}_M$ следующими определяющими соотношениями:

$$\mathcal{F}_e = qE \qquad \mathcal{F}_M = \mathcal{J}lB$$

$$DS = q \qquad HL = \mathcal{J}$$

$$D = \varepsilon E \qquad B = \mu H$$

Т а б л и ц а I

Размерности механических величин в различных системах единиц

Физические величины	$T^{\alpha}L^{\beta}M^{\gamma}$			$T^{\alpha}L^{\beta}A_G^{\gamma}$			$T^{\alpha}L^{\beta}B_h^{\gamma}$			$T^{\alpha}A_G^{\beta}B_h^{\gamma}$			$T^{\alpha}A_G^{\beta}C_c^{\gamma}$		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
Время	I	0	I	I	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0
Расстояние	0	I	0	0	I	0	0	I	0	2/5	I/5	I/5	I	0	I
Скорость	-I	I	0	-I	I	0	-I	I	0	-3/5	I/5	I/5	0	0	I
Ускорение	-2	I	0	-2	I	0	-2	I	0	-8/5	I/5	I/5	-I	0	I
Масса	0	0	I	-2	3	-I	I	-2	I	I/5	-2/5	3/5	I	-I	3
Сила	-2	I	I	-4	4	-I	-I	-I	I	-7/5	-I/5	4/5	0	-I	4
Импульс	-I	I	I	-3	4	-I	0	-I	I	-2/5	-I/5	4/5	I	-I	4
Энергия	-2	2	I	-4	5	-I	-I	0	I	-I	0	I	I	-I	5
Давление	-2	-I	I	-4	2	-I	-I	-3	I	-II/5	-3/5	2/5	-2	-I	2
Мощность	-3	2	I	-5	5	-I	-2	0	I	-2	0	I	0	-I	5
Момент импульса	-I	2	I	-3	5	-I	0	0	I	0	0	I	2	-I	5

Физические величины	$T^{\alpha}C_c^{\beta}B_h^{\gamma}$			$L^{\alpha}C_c^{\beta}A_G^{\gamma}$			$L^{\alpha}C_c^{\beta}B_h^{\gamma}$			$L^{\alpha}A_G^{\beta}B_h^{\gamma}$			$C_c^{\alpha}B_h^{\beta}A_G^{\gamma}$		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
Время	I	0	0	I	-I	0	I	-I	0	5/3	-I/3	-I/3	-5/2	I/2	I/2
Расстояние	I	I	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	-3/2	I/2	I/2
Скорость	0	I	0	0	I	0	0	I	0	-2/3	I/3	I/3	I	0	0
Ускорение	-I	I	0	-I	2	0	-I	2	0	-7/3	2/3	2/3	7/2	-I/2	-I/2
Масса	-I	-2	I	I	2	-I	-I	-I	I	-I/3	-I/3	2/3	I/2	I/2	-I/2
Сила	-2	-I	I	0	4	-I	-2	I	I	-8/3	I/3	4/3	4	0	-I
Импульс	-I	-I	I	I	3	-I	-I	0	I	-I	0	I	3/2	I/2	-I/2
Энергия	-I	0	I	I	4	-I	-I	I	I	-5/3	I/3	4/3	5/2	I/2	-I/2
Давление	-3	-4	I	-2	4	-I	-4	I	I	-I4/3	I/3	4/3	7	-I	-2
Мощность	-2	0	I	0	5	-I	-2	2	I	-I0/3	2/3	5/3	5	0	-I
Момент импульса	0	0	I	2	3	-I	0	0	I	0	0	I	0	I	0

Т а б л и ц а 2

Размерности электромеханических величин в различных системах единиц

Физические величины	$T^{\alpha}L^{\beta}M^{\gamma}I^{\delta}$				$T^{\alpha}L^{\beta}M^{\gamma}\varepsilon^{\delta}$				$T^{\alpha}L^{\beta}M^{\gamma}\mu^{\gamma}$			
	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ
Время	I	0	0	0	I	0	0	0	I	0	0	0
Длина	0	0	0	0	0	I	0	0	0	I	0	0
Скорость	-I	I	0	0	-I	I	0	0	-I	I	0	0
Масса	0	0	I	0	0	0	I	0	0	0	I	0
Энергия	-2	2	I	0	-2	2	I	0	-2	2	I	0
Электрический заряд	I	0	0	I	-I	3/2	I/2	I/2	0	I/2	I/2	-I/2
Электрический ток	0	0	0	I	-2	3/2	I/2	-I/2	-I	I/2	I/2	-I/2
Напряженность электр. поля	-3	I	I	-I	-I	-I/2	I/2	-I/2	-2	I/2	I/2	I/2
Электрическая индукция	I	-2	0	I	-I	-I/2	I/2	I/2	0	-3/2	I/2	-I/2
Диэлектрич.проницаемость	4	-3	-I	2	0	0	0	I	2	-2	0	-I
Магнитная индукция	-2	0	I	-I	0	3/2	I/2	-I/2	-I	-I/2	I/2	I/2
Напряженность маг. поля	0	-I	0	I	-2	I/2	I/2	I/2	-I	-I/2	I/2	I/2
Магнитная проницаемость	-2	I	I	-2	2	-2	0	-I	0	0	0	I
Сопротивление	-3	2	I	-2	I	-I	0	-I	-I	I	0	I
Индуктивность	-2	2	I	-2	2	-I	0	-I	0	I	0	I
Емкость	4	-2	-I	2	0	I	0	I	2	-I	0	-I
Потенциал	-3	2	I	-I	-I	I/2	I/2	-I/2	-2	3/2	I/2	I/2

$$q = \partial t$$

$$\varepsilon\mu = \frac{1}{c^2}.$$

8. Резюме. Согласно теории физических структур, существуют два способа образования физических величин - простой (комбинационный) и расширенный (структурно-физический). При простом способе возникают производные физические величины. Они вводятся (точнее, определяются) как некоторые комбинации величин уже известных. При расширенном способе образования возникают фундаментальные физические величины. В отличие от производных величин они возникают в виде некоторых феноменологических инвариантов как следствие из существования физических структур того или иного ранга. Поскольку каждая физическая структура порождает два или более феноменологических инварианта, то образующиеся при этом фундаментальные физические величины с неизбежностью определяются с точностью до произвольного выбора соответствующих эталонов, порождающие соответствующие единицы.

Таким образом, при этом подходе становится понятным, что число основных физических единиц, равное числу фундаментальных физических величин, определяется числом независимых физических структур, имеющих место в той или иной области физических явлений.

В заключение автор приносит глубокую благодарность доктору технических наук Юрию Гавриловичу Косареву за его живой интерес к теме настоящей статьи, за постоянную редакторскую помощь и за многочисленные дискуссии, в большой степени способствовавшие уяснению и более глубокому пониманию излагаемых здесь вопросов.

Литература

1. КУЛАКОВ Ю.И. Теория размерности физических величин. I. -В кн.: Моделирование в пленочной электромеханике (Вычислительные системы, вып. 110). Новосибирск, 1983, с. 52-88.

2. КУЛАКОВ Ю.И. О теории физических структур. -В кн.: Записки семинаров ЛОМИ, т.127, 1983, с. 108-151.

3. КУЛАКОВ Ю.И. Элементы теории физических структур. - Новосибирск, 1968. - 225 с.

4. КУЛАКОВ Ю.И. Время как физическая структура. -В кн.: Развитие учения о времени в геологии. Киев, 1982, с.126-150.

5. КУЛАКОВ Ю.И. Математическая формулировка теории физических структур. -Сиб.мат.журн., 1971, т.12, № 5, с.1142.

Поступила в ред.-изд.отд.
12 ноября 1986 года