

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ТЕРМИНЕ “ИНТЕНСИВНОСТЬ” В МЕДИЦИНЕ И ФИЗИКЕ

Д.А. Рогаткин

Московский областной научно-исследовательский клинический институт
им. М.Ф. Владимирского, Москва

В статье, в качестве дискуссии и обсуждения ранее вышедшей в журнале публикации [1] по терминологии в медицинской физике, рассматривается применение термина *интенсивность* в медицине и физике. Показано, вопреки утверждению исходной публикации, что этот термин очень широко используется в разных разделах физики, от оптики и фотометрии, до электродинамики и радиофизики. Вместе с тем, показана и обсуждается также его неоднозначность и неидентичность использования в разных разделах медицинской физики, в том числе разная размерность рассматриваемых величин, что часто вносит путаницу и приводит к ошибкам в результатах. Для оптики и фотометрии, согласно рекомендациям международной системы СИ, под термином *интенсивность* следует однозначно понимать величину с размерностью $\text{Вт}\cdot\text{ср}^{-1}$. Это основная физическая величина системы СИ, характеризующая излучение, однако в русскоязычных публикациях она также носит название *силы излучения*, что может вводить в заблуждение.

Ключевые слова: терминология, интенсивность, яркость, плотность мощности, радиофизика, фотометрия, теория переноса, телесный угол, медицина

DOI: 10.52775/1810-200X-2022-95-3-106-113

Введение

В № 4 журнала за 2021 г. была опубликована статья Б.Я. Наркевич и соавт. “Анализ терминологических неточностей...” [1], посвященная обсуждению сложившегося терминологического базиса медицинской физики, в том числе в свете последних заимствований и повального употребления англоязычных терминов для описания новых методов и подходов в отрасли вместо российских аналогов. Всецело поддерживая стремление авторов к единству и однозначности терминологии в науке, как таковой, и в радиологии, в частности, хочется высказать ряд принципиальных замечаний и возражений по поводу определения в п.31 термина *интенсивность*. Заканчивается этот пункт у авторов фразой, что термин *интенсивность*

имеет очень узкую область применимости – “только в радиационной физике”. Это в корне неверно. И вот почему.

Обоснование и проблематика термина *интенсивность*

Безусловно, часто наши слова многозначны, более всего английские, универсальны и могут использоваться в самых разных смысловых оттенках и ситуациях, особенно в повседневной речи. Слово *интенсивность* – яркий тому пример. Медицинское использование термина *интенсивность* не очень строгое, как и многих других терминов в медицине. Оно часто выражает некую оценочную градацию степени выраженности или развития процесса, являе-

ния, заболевания. Например: интенсивность воспаления, интенсивность потоотделения и т.п. Автор, как технический специалист, не берется профессионально дать анализ терминологических особенностей степени выраженности симптомов, процессов в медицине с помощью термина *интенсивность*, однако очевидно, что это не какая-то конкретная числовая характеристика или физическая величина для этого процесса. Скорее – оценка. И она сродни определению уровня шума в акустике, который в логарифмической шкале определяется отношением имеющегося звукового давления P и уровня давления $P_0=2 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$ на пороге слухового восприятия, взятого за эталон сравнения [2]:

$$U = 20 \lg(P/P_0). \quad (1)$$

Уровень шума U по (1) измеряется в долях единиц логарифмического отношения физических величин – дБ. Мы говорим о сильном шуме (*интенсивном шуме*), очень сильном и т.д., не предполагая четкой числовой границы между этими градационными уровнями. Это в некотором смысле условное деление шума по уровню.

Такое же не строгое, но частое употребление слова *интенсивность* можно встретить и в ряде статей по оптике и медицинской физике, когда не используется строгое описание какой-либо конкретной физической величины. Например, автор этих строк сам использовал слово *интенсивность* в [3]. При описании спектра флуоресценции на рис. 3 в первоисточнике был использован сленг: “*интенсивность флуоресценции*”. При этом не предполагалось, что прибор зарегистрировал конкретно эту оптическую физическую величину – *интенсивность* излучения флуоресценции (см. далее). Фотоприемник не может зарегистрировать интенсивность, он чувствителен к мощности излучения (*потоку излучения*) на его фоточувствительной площадке, т.е. к количеству фотонов, вызывающих фотоэффект в единицу времени. Здесь же в первоисточнике по смыслу понималась лишь степень выраженности флуоресценции на графике, которую с учетом (1), не исключено, правильнее было бы характеризовать в дБ по отношению к какому-либо эталонному уровню, например, к уровню с эталонной меры (фантома) для нормальной ткани.

Но, безусловно, в науке должна и используется сегодня во всем мире и более строгая и однозначная терминология при описании фи-

зических величин с использованием термина *интенсивность*. Английское *intensity* (франц. *intensité*; нем. *intensität*; также часто используется *lichtstarke*) стало широко использоваться в оптике и фотометрии, начиная, видимо, с середины 1500-х годов, с работ оптика Ф. Мавроликко и астронома И. Кеплера¹. Первый сформулировал закон освещения внутренней поверхности сферы точечным источником, расположенным в ее центре, с равной *интенсивностью* вне зависимости от радиуса сферы, а второй вывел на основе этого закон освещенности поверхности тела, обратно пропорциональный квадрату расстояния до точечного источника (закон обратных квадратов). Во всяком случае, П. Бугер, который считается основателем фотометрии, в своем знаменитом трактате “Опыт о градации света” от 1726 г. [4] уже всюду использовал этот термин наряду с термином *сила света*. Правда, надо сразу же и отметить, что в те времена не существовало еще глубокого понимания необходимости единства и однозначности терминологии в науке. Многие термины были многозначны и по-разному использовались и разными авторами, и одним и тем же автором в зависимости от обстоятельств, предпочтения и, возможно, сиюминутного настроения. В частности, у Бугера этим термином обозначается в трактате наиболее часто “количество лучей, отнесенных к поверхности светящегося тела” (см. [4], с. 18). Но иногда он использует этот термин и для обозначения яркости, а также величины πL , где L – яркость².

С развитием электродинамики в XIX веке использование термина *интенсивность* многократно возросло, а положение с его однозначностью еще более ухудшилось. В классической академической монографии по теории электромагнетизма Дж. Стреттона [5, с. 126] *интенсивность* электромагнитной волны определяется вектором Пойтинга, т.е. это величина по Стреттону – *плотность мощности* электромагнитной волны с размерностью $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, что близко к основному определению Бугера. Некоторые авторы, упрощая, под интенсивностью в электродинамике и радиолокации вообще по-

¹ Цит. по А.А.Гершун “Фотометрия до Бугера” в кн. [4].

² Такая многозначность использования термина *интенсивность* вынудила редактора издания – проф. А.А. Гершуна, ведущего специалиста СССР того времени по фотометрии, дать в виде комментариев и приложения к книге на с. 405 специальные пояснения по поводу разных смыслов этого термина у автора.

нимают квадрат модуля напряженности поля, без учета волнового сопротивления среды, т.е. величину, например, для электрического поля $|E|^2$ с размерностью $V^2 \cdot m^{-2}$, где E – напряженность электрического поля [6, с. 29].

Параллельно понятие *интенсивности* давно существует и в акустике, включая ультразвуковой диапазон, широко используемый в медицине. Если обратиться к авторитетному справочнику СССР по акустике [7], то в его разделе 1.3 можно прочесть такое определение: “*Интенсивностью звука или силой звука называют количество энергии, проходящее в секунду через единицу площади, перпендикулярной к направлению распространения волны*”. Соответственно, по этому определению единицей измерения “акустической интенсивности” является, как и для радиоволн, величина $Вт \cdot м^{-2}$. Возможно, в акустике тоже существует некоторая путаница с использованием термина *интенсивность*, однако автор этих строк не специалист в акустике, он больше специализируется в фотометрии, теории переноса и радиофизике, поэтому не берется об этом судить, но может это предположить, увидев здесь для звука знакомое в оптике совмещение понятий *интенсивность* и *сила*, особенно с учетом выражения (1).

Это совмещение понятий в оптике и фотометрии (*интенсивность* и *сила* света, излучения), видимо, и является одной из причин неоднозначности статуса термина *интенсивность* в русскоязычной научной литературе. Это сегодня стандартизованные международные системы единиц, различные нормативные документы (например, для фотометрии в нашей стране – ГОСТы [8, 9]) устанавливают однозначные определения для терминов. По ним в оптике *сила света* измеряется в канделах. Кандела (кд) – специальная основная единица измерения системы СИ для световых величин. Она связана с *энергетической силой излучения* при помощи функции, представляющей собой зависимость спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения от длины волны (ранее именуемой как *функция видности*)³. Энергетической же силой

³ Энергетические и световые величины различаются единицами измерения в силу того, что в первом случае подразумевается в качестве фотоприемника некое совершенное техническое устройство, а во втором – глаз, имеющий характерную спектральную чувствительность в видимом диапазоне длин волн, но не чувствительный к другим диапазонам длин волн [10, с. 86–87].

излучения в оптике и фотометрии согласно [10, с. 21] необходимо именовать строго величину с размерностью $Вт \cdot ср^{-1}$, т.е. угловую по телесному углу плотность мощности излучения (или удельную по углу – иногда можно встретить и такое не противоречащее ничему определение). Однако раньше таких делений и строгих определений не существовало, особенно во времена Кеплера, Бугера и свечей. Основным измерительным инструментом в то время был глаз, поэтому и могли быть разночтения, особенно в разных странах и языковых культурах.

Но есть и другая причина неоднозначности терминологии – массовое засилье англицизмов. Они с недавних пор начали использоваться у нас в стране повсеместно, где надо и где не надо. Более всего в научной литературе бросается в глаза либо их непосредственное применение в русскоязычном произношении (транслитерация), что даже стало в какой-то степени модным трендом, либо прямолинейный перевод на русский язык (часто “Гуглом”) без вдумчивого профессионального анализа. Забавно, но это необдуманное применение англицизмов играет злую шутку даже с авторами обсуждаемой статьи [1]. Говоря в п.31 про *интенсивность*, они, видимо, пытались донести мысль, что с помощью этого термина определяются (вводятся терминологически) и другие величины. Но они пишут, что (дословно) “с его помощью *терминируются* другие физические величины и понятия”, забывая, видимо, что *to terminate* в английском – убивать, заканчивать, завершать (терминатор). Смысл получается другой...

Такая казуистика безобидна в [1], а вот в оптике, фотометрии и теории переноса ошибки и неоднозначность терминологии могут “дорого стоить”. Например, – ошибки вычислений, неоднозначность интерпретации и т.д. Дело в том, что согласно официальному сопоставлению терминологий в фотометрии [8, 11], а также согласно анализу англоязычных первоисточников, например, в соответствии с документами Международного бюро мер и весов (BIPM), утверждающего Международную систему единиц (СИ) [12], *энергетическая сила излучения* именуется на английском языке как *radiant intensity*, т.е. по-русски при дословном переводе – *интенсивность излучения*. И обозначается она в системе СИ, соответственно, буквой I (от *intensity*) [12]. Одним словом, на английском *интенсивность* – основная величина системы СИ, характеризующая электромаг-

нитное излучение. Как ее не использовать в медицинской физике? Размерность же ее, как указано выше, – $\text{Вт}\cdot\text{ср}^{-1}$, т.е. на русском это – сила излучения. Причем привычная нам мощность излучения (Вт) в числителе определения интенсивности именуется как *radiant flux*, т.е. *поток излучения*. А вот Борн и Вольф, как далекие от фотометрии, но близкие к радиофизике оптики, в своей известной монографии [13, с. 143], а также Борен и Хафман в не менее известной книге [14, с. 42], следуя Стреттону, именуют интенсивностью величину с размерностью пространственной плотности мощности – $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. При этом в оптике и фотометрии величина с такой размерностью – другая физическая величина. Она называется *освещенность* поверхности, или *светимость*, если поверхность излучающая. Понятно, что путаница тут неизбежна. Тем более, что в фотометрии и теории переноса «вступает в игру» и еще один ключевой термин – яркость *излучения* с размерностью $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}$.

Проблема термина *интенсивность* и размерностей величин в теории переноса

Теория переноса (ТП) очень широко представлена в медицинской физике, как в технологиях с использованием ионизирующего излучения, так и без него. Любые фотометрические расчеты световых полей в органах и тканях, любое моделирование методом Монте-Карло – это, фактически, использование ТП. Она имеет свои особенности, конечно, и в радиационной физике (например, перенос нейтронов), и в оптике (распространение и рассеяние света в мутных средах), но базовые ее подходы универсальны. Специализируясь в оптике и фотометрии, автору проще говорить об этом разделе медицинской физики, не затрагивая проблемы теоретического описания распространения и рассеяния потока элементарных частиц или высокоэнергетического ионизирующего излучения. Более того, он несколько раз и сам попался в эту терминологическую западню, используя результаты из разных публикаций, включая отечественные. В частности, В.В. Соболев в своем легендарном курсе теоретической астрофизики [15], ставшем в нашей стране одним из первых систематических изложений ТП (применительно к переносу излучения в атмосферах звезд и планет), с первого парагра-

фа использует на словах термин *интенсивность*, но оперирует величиной с размерностью яркости, т.е. определяет интенсивность как яркость. Позже и у А. Исимару в [16, с. 165] в переводе на русский язык можно увидеть такой же терминологический подход.

Справедливости ради надо заметить, что стационарное фотометрическое уравнение переноса [17]:

$$\frac{dL(\tau, \mathbf{s})}{ds} = -(\mu_a + \mu_s)L(\tau, \mathbf{s}) + \frac{\mu_s}{4\pi} \int_{4\pi} L(\tau, \mathbf{s}') p'(\mathbf{s}, \mathbf{s}') d\Omega \quad (2)$$

есть тождество для любой размерности величины $L(\tau, \mathbf{s})$, выражающей рассматриваемые энергетические характеристики распространяющегося луча света (*яркость* луча с размерностью $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}$ или *интенсивность* (сила света) с размерностью $\text{Вт}\cdot\text{ср}^{-1}$). В этом уравнении: $\tau = \{x, y, z\}$ – радиус-вектор (координатный вектор) рассматриваемой точки пространства; $\mathbf{s} = \{s_x, s_y, s_z\}$ – единичный вектор направления распространения излучения в этой точке ($s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 = 1$); μ_a и μ_s – коэффициенты поглощения и рассеяния (погонные оптические свойства среды распространения излучения с размерностью см^{-1}); $p(\mathbf{s}, \mathbf{s}')$ – фазовая функция (индикатриса) рассеяния⁴; $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ – дифференциальный элемент телесного угла, θ и φ – полярный и азимутальный углы рассеяния. Если определить $p(\mathbf{s}, \mathbf{s}')$ как безразмерную функцию, как это обычно и принято в литературе, и с учетом интегрирования по телесному углу во втором слагаемом правой части уравнения (2) принять размерность множителя $1/4\pi$ как ср^{-1} , то равенство размерностей левой и правой частей уравнения не нарушится ни при подстановке $L(\tau, \mathbf{s})$ как яркости, ни при подстановке $L(\tau, \mathbf{s})$ как интенсивности с соответствующими размерностями.

Но здесь сразу же возникает и важный сопряженный вопрос – вопрос о размерности углов. Насколько правомерно считать параметр π в этих формулах безразмерной величиной? Во многих физических задачах телесный (пространственный) угол, да и плоский центральный

⁴ В [14, с. 94–95] приводится убедительное обоснование, почему термин “фазовая функция” для этой величины – плохой вариант. Наиболее оправдан термин “индикатриса” рассеяния, однако в современных публикациях остается более употребительным термин “фазовая функция”.

тоже, считаются величинами безразмерными, хотя и имеются названия их размерностей – *стерадиан* или *радиан*, соответственно. В обоснование этому обычно приводится факт определения, например, телесного угла как отношения площади поверхности на сфере, вырезаемой этим углом, к квадрату радиуса сферы [18]. Формально, деление м^2 на м^2 дает безразмерную величину (размерность 1 по [12])⁵. Однако использование безразмерных углов приводит к ряду дополнительных сложностей и нестыковок в физических задачах. Например, П.М. Тиходеев в [19] напоминает о том, что *яркость* и *освещенность* в силу “одинаковой размерности” этих величин, если принять телесный угол безразмерным, предлагали одно время вообще считать одной и той же физической величиной...

Применительно к телесному углу и фотометрическим задачам на стыке с задачами электродинамики автор этих строк уже высказывал свое обоснование, почему надо обязательно и как надо учитывать размерность телесного угла в задачах ТП (см. [20], Приложение 1). Для плоских (центральных) углов аналогично. Нагляднее всего проблема размерностей обычных плоских углов проявляется в задачах спектроскопии с Фурье-преобразованиями, включая теорему Винера-Хинчина. Беря от экспоненты $f(t) = e^{-\omega t}$ (от безразмерной функции), где ω – круговая частота колебаний, производную по времени t , т.е. вычисляя $df(t)/dt$, мы чисто математически должны получать итоговую размерность с^{-1} . Однако ω имеет размерность $\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$, поэтому ее правильно “уравновешивать” множителем $1/2\pi$, где π имеет в данном случае угловую размерность (радиан). Иногда авторы это делают, иногда опускают этот множитель в формулах преобразований, т.к. по абсолютной величине как константа он ни на что не влияет. Собственно, и показатель экспоненты должен быть уже исходно безразмерным, хотя произведение ωt формально имеет размерность радиан. Если же принять размерность ω как с^{-1} , без учета размерности угла, то непонятно будет ее отличие от циклической частоты колебаний⁶ ν с той же размерностью с^{-1} (Гц).

⁵ Углы, как наглядный пример безразмерных величин, красочно приводятся сегодня в Википедии в разделах “Безразмерная величина” и “Телесный угол”. В последнем разделе даже есть замысловатая фраза, что “телесные углы измеряются безразмерными величинами”...

⁶ В последней редакции системы СИ вопросу размерности углов посвящен отдельный поясняющий раздел. В нем обосновывается необходимость учета размерностей углов, которые не являются основными величинами системы СИ, но называются теперь “когерентными производными единицами измерения”... [12].

Как наглядный пример непонимания глубины проблемы с размерностью углов в радиофизике можно привести источник [14, с. 154]. В нем дискутируется вопрос появления множителя $1/4\pi$ в определении радиолокационного сечения рассеяния и, соответственно, в основном уравнении радиолокации, т.к. первое следует из второго. Авторы делают вывод, что этот множитель лишний, поэтому предлагают “мысленно его зачеркивать в уравнениях”. Однако исходно, если строго делать вывод для всех подобных уравнений, эти размерные множители сохраняют размерность результата. Эта проблема наглядно видна и при анализе вариантов написания уравнения (2). В ряде источников, например, в [16, 17, 21, 22], присутствует множитель $1/4\pi$ перед интегралом в правой части, а в ряде источников, например, в [15, 23, 24, 25] – нет⁷.

Возвращаясь к самому уравнению переноса (2), если в нем использовать $L(\mathbf{r}, \mathbf{s})$ как *интенсивность* с размерностью $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$, как это можно увидеть в [24], уравнение формально с точки зрения физики будет справедливо только для расходящихся от точечного источника лучей. По поверхности элементарной площадки, на которую они падают, для определения падающего на эту площадку потока излучения (мощности в Вт) их проинтегрировать нельзя, т.к. образуется в этом случае после интегрирования непонятная величина с размерностью $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ср}^{-1}$. А без учета площади поверхности нельзя корректно найти для нее потоки излучения и коэффициенты отражения/пропускания, т.к. “густота лучей” по Бугеру может быть разной для разных площадок при одинаковых падающих интенсивностях. Для яркости же, т.е. для величины с размерностью $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$ этих трудностей интегрирования не возникает. Таким образом, использовать в уравнении переноса необходимо именно *яркость* луча, несмотря на то что ряд классических монографий именуют ее как *интенсивность*. Справедливости ради, надо сказать, что Чандрассекар в оригинале в [22] (одна из ключевых в мире книг по ТП) использует особый термин *specific intensity* (удельная интенсивность), и ему следуют сегодня многие зарубежные авторы, например, [23]. А иногда авторы сразу в уравнении переноса называют эту величину *luminance* или *radiance*, в зависимости от того,

⁷ Это влияет также и на выбранную размерность и условие нормировки функции $p(\mathbf{s}, \mathbf{s})$.

световые или энергетические характеристики они рассматривают (например, [21, 25]), что терминологически сегодня наиболее корректно.

С учетом сказанного, использование в практических задачах уравнений ТП у профессионалов особых сложностей по размерностям не вызывает. Однако для этого нужен опыт и глубокое понимание материала. Чаше же сегодня в силу падающего уровня образования молодые специалисты плохо разбираются в проблеме и во всех этих вопросах путаются. Им требуются пояснения и строгие руководства к действию. Предложение же авторов [1] не использовать термин *интенсивность* вообще в силу изложенного еще больше запутывает проблему и не применимо на практике. Слишком уж много, как видим, до 80–90 % литературных источников, ключевых литературных источников, особенно англоязычных, используют этот термин, путаются с ним, и никуда от этого уже не деться.

Заключение

Очевидно, что термин *интенсивность*, вопреки ошибочно опубликованной в [1] фразе о его узкой применимости, очень широко сегодня представлен и в медицинской физике, и в общей физике, особенно в оптике и фотометрии. Но этот термин в литературе неоднозначен, что может вызвать непонимание и ошибки. В этом смысле его использование неудачно. С этим можно согласиться. Им может обозначаться и величина с размерностью плотности мощности $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ (освещенность), и яркость с размерностью $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}$, и собственно энергетическая сила (интенсивность) излучения с размерностью $\text{Вт}\cdot\text{ср}^{-1}$, что наиболее сегодня терминологически строго и корректно. *Интенсивность* – основная физическая величина системы СИ, характеризующая излучение, поэтому ее никак нельзя исключить из терминологии медицинской физики, несмотря на то, что в русскоязычных публикациях она носит название *силы излучения*. Не в наших силах исправить ситуацию в уже существующих публикациях, поэтому единственным выходом из положения может быть публикация таких вот поясняющих (методических) материалов, грамотное обучение студентов и аспирантов, а также более строгое использование терминологии в российских профильных журналах.

Список литературы

1. Наркевич БЯ, Ратнер ТГ, Рыжов СА, Моисеев АН. Анализ терминологических неточностей в медицинской радиологии. Медицинская физика. 2021; (4): 67-85. [Narkevich BYa, Ratner TG, Ryzhov SA, Moiseev AN. Analysis of Terminological Inaccuracies in Medical Radiology. Medical Physics. 2021; (4): 67-85. (In Russian)].
2. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. М.: Стандартинформ. 2014. 41 с. [GOST (State standard) 12.1.003-2014. System of labor safety standards. Noise. General safety requirements. Moscow: Standardinform. 2014. 41 p. (In Russian)].
3. Рогаткин ДА. Физические основы лазерной клинической флюоресцентной спектроскопии *in vivo*. Лекция. Медицинская физика. 2014; (4): 78-96. [Rogatkin DA. Physical Foundations of Laser Clinical Fluorescence Spectroscopy *in vivo*. Medical Physics. 2014; (4): 78-96. (In Russian)].
4. Бугер П. Оптический трактат о градации света / Пер. Н. А. Толстого и П. П. Феофилова; Ред., статьи: ["Очерк жизни и трудов Пьера Бугера", с. 327-400, послесл. и коммент. А. А. Гершуна]. М.: Изд-во и 1-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР, 1950. 479 с.
5. Стреттон Дж.А. Теория электромагнетизма. / Перевод М.С.Рабиновича и С.М.Рытова под ред. проф. С.М.Рытова. М.: ОГИЗ, Гос. Издательство технико-теоретической литературы, 1948. 540 с.
6. Орлов РА, Торгашин БД. Моделирование радиолокационных отражений от земной поверхности. Под ред. А.А. Капустина. Л.: Изд-во ЛГУ. 1978. 148 с. [Orlov RA, Torgashin BD. Modeling of radar reflections from the Earth's surface. Ed. A.A. Kapustin. L.: Publishing house of Leningrad State University. 1978. 148 p. (In Russian)].
7. Иофе ВК, Корольков ВГ, Сапожков МА. Справочник по акустике. Под ред. М.А. Сапожкова. М.: Связь. 1979. 312 с. [Iofe VK, Korolkov VG, Sapozhkov MA. Handbook of acoustics. Ed. M.A. Sapozhkov. M.: Communication. 1979. 312 p. (In Russian)].
8. ГОСТ 26148-84. Фотометрия. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по стандартизации. Изд-во стандартов. 1984. [GOST (State standard) 26148-84. Photometry. Terms and Definitions. Moscow:

- USSR State Committee for Standardization. Publishing house of standards. 1984. [In Russian]].
9. ГОСТ 8.654-2016. Государственная система обеспечения единства измерений. Фотометрия. Термины и определения. М.: Стандартиформ. 2016. [GOST (State standard) 8.654-2016. State system for ensuring the uniformity of measurements. Photometry. Terms and Definitions. Moscow: Standartinform. 2016. (In Russian)].
 10. Мешков ВВ. Основы светотехники: Учебное пособие для вузов. Ч. 1. 2-е изд., перераб. М.: Энергия. 1979. 368 с. [Meshkov VV. Fundamentals of lighting engineering: Textbook for universities. Part 1. 2nd ed., revised. M.: Energy. 1979. 368 p. (In Russian)].
 11. Международный светотехнический словарь / Публикация МКО (CIE) 1.1.N17-(1970); рус. текст под общ. ред. д-ра техн. наук Д.Н. Лазарева. 3 изд. М.: Русский язык, 1979. 280 с.
 12. The International System of Units (SI). 9th Edition. – Paris: The International Bureau of Weights and Measures (BIPM), 2019.
 13. Борн М, Вольф Э. Основы оптики. Перевод с английского. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1970. 856 с.
 14. Борен К, Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 664 с.
 15. Соболев ВВ. Курс теоретической астрофизики. 3-е изд., перераб. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. 1985. 504с. [Sobolev VV. Course of theoretical astrophysics. 3rd ed., revised. M.: Nauka, Main office of physical and mathematical literature. 1985. 504 p. (In Russian)].
 16. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.1. Однократное рассеяние и теория переноса. Пер. с англ. Л.А.Апресьяна, А.Г.Виноградова, З.И.Фейзулина. М.: Мир. 1981.
 17. Handapangoda CC, Premaratne M. Implicitly causality enforced solution of multidimensional transient photon transport equation. *Optics Express*. 2009; 17(26): 23423-42. DOI: 10.1364/oe.19.002922.
 18. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всеросс. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. СПб.: НПО “Профессионал”. 2010. 82 с.
 19. Тиходеев ПМ. Очерки об исходных (метрологических) измерениях. М.-Л.: Машингиз, 1954. 216 с. [Tikhodeev PM. Essays on initial (metrological) measurements. M.-L.: Mashin-giz, 1954. 216 p. (In Russian)].
 20. Рогаткин ДА. Рассеяние электромагнитных волн на случайно-шероховатой поверхности как граничная задача взаимодействия лазерного излучения со светорассеивающими материалами и средами. *Оптика и спектроскопия*. 2004; 3(97): 484-93. [Rogatkin DA. Scattering of electromagnetic waves on a randomly rough surface as a boundary problem of laser radiation interaction with light-scattering materials and media. *Optics and spectroscopy*. 2004; 97(3):484-93. (In Russian)].
 21. Rinzemayx K, Hoenderszk BJ, Ferwerdaz HA. Laplace-transform-based method to calculate back-reflected radiance from an isotropically scattering half-space. *Pure and Applied Optics: J Eur Opt Soc. Part A*. 1997; 6(4): 471-9. DOI: 10.1088/0963-9659/6/4/010.
 22. Chandrasekhar S. Radiative Transfer. New York: Dover Publications. 1960.
 23. Hoskins JG, Kraisler J, Schotland JC. Radiative transport in quasi-homogeneous random media. *J Opt Soc of America A*. 2018; 35(11): 1855-60. DOI: 10.1364/josaa.35.001855.
 24. Marinyuk VV, Sheberstov SV. Impact of the scattering phase function on the bulk reflectance of a turbid medium with large-scale inhomogeneities. *Appl Opt*. 2017; 56(32): 9105-13. DOI: 10.1364/ao.56.009105.
 25. Star WM, Marijnissen JPA, Van Gemert MJC. Light dosimetry in optical phantoms and in tissues: I. Multiple flux and transport theory. *Phys Med Biol*. 1988; 33: 437-54. DOI: 10.1088/0031-9155/33/4/004.

METHODICAL NOTES ON THE TERM “INTENSITY” IN MEDICINE AND PHYSICS

D.A. Rogatkin

M.F. Vladimirskiy Moscow Regional Research and Clinical Institute “MONIKI” , Moscow, Russia

In the article, as a discussion of the publication [1] published earlier in the journal on terminology in medical physics, the application of the term intensity in medicine and physics is considered. It is shown, contrary to the statement of the original article, that the term intensity is very widely used in various branches of physics, from optics and photometry to electrodynamics and radiophysics. At the same time, its ambiguity and non-identity of the use in different branches of physics, including the different dimensions of these quantities used, which often introduces a confusion and leads to errors in results, is also shown and discussed. For optics and photometry, according to the recommendations of the international SI system, the term intensity should be unambiguously understood as a quantity with the dimension $W \cdot sr^{-1}$. This is the main physical quantity of the SI system that characterizes radiation, but in Russian-language publications it is also called as a force of radiation, which can be misleading.

Key words: terminology, intensity, radiance, power density, radiophysics, photometry, transport theory, solid angle, medicine

E-mail: d.rogatkin@monikiweb.ru