

## И.Ш.Коган

### Угол поворота – основная физическая величина

**АННОТАЦИЯ.** Показано, почему угол поворота является основной физической величиной и поэтому на законных основаниях имеет свои размерность и единицу. Отмечено, что естественной единицей угла поворота является оборот, а не радиан.

#### В физике нет определяющего уравнения для угла поворота

Угол поворота в современной физике как физическая величина только оценивается в единицах плоского угла. Для определения же значения плоского угла  $\varphi$  пользуются уравнениями, принятыми в математике, а не в физике. В математике это либо уравнение

$$\varphi = s/R, (1)$$

где  $s$  – длина дуги окружности;  $R$  – длина радиуса этой окружности, либо уравнение обратной тригонометрической функции, например,

$$\varphi = \arctg(a/b), (2)$$

где  $a$  и  $b$  – длины катетов прямоугольного треугольника. Но в статье о плоском угле приводятся существующие определения плоского угла, в которых ничего не говорится ни об окружностях, ни о треугольниках.

Напомним, что угол поворота - это не геометрическая, а физическая величина, характеризующая поворот тела, или поворот луча, исходящего из центра вращения тела, относительно другого луча, считающегося неподвижным. А вот в качестве физической величины угол поворота никаким уравнением не определяется. Величины, для которых в физике нет определяющего уравнения, являются основными величинами. Это главный аргумент в пользу того, что угол поворота должен принадлежать к основным величинам.

Угол поворота является координатой состояния вращательного движения. Важность выделения вращения в отдельную форму движения подчеркивает обобщенное уравнение закона сохранения, представленное в статьях И.Когана (1998b, 2011), М. Юдина (1998), а также в работах В.Эткина (2008, 2011). В обзорной статье М.Фостера (2010) указывается на то, что объявление угла поворота основной величиной должно признать, что это такая же физически значимая величина, как длина, а не тригонометрическая абстракция. То есть угол поворота, как основная физическая величина, имеет свою размерность, и это тоже надо признать и внести в стандарты.

#### Угол поворота как основная величина имеет свою размерность

В работе И.Когана (2007) для размерности угла поворота предложен символ  $A$  (от английского angle – угол). Поэтому во все размерности физических величин, в определяющее уравнение которых входит угол поворота, должна входить и его размерность  $A$ .

Каждая размерная величина имеет свою единицу. Если угол поворота является размерной величиной, то, значит, отпадает необходимость считать единицу угла поворота внесистемной единицей, как это принято в СИ. В статье о плоском угле показано, что естественной единицей измерений угла поворота, как физической величины, является “оборот” (об).

Современная метрология (Л.Брянский, 2002) считает, что “Плоские и телесные углы описываются абсолютными шкалами. А этим шкалам свойственны естественные, безразмерные единицы, значения которых никак не зависят от принятых систем величин и единиц.” Но, во-первых, системы величин и системы единиц – понятия разные (И.Коган, 2007). Во-вторых, безразмерность единицы плоского угла (радиана) основана на применении уравнений (1) и (2), а эти уравнения относятся к условному определению плоского угла в математике. Они не относятся к углу поворота, как к физической величине. К тому же, в статье, где приводятся определения плоского угла, показаны две непоследовательности при его определении.

В физике при орбитальной форме движения скалярная длина пути  $ds$ , пройденного физическим объектом по криволинейной траектории с радиус-вектором (радиусом кривизны траектории)  $\mathbf{R}$  определяется по уравнению

$$ds = \mathbf{R} d\varphi, \quad (3)$$

в котором угол поворота  $d\varphi$  является псевдовекторной определяющей, а не определяемой величиной. Векторность угла поворота доказывается в отдельной статье. Анализ уравнения (3) показывает, что правило размерностей выполняется в нем лишь при условии, что размерность пути  $s$  равна  $L$ , размерность угла поворота  $\varphi$  равна  $A$  и размерность радиус-вектора  $\mathbf{R}$  равна  $LA^{-1}$  при единице  $m \text{ об}^{-1}$ . В СИ это соответствовало бы единице  $m \text{ рад}^{-1}$ . Эта непривычная для современной физики точка зрения уже была опубликована ранее в статьях В.Эдера (1982), Е.Оберхофера (1992) и И.Когана (1998а).

Такая размерность радиуса кривизны траектории означает, что размерность кривизны траектории как величины, обратной радиусу кривизны, равна  $L^{-1}A$  с единицей  $\text{об} \cdot m^{-1}$ . В СИ это соответствовало бы единице  $\text{рад} \cdot m^{-1}$ . А сейчас в СИ размерность кривизны траектории равна  $L^{-1}$  с единицей  $m^{-1}$ , что противоречит условию показателей степени, согласно которому размерность основной величины при отсутствии в формуле размерности размерностей других основных величин не должна иметь отрицательной степени.

Если предположить, что размерность угла поворота  $\varphi$  равна  $A$  при размерности радиуса кривизны траектории  $\mathbf{R}$ , равной  $L$ , то размерность пути  $s$  становится равной  $LA$ , что не имеет физического смысла.

### **Угол поворота как размерная величина имеет свою единицу**

Почему же в СИ угол поворота измеряют в радианах, а единицу оборот рекомендуется не применять? Из имеющихся словарей лишь интернет-энциклопедия Кругосвет честно отвечает: “никакой принципиальной разницы между градусной и радианной мерой угла нет, однако введение радианной меры позволяет придать многим формулам более простой вид”. То есть надо слегка отойти от физики ради математики. В обзорной статье М.Фостера (2010) также указывается на то, что оборот можно было бы принять в качестве основной единицы, но это потребовало бы пересмотра определяющих уравнений когерентных производных единиц других угловых величин.

Надо заметить, что утверждение о более простом виде формул не бесспорно. Введение единицы радиан упростило одно, усложнив другое. Но интернет-энциклопедия Кругосвет снова честно разъясняет: “То, что наименование в одном случае (для градуса) проставляется, а в другом (для радиана) подразумевается, не играет никакой роли”. Здесь уже и комментарии не нужны.

Чтобы найти удобный выход из сложившейся ситуации, А.Торренс (1986) и К.Броунштейн (1997) предложили ввести в уравнение (3) размерный коэффициент  $k$  с единицей угла в минус первой степени в качестве универсальной константы для вращательной формы движения, с чем согласен и М.Фостер (2010). Но этот приём будет снова означать нарушение условия показателей степени, так что от него лучше отказаться.

Лучше сразу перейти на единицу оборот и пересмотреть определяющие уравнения других величин вращательной формы движения.

К сожалению, резко изменить стандарты, касающиеся вращательного движения, трудно. Целесообразно, видимо, временно смириться с тем, что единицей измерений угла поворота тела в СИ останется радиан. Но при том очень важном условии, что радиан будет определяться не как отношение дуги к радиусу, а как доля полного плоского угла, то есть так:  $1 \text{ рад} = 1/6,283 \text{ об}$ . И вторым условием должно быть отсутствие в определении плоского угла упоминания о дуге окружности. О ней можно упоминать, видимо, только при определении самой единицы радиан.

Что же касается системы величин ЭСВП, которой посвящен данный сайт, то, поскольку метрологические стандарты, касающиеся систем единиц, на системы величин не распространяются, то в таблице вращательной формы движения мы будем пользоваться естественной единицей угла поворота об (оборот).

### **Подмена в физике угла поворота путем, пройденным по орбите.**

При применении математических условностей при оценке угла поворота в физике делается на первый взгляд малозаметная, но чреватая последствиями замена: желая оценить угол поворота вращающегося тела, мы на деле оцениваем путь, пройденный какой-нибудь точкой этого тела по дуге окружности. А это уже подмена одной физической величины другой величиной, подмена вращательной формы движения, при которой тело вращается, не перемещаясь, другой формой движения – орбитальной, при которой точка вращающегося тела перемещается по круговой орбите.

В статье И.Когана (1998b) были высказаны сомнения относительно обоснованности сочетания определения плоского угла с методикой его оценки. В ответной статье видные российские метрологи Л.Брянский, А.Дойников и Б.Крупин (1999) указали на то, что определение плоского угла *“относится к углу, только как геометрической фигуре”* и *“попытка интерпретировать это определение как относящееся к измеряемой величине просто неуместна. Противопоставить это определение известному определению угла, как величины (отношения длины окружности к радиусу) тоже неправомерно”*.

Слова ”неуместна” и ”неправомерно” вряд ли можно считать научными аргументами без дополнительных доказательств. Тем более, что эти слова неверны: угол не является отношением длины окружности к радиусу, он только оценивается этим отношением, да и то это математическая условность. Возможно, полезнее было бы продумывать такие формулировки для метрологических стандартов, чтобы поводов для разночтений не было.

### **Литература**

1. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. – М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
2. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 48-50.
3. Коган И.Ш., 1998а, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров: “Машиностроение. Конструирование и технология.”, Сборник научных трудов ВятГТУ, **3**, с.с.62-64.
4. Коган И.Ш., 1998b, К вопросу о размерности и единицах измерений безразмерных физических величин. – Законодательная и прикладная метрология, **4**, с.с. 55-57.
5. Коган И.Ш., 2007, Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8792.html>
6. Коган И.Ш., 2011, Угол поворота – основная физическая величина. – “ Законодательная и прикладная метрология, **6**, с.с. 55-66.
7. Эткин В.А., 2008, Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – СПб.: Наука, 409 с., Etkin V.A., 2011, *Energodynamics (Thermodynamic Fundamentals of Synergetics)*. – N.Y., 479 p.

8. Brownstein K.R., 1997, Angles—let's treat them squarely. *Am. J. Phys.*, **65**, p.p.605–614
9. Eder W.E., 1982, A viewpoint on the quantity “plane angle“. *Metrologia*, **18**, p.p. 1–12
10. Foster M.P., 2010, The next 50 years of the SI: a review of the opportunities for the e-Science age. Review Article. *Metrologia*, **47**, R41–R51
11. Oberhofer E.S., 1992, What happens to the “radians“? *Phys. Teach.*, **30**, p.p. 170–171.
12. Torrens A.B., 1986, On angles and angular quantities. *Metrologia*, **22**, 1–7
13. Yudin M.F., 1998, The problem of the choice of the basic SI units. *Meas. Tech.*, **4**, p.p.873–875