

## Позвольте представиться

Меня с детства интересовало устройство Мира, Вселенной, безграничного Космоса. Этот интерес еще в школе привел меня к



работам Эйнштейна по теории гравитации. Там я впервые познакомился со странными "жужкалами" с огромным количеством лапок-индексов и загадочным названием: "тензоры". В работах Эйнштейна я ничего не понял, но интерес к тензорам остался. Хотя жизнь сложилась так, что было не до них, я собирал книги о тензорах. Я не искал их специально, но если они мне попадались, я их покупал. Со временем у меня скопилось,

как мне кажется, все более или менее стоящее на эту тему. С ростом количества книг увеличивался общий объем непонятного, так как каждая книга была непонятна по-своему.

Между тем время шло. Закончив политехнический институт, я успел поработать инженером в автохозяйстве, затем инженером в лаборатории лазерной голографии. В 2004 году мне удалось подготовить и защитить диссертацию по методике преподавания физики. В настоящее время я работаю доцентом на кафедре физики ЮУрГУ.

Теперь у меня больше времени, и мне приходится писать лекции на самые разные темы. Вспомнив увлечение своей юности, я решил попытаться написать лекции и по тензорной алгебре, не очень веря в результат. Однако я ошибся, работа над лекциями оказалась простой и интересной. Все сложилось и трудности отступили.

Если бы я был древним римлянином или, еще лучше, греком, то в этом месте я мог бы сказать что-то напыщенное, вроде:

– Я сделал все что мог, кто может, пусть сделает лучше.

Увы, не довелось. Позвольте, хотя бы выразить скромную надежду, что найдется человек, который прочитает мою книгу с таким же интересом, с каким я ее писал.

## Оглавление

<i>Введение</i>	7
<i>Векторы</i>	8
<i>..Геометрическое определение вектора</i>	9
<i>..Алгебраические операции над направленными отрезками</i>	10
<i>..Сложение направленных отрезков</i>	11
<i>..Умножение направленных отрезков на число</i>	11
<i>..Проекция вектора</i>	13
<i>..Параллельное проектирование вектора в плоскости</i>	13
<i>..Параллельное проектирование вектора в пространстве</i>	16
<i>...Проекция точки на плоскость</i>	16
<i>...Проекция вектора на плоскость</i>	16
<i>..Ортогональная проекция вектора в пространстве</i>	18
<i>...Ортогональная проекция вектора на плоскость</i>	18
<i>...Ортогональная проекция вектора на прямую и направленную ось</i>	18
<i>..Метод координат</i>	21
<i>..Коллинеарные векторы</i>	21
<i>..Компланарные векторы</i>	22
<i>..Векторы в трехмерном геометрическом пространстве</i>	22
<i>..Линейная зависимость векторов и размерность пространства</i>	24
<i>..Декартова система координат</i>	26
<i>..Различные формы записи векторов</i>	28
<i>..Линейные операции над векторами в координатной форме</i>	30
<i>..Скалярное умножение векторов</i>	30
<i>...Свойства скалярного умножения</i>	31
<i>...Скалярное умножение в декартовых координатах</i>	32
<i>..Некоторые примеры использования скалярного умножения</i>	32
<i>..Измерение площадей и объемов</i>	34
<i>..Площадь параллелограмма, построенного на векторах</i>	34
<i>..Свойства определителя второго порядка</i>	39
<i>..Задачи на применение определителей</i>	42
<i>..Объем параллелепипеда, построенного на векторах</i>	44
<i>..Определитель третьего порядка и его свойства</i>	48
<i>..Векторное произведение векторов</i>	50
<i>..Векторное умножение векторов базиса декартовой системы координат</i>	57
<i>На подступах к тензорам</i>	59
<i>..Преобразования координат</i>	59
<i>..Скалярное умножение векторов в произвольных косоугольных координатах</i>	65
<i>..Метрический тензор</i>	66
<i>..Взаимный координатный базис</i>	71
<i>..Ковариантные и контравариантные координаты вектора</i>	74

<i>Площадь и объем в косоугольных координатах</i>	78
<b>..Индексная форма записи для выражений с определителями</b>	82
<b>..Символы Веблена</b>	85
<b>..Свойства символов Веблена</b>	85
<b>..Тензор Леви-Чивиты</b>	92
<b>..Операция векторного умножения в произвольных косоугольных координатах</b>	95
<i>Линейные преобразования или операторы</i>	98
<i>Линейный оператор и его матрица</i>	99
<b>..Примеры линейных операторов</b>	104
<i>Доказательство теоремы об определителе</i>	109
<i>Тензоры</i>	111
<i>Определение тензора</i>	111
<i>Общие определения алгебраических операций с тензорами</i>	112
<i>Примеры на применение тензоров в физике</i>	114
<b>..Тензор инерции</b>	114
<b>..Тензор напряжений</b>	116
<i>Задачи</i>	119
<b>..Задачи на тождественные преобразования</b>	119
<i>Методические комментарии</i>	121
<i>Литература</i>	131