

НАУКА  
ЗА КАДРОМ  
ИНТЕРСТЕЛЛАР

---

КИП ТОРН

ПРЕДИСЛОВИЕ КРИСТОФЕРА НОЛАНА



# Кип Торн

## Интерстеллар: наука за кадром

*Текст предоставлен правообладателем*

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=11294147](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=11294147)*

*Интерстеллар: наука за кадром / Кип Торн: Манн, Иванов и Фербер;*

*Москва; 2015*

*ISBN 978-5-00057-536-9*

### Аннотация

Кип Торн, ученый с мировым именем и консультант известной кинокартины Кристофера Нолана «Интерстеллар», в своей книге, глубоко погружаясь в научный мир, подробно объясняет все те невероятные факты о гравитации, черных дырах, пятом измерении и других явлениях, которые визуально воплощены в этом фильме.

Эта книга для всех, кому интересны физика, космос, естественные науки и то, как устроена наша Вселенная. А также для тех, у кого остались вопросы после просмотра фильма «Интерстеллар».

# Содержание

Предисловие	7
Введение	9
1. Ученый в Голливуде: Зарождение замысла «Интерстеллар»	13
Линда Обст, мой человек в Голливуде	13
Стивен Спилберг, режиссер (поначалу)	16
Джонатан Нолан, сценарист	19
Кристофер Нолан, режиссер и сценарист	23
Пол Франклин, Оливер Джеймс, Эжени фон Танзелманн: команда по созданию визуальных эффектов	29
Мэтью Макконахи, Энн Хэтэуэй, Майкл Кейн, Джессика Честейн	32
I. Основы	37
2. Вкратце о Вселенной	37
Большой взрыв	37
Галактики	38
Солнечная система	42
Звездная смерть: белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры	45
Магнитные, электрические и гравитационные поля	48
3. Законы, управляющие Вселенной	56

Эпоха великих негеографических открытий  
Конец ознакомительного фрагмента.

56

62

# Кип Торн

## Интерстеллар:

### наука за кадром

THE SCIENCE OF INTERSTELLAR

KIP THORNE

*Издано с разрешения Andrew Nurnberg Literary Agency*

*Книга рекомендована к изданию Альбиной Каракаевой*

Научный редактор Михаил Павлов

*Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая фирма «Вегас-Лекс»*

© 2014 Kip Thorne

© 2014 Foreword by Christopher Nolan

© 2014 Film, Warner Bros. Entertainment Inc.

INTERSTELLAR and all related characters and elements are trademarks of and © Warner Bros. Entertainment Inc.

WB SHIELD: TM & © Warner Bros. Entertainment Inc.

The following images from the book are included with permission from Warner Bros.: Figures 1.2, 3.3, 3.4, 3.6, 5.6,

8.1, 8.5, 8.6, 9.7, 9.9, 9.10, 9.11, 11.1, 14.9, 15.2, 15.4, 15.5, 17.5, 17.9, 18.1, 19.2, 19.3, 20.1, 20.2, 24.5, 25.1, 25.7, 25.8, 25.9, 27.8, 28.3, 29.8, 29.14, 30.1, and 31.1.

© 2014 Images, Warner Bros. Entertainment Inc.

© Перевод на русский язык, издание на русском языке, оформление. ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2015

**\* \* \***

# Предисловие

Одной из величайших радостей при работе над фильмом «Интерстеллар» было для меня общение с Кипом Торном. С первой же нашей встречи я оценил его заразительный энтузиазм ученого – равно как и нежелание давать сырые, неоформившиеся суждения. К любым вопросам по сюжету, которые я ему подбрасывал, Кип всегда подходил неторопливо, взвешенно, а главное – по-научному. Стараясь удержать меня в рамках правдоподобия, он всегда сохранял хладнокровие, если я не спешил прислушаться к его мнению (лишь однажды, когда я в течение двух недель оспаривал запрет Кипа на сверхсветовые скорости, он, по-моему, не смог удержаться от деликатного вздоха).

Он видел себя не «цензором от науки», а соавтором – без усталости выискивая в научных журналах и академических публикациях выходы из сюжетных тупиков, в которые я себя загонял. Кип познакомил меня с важнейшим качеством ученого – смирением перед лицом сюрпризов, преподносимых природой. Его отношение позволило ему насладиться возможностями спекулятивной фантастики, подходя к разрешению парадоксов и проблемам непознаваемого с нового ракурса: с позиции рассказчика. Эта книга – свидетельство живого воображения Кипа и его неустанного стремления сделать науку доступной тем из нас, кто не обладает столь мощ-

ным интеллектом и столь обширными познаниями, как он сам. Кип хочет, чтобы люди осознали потрясающие истины Вселенной и восхитились ими. Книга построена так, чтобы читатель мог погрузиться в предмет настолько глубоко, насколько позволяют его способности: никто не останется в стороне, каждый в той или иной мере сможет испытать то удовольствие, что получил я, стараясь не отставать от живой мысли Кипа.

*Кристофер Нолан*

*Лос-Анджелес, Калифорния*

*29 июля 2014 года*

# Введение

Я работаю в науке уже с полвека. Большую часть времени я получал от своего занятия исключительное удовольствие, а кроме того, оно дало мне глубокое понимание нашего мира, нашей Вселенной.

К тому, чтобы стать ученым, меня сподвигла научная фантастика, которой я зачитывался в детстве и юношестве (Айзек Азимов, Роберт Хайнлайн и многие другие), а также научно-популярные издания того же Азимова и физика Джорджа (Георгия) Гамова. Я многим обязан этим книгам и их авторам и давно мечтал заплатить этот долг, передав их эстафету следующему поколению – привлекая молодежь и взрослых в мир науки, настоящей науки; объясняя людям, что такое наука, какую великую силу она дает – и каждому из нас как личности, и всей нашей цивилизации, человечеству.

Фильм Кристофера Нолана «Интерстеллар»<sup>1</sup> подошел для этого идеально. Мне выпал счастливый случай (и это был именно случай) участвовать в его создании с самого начала, помогая Нолану и его коллегам вплести в ткань повествования компоненты истинной науки.

Немалая часть научного содержания «Интерстеллар» находится на границе (а то и за границами) нынешних челове-

---

<sup>1</sup> Непереведенное (а может, непереводаемое) название фильма буквально означает «Межзвездный». *Прим. ред.*

ческих познаний. Это делает фильм более захватывающим, а мне дает возможность объяснить разницу между научными истинами, обоснованными предположениями и домыслами. И рассказать о том, как ученые берут идеи, зародившиеся в виде домыслов, и либо доказывают их несостоятельность, либо переводят в разряд обоснованных предположений или научных истин.

В этой книге я действую сразу двумя способами. Во-первых, рассказываю, что на сегодняшний день известно о явлениях, показанных в фильме (черных дырах, червоточинах<sup>2</sup>, сингулярностях, пятом измерении и т. д.), о том, как мы получили эти знания и как надеемся прояснить то, что пока еще неизвестно. И во-вторых, я интерпретирую события в «Интерстеллар» с позиции ученого – примерно так же, как художественный критик или рядовой любитель живописи толкует картину Пикассо.

Часто моя интерпретация описывает то, что, как я предполагаю, оказалось «за кадром»: физические свойства черной дыры Гаргантюа<sup>3</sup>, ее сингулярности, ее горизонт и внешний вид; как приливная гравитация Гаргантюа могла вызвать на планете Миллер волны высотой больше километра;

---

<sup>2</sup> Англ. wormhole; среди российских физиков также в ходу термины «кротовая нора» и «кротовина». *Прим. перев.*

<sup>3</sup> Дыра названа в честь отличающегося гигантскими размерами и прожорливостью героя романа французского писателя Франсуа Рабле (1494–1553). В одном из ранних вариантов сценария дыр было две – Гаргантюа и Пантагрюэль. *Прим. ред.*

как тессеракт, объект с четырьмя пространственными измерениями, мог перенести Купера, принадлежащего трем измерениям, через пятимерное пространство.

Порой моя интерпретация выходит за пределы непосредственных событий фильма, перерастая в экстраполяцию. Например, я расскажу, как задолго до того, что показано в фильме, профессор Брэнд мог обнаружить червоточину (для этого он исследовал гравитационные волны, исходящие от нейтронной звезды по соседству с Гаргантюа и через червоточину достигающие Земли).

Конечно, это лишь мои личные интерпретации<sup>4</sup> и Кристофер Нолан поддерживает их не в большей мере, чем Пабло Пикассо поддерживал суждения художественных критиков. Зато так я смогу рассказать о некоторых удивительных тайнах природы.

Отдельные места книги, возможно, дадутся непросто. Такова особенность настоящей науки: наука требует осмысления, порой – осмысления глубокого, но игра стоит свеч. Вы можете пролистывать сложные места, а можете постараться их понять. Если попытки окажутся тщетными, значит, с задачей не справился я, а не вы, за что заранее прошу прощения.

Надеюсь, хотя бы единожды вы обнаружите, что сидите посреди ночи, борясь со сном, и стараетесь разобраться

---

<sup>4</sup> Для краткости все интерпретации и экстраполяции Кипа Торна, призванные объяснить научные аспекты фильма, мы будем называть Кип-версией. *Прим. ред.*

в том, что я написал, – так же, как я ночами бился над вопросами, что задавал мне, отшлифовывая сценарий, Кристофер Нолан. Но в особенности я надеюсь, что хотя бы единожды, посреди ночи, вы испытаете чувство озарения, как часто испытывал его я, разрешая вопросы Нолана.

Я хочу поблагодарить Кристофера Нолана, Джонатана Нолана, Эмму Томас, Линду Обст и Стивена Спилберга за приглашение в Голливуд, за подаренную мне чудесную возможность воплотить давнюю мечту – передать следующему поколению мое послание о красоте, очаровании и мощи науки.

*Кип Торн*

*Пасадена, Калифорния*

*15 мая 2014 года*

# 1. Ученый в Голливуде: Зарождение замысла «Интерстеллар»

## Линда Обст, мой человек в Голливуде

Можно сказать, что «Интерстеллар» возник из любовного увлечения, которое в конце концов переродилось в творческий тандем.

В сентябре 1980 года мне позвонил мой друг Карл Саган. Он знал, что я один воспитываю дочку-подростка (или пытаюсь это делать – получалось у меня не очень), живу в Южной Калифорнии холостяцкой жизнью (с чуть большим успехом) и подвизаюсь на поприще физика-теоретика (тут дела обстояли не в пример лучше).

Карл позвонил, чтобы предложить мне свидание вслепую – сходить с некой Линдой Обст на грядущую мировую премьеру авторского проекта Карла, телесериала «Космос». Линда, талантливый редактор журнала «Нью-Йорк Таймс» и очаровательная женщина, недавно переехала в Лос-Анджелес. Точнее, ее, отбивающуюся руками и ногами, перевез туда муж, что впоследствии сыграло свою роль в их разводе. Стараясь извлечь максимум из сложившейся ситуации, Линда пыталась пробиться в кинобизнес, работая над фильмом «Танец-вспышка».

Премьера сериала «Космос» была торжественным мероприятием и проходила в обсерватории Гриффита. Будто желая усугубить собственную неказистость, я надел голубой смокинг. Там были все, кто имел хоть какой-то вес в Лос-Анджелесе, я чувствовал себя совершенно не в своей тарелке и... чудесно провел время.

Пару лет мы с Линдой то сбегались, то разбегались. Что-то у нас не клеилось: ее нрав и притягивал, и опустошал меня. Я все раздумывал, стоят ли долгие дни опустошения проблесков счастья, но выбор оказался не за мной. Уж не знаю, быть может, виноваты мои велюровые рубашки и трикотажные штаны, но Линда вскоре потеряла ко мне романтический интерес. Однако затем наши отношения переросли в кое-что получше – в крепкую дружбу и творческий тандем совершенно разных людей из совершенно разных миров.

Теперь перенесемся в октябрь 2005 года. Одна из наших встреч, когда мы болтали на всевозможные темы: от новых открытий в космологии до левых течений в политике, от кулинарных рецептов и до зыбучих песков кинобизнеса. На тот момент Линда уже была одним из самых известных продюсеров Голливуда (фильмы «Танец-вспышка», «Король-рыбак», «Контакт», «Как отделаться от парня за 10 дней»<sup>5</sup>). А я женился, и моя жена, Кэроли Уинстейн, стала лучшей подру-

---

<sup>5</sup> Flashdance, режиссер Эдриан Лайн, 1983. The Fisher King, режиссер Терри Гиллиам, 1991. Contact, режиссер Роберт Земекис, 1997. How to Lose a Guy in 10 Days, режиссер Дональд Перти, 2003. В двух последних играл Мэттью Макконахи. *Прим. ред.*

гой Линды. И еще я делал недурные успехи в физике.

За ужином Линда поделилась со мной замыслом научно-фантастического фильма и попросила помочь ей наполнить этот замысел конкретикой. Это могло стать ее вторым научно-фантастическим проектом, причем если над «Контактом» она работала с Карлом Саганом, то в этот раз намеревалась взять в напарники меня.

Я никогда не представлял себя в киносфере и не стремился в Голливуд, хоть и интересовался делами Линды. Однако перспектива работать с Линдой мне понравилась, к тому же ее идеи были связаны с червоточинами – с астрофизической концепцией, которую разработал я. В общем, она легко склонила меня поучаствовать в затыжном мозговом штурме.

За четыре месяца мы – общаясь лично, по электронной почте или по телефону – вчерне набросали сюжет. Там были червоточины, черные дыры, гравитационные волны, пятимерная вселенная и контакты людей с существами высших измерений.

Больше всего меня привлекала сама задумка фильма-блокбастера, построенного на положениях истинной науки. Науки на границах человеческих познаний и отчасти – за этими границами. Фильма, режиссер, сценаристы и продюсер которого уважают науку, черпают в ней вдохновение, вдумчиво и достоверно сплетая из нее ткань повествования. Фильма, который знакомит зрителей с чудесами, даруемыми нам законами физики. Фильма, вдохновляющего широкую

аудиторию познакомиться с наукой, а то и встать на научную стезю.

Девять лет спустя «Интерстеллар» стал воплощением наших мечтаний. Но путь от старта до финиша изрядно напоминал «Злоключения Полины»<sup>6</sup>; случаев, когда наши планы висели на волоске, хватало. Мы привлекли к проекту легендарного Стивена Спилберга и... потеряли его. Мы заполучили прекрасного молодого сценариста Джонатана Нолана и... теряли его дважды, на самых важных этапах работы, каждый раз на много месяцев. Два с половиной года фильм находится в подвешенном состоянии – без режиссера. А потом его возродил и преобразил Кристофер Нолан, брат Джонатана, величайший режиссер своего поколения.

## **Стивен Спилберг, режиссер (поначалу)**

Однажды в феврале 2006 года, когда мы уже начали трудиться над «Интерстеллар», Линда обедала с Тоддом Фельдманом, агентом Спилберга из «Криэйтив Артистс Эйдженси». Когда Фельдман спросил, над какими фильмами она работает, Линда рассказала о нашем проекте, нашей мечте – об «Интерстеллар», научно-фантастическом фильме, который был бы не менее научным, чем фантастическим. Фельд-

---

<sup>6</sup> The Perils of Pauline – название двух сериалов (1914, 1933) и двух фильмов (1947, 1967), над героинями которых то и дело нависает новая опасность. *Прим. перев.*

ман был впечатлен. Он решил, что это может заинтересовать Спилберга, и посоветовал Линде сегодня же послать ему сценарную заявку! (Сценарная заявка – это описание сюжета и персонажей фильма, объемом около 20 страниц или чуть больше.)

Все, что у нас было на тот момент, – переписка по электронной почте и заметки с совместных обедов. Так что мы с ураганной скоростью взялись за работу, за пару дней сваяли свой шедевр, восьмистраничную сценарную заявку, и отправили ее. Несколько дней спустя Линда написала: «Спилберг прочел и очень заинтересовался. Возможно, понадобится встретиться с ним лично. Ты готов?»

Еще бы я не был готов! Однако всего неделю спустя, прежде чем появилась возможность устроить встречу, Линда позвонила мне: «Спилберг подписывает контракт, он будет режиссером “Интерстеллар”!» Линда была в восторге, я был в восторге, оба мы были в восторге. «В Голливуде так не бывает, – сказала она мне, – никогда». И все же это случилось.

Тогда я признался Линде, что за всю свою жизнь посмотрел лишь один фильм Спилберга – конечно же, это был «Инопланетянин». (В зрелом возрасте я вообще не слишком интересовался кино.) И Линда составила мне домашнее задание: дала список фильмов Спилберга, с которыми я должен ознакомиться.

Месяц спустя, 27 марта 2006 года, состоялась наша первая встреча со Спилбергом – со Стивенем, как я отныне

стал к нему обращаться. Мы встретились в уютном конференц-зале, в самом сердце его кинопродюсерской компании «Эмблин».

На той встрече я предложил Стивену и Линде два правила относительно науки в «Интерстеллар»:

1. Ничто в фильме не должно противоречить общепринятым законам физики или достоверным знаниям о Вселенной.

2. Домыслы по поводу устройства Вселенной и малоизученных физических явлений должны быть научно подкреплены, то есть основаны на идеях, которые принимают хотя бы некоторые из уважаемых ученых.

Стивен не возражал. Кроме того, он одобрил предложение Линды привлечь других ученых для дальнейшей разработки – организовать настоящий научный семинар по «Интерстеллар».

Семинар прошел 2 июня в Калифорнийском технологическом институте, в конференц-зале напротив моего кабинета.

Это была оживленная восьмичасовая дискуссия в свободном формате, с участием четырнадцати специалистов по астробиологии, планетологии, теоретической физике, космологии, психологии и космической политике, а также Линды, Стивена, его отца Арнольда и меня. Семинар выжал из нас все соки, зато обогатил уймой новых идей, а также заставил отказаться от некоторых старых, и мы с Линдой основательно перекроили сценарную заявку.

Поскольку у нас было много других дел, на переделки ушло полгода. К январю 2007 года наша сценарная заявка увеличилась до 37 страниц плюс 16 страниц, раскрывающих научную суть отдельных эпизодов.

## Джонатан Нолан, сценарист

Параллельно с этим Линда и Стивен проводили собеседования с потенциальными сценаристами. Это заняло немало времени; в итоге был выбран 31-летний Джонатан Нолан, который прежде участвовал (в соавторстве с братом Кристофером) в создании лишь двух киносценариев («Престиж» и «Темный рыцарь», оба фильма – хиты).

Джонатан, или Джона, как называют его друзья, не очень разбирался в науке, зато был прекрасным человеком, любопытным и жадным до знаний. Много месяцев он штудировал книги, связанные с научными аспектами «Интерстеллар», и задавал мне каверзные вопросы. Мы со Стивеном и Линдой одобрили много ценных предложений Джоны.

Работать с ним было одно удовольствие. Мы провели вдвоем немало насыщенных бесед по поводу научных аспектов «Интерстеллар» – обычно это происходило во время двух-трехчасовых обедов в «Афинеуме», университетском клубе Калтеха<sup>7</sup>. Джона приходил, переполненный новыми идеями и вопросами, и я тут же отвечал: вот это с научной

---

<sup>7</sup> Краткое название Калифорнийского технологического института. *Прим. ред.*

точки зрения возможно, а это – нет... Порой я ошибался. Джона наседал на меня: а почему так? а что если?.. Но я тугодум. Я шел домой и ложился в кровать, все еще размышляя над его вопросами. Посреди ночи, когда организм расслаблен, я часто находил подходящее обоснование для сценарного хода, который предложил Джона, или придумывал альтернативу, ведущую к тому же результату. Так уж я устроен, что иногда могу справиться со сложной задачей лишь в полусне.

Наутро я изучал свои сумбурные ночные записи, расшифровывал их и отправлял электронное письмо Джоне. Он отвечал по телефону, или по почте, или лично во время очередного обеда, и в конце концов мы приходили к согласию. Например, так мы договорились до гравитационных аномалий и до использования их для эвакуации человечества с Земли. Мне удалось найти способ, хоть и лежащий за границами нынешних познаний, сделать эти аномалии научно допустимыми.

Заплутав, мы звали на помощь Линду. Она быстро понимала, что к чему, и выводила нас из дебрей на чистую дорогу. Одновременно с этим она умудрялась удерживать «Парамаунт Пикчерз» от чрезмерного вмешательства, обеспечивая нам творческую свободу, а также планировала дальнейшие этапы кинопроизводства.

К ноябрю 2007 года Джона, Линда, Стивен и я утвердили общую структуру сюжета, отчасти основанного на нашей

с Линдой первоначальной сценарной заявке, отчасти на великолепных придумках Джоны, отчасти на идеях, возникших по ходу коллективных обсуждений, – и Джона засел за сценарий. И тут 5 ноября 2007 года Гильдия сценаристов Америки объявила забастовку. Джоне запретили продолжать работу, и он исчез.

Я был в панике. Неужто все наши труды, наши мечты канут в небытие? Я бросился к Линде. Она сказала, что не стоит волноваться, но было заметно, что и сама она подавлена. История забастовки очень ярко описана в шестой главе книги Линды «Неспящие в Голливуде» [Obst 2013]. Эта глава называется «Катастрофа».

Забастовка длилась три месяца. Она закончилась 12 февраля, и Джона вернулся к работе над сценарием и к оживленным беседам с Линдой и со мной. За 16 месяцев он в общей сложности сделал сначала подробный сценарный эскиз, а затем три варианта сценария. Когда все было готово, мы встретились со Стивеном, чтобы обсудить сценарий с ним. Стивен больше часа задавал нам вопросы, прежде чем перешел к предложениям, просьбам и поправкам. В них он был не слишком рационален, но вдумчив, проницателен, изобретателен, а кое-где – тверд.

В июне 2009 года Джона передал Стивену третий вариант сценария и покинул проект. Он давно уже должен был работать над сценарием к фильму «Темный рыцарь: Возрождение легенды» и месяц за месяцем откладывал это дело ради

«Интерстеллар». Больше откладывать он не мог, и мы остались без сценариста. Кроме того, смертельно заболел отец Джоны. Джона много месяцев провел в Лондоне, у постели отца. В течение этого долгого перерыва (отец Джоны скончался в декабре) я переживал, что Стивен потеряет интерес к проекту.



*Рис. 1.1.* Джона Нолан, я и Линда Обст

Но Стивен, как и мы, ждал возвращения Джоны. Они с Линдой могли бы нанять кого-то другого, чтобы закончить сценарий, но они настолько ценили талант Джоны, что решили повременить.

Наконец в феврале 2010 года Джона вернулся, и 3 марта Стивен, Линда, Джона и я провели очень продуктивную встречу, обсудив написанный Джоной девять месяцев назад

третий вариант сценария. Я чувствовал легкое головокружение: наконец-то мы вернулись к работе.

И тут 9 июня, когда Джона усиленно работал над четвертым вариантом сценария, я получил письмо от Линды: «Наш договор со Стивенем под угрозой. Я разбираюсь с этим». Однако проблема оказалась неразрешимой. Спилберг и «Парамаунт» не договорились по поводу следующего этапа работы над «Интерстеллар», и Линде не удалось уладить этот вопрос. Неожиданно мы оказались без режиссера.

Стивен и Линда, каждый по отдельности, рассказали мне, что бюджет «Интерстеллар» грозит превратиться в чрезмерно большую сумму. Редкому режиссеру «Парамаунт» была готова доверить столь дорогой фильм. Я почувствовал, как «Интерстеллар» медленно погружается в трясину забвения. Я был опустошен, и Линда поначалу тоже. Но в преодолении препятствий ей нет равных.

## **Кристофер Нолан, режиссер и сценарист**

Всего через тринадцать дней после письма Линды о проблемах со Стивенем я получил от нее радостную весть: «Отлично поговорили с Эммой Томас...» Эмма – продюсер, жена Кристофера Нолана и соавтор всех его фильмов. Они с Кристофером заинтересовались «Интерстеллар». Линда была на седьмом небе. Джона позвонил ей и сказал,

что «это наилучший вариант развития событий». Однако по ряду причин мы, хоть и знали, что Кристофер и Эмма готовы с нами работать, не могли заключить с ними договор раньше чем через два с половиной года.

Так что мы затаились и принялись выжидать – начиная с июня 2010-го, весь 2011-й и до сентября 2012 года. Все это время меня терзали тревоги. Линда во время наших встреч излучала уверенность, но однажды, как призналась позднее, записала в своем блокноте: «Возможно, мы завтра проснемся, а Крис Нолан пропадет – после двух с половиной лет ожидания. Вдруг он загорится какой-нибудь собственной идеей. Вдруг другой продюсер принесет ему сценарий, который понравится ему больше. А вдруг – просто решит отдохнуть от кино. Тогда окажется, что я зря ждала его все это время. Так бывает. Такова жизнь креативных продюсеров. Но Крис – лучший режиссер для нас. Поэтому будем ждать».

Наконец начались переговоры, во время которых обсуждались суммы на несколько порядков выше моей зарплаты. Нам поставили условие: Нолан станет режиссером, только если «Парамаунт» возьмет в долю «Уорнер Бразерс», студию, которая занималась его последними фильмами. Это означало заключить многостраничную сделку между двумя давними конкурентами.

В итоге 18 декабря 2012 года Линда написала мне: «Парамаунт и Уорнеры договорились. Лопни моя селезенка! Весной приступаем!!!» И с тех пор как за «Интер-

стеллар» взялся Кристофер Нолан, дела, насколько помню, шли как по маслу. Наконец-то работа пошла энергично и с огоньком!

Кристофер, что немудрено, был давно знаком с наработками брата. И у них уже был за плечами опыт совместной сценарной работы: «Престиж», «Темный рыцарь», «Темный рыцарь: Возрождение легенды». Сначала Джона готовил исходник, затем подключался Кристофер и, тщательно обдумывая, как он снимет ту или иную сцену, все перерабатывал.

Когда «Интерстеллар» оказался целиком в руках Кристофера, он объединил сценарий Джоны со сценарием другого своего проекта, радикально изменив канву фильма.

В середине января Крис, как я вскоре начал к нему обращаться, пригласил меня побеседовать в офис своей кинопродюсерской компании «Синкопи» на территории «Уорнер Бразерс».

По ходу разговора я понял, что Крис неплохо ориентируется в относящихся к фильму областях науки и обладает, пусть во многом интуитивным, пониманием законов физики, которое редко подводило его в дальнейшем. А еще он проявил необычайную любознательность: наш разговор то и дело перескакивал на какую-нибудь постороннюю научную проблему, завладевшую вниманием Криса.

На этой нашей первой встрече я рассказал Крису о моих двух правилах: ничто не должно противоречить общепризнанным законам физики, а любые домыслы должны иметь

научную основу. Отнесся он к этому в целом одобрительно, но добавил, что если мне не понравится, как он обошелся с наукой, я не обязан буду его выгораживать. Такой ответ меня насторожил. Однако теперь, когда фильм уже на стадии постпродакшн, я впечатлен, насколько добросовестно Крис следовал этим правилам, что не помешало ему снять великолепный фильм.

С середины января по начало мая Крис напряженно трудился над сценарием. Время от времени он сам или его помощник Энди Томпсон звонил мне с просьбой прийти в офис Криса либо к нему домой или же прочитать новый вариант сценария. Обсуждения были долгими, обычно часа на полтора, а порой мы еще и созванивались день или два спустя и долго беседовали по телефону. Крис задавал мне непростые вопросы. Так же как и во времена работы с Джоной, мне лучше всего думалось посреди ночи. Утром я записывал свои соображения на нескольких листках, с графиками и рисунками, и передавал их Крису лично, из рук в руки. (Крис опасался утечки информации, которая могла бы испортить сюрприз для его поклонников. Он один из самых скрытных кинематографистов Голливуда.)

Временами казалось, что сценарные новшества Криса противоречат моим правилам, но, к собственному удивлению, я почти всегда находил способ примирить их с наукой. Лишь однажды я потерпел в этом поражение, и после двух недель напряженных дискуссий Крис отступил, придав соот-

ветствующему ответвлению сюжета другое направление.

Так что в итоге Крис и не нуждается в том, чтобы кто-то защищал его от обвинений в надругательстве над наукой. Совсем наоборот, я в восторге! Он претворил нашу с Линдой идею научного блокбастера в реальность.

Стараниями Джоны и Криса сюжет «Интерстеллар» изменился до неузнаваемости. Он лишь в общих чертах напоминает нашу с Линдой сценарную заявку. И он намного лучше! Что же касается научных идей, то ни в коем случае не стоит думать, будто все они принадлежат мне. Многие из них привнес в фильм Крис, хотя коллеги-физики считают их моими, да я и сам порой диву даюсь, как это мне самому не пришло в голову. Также немало замечательных идей родилось во время коллективных мозговых штурмов с Крисом, Джоной и Линдой.



*Рис. 1.2.* Я и Кристофер Нолан беседуем на съемочной площадке, в декорациях управляющего модуля «Эндюранс»

Однажды в апреле мы с Кэроли устроили у нас дома, в Пасадене, прием в честь Стивена Хокинга, пригласив добрую сотню самых разных гостей: ученых, актеров, писателей, фотографов, кинематографистов, историков, школьных учителей, общественных и профсоюзных деятелей, предпринимателей, архитекторов и т. д. Там были Крис и Эмма, Джона Нолан и его жена Лайза Джой и, конечно же, Линда. Поздним вечером мы вшестером долго стояли на балконе, под звездным небом, вдали от шума вечеринки, и тихо беседовали – впервые у меня была возможность узнать Криса как челове-

ка, а не кинематографиста. Это было здорово!

Крис – человек практического ума, обаятельный и ироничный. Он напоминает другого моего знакомого, Гордона Мура, основателя компании «Интел»: оба, достигнув высот в своей области, ведут себя просто и без претензий. Оба водят старые машины, хоть у них есть и более современные, роскошные авто. В компании обоих мне комфортно, что для такого интроверта, как я, большая редкость.

## **Пол Франклин, Оливер Джеймс, Эжени фон Танзелманн: команда по созданию визуальных эффектов**

Однажды в разгар мая мне позвонил Крис. Он хотел поехать ко мне домой парня по имени Пол Франклин, чтобы мы обсудили с ним компьютерную графику для «Интерстеллар». Пол приехал на следующий день, и мы провели увлекательнейшую двухчасовую беседу в моем рабочем кабинете. Пол, в отличие от напористого Криса, человек крайне деликатный. Он оказался большим умницей и обнаружил глубокие познания в нужных областях науки, хоть и учился в колледже на гуманитария.

Когда Пол уже уходил, я спросил, какую компанию он думает выбрать для работы над визуальными эффектами. «Мою», – ответил он просто. «А что это за компания?» – наивно поинтересовался я. «Double Negative. У нас тысяча

сотрудников в Лондоне и двести – в Сингапуре».



*Рис. 1.3.* Пол Франклин и я

После того как Пол ушел, я ввел его имя в интернет-поисковик и обнаружил, что он не только соучредитель Double Negative, но и обладатель «Оскара» за визуальные эффекты в фильме Криса «Начало». «Пора бы начать разбираться во всем этом кинобизнесе», – пробормотал я себе под нос. Несколько недель спустя Пол устроил видеоконференцию, где представил меня ключевым игрокам в команде по созданию визуальных эффектов для «Интерстеллар» (она базировалась в Лондоне). Наиболее плотно мне предстояло общаться с Оливером Джеймсом, главным программистом, и с Эже-

ни фон Танзелманн, руководителем группы художников, которым и должны были помочь программы Оливера в создании захватывающих изображений для фильма.

Оливер и Эжени были первыми людьми с техническим образованием, которых я встретил, работая над «Интерстеллар». У Оливера степень по оптике и атомной физике, и он в подробностях знаком со специальной теорией относительности Эйнштейна. Эжени – инженер в области информатики и организации данных, выпускник Оксфорда. Эти люди разговаривали со мной на одном языке.



*Рис. 1.4.* Эжени фон Танзелманн, я и Оливер Джеймс

Несколько месяцев я без продыху бился над уравнениями, описывающими пространство рядом с черными дырами и червоточинами (см. [главу 8](#) и [главу 15](#)). Я проверял уравнения с низкой точностью с помощью удобной компьютерной системы Mathematica, а затем отсылал свои программист-

ские поделки Оливеру. Тот превращал полученное в сложные компьютерные программы для генерации IMAH-графики сверхвысокого качества и передавал их Эжени. Работать с ними обоими было сплошное удовольствие.

В результате графика в «Интерстеллар» вышла просто изумительной, да еще и достоверной с научной точки зрения!

Вы не представляете себе мой восторг, когда Оливер прислал мне первые видеофрагменты. Впервые в жизни я – причем раньше всех остальных ученых – увидел в сверхвысоком разрешении, на что похожа быстровращающаяся черная дыра и как выглядит окружающее ее пространство.

## **Мэтью Макконахи, Энн Хэтэуэй, Майкл Кейн, Джессика Честейн**

18 июля, за две недели до запланированного начала съемок, я получил электронное письмо от Мэтью Макконахи, актера, исполняющего роль Купера. «Я хотел бы, – писал он, – задать вам кое-какие вопросы насчет “Интерстеллар”... Хорошо бы лично, если вы неподалеку от Лос-Анджелеса. Жду ответа, спасибо, на связи, Макконахи».

Мы встретились шесть дней спустя в номере бутик-отеля «Л’Эрмитаж» в Беверли-Хиллз. Остановившийся там Мэтью старался разобраться в образе Купера и в научных основах «Интерстеллар».

Когда я приехал, он встретил меня в шортах и майке, босой, исхудавший после съемок фильма «Далласский клуб покупателей» (за который он получил «Оскар» как лучший актер). Он спросил, можно ли называть меня Кип, я ответил: «Конечно» – и спросил, как называть его. «Как угодно, только не Мэтт, ненавижу имя Мэтт. Можно Мэтью, или Макконахи, или “эй, ты” – как тебе больше нравится». Я выбрал «Макконахи» – это имя так приятно скатывается с языка, а кроме того, у меня слишком много знакомых, которых зовут Мэтью.

Из огромной гостиной номера Макконахи была убрана вся мебель, за исключением углового дивана и кофейного столика. На столике и на полу валялись листы бумаги, на каждом – разрозненные заметки, написанные вкривь и вкось. Он брал листок, вчитывался и задавал вопрос. Как правило, вопросы были довольно глубокими и требовали от меня обстоятельных разъяснений, по ходу которых Макконахи делал новые заметки.

Часто разговор уводил нас в сторону от первоначального вопроса. Для меня это была одна из самых интересных бесед за долгое время! От законов физики (в особенности квантовой физики) мы переходили к религии и мистицизму, к научным аспектам «Интерстеллар», к нашим семьям (в особенности детям), к нашим взглядам на жизнь, к тому, откуда мы черпаем вдохновение, как работает наш разум и как мы открываем для себя новое. Я ушел через два часа в состоя-

нии эйфории.

Позже я рассказал о нашей встрече Линде. «Ну еще бы», – хмыкнула она. «Интерстеллар» – ее третий фильм с Макко-нахи, и Линда знала, как он подходит к своей работе. Хоро-шо, что она не предупредила меня об этом – сюрприз был из приятнейших.

Другое письмо, от Энн Хэтэуэй, играющей Амелию Бр-энд, пришло через несколько недель. «Привет, Кип! Наде-юсь, это письмо дойдет без проблем... Эмма Томас дала мне твой адрес на случай, если будут вопросы. Что ж, те-ма непростая, и вопросы у меня есть!.. Мы можем побеседо-вать? Большое спасибо, Энни».

Мы поговорили по телефону, поскольку в наших распи-саниях не нашлось окон для личной встречи. Она сказала, что немного увлекается физикой и что ее героиня, Брэнд, должна знать физику назубок, а затем выдала ряд на удивле-ние сложных вопросов: Какая связь между временем и гра-витацией? Почему мы считаем возможными измерения выс-шего порядка? Проводились ли эксперименты в области квантовой гравитации?.. Лишь в самом конце она позволи-ла разговору уклониться от темы, и мы поболтали о музыке: в школе она играла на трубе, а я – на саксофоне и кларнете.

Во время съемок «Интерстеллар» я крайне редко бывал на площадке. В этом не было необходимости. Но однажды утром Эмма Томас устроила мне экскурсию по декораци-ям «Эндюранс» – полноразмерным муляжам управляющего

и навигационного отсеков корабля, построенным в тридцатом павильоне «Сони Студиос».

Что и говорить, выглядело это впечатляюще: конструкция длиной в 13,5 и шириной в 8 метров, подвешенная в воздухе, способная перемещаться и по горизонтали, и по вертикали и проработанная до мельчайших деталей. Эффект был сногшибательный.

«Эмма, – возник у меня вопрос, – зачем строить огромные, сложные декорации, если все это можно изобразить с помощью компьютерной графики?» «Еще неизвестно, что обойдется дороже, – ответила она. – Кроме того, компьютерная графика пока еще не обладает всеми достоинствами живой декорации». Везде, где возможно, они с Крисом использовали натуральные декорации и эффекты, и лишь то, что нельзя было снять вживую (например, черная дыра Гаргантюа), делалось на компьютере.

В другой раз я написал с дюжину уравнений и графиков на доске профессора Брэнда и наблюдал, как Крис снимает сцену в профессорском кабинете с Майклом Кейном в роли профессора и Джессикой Честейн в роли Мёрф. Я был поражен, как тепло отнеслись ко мне Кейн и Честейн. Хотя я и не был звездой фильма, меня знали как «ученого при “Интерстеллар”», который носится с идеей скрестить кино и науку.

Благодаря этой своей «известности» я смог пообщаться с такими иконами Голливуда, как братья Ноланы, Маккона-

хи, Хэтэуэй, Кейн, Честейн. Приятное дополнение к творческому сотрудничеству с Линдой.

И вот воплощение нашей с Линдой мечты об «Интерстеллар» достигает завершающей стадии. Эта стадия – вы, наша аудитория, люди, которые заинтересовались научными аспектами «Интерстеллар» и ищут объяснения странным вещам, показанным в фильме.

Эти объяснения – здесь. Для того я и написал эту книгу. Приятного чтения!

# І. Основы

## 2. Вкратце о Вселенной

Вселенная безбрежна и невероятно прекрасна. Удивительно проста в одних своих проявлениях и невероятно сложна в других. Из всего несметного многообразия понятий, относящихся ко Вселенной, нам сейчас понадобится лишь несколько – о них и поговорим.

### Большой взрыв

Вселенная образовалась 13,7 миллиарда лет тому назад в результате грандиозного взрыва. «Большой взрыв» – это насмешливое название<sup>8</sup> придумал мой друг, космолог Фред Хойл, который в 1940-е годы принял данную идею в штыки.

Фред ошибался. Мы уже наблюдали излучение от этого взрыва, и лишь за неделю до того, как я пишу эти строки, были получены экспериментальные данные об излучении, испущенном спустя одну триллионную триллионной триллионной доли секунды после его начала!<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Big Bang, дословно – «Большой бабах». *Прим. перев.*

<sup>9</sup> Введите в поисковике Google «gravitational waves from the big bang» («гравитационные волны большого взрыва») или «CMB polarization» («поляризация ре-

Нам неизвестно, чем был вызван Большой взрыв и существовало ли что-нибудь до него. Так или иначе, в этом взрыве родилась Вселенная – в виде океана сверхгорячего газа, расширяющегося во всех направлениях подобно огненному облаку от взрыва атомной бомбы или газопровода.

Я бы с радостью написал о Большом взрыве целую главу, но героическим усилием воли сдержу свой порыв – до главы 16 мы почти не будем о нем вспоминать.

## Галактики

По мере расширения Вселенной горячий газ, из которого она состояла, охлаждался. В каких-то случайных ее областях плотность газа была немного выше, чем в других. Когда газ становился достаточно холодным, гравитация стягивала каждую из областей высокой плотности внутрь себя, порождая галактики (огромные скопления звезд с их планетами и разреженным газом, заполняющим межзвездное пространство), см. рис. 2.1. Самая первая галактика образовалась, когда Вселенной было несколько сотен миллионов лет.

---

ликтового излучения»), чтобы прочитать об этом потрясающем открытии, сделанном в марте 2014 года. Некоторые подробности я раскрою в конце главы 16. *Прим. автора.* В марте 2014 года действительно было заявлено о детектировании ненулевых возмущений реликтового излучения, но ряд авторов оспорили результаты эксперимента. Одним из основных контраргументов было игнорирование вклада эффектов межзвездной пыли. *Прим. науч. ред.*



*Рис. 2.1.* Массивное скопление галактик под названием Abell 1689 и множество более отдаленных галактик; сфотографировано космическим телескопом «Хаббл»

В наблюдаемой Вселенной приблизительно триллион галактик. Самые большие из них содержат по нескольку трил-

лионов звезд, их поперечный размер – около миллиона световых лет<sup>10</sup>. Самые маленькие содержат около 10 миллионов звезд, их размер в поперечнике – примерно тысяча световых лет. В центре каждой крупной галактики располагается черная дыра (см. главу 5), которая тяжелее нашего Солнца в миллион или более раз<sup>11</sup>.

Земля расположена в галактике Млечный Путь. Большинство звезд Млечного Пути сосредоточено в области яркой полосы, которую можно наблюдать на земном небе ясными темными ночами. И почти все видимые на ночном небе огоньки – не только те, что расположены в пределах яркой полосы, – это звезды Млечного Пути.

Ближайшая к нашей крупная галактика называется галактикой Андромеды (рис. 2.2), и находится она на расстоянии 2,5 миллиона световых лет от Земли. В ней около триллиона звезд, ее поперечный размер – примерно 100 000 световых лет. Млечный Путь и галактика Андромеды в некотором роде близнецы – они схожи по размерам, по форме и по количеству звезд. Если бы на рис. 2.2 был изображен Млечный Путь, Земля находилась бы там, где нарисован желтый ромбик.

---

<sup>10</sup> Световой год – это расстояние, которое свет преодолевает за один год: около ста триллионов километров. *Прим. автора.*

<sup>11</sup> Выражаясь более научно, ее масса в миллион или более раз превышает солнечную, то есть на некотором фиксированном удалении сила ее гравитационного притяжения эквивалентна силе притяжения миллиона Солнц. *Прим. автора.*

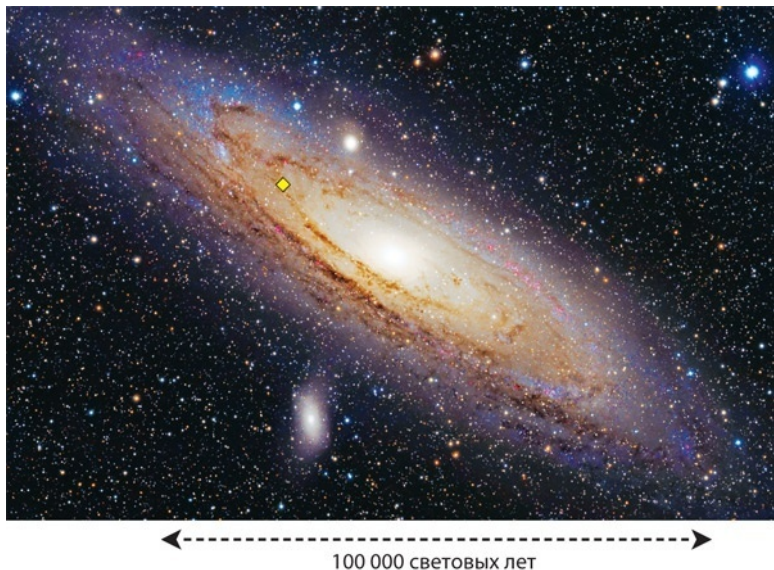


Рис. 2.2. Галактика Андромеды

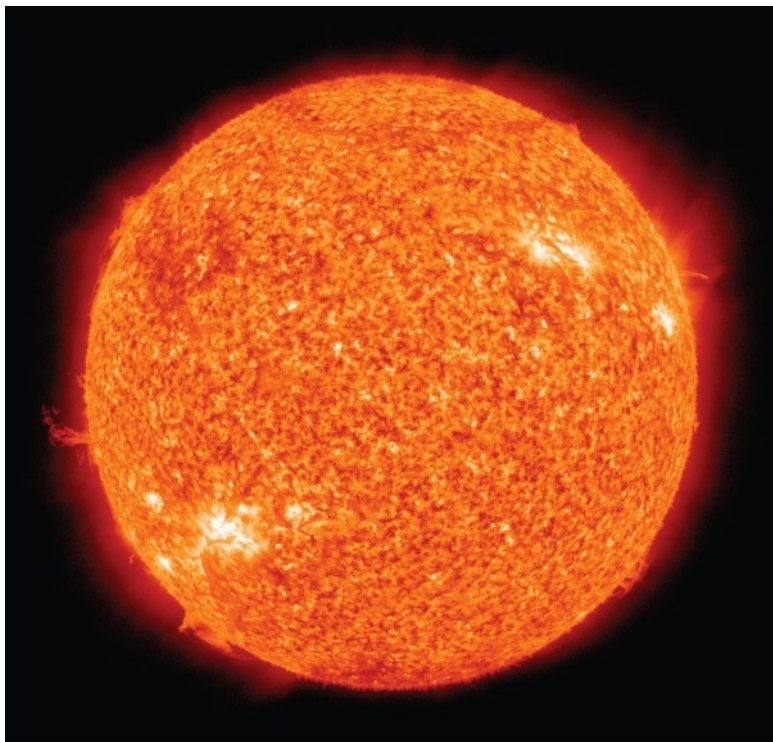
В галактике Андромеды есть огромная черная дыра. Она в 100 миллионов раз тяжелее Солнца, а ее поперечный размер примерно равен поперечному размеру орбиты Земли (те же вес<sup>12</sup> и размер, что и у черной дыры Гаргантюа в «Интерстеллар», см. [главу 6](#)). Она находится в центре яркой сферы на рис. 2.2.

---

<sup>12</sup> В этой книге я использую слова «масса» и «вес» как синонимы. *Прим. автора.*

# Солнечная система

Звезды – это огромные раскаленные газовые шары, температура которых обычно поддерживается за счет ядерных реакций, протекающих в звездном ядре. Солнце – весьма типичная звезда. Его диаметр – 1,4 миллиона километров, что в сотню раз больше диаметра Земли. Поверхность Солнца покрыта различными на вид относительно горячими и относительно прохладными областями, а также кое-где встречаются вспышки (протуберанцы), и ее чрезвычайно интересно наблюдать в телескоп (рис. 2.3).



1,4 миллиона километров

*Рис. 2.3.* Солнце, сфотографированное Обсерваторией солнечной динамики NASA

Восемь планет, включая Землю, вращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам вместе со множеством карликовых планет (среди которых наиболее известен Плутон),

а также комет и небольших твердых объектов, называемых астероидами и метеороидами (рис. 2.4). Земля – третья планета от Солнца. Сатурн с его роскошными кольцами – шестая планета, и ему в «Интерстеллар» выделена особая роль (см. главу 15).

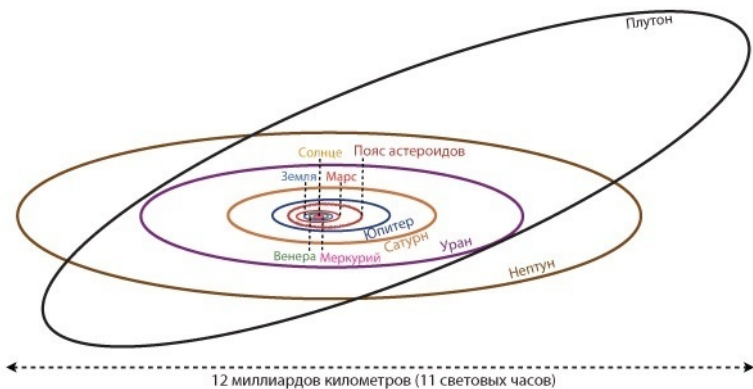


Рис. 2.4. Орбиты планет Солнечной системы и Плутона и скопление астероидов

Солнечная система в тысячу раз больше, чем само Солнце; свету потребуется 11 часов, чтобы пройти от одного ее края до другого.

Расстояние до ближайшей к нам (не считая Солнца) звезды, проксимы Центавра, составляет 4,24 светового года, что в 2500 раз превышает поперечный размер Солнечной системы! В главе 13 мы поговорим об удивительных особенно-

стях межзвездных путешествий.

## **Звездная смерть: белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры**

Солнцу и Земле около 4,5 миллиарда лет, это примерно треть возраста Вселенной. Спустя примерно еще 6,5 миллиарда лет в солнечном ядре иссякнет ядерное топливо, которое поддерживает жар Солнца. Тогда начнется выгорание топлива в оболочке, окружающей ядро, и поверхность Солнца расширится, поглотив Землю. Когда же топливо в оболочке тоже закончится, а Земля сгорит, Солнце сожмется, превратившись в белый карлик величиной приблизительно с Землю, но в миллионы раз плотнее. Белый карлик постепенно, за десятки миллиардов лет, остынет, сделавшись плотным темным огарком.

Те звезды, что весят гораздо больше Солнца, сжигают свое топливо значительно быстрее, а затем схлопываются, образуя нейтронную звезду или черную дыру.

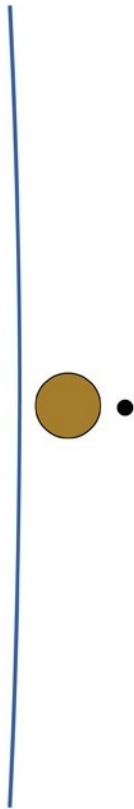
Масса нейтронной звезды составляет в среднем от одной до трех солнечных масс, диаметр – от 75 до 100 километров (сравнимо с размерами Чикаго), а плотность равна плотности атомного ядра: в сотни триллионов раз выше плотности камня и, соответственно, Земли. Почти целиком нейтронные звезды состоят из ядерной материи – упакованных бок к боку атомных ядер.

Черные дыры же (см. [главу 5](#)) целиком и полностью состоят из искривленного пространства и искривленного времени (в главе 4 я поясню это странное утверждение). Таким образом, черная дыра не содержит материи. Однако она имеет поверхность – ее называют «горизонтом событий» или просто «горизонтом», – через которую ничто не способно выйти наружу, даже свет; отсюда и слово «черная» в названии. Диаметр черной дыры пропорционален ее весу<sup>13</sup>: чем она тяжелее, тем больше.

Если масса черной дыры равна массе типичной нейтронной звезды или белого карлика (скажем, в 1,2 раза тяжелее Солнца), то ее окружность будет равна примерно 22 километрам, что составляет четверть диаметра нейтронной звезды или тысячную часть диаметра белого карлика (см. рис. 2.5).

---

<sup>13</sup> Здесь имеется в виду соотношение между массой черной дыры и ее радиусом Шварцшильда, который характеризует горизонт событий. *Прим. науч. ред.*



*Рис. 2.5.* Белый карлик (слева), нейтронная звезда (посередине) и черная дыра (справа), которые весят в 1,2 раза больше Солнца. Здесь показана лишь малая часть поверхности белого карлика

Поскольку звезды обычно весят не больше 100 Солнц,

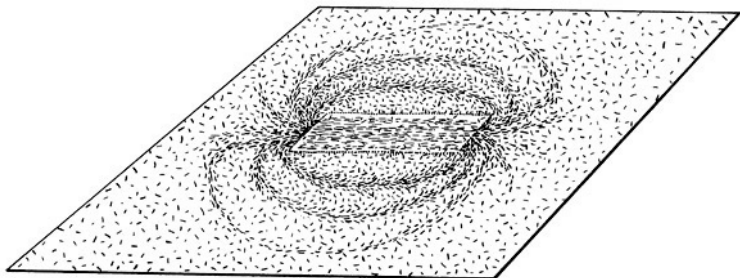
вес черных дыр, которыми они становятся после смерти, тоже не превышает 100 солнечных масс. Из этого следует, что гигантские черные дыры, которые находятся в ядрах галактик и вес которых составляет от миллиона до 20 миллиардов солнечных масс, не могли образоваться из умирающих звезд. Видимо, они зародились каким-то иным образом – возможно, при объединении множества черных дыр поменьше или в результате схлопывания массивных газовых облаков.

## **Магнитные, электрические и гравитационные поля**

Силовые линии магнитных полей играют большую роль во Вселенной и очень важны для понимания «Интерстеллар», поэтому стоит поговорить о них, прежде чем углубиться в научные аспекты фильма.

Наверное, на уроках физики вам уже приходилось иметь дело с силовыми линиями магнитного поля, когда вы ставили простой, но очень эффектный опыт. Помните, берешь листок бумаги, накрываешь им магнитный брусок и сыпешь сверху железные опилки? Опилки при этом складываются в узор, как на рис. 2.6. Они выстраиваются вдоль силовых линий магнитного поля, которые сами по себе невидимы. Эти линии исходят от одного из полюсов магнита, огибают магнит и достигают другого полюса. Магнитное поле – это

совокупность всех магнитных силовых линий.



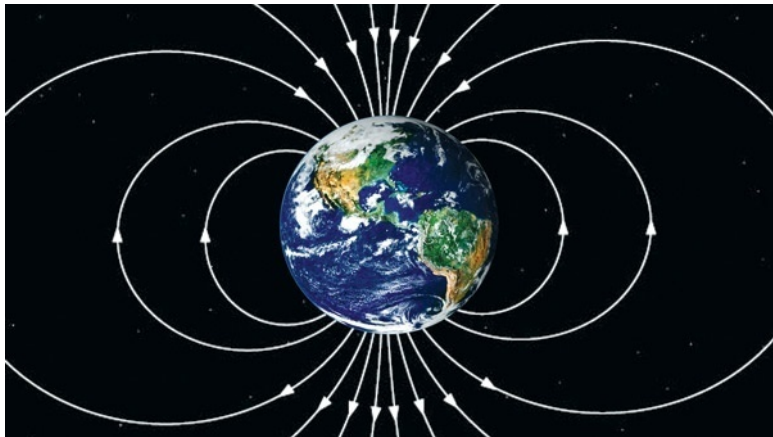
*Рис. 2.6.* Силовые линии магнитного поля вокруг магнитного бруска видны благодаря рассыпанным по листу бумаги железным опилкам (Рисунок Мэтта Зимета по моему наброску; из моей книги «Черные дыры и складки времени: дерзкое наследие Эйнштейна» [Торн 2009].)

Если вы возьмете два магнита и поднесете их северными полюсами друг к другу, их силовые линии будут отталкиваться. При этом в пространстве между магнитами вы ничего не увидите, но силу магнитного поля почувствуете. Этот эффект можно использовать для удержания в воздухе намагниченных объектов, каковым может быть даже железнодорожный поезд (рис. 2.7).



*Рис. 2.7.* Первый в мире коммерческий поезд на магнитной подушке в Шанхае, Китай

У Земли тоже есть два полюса, Северный и Южный. Силовые линии магнитного поля выходят из Южного полюса, огибают Землю и достигают Северного полюса (рис. 2.8). Эти линии воздействуют на стрелку компаса таким же образом, как и на железные опилки: стрелка не успокоится, пока не встанет вдоль линий настолько точно, насколько это возможно. Таков принцип работы компаса.



*Рис. 2.8. Силовые линии магнитного поля Земли*

Силовые линии магнитного поля Земли можно увидеть, наблюдая полярное (иначе – северное) сияние (рис. 2.9). Силовые линии захватывают летящие от Солнца протоны, и те входят в земную атмосферу. Там протоны сталкиваются с молекулами кислорода и азота, заставляя их флуоресцировать<sup>14</sup>. Это свечение и есть полярное сияние.

---

<sup>14</sup> Механизм верно описан для полярного сияния на Земле. Для других планет наиболее яркие линии в спектре излучения определяются составом атмосферы. Так, для Юпитера наиболее яркой будет линия излучения водорода в ультрафиолетовом спектре. *Прим. науч. ред.*



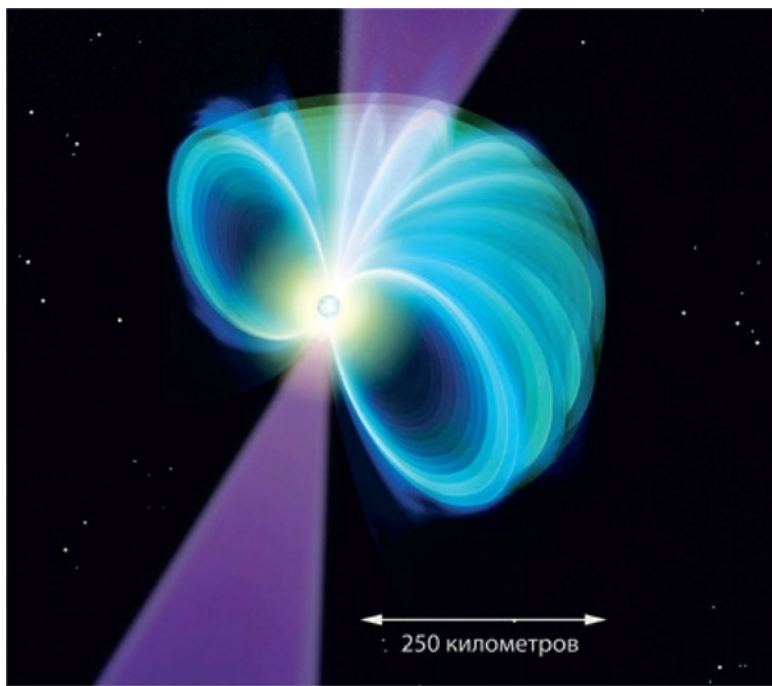
Рис. 2.9. Полярное сияние над Хаммерфестом, Норвегия

Магнитное поле нейтронных звезд очень мощное. Его силовые линии, так же как и земные, образуют фигуру, напоминающую пончик. Быстро движущиеся частицы, пойманные в магнитное поле нейтронной звезды, подсвечивают его силовые линии (голубые кольца на рис. 2.10). Некоторые частицы освобождаются и отлетают от полюсов, образуя конусообразные струи – *джеты*<sup>15</sup> (на рис. 2.10 показаны фиолетовым). Джеты состоят из самых разных излучений: гамма-лучей, рентгеновских лучей, ультрафиолета, видимого излучения, инфракрасного излучения, а также радиоволн.

---

<sup>15</sup> Среди российских физиков бытует термин «релятивистская струя». *Прим. перев.*

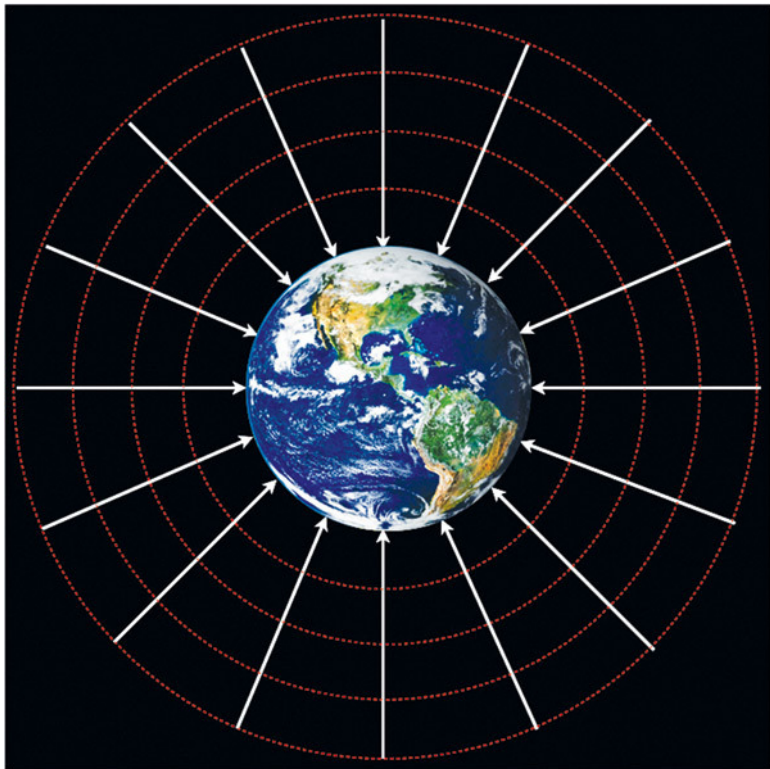
По мере того как звезда вращается, излучающие джеты движутся по небосводу подобно прожекторам. Каждый раз, когда джет поворачивается в сторону Земли, астрономы наблюдают импульс излучения; из-за периодичности импульсов такие звезды и прозвали пульсарами.



*Рис. 2.10.* Условное изображение нейтронной звезды с магнитным полем в форме пончика и джетами

Во Вселенной есть и другие поля (совокупности силовых линий) помимо магнитных. Это среди прочих электрические поля (совокупности силовых линий, благодаря которым электрический ток движется по проводам). Еще один пример – гравитационные поля (совокупности силовых линий, которые, в частности, притягивают нас к земной поверхности).

Силовые линии гравитационного поля Земли направлены радиально, к ее центру, и притягивают объекты к Земле. Сила гравитационного притяжения пропорциональна плотности силовых линий (количеству линий, которые проходят через заданную площадь). По мере того как линии приближаются к Земле и проходят через воображаемые сферы все меньшей и меньшей площади (окружности из красного пунктира на рис. 2.11), плотность линий увеличивается обратно пропорционально площади сфер, а следовательно, гравитация возрастает по мере приближения к Земле – обратно пропорционально площади воображаемой сферы. Поскольку площадь каждой сферы пропорциональна квадрату ее удаленности от центра Земли  $r$ , сила притяжения Земли возрастает как  $1/r^2$ . Это ньютоновский закон обратных квадратов для гравитации – один из фундаментальных законов физики, которыми так страстно увлечен профессор Брэнд и знакомство с которыми – наша следующая веха на пути освоения научных аспектов «Интерстеллар».



*Рис. 2.11.* Силовые линии гравитационного поля Земли

## **3. Законы, управляющие Вселенной**

### **Эпоха великих негеографических открытий**

С XVII века и по сей день ученые бьются над разгадкой физических законов, которые управляют Вселенной и формируют ее. Это напоминает то, как европейские путешественники-первооткрыватели самоотверженно исследовали земную географию (рис. 3.1).



Мартин Вальдземюллер, 1506



Абрахам Ортелиус, 1570



Эмануэль Боуэн, 1744

*Рис. 3.1.* Карты мира

В 1506 году кругозор картографов ограничивался Евразией и лишь где-то вдалеке вдали берега Южной Америки. К 1570 году обе Америки были открыты, но никто и не подозревал о существовании Австралии. К 1744 году была открыта и Австралия, но Антарктика оставалась на карте белым пятном.

Подобно этому (рис. 3.2) к 1690 году были открыты ньютоновские законы физики. С помощью таких понятий, как сила, масса и ускорение, а также уравнений, которые их связывают (например,  $F = ma$ ), законы Ньютона точно описывают движение Луны вокруг Земли и движение Земли вокруг Солнца, полет самолета, распределение нагруз-

ки в конструкции моста и соударение бильярдных шаров, и многие-многие прочие явления. В главе 2 мы уже сталкивались с одним из ньютоновских законов – законом обратных квадратов для гравитации.



Рис. 3.2. Законь физики, управляющие Вселенной

К 1915 году Эйнштейн и другие ученые доказали, что законь Ньютона не работают в случае очень высоких скоростей (для объектов, которые движутся со скоростью, близкой к скорости света), очень больших расстояний (масштаб Вселенной) и в случае высокой гравитации (например,

для черных дыр). Чтобы устранить этот недостаток, Эйнштейн сформулировал свою революционную теорию относительности (рис. 3.2). Используя понятия искривленного времени и искривленного пространства (о которых пойдет речь в следующей главе), законы теории относительности предсказали и объяснили такие феномены, как расширение Вселенной, черные дыры, нейтронные звезды и червоточины.

К 1924 году стало ясно, что законы Ньютона не работают также и для сверхмалых размеров (молекулы, атомы и фундаментальные частицы). Чтобы разобраться с этим, Нильс Бор, Вернер Гейзенберг, Эрвин Шрёдингер и другие ученые вывели законы квантовой физики (рис. 3.2). Взяв за основу, что всё вокруг хотя бы в небольшой мере подвержено случайным колебаниям – флуктуациям (об этом в главе 26) и что эти флуктуации могут порождать новые частицы и излучения «из ничего»<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Современная наука предполагает, что вакуум представляет собой не полное отсутствие каких-либо объектов (частиц, излучений и т. д.), а сложную структуру, и частицы понимаются как некие возбуждения над вакуумом. *Прим. науч. ред.*

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.