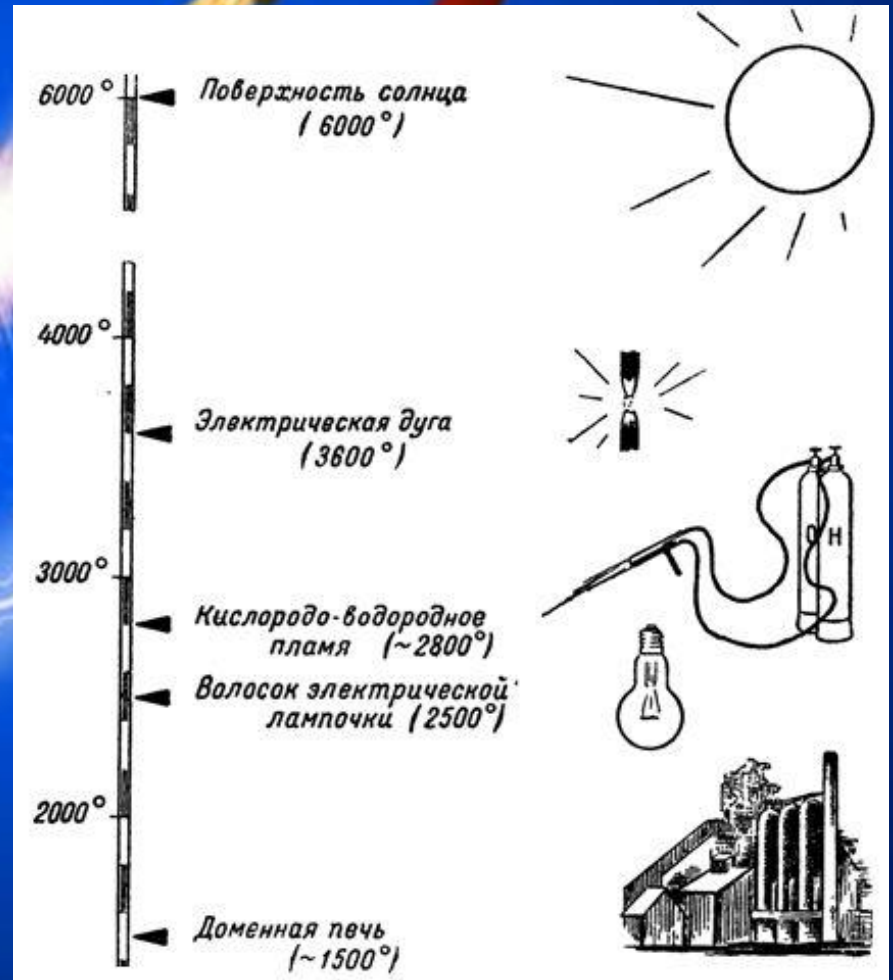


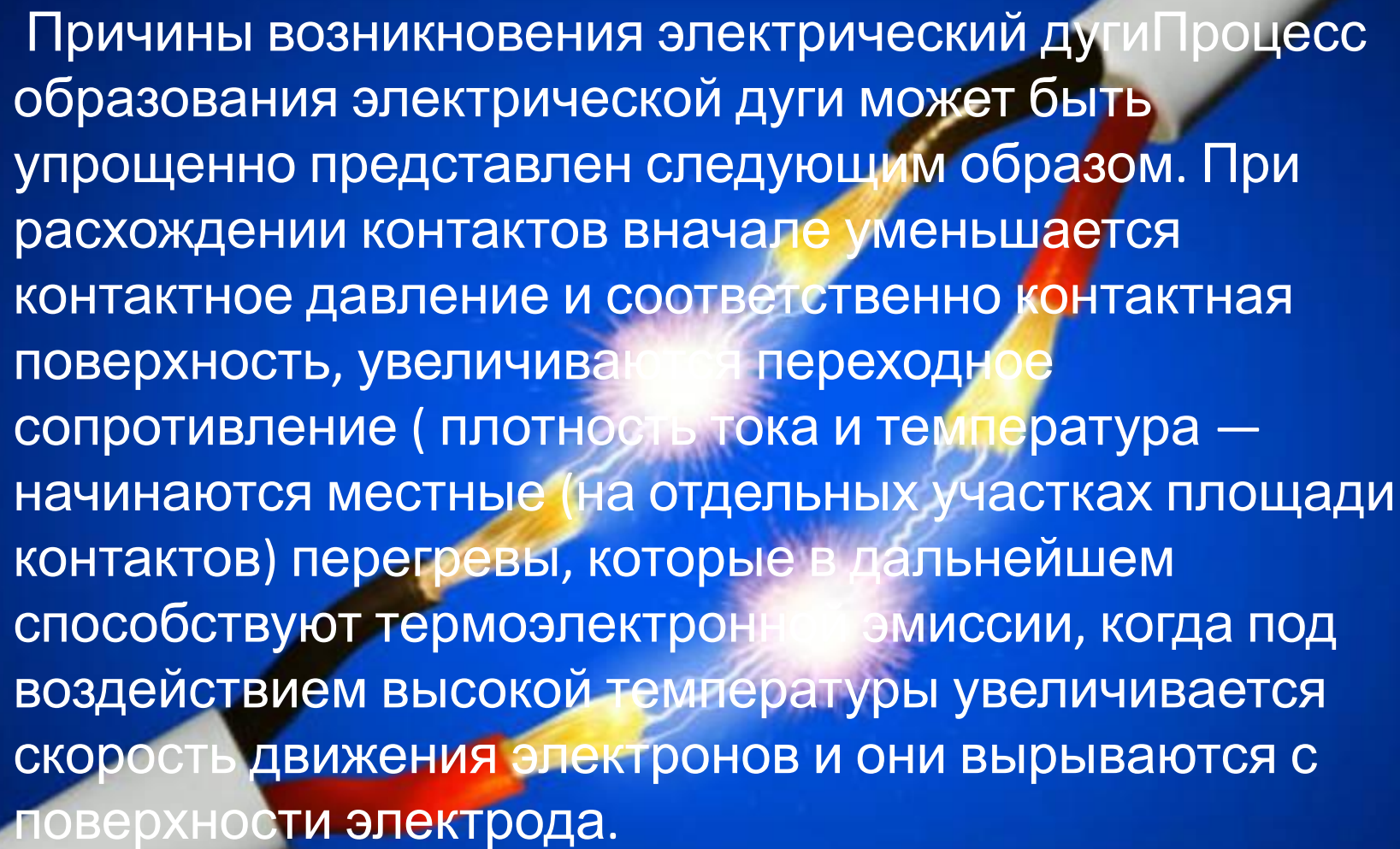
ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕРЕХОДНОМ ПРОЦЕССЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГЕ



При размыкании электрической цепи возникает электрический разряд в виде **электрической дуги**. Для появления электрической дуги достаточно, чтобы напряжение на контактах было выше 10 В при токе в цепи порядка 0,1А и более. При значительных напряжениях и токах температура внутри дуги может достигать 3 - 15 тыс. °С, в результате чего плавятся контакты и токоведущие части.

При напряжениях 110 кВ и выше длина дуги может достигать нескольких метров. Поэтому электрическая дуга, особенно в мощных силовых цепях, на напряжение выше 1 кВ представляет собой большую опасность, хотя серьезные последствия могут быть и в установках на напряжение ниже 1 кВ. Вследствие этого электрическую дугу необходимо максимально ограничить и быстро погасить в цепях на



A close-up photograph of two electrical contacts, likely from a switch or relay, with a bright, glowing arc of light between them. The contacts are metallic and have a red insulating coating. The background is dark blue. The text is overlaid on the image, describing the process of electrical arcing.

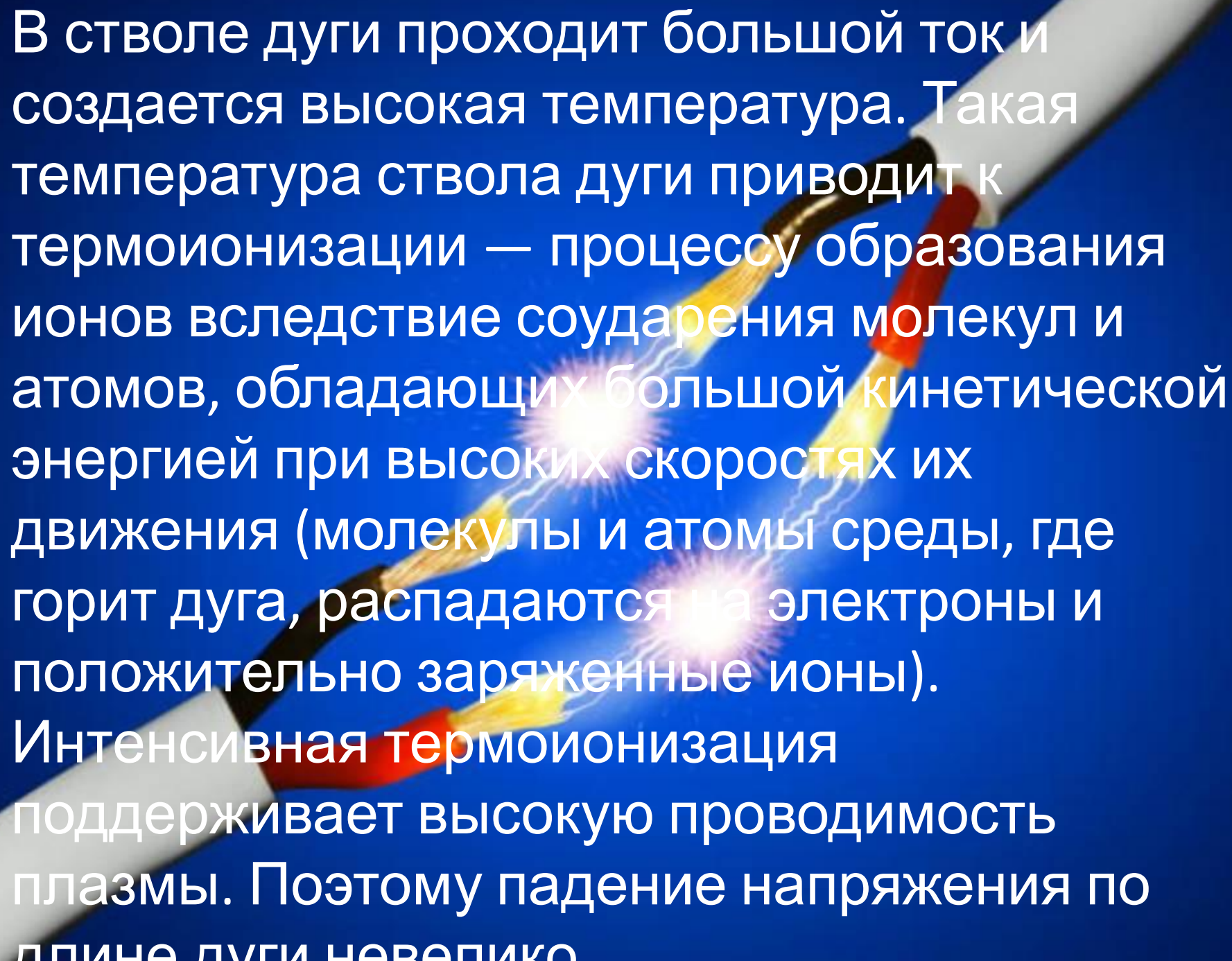
Причины возникновения электрической дуги
Процесс образования электрической дуги может быть упрощенно представлен следующим образом. При расхождении контактов вначале уменьшается контактное давление и соответственно контактная поверхность, увеличиваются переходное сопротивление (плотность тока и температура — начинаются местные (на отдельных участках площади контактов) перегревы, которые в дальнейшем способствуют термоэлектронной эмиссии, когда под воздействием высокой температуры увеличивается скорость движения электронов и они вырываются с поверхности электрода.

В момент расхождения контактов, то есть разрыва цепи, на контактной промежутке быстро восстанавливается напряжение. Поскольку при этом расстояние между контактами мало, возникает электрическое поле высокой напряженности, под воздействием которого с поверхности электрода вырываются электроны. Они разгоняются в электрическом поле и при ударе в нейтральный атом передают ему свою кинетическую энергию. Если этой энергии достаточно, чтобы оторвать хотя бы один электрон с оболочки нейтрального атома, то происходит процесс ионизации.

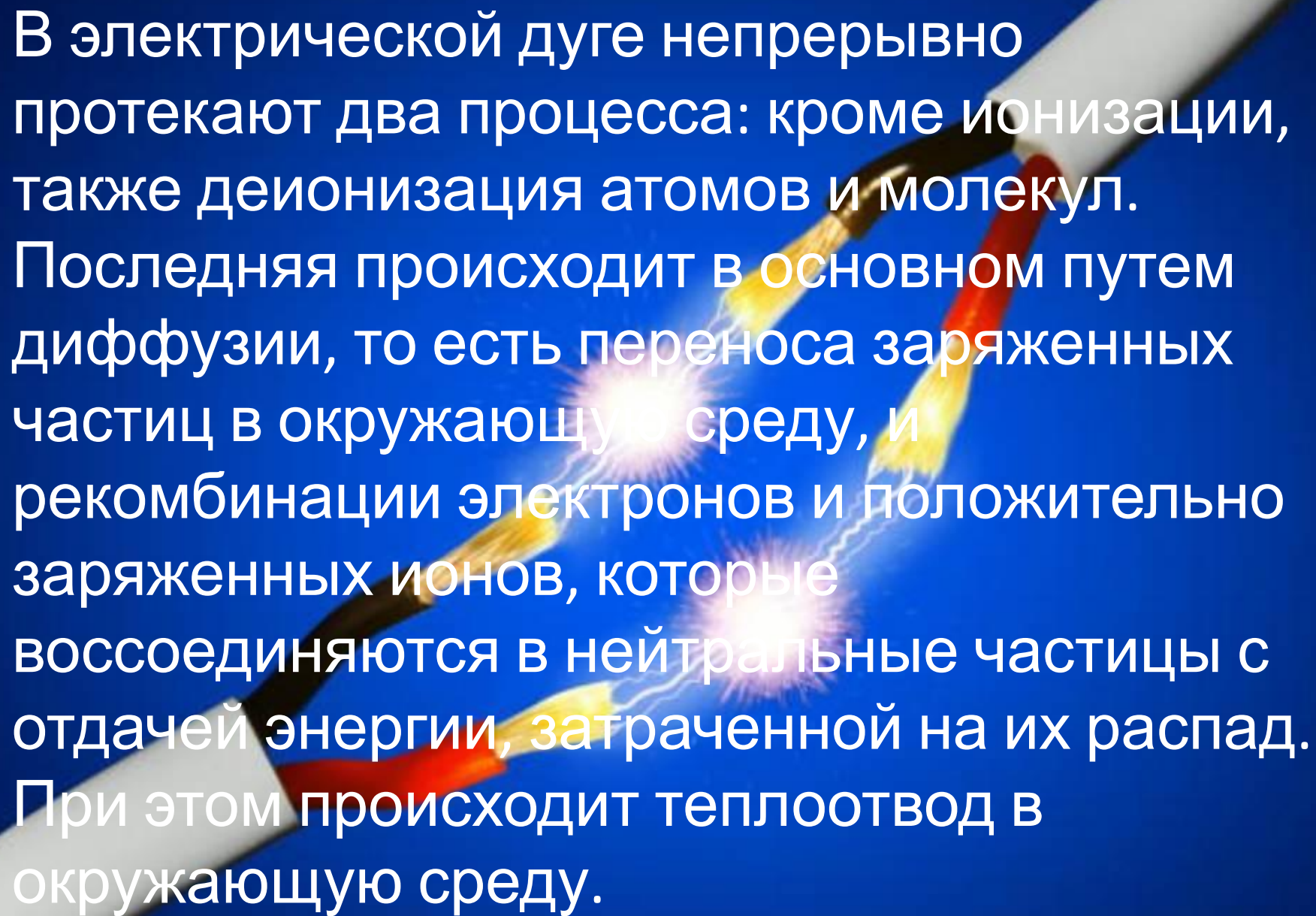




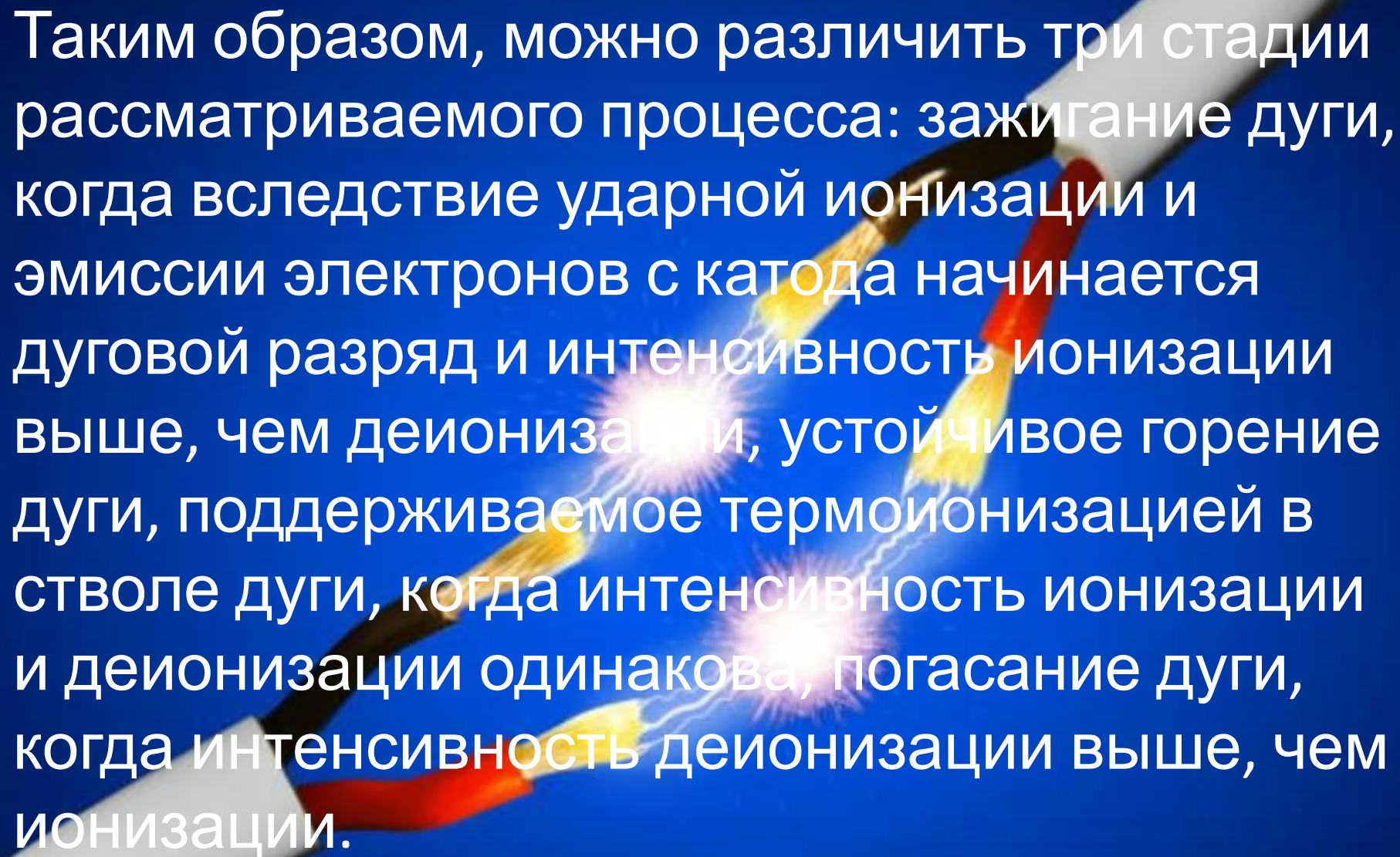
Образовавшиеся свободные электроны и ионы составляют плазму ствола дуги, то есть ионизированного канала, в котором горит дуга и обеспечивается непрерывное движение частиц. При этом отрицательно заряженные частицы, в первую очередь электроны, движутся в одном направлении (к аноду), а атомы и молекулы газов, лишенные одного или нескольких электронов, — положительно заряженные частицы — в противоположном направлении (к катоду). Проводимость плазмы близка к проводимости металлов.



В стволе дуги проходит большой ток и создается высокая температура. Такая температура ствола дуги приводит к термоионизации — процессу образования ионов вследствие соударения молекул и атомов, обладающих большой кинетической энергией при высоких скоростях их движения (молекулы и атомы среды, где горит дуга, распадаются на электроны и положительно заряженные ионы). Интенсивная термоионизация поддерживает высокую проводимость плазмы. Поэтому падение напряжения по длине дуги невелико.



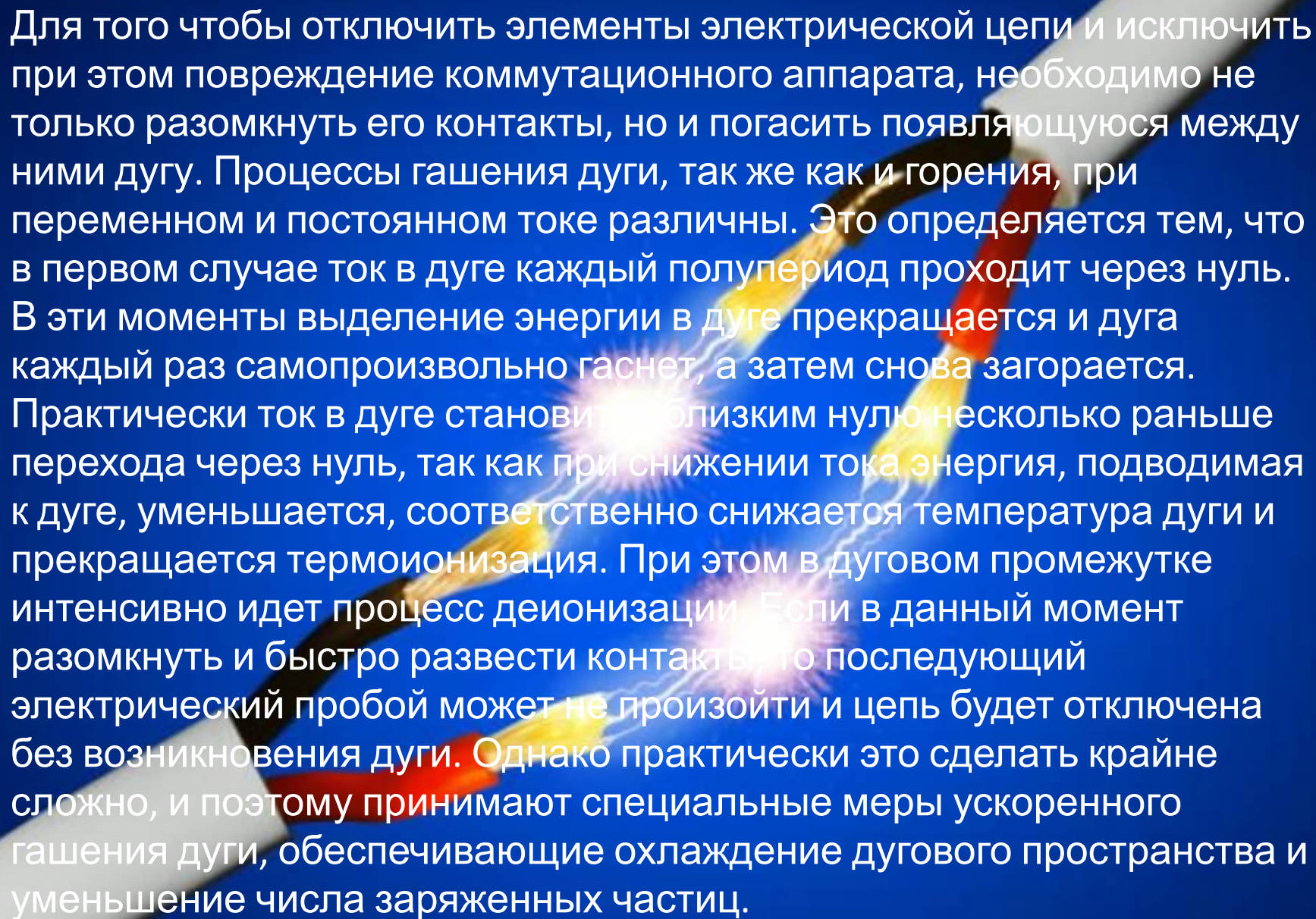
В электрической дуге непрерывно протекают два процесса: кроме ионизации, также деионизация атомов и молекул. Последняя происходит в основном путем диффузии, то есть переноса заряженных частиц в окружающую среду, и рекомбинации электронов и положительно заряженных ионов, которые воссоединяются в нейтральные частицы с отдачей энергии, затраченной на их распад. При этом происходит теплоотвод в окружающую среду.



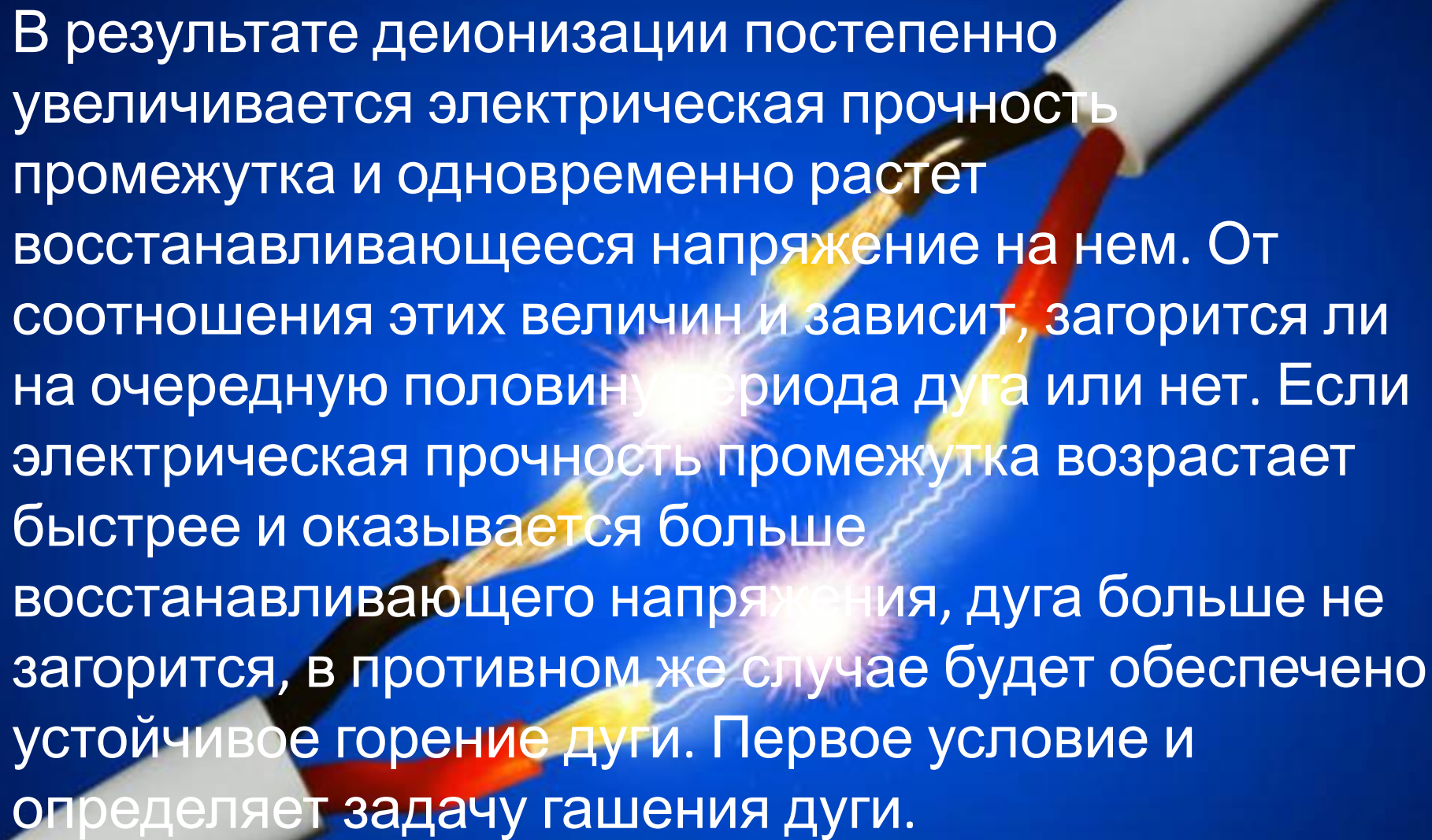
Таким образом, можно различить три стадии рассматриваемого процесса: зажигание дуги, когда вследствие ударной ионизации и эмиссии электронов с катода начинается дуговой разряд и интенсивность ионизации выше, чем деионизации, устойчивое горение дуги, поддерживаемое термоионизацией в стволе дуги, когда интенсивность ионизации и деионизации одинакова, погасание дуги, когда интенсивность деионизации выше, чем ионизации.

Способы гашения дуги в коммутационных электрических аппаратах





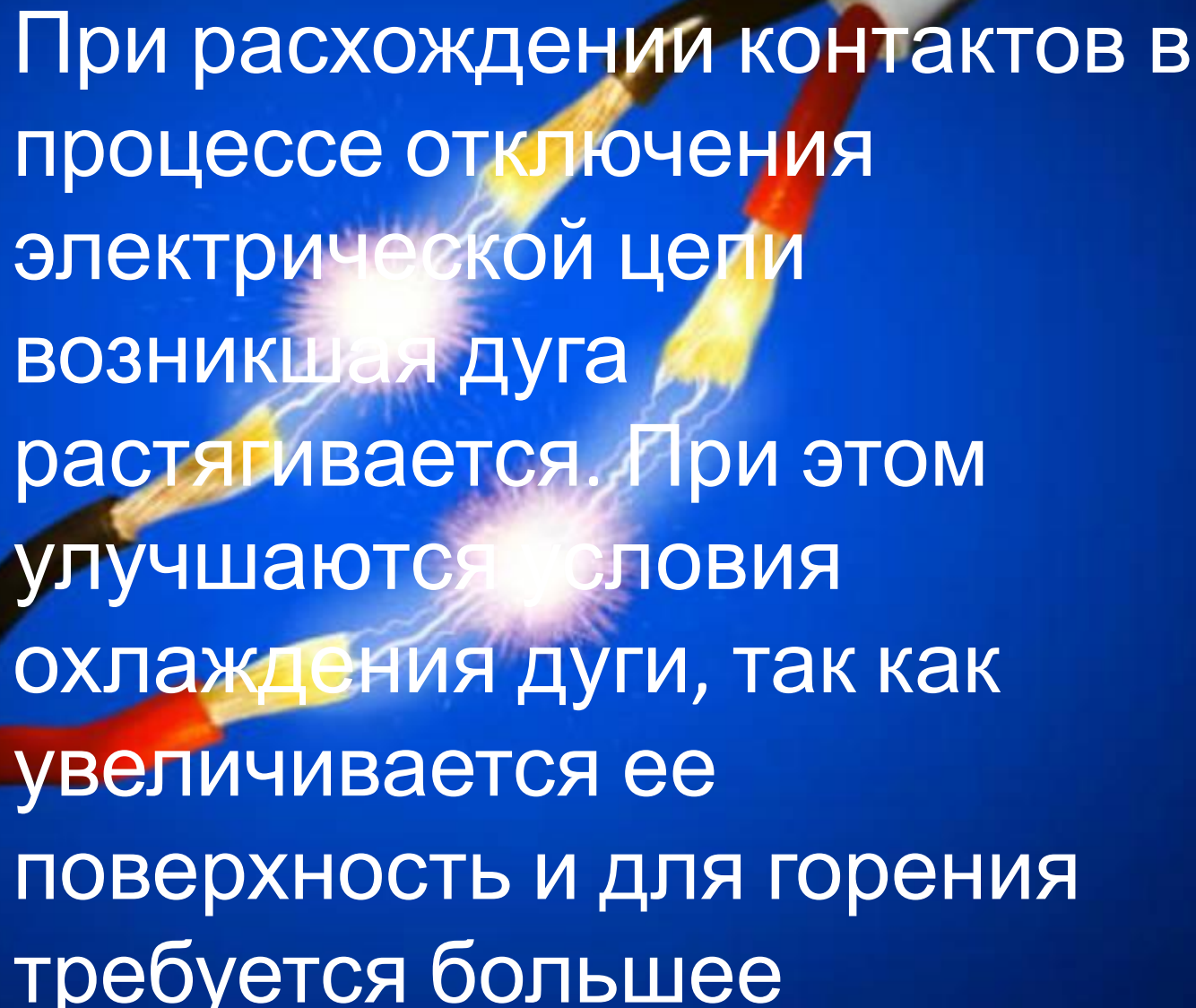
Для того чтобы отключить элементы электрической цепи и исключить при этом повреждение коммутационного аппарата, необходимо не только разомкнуть его контакты, но и погасить появляющуюся между ними дугу. Процессы гашения дуги, так же как и горения, при переменном и постоянном токе различны. Это определяется тем, что в первом случае ток в дуге каждый полупериод проходит через нуль. В эти моменты выделение энергии в дуге прекращается и дуга каждый раз самопроизвольно гаснет, а затем снова загорается. Практически ток в дуге становится близким к нулю несколько раньше перехода через нуль, так как при снижении тока энергия, подводимая к дуге, уменьшается, соответственно снижается температура дуги и прекращается термоионизация. При этом в дуговом промежутке интенсивно идет процесс деионизации. Если в данный момент разомкнуть и быстро развести контакты, то последующий электрический пробой может не произойти и цепь будет отключена без возникновения дуги. Однако практически это сделать крайне сложно, и поэтому принимают специальные меры ускоренного гашения дуги, обеспечивающие охлаждение дугового пространства и уменьшение числа заряженных частиц.



В результате деионизации постепенно увеличивается электрическая прочность промежутка и одновременно растет восстанавливающееся напряжение на нем. От соотношения этих величин и зависит, загорится ли на очередную половину периода дуга или нет. Если электрическая прочность промежутка возрастает быстрее и оказывается больше восстанавливающего напряжения, дуга больше не загорится, в противном же случае будет обеспечено устойчивое горение дуги. Первое условие и определяет задачу гашения дуги.

В коммутационных аппаратах используют различные способы гашения дуги.

Удлинение дуги

The image shows a close-up of two electrical contacts, one black and one red, being pulled apart. Bright yellow and white sparks are visible between the contacts, representing an electrical arc. The background is a solid blue color.

При расхождении контактов в процессе отключения электрической цепи возникшая дуга растягивается. При этом улучшаются условия охлаждения дуги, так как увеличивается ее поверхность и для горения требуется большее


Деление длинной дуги на ряд коротких дуг

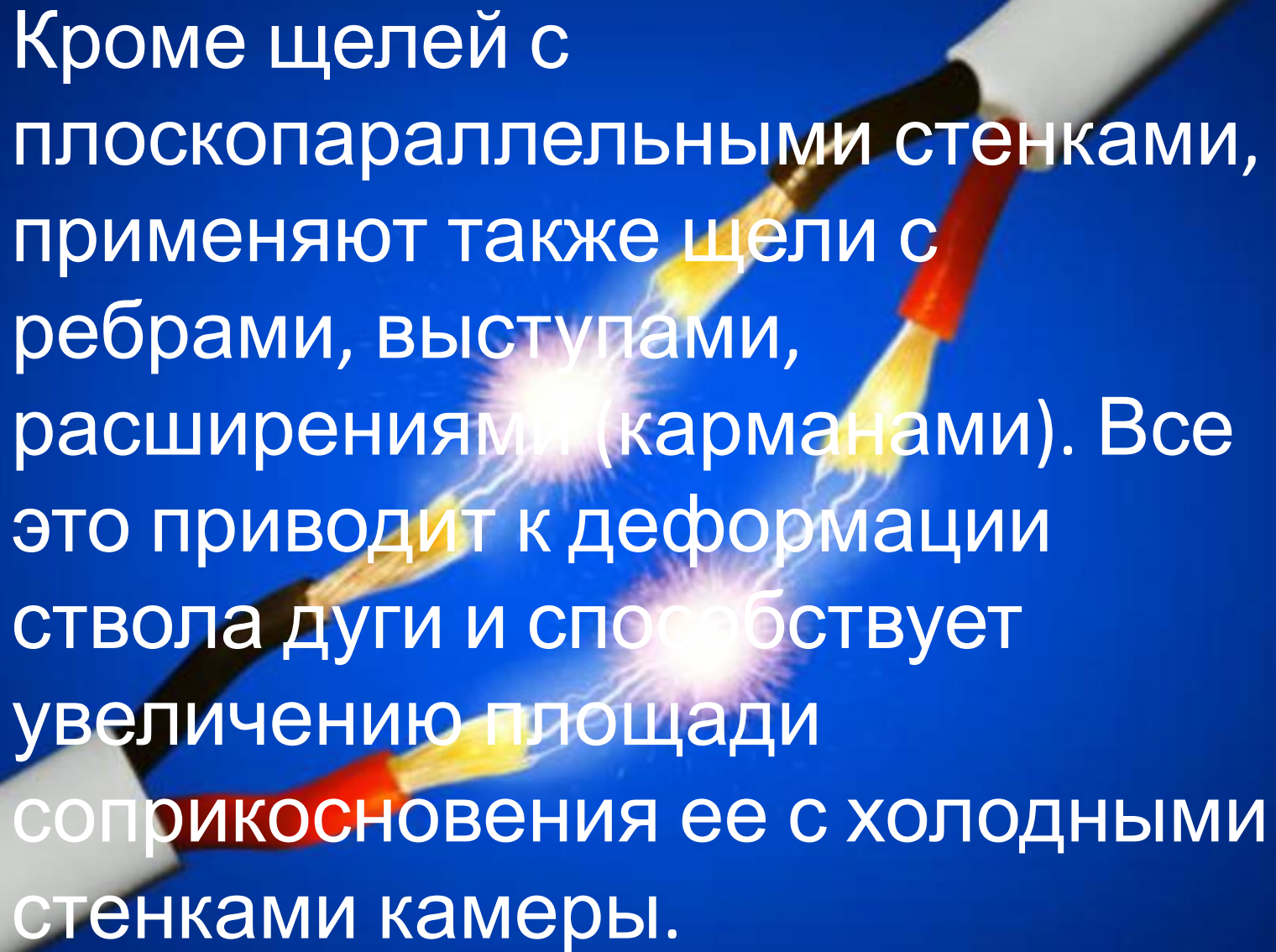
Если дугу, образовавшуюся при размыкании контактов, разделить на K коротких дуг, например затянув ее в металлическую решетку, то она погаснет. Дуга обычно затягивается в металлическую решетку под воздействием электромагнитного поля, наводимого в пластинах решетки вихревыми токами. Этот способ гашения дуги широко используется в коммутационных аппаратах на напряжение ниже 1 кВ, в частности в автоматических воздушных выключателях.



Охлаждение дуги в узких щелях

Гашение дуги в малом объеме облегчается. Поэтому в коммутационных аппаратах широко используют дугогасительные камеры с продольными щелями (ось такой щели совпадает по направлению с осью ствола дуги). Такая щель обычно образуется в камерах из изоляционных дугостойких материалов. Благодаря соприкосновению дуги с холодными поверхностями происходят ее интенсивное охлаждение, диффузия заряженных частиц в окружающую среду и соответственно быстрая деионизация.

The image shows a close-up of an electrical arc between two metal contacts. The contacts are part of a white insulating housing. The arc is bright yellow and orange, with a central core and a surrounding glow. The gap between the contacts is narrow, and the arc is oriented along the length of this gap. The background is a solid dark blue.

The image shows two electrical cables against a dark blue background. The cables have frayed, exposed conductors. Bright sparks are visible at the points where the conductors are exposed, suggesting an electrical arc or short circuit. The text is overlaid on the image in white, sans-serif font.

Кроме щелей с плоскопараллельными стенками, применяют также щели с ребрами, выступами, расширениями (карманами). Все это приводит к деформации ствола дуги и способствует увеличению площади соприкосновения ее с холодными стенками камеры.

Втягивание дуги в узкие щели обычно происходит под действием магнитного поля, взаимодействующего с дугой, которая может рассматриваться как проводник с током. Внешнее магнитное поле для перемещения дуги наиболее часто обеспечивают за счет катушки, включаемой последовательно с контактами, между которыми возникает дуга. Гашение дуги в узких щелях используют в аппаратах на все напряжения.

