StarRoad: الملخص التنفيذي

StarRoad مفهوم لممر نقل كهرومغناطيسي فائق الثقل من الأرض إلى الفضاء. والفكرة بسيطة: بدلًا من حمل وقود الإطلاق على متن صاروخ، تُسرَّع مركبة مكوكية قابلة لإعادة الاستخدام إلى نحو 11 كم/ث داخل نفق مغناطيسي مفرغ **تحت** الأرض يبلغ طوله قرابة **2,050 كم.** ثم تعبر مركبة AstroLiner الثقيلة الغلاف الجوي بالقصور الذاتي خلال 50–60 ثانية، وتدخل مسارات عالية الطاقة من دون اتخاذ المدار الأرضي المنخفض محطة وسيطة. في StarRoad تمثل الكتلة ميزة لا مشكلة.

لا يستهدف المشروع عمليات إطلاق قياسية نادرة، بل تدفقًا متواصلًا للشحنات: محطات طاقة مدارية، ومراكز بيانات، وقاطرات بين مدارية، وأحواض بناء، وبنية تحتية قمرية، وتعدين الكويكبات، ومجمعات صناعية كبيرة.

المعلمات الأساسية

- طول المسرّع: نحو **2,050 كم**.
- المقطع العرضي لنفق التسريع: نحو **17.5 × 12.5 م (إهليلجي).**
- أقصى عمق للنفق المفرغ: 5–8 **كم.**
- بوابة الخروج: على ارتفاع **نحو** 3,400 م فوق سطح البحر.
- سرعة الخروج: نحو **11 كم/ث**.
- أبعاد AstroLiner وهندستها: طول نحو **150 م؛ مقطع إهليلجي نحو 10 × 15 م؛ شكل إسفيني فرط صوتي.**
- كتلة AstroLiner عند الإطلاق: نحو **15,000** طن.
- الحمولة المرجعية: حتى نحو **10,000** طن.
- التشغيل المبكر: 12–24 **عملية إطلاق سنويًا**.
- التشغيل الناضج: أكثر **من 1,000 عملية إطلاق** سنويًا، ثم أكثر **من** 1,500.
- تكلفة الإطلاق في المرحلة التجريبية: 80–120 **دولارًا/كغ.**
- التكلفة المستهدفة في المرحلة الناضجة: **1–10** دولارات/كغ، وقد تنخفض أكثر مع توسع الشبكة.
- النفقات الرأسمالية المقدرة: نحو 300 **مليار** دولار.

الفرق الأساسي عن الصواريخ هو أن StarRoad بنية تحتية، لا «صاروخ ضخم». وهي كخط سكة حديد أو شبكة كهرباء: مرتفعة التكلفة في البناء، لكنها مصممة للتشغيل المتكرر وزيادة القدرة الاستيعابية.

ما الذي تعالجه StarRoad؟

القيد الرئيسي على اقتصاد الفضاء ليس تكلفة الكيلوغرام وحدها، بل **القدرة الاستيعابية أيضًا.** قد تصبح الصواريخ أرخص، لكنها تظل عمليات إطلاق منفصلة ذات حمولة محدودة، وإعداد معقد، واعتماد على الوقود ومواقع الإطلاق والخدمات اللوجستية.

تعالج StarRoad عدة مشكلات في آن واحد:

1. **تدفق شحنات واسع النطاق** — آلاف الأطنان في الرحلة الواحدة بدلًا من عشرات أو مئات الأطنان.
2. **لا وقود إطلاق على متن المركبة** — تبقى طاقة التسريع على الأرض.
3. **وصول مباشر إلى المدارات العالية — من** دون تزوّد بالوقود أو التحام أو سحب من المدار الأرضي المنخفض.
4. **استرداد قائم على البنية التحتية** — لا يحتاج المشروع إلى الاعتماد على سوق الإطلاق وحده.
5. **واقعية تقنية** — تستند إلى حلول تقنية قائمة.

اكتفاء ذاتي مدعوم بالطاقة

تتضمن StarRoad منظومة الطاقة الحرارية الجوفية الذاتية. فهي تبرد النفق العميق، وتثبت حالته الحرارية، وتولد الكهرباء في الوقت نفسه. ويمكن لأربعين محطة بقدرة تقارب 2.5 غيغاواط **لكل** منها أن توفر نحو 100 غيغاواط **إجمالًا.** ويؤدي بيع هذه الكهرباء بتعرفة البنية التحتية إلى مصدر دخل مستقل بعشرات **المليارات من الدولارات** سنويًا.

تتكون دورة الطاقة الثانية من محطات شمسية فضائية. ويمكن لعملية إطلاق واحدة نقل محطة من فئة نحو 2 غيغاواط **تولد،** عند توافر مرتفع، قرابة 17.5 تيراواط **ساعة سنويًا. وهذا** ينشئ سوقًا لعمليات الإطلاق نفسها ومصدرًا إضافيًا لعائدات الطاقة.

المقارنة بالبدائل

ما الذي يغيره StarRoad؟	المشكلة الرئيسة	التصور

يوفر نظام ثابت التسريع؛ وتنقل كل رحلة آلاف الأطنان إلى المدارات العالية	استهلاك الوقود، والمراحل، وإعادة التزوّد، والقدرة المحدودة، والخدمات اللوجستية المكلفة بعد المدار الأرضي المنخفض	**الصواريخ الكيميائية / Starship**
المسار الرئيسي تحت الأرض؛ وتحمي الصخور المحيطة الفراغ؛ ويجري الخروج عبر بوابة أرضية على ارتفاع عالٍ	أنبوب مفرغ في الغلاف الجوي، ومسار معلق، ونوافذ بلازمية، وبنية خارجية هائلة	**StarTram Gen2**
بنية تحتية محمية سلبيًا تحت الأرض؛ وتشغيل نبضي بدلًا من الدعم النشط المستمر	حلقة ديناميكية نشطة، وتثبيت مستمر، وخطر تعطل يؤثر في البنية كلها	**Launch Loop**
لا يتطلب مواد خارقة؛ بل يستخدم الأنفاق والرفع المغناطيسي ومنظومات الطاقة والهندسة الثقيلة	حدود مواد الحبال، والطول الهائل، والتعرض للحطام الفضائي والنيازك الدقيقة، وبطء تدفق الشحنات	**المصعد الفضائي**
تنشئ StarRoad مباشرة تدفقًا واسعًا للشحنات الثقيلة إلى المدارات عالية الطاقة	تبقى الصواريخ ضرورية للوصول إلى نقطة الالتقاط؛ مع وتيرة محدودة وديناميكيات مدارية معقدة	**الخطاف السماوي / الحبال المدارية**
صُممت StarRoad للحمولات فائقة الثقل والمنشآت الكبيرة المكتملة	أحمال تسارع هائلة، وحمولات صغيرة، ومرحلة صاروخية علوية إلزامية	**SpinLaunch**
يمكن أن تكون StarRoad البنية الانتقالية التي تنشئ تلك الصناعة	قدرة استيعابية مرتفعة محتملة، لكنها تتطلب صناعة فضائية ناضجة سلفًا	**الحلقة المدارية**

الميزة الرئيسية

الميزة الرئيسية لـ StarRoad **هي قدرتها الاستيعابية القابلة** للتوسع. فكل البدائل تقريبًا، باستثناء الحلقة المدارية، تتخلف عنها تحديدًا في حجم الكتلة المنقولة. وحتى إن انخفضت تكلفة الصواريخ، فمن الصعب أن تنتقل من «إطلاقات» منفردة إلى تدفق متواصل بملايين الأطنان سنويًا. وقد صُممت StarRoad منذ البداية كممر صناعي: مرتفعة التكلفة أولًا، ثم مكتفية ذاتيًا، وفي مرحلتها الناضجة تصبح أساس اقتصاد الفضاء.