|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Sluneční částice** | **(Celkem bodíků: 10)** |
|  | Fotony ze slunečního povrchu a neutrina z jeho jádra prozrazují informace o teplotách ve Sluníčku a poskytují také důkaz, že Sluníčko září díky jaderným reakcím.V této úloze počítejte s následujícími konstantami: hmotnost Slunce , jeho poloměr , zářivost (energie vyzářená celým povrchem za jednotku času), , a vzdálenost Země – Slunce .Matematické hinty: |  |
| **A** | **Sluneční záření:** |  |
| A1 | Předpokládejte, že Slunce září jako dokonale černé těleso. Ze zákona vyzařování černého tělesa vypočtěte teplotu povrchu Slunce . | **0,3** |
|  | Spektrum vyzařování Slunce lze dobře popsat Wienovým rozdělením. Podle něj je sluneční energie dopadající na zvolenou část povrchu Země odpovídající jednotkovému intervalu frekvencí dopadajícího záření za jednotku času dána vztahemkde *ν* značí frekvenci záření a je plocha zvolené části povrchu kolmá na směr dopadajícího záření. Uvažujte nyní solární článek sestávající z tenkého disku polovodičového materiálu o ploše umístěný v kolmém směru k dopadajícím slunečním paprskům.  |  |
| A2 | Použitím Wienova rozdělení, vyjádřete celkový výkon slunečního záření dopadající na povrch solárního článku pouze pomocí , , , a základních fyzikálních konstant , , . | **0,3** |
| A3 | Určete počet fotonů dopadajících na povrch solárního článku za jednotku času v jednotkovém intervalu frekvencí pouze pomocí , , , a základních fyzikálních konstant , , . | **0,2** |
|  | Polovodičový materiál solárního článku má „zakázaný pás“ energií . Uvažujme následující model. Každý dopadající foton s energií excituje elektron v polovodiči. Tento elektron přispívá energií , k užitečné výstupní energii článku a jakákoliv další energie ze ztrácí v podobě tepla (není tedy převedena na užitečnou energii).  |  |
| A4 | Definujme kde . Určete užitečný výstupní výkon článku pouze pomocí , , , , a základních fyzikálních konstant, , . | **1,0** |
| A5 | Vyjádřete účinnost solárního článku pouze pomocí . | **0,2** |
| A6 | Načrtněte kvalitativně (neurčujte číselné údaje, které nejsou explicitně vyžadovány) graf závislosti účinnosti na. Hodnoty pro a musí být z náčrtku jasně čitelné. Jaká je směrnice grafu v bodech a ? | **1,0** |
| A7 | Nechť značí hodnotu , ve které nabývá účinnost svého maxima. Odvoďte kubickou rovnici (rovnici třetího stupně), jejímž řešení je . Odhadněte hodnotu s přesností . Vypočtěte poté . | **1,0** |
| A8 | Energie zakázaného pásu čistého křemíku je . Z této hodnoty vypočtěte účinnost křemíkového článku. | **0,2** |

Koncem 19. století přišli Kelvin and Helmholtz (KH) s hypotézou vysvětlující záření Slunce. Uvažovali, že Slunce vzniklo jako obrovský oblak hmoty o hmotnosti a o zanedbatelné hustotě. Slunce se dle této hypotézy neustále smršťuje. Záření Slunce lze pak vysvětlit jako uvolňování gravitační potenciální energie během pomalého zmenšování.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| A9 | Uvažujme konstantní hustotu uvnitř Slunce. Určete celkovou gravitační potenciální energii Slunce v současnosti pouze pomocí *G*, a . | **0,3** |
| A10 | Odhadněte maximální dobu (v letech), po jakou se Slunce dosud mohlo smršťovat podle KH hypotézy. Předpokládejte, že zářivost Slunce byla pořád stejná během tohoto období.  | **0,5** |
|  | Doba vypočtená výše neodpovídá stáří Sluneční soustavy odhadnuté ze studia meteoritů. Tedy, zdroj energie záření Slunce nemůže být čistě gravitační.  |  |
| **B** | **Sluneční neutrina :**Roku 1938 navrhnul Hans Bethe, že slučování jader vodíku v jádru Slunce na helium je zdrojem jeho energie. Výsledná jaderná reakce je:„Elektronová neutrina“, , vznikající touto reakcí mohou být považována za nehmotná. Tato neutrina unikají ze Slunce a je možné je na Zemi detekovat. To potvrzuje jaderné reakce probíhající uvnitř Slunce. Energie, kterou si s sebou odnesou neutrina, je v této úloze zanedbatelná. |
| B1 | Vypočtěte hustotu toku , počtu neutrin, která dorazí na Zemi, v jednotkách . Energie uvolněná při výše uvedené rovnici je . Předpokládejte, že energie vyzářená Sluncem má původ výhradně ve výše uvedené reakci a energie uvolněná libovolnými dalšími procesy je zanedbatelná.  | **0,6** |
|  | Při cestě z jádra Slunce na Zemi se některá elektronová neutrina přeměňují na další rodiny neutrin . Účinnost detektoru při detekci je rovna 1/6 účinnosti detekce . Nepřeměnilo-li by se žádné neutrino, očekávali bychom detekci v průměru neutrin za rok. Z důvodu přeměny však reálně zaznamenáváme průměrně neutrin (a dohromady) za rok.  |
| B2 | Vypočítejte poměr , který říká, jaká část se přemění na a vyjádřete ho pouze pomocí a . | **0,4** |
|  | Abychom mohli neutrina vůbec zaznamenat, staví se velké detektory naplněné vodou. I přes to, že neutrina reagují s hmotou velmi vzácně, čas od času se stane, že vykopnou z molekuly vody v detektoru elektron. Tyto vysoce energetické elektrony se ve vodě pohybují vysokou rychlostí, přičemž vyzařují elektromagnetické záření. Je-li rychlost takového elektronu větší, než rychlost světla ve vodě (o indexu lomu ), je toto záření, nazývané Čerenkovovo, vyzařováno ve tvaru kuželu. |
| B3 | Předpokládejte, že elektron vykopnutý neutrinem ztrácí při svém pohybu vodou energii konstantní rychlostí za jednotku času. Vyzařuje-li tento elektron Čerenkovovo záření po dobu , určete energii , kterou neutriono předalo elektronu, pouze pomocí *, , n*,a. (Předpokládejte, že elektron je na počátku před jeho interakcí s neutrinem v klidu.) | **2,0** |
|  | Slučování H na He uvnitř Slunce se děje v několika krocích. V jednom z těchto mezikroků vzniká jádro (s klidovou hmotností ). To následně může zachytit elektron a přemění se na jádro (s klidovou hmotností < ) za současného vyzáření . Příslušná jaderná reakce je: |
|  | Když je jádro Be v klidu a absorbuje elektron, který je také v klidu, vyzáří neutrino o energii . Jádra Be se však náhodně tepelně pohybují kvůli teplotě v jádru Slunce a jsou tak pohyblivými zdroji neutrin. Výsledkem je, že energie vyzářených neutrin fluktuuje v intervalu o pološířce . |
| B4 | Je-li =, spočtěte střední kvadratickou rychlost jader Be, a následně odhadněte hodnotu . (Nápověda: závisí na složce střední kvadratické rychlosti ve směru mezi pozorovatelem a zdrojem). | **2,0** |